

**PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM_{0.1}
BERBASIS ELEKTROSTATIS TEGANGAN RENDAH ARUS AC
UNTUK SISTEM PEMBUANGAN EMISI SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

Oleh:

**FANDI AKHMAD RAYVALDO
125090802111001**



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



**PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM_{0.1}
BERBASIS ELEKTROSTATIS TEGANGAN RENDAH ARUS AC
UNTUK SISTEM PEMBUANGAN EMISI SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana sains dalam bidang fisika**

Oleh:

**FANDI AKHMAD RAYVALDO
125090802111001**



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM_{0.1}
BERBASIS ELEKTROSTATIS TEGANGAN RENDAH ARUS AC
UNTUK SISTEM PEMBUANGAN EMISI SEPEDA MOTOR**

Oleh:

**FANDI AKHMAD RAYVALDO
125090802111001**

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

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Dr.Eng.Masruroh.,S.Si.,M.Si.
NIP. 197512312002122002

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

Prof.Dr.Rer.Nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 1964091019990021001



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fandi Akhmad Rayvaldo

NIM : 125090802111001

Program Studi : Instrumentasi

Penulis skripsi berjudul :

**PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM_{0,1}
BERBASIS ELEKTROSTATIS TEGANGAN RENDAH ARUS AC
UNTUK SISTEM PEMBUANGAN EMISI SEPEDA MOTOR**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka, semata-mata digunakan sebagai acuan atau referensi.
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

(Fandi Akhmad Rayvaldo)

NIM. 125090802111001



PENGEMBANGAN FILTER PARTIKULAT PM_{0.1} BERBASIS ELEKTROSTATIS TEGANGAN RENDAH ARUS AC UNTUK SISTEM PEMBUANGAN EMISI SEPEDA MOTOR

ABSTRAK

Partikel *ultrafine* telah dikenal sebagai senyawa *toxic* bagi kesehatan manusia. Ada banyak teknologi filtrasi yang dikembangkan untuk mengurangi emisi partikel *ultrafine* di udara *ambient*. Studi ini bertujuan untuk mengembangkan filter berbasis elektrostatis untuk mengurangi konsentrasi partikel *ultrafine* yang dipancarkan oleh sistem pembuangan emisi sepeda motor. Penelitian ini menggunakan tiga sepeda motor dalam kondisi standar sebagai sampel sumber partikel *ultrafine*. Filter terbuat dari pelat aluminium dengan ketebalan $2,1 \times 10^{-2}$ cm. Dalam penelitian ini menggunakan empat buah filter partikulat yang berbeda dengan variasi jarak antar plat, di mana: F1 (3,6 cm), F2 (1,8 cm), F3 (1,2 cm), dan F4 (0,9 cm). *Test bench* laboratorium digunakan untuk menyelidiki efisiensi filtrasi dari filter yang dikembangkan. Ada tiga variasi frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: 60Hz, 684 Hz, dan 1309 Hz. Efisiensi filter ditentukan sebagai rasio antara konsentrasi partikel *ultrafine* sebelum dan sesudah melewati filter. Konsentrasi partikel *ultrafine* diukur menggunakan P-Trak *Ultrafine Particle Counter* (TSI, Model 8525) selama lima menit dengan interval satu menit (tiga pengukuran berulang). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi filter tergantung pada *gap* filter, temperatur emisi, tegangan elektrostatis, frekuensi listrik, dan laju aliran emisi.

Kata kunci: partikel *ultrafine*; filter partikulat; efisiensi filter; sepeda motor; elektrostatis



DEVELOPING OF PARTICULATE FILTER $PM_{0.1}$ BASED ELECTROSTATIC AC LOW VOLTAGE ON MOTORCYCLE EXHAUST SYSTEM

ABSTRACT

Ultrafine particles have been known as the toxic agents for human health. There were many filtration technologies that were developed to reduce the ultrafine particle concentration in the ambient air. In this study, we aimed to develop an electrostatic-based filter to reduce the concentration of ultrafine particles emitted by the motorcycle exhaust system. This study used three standard condition motorcycles as the ultrafine particle source samples. The filters were made of aluminum plates with the thickness of 2.1×10^{-2} cm. There were four different filters in different filter gaps: F1 (3.6 cm), F2 (1.8 cm), F3 (1.2 cm), and F4 (0.9 cm). A laboratory-bench tests are used to investigate the filtration efficiency of the developed filters. The frequency was varied into 60Hz, 684 Hz, and 1309 Hz. The filter efficiency is determined as the ratio between the concentration of ultrafine particle before and after passing through the filter. The concentration of ultrafine particles was measured using a P-Trak Ultrafine Particle Counter (TSI, Model 8525) for five minutes at one minute intervals (three repeated measurements). The results showed that the efficiency of the filter depends on the gap filter, emission temperature, electrostatic voltage, electrical frequency, and flow rate.

Keywords: ultrafine particles; particulate filter; filter efficiency; motorcycle; electrostatic



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, amin.

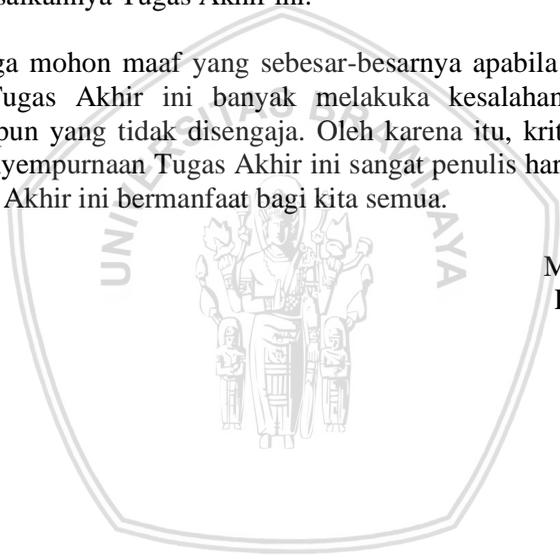
Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mempertoleh gelar Sarjana pada Program *Study* Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Judul yang saya ajukan adalah “Pengembangan Filter Partikulat PM₁₀ Berbasis kapasitor multi Tegangan Rendah Arus AC untuk Sistem Pembuangan Emisi Sepeda Motor”. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Kedua Orang Tua saya atas segala inspirasi, doa, nasihat dan dukungannya yang selalu mendampingi saya menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. rer. Nat. M.Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang
3. Bapak Drs. Arinto Yudi P. W, M.Sc.,Ph.D, selaku dosen pembimbing I atas arahan, motivasi, nasihat, bimbingan serta waktu yang telah diberikan.
4. Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II atas arahan, motivasi, nasihat, bimbingan serta waktu yang telah diberikan.
5. Arif Budiarto, S.Si., M.Si, Eko Teguh S.Si dan Mia Anggun, S.Si atas motivasi, inspirasi, nasihat, bimbingan, dan bantuannya.
6. Segenap dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya.
7. Bapak dan Ibu staf Tata Usaha, laboran, dan karyawan Jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas segala bantuannya.

8. Rijal Pamungkas dan Akhmad Nur Harimukti sebagai partner serta satu bimbingan dengan penulis.
9. Keluarga besar Legend CL-HMJ, anak-anak CLS, Winda Pangesti, Safira Setyawangsa, Ririn Dwi Erestina dan anak-anak SN-Squad yang selalu memberikan semangat kebersamaan dan dorongan.
10. Teman-teman Instrumentasi Jurusan Fisika Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2012, terima kasih atas kebersamaan dan kekompakan selama ini, semoga terus terjalin dan kesuksesan selalu menyelimuti kita semua.
11. Semua pihak yang telah membantu selama penelitian hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis juga mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini banyak melakukan kesalahan yang disengaja maupun yang tidak disengaja. Oleh karena itu, kritik dan saran demi penyempurnaan Tugas Akhir ini sangat penulis harapkan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang,
Penulis



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Maslaah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Udara	5
2.2 Polusi Udara	6
2.3 PM (<i>Particulate Matter</i>)	7
2.4 Dampak PM Bagi Kesehatan dan Lingkungan	11
2.5 Sistem Pembuangan Emisi Sepeda Motor	12
2.6 Teknik Filtrasi PM Dari Kendaraan Bermotor	13
2.7 Efisiensi Filter PM	15
2.8 P-Trak <i>Ultrafine Particle Counter</i> (TSI, Model 8525)	15



BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Alur Penelitian	20
3.3.1 Studi Literatur	21
3.3.2 Pembuatan Pengkondisi Sinyal Tegangan	21
3.3.3 Pembuatan Filte	22
3.3.4 Pengambilan Data.....	24
3.3.5 Analisis Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Penelitian	27
4.1.1 Hasil Desain Filter.....	27
4.1.2 Hasil Desain Inverter.....	27
4.2 Hasil Pengujian Efisiensi Filter	28
4.2.1 Sampel Motor M1	28
4.2.2 Sampel Motor M2	30
4.2.3 Sampel Motor M3	31
4.2.4 Efisiensi Rata-rata	33
4.3 Pembahasan.....	34
BAB V PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan	41



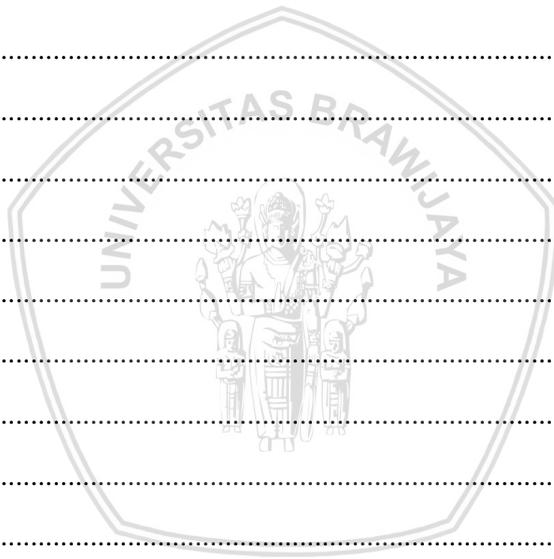
5.2 Saran41

DAFTAR PUSTAKA43



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.....	1
Gambar 2.1.....	8
Gambar 2.2.....	9
Gambar 2.3.....	11
Gambar 2.4.....	13
Gambar 2.5.....	14
Gambar 2.6.....	14
Gambar 2.7.....	15
Gambar 2.8.....	16
Gambar 3.1.....	20
Gambar 3.2.....	21
Gambar 3.3.....	22
Gambar 3.4.....	23
Gambar 3.5.....	23
Gambar 3.6.....	23
Gambar 3.7.....	24
Gambar 4.1.....	27
Gambar 4.2.....	28
Gambar 4.3.....	29
Gambar 4.4.....	30
Gambar 4.5.....	32



Gambar 4.6.....34
Gambar 4.7.....35
Gambar 4.8.....37
Gambar 4.9.....40



DAFTAR TABEL

Tabel 1	9
Tabel 2	10
Tabel 3	19
Tabel 4	27



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan tingkat polusi di udara *ambient* menjadi isu yang sedang banyak dikaji dan diteliti di berbagai negara. Hal ini sudah tentu berkaitan dengan peningkatan aktivitas pembakaran yang dihasilkan dari berbagai sektor, seperti pada aspek industri dan transportasi atau lalu lintas kendaraan bermotor. Sebagai contoh kasus, dengan meningkatnya jumlah penduduk Indonesia, kebutuhan akan sarana kendaraan pribadi, terutama sepeda motor juga meningkat. Bertambahnya kendaraan pribadi tersebut menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2016 sebanyak 5% dan akhirnya memiliki dampak semakin tingginya tingkat polutan di Indonesia.

Adanya polusi udara menyebabkan kualitas udara *ambient* menurun, yang sangat merugikan lingkungan sekitar. Emisi dari kendaraan bermotor merupakan sumber utama polusi udara yang terdiri atas 29% senyawa *Volatile Organic Compound* (VOC), 35% Nitrogen Oksida (NO), 58% karbon monoksida (CO), dan sisanya sebesar 1% dalam kategori *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2.5}). Kendaraan bermotor tersebut tidak hanya spesifik pada sepeda motor saja, melainkan secara keseluruhan sebagaimana yang disebut di atas, sehingga harusnya benar-benar perlu diperhatikan. Sebuah studi telah melakukan klarifikasi polutan secara umum dalam empat kategori, yaitu polutan gas, *persistent organic pollutant*, *particulate matter* atau PM, dan logam berat (Kampa & Castanas, 2008).

Dari keempat kategori di atas, konsentrasi PM hasil kendaraan bermotor telah banyak diteliti. Merujuk dari banyaknya penelitian tersebut, diketahui bahwa PM tersebut memiliki berbagai ukuran dan diameter (Geng dkk., 2015) dan dapat dikelompokkan menjadi 3, yakni: nanopartikel/ *ultrafine particle* atau yang dikenal pula sebagai PM_{0.1} (dengan diameter kurang dari 0,1 μm) (Sabaliauskas dkk., 2012), PM_{2.5} dengan diameter antara 0,1 μm sampai 2,5 μm (Pandey & Venkataraman, 2014), dan PM₁₀ dengan diameter antara 2,5 μm sampai 10 μm . Secara spesifik untuk PM tersebut, polutan ini dapat tersusun atas campuran dari berbagai partikel padatan dan *droplet* cair yang tersuspensi di udara (Morawska & Zhang, 2002).

Banyak pengembangan aplikasi sains dalam mengurangi jumlah emisi partikel dari kendaraan bermotor. Salah satu bentuk dari inovasi tersebut yakni dengan cara memberikan zat adiktif tertentu

yang dicampurkan pada bahan bakar (Geng dkk., 2015), filter partikulat berprinsip elektrostatis (Budianto & Wardoyo, 2016), filter partikulat berbasis porositas, dan filter partikulat berbasis radiasi. Upaya tersebut dimaksudkan untuk mengurangi kadar partikulat dalam emisi kendaraan bermotor.

Metode elektrostatis banyak digunakan dalam dunia industri, terutama dalam pengaturan aliran gas buang hasil pembakaran bahan baku di ruang *furnace*, atau bahan-bahan lain merujuk pada teknologi elektrostatis presipitator (ESP) di cerobong asap (Sudrajad Yusuf, 2015). Di sisi lain, metode ini juga belum jamak diaplikasikan di sistem pembuangan emisi pada mode transportasi darat. Metode ini dapat diyakini memiliki kompetensi dan nilai ekonomis tinggi, namun tetap terjangkau bagi masyarakat serta bernilai ergonomis jika diterapkan pada kendaraan bermotor yaitu sepeda motor. Kekhususan ini diilhami dari banyaknya pengguna sepeda motor di Indonesia (BPS, 2017).

Beberapa kajian di atas melatarbelakangi ide dari penelitian ini. Penelitian ini merupakan serangkaian penelitian besar, di mana penelitian sebelumnya telah mengaplikasikan filter elektrostatis bertegangan rendah DC untuk sistem filtrasi partikulat jenis $PM_{0.1}$ dan $PM_{2.5}$ (Budianto & Wardoyo, 2016; Wardoyo & Budianto, 2017). Di sisi lain, pengaruh pengaplikasian tegangan rendah AC pada filter elektrostatis tersebut belum diketahui.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah desain pengembangan filter $PM_{0.1}$ berbasis multi kapasitor menggunakan sumber tegangan DC yang diubah menjadi AC untuk pembuangan emisi dari sepeda motor.
2. Bagaimana pengaruh jarak *gap* (d) dan pengaruh frekuensi (f) terhadap nilai efisiensi filter?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Efisiensi filter ditetapkan hanya dari segi konsentrasi $PM_{0.1}$ yang terbaca pada alat ukur sebelum dan sesudah difilter.

2. Sumber tegangan yang digunakan berasal dari aki 12 Volt DC yang dikonversi menjadi 12 Volt AC gelombang kotak (rentang frekuensi 60-1300 Hz).
3. Logam plat yang digunakan adalah aluminium yang ditemukan di pasaran, dan tidak dibahas karakteristik ataupun pengaruhnya terhadap efisiensi filter.
4. Sampel motor dipilih secara acak (*random sampling technique*) tanpa membahas pengaruh jenis motor terhadap efisiensi filter.
5. Pengukuran hanya dilakukan selama 5 menit pertama untuk tiap satu jenis variasi filter dan frekuensi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendesain filter partikulat $PM_{0,1}$ berbasis elektrostatis tegangan rendah AC untuk sistem pembuangan emisi sepeda motor.
2. Mengetahui pengaruh jarak *gap* dan frekuensi terhadap nilai efisiensi filter.

1.5 Manfaat Penelitian

Sehubungan dengan uraian yang ada di latar belakang penelitian diatas maka manfaat dari penelitian ini, adalah untuk memperoleh filter yang diharapkan dapat memberikan suatu penyelesaian terhadap permasalahan yang ditimbulkan oleh partikulat $PM_{0,1}$ terhadap lingkungan dan kesehatan manusia secara optimal dengan regulasi-regulasi dan kaidah atau etik sosial yang berlaku.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

Menurut [Spellman \(2009\)](#), udara adalah campuran beberapa gas yang terkandung pada atmosfer bumi. Di dalam udara terkandung nitrogen 78%, oksigen 21%, argon 0.93%, Karbon dioksida 0.03%, beberapa senyawa lain yang kandungannya sangat sedikit seperti Neon, Helium, Krypton, Xenon, Ozon, Hidrogen dan senyawa lainnya. Suatu udara dapat dikatakan murni ketika udara tersebut tidak terkandung senyawa-senyawa yang dapat mengganggu kesehatan manusia atau hewan, merusak tanaman dan berbau tidak sedap.

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap dan karbon dioksida. Jumlah uap air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan temperatur. Untuk konsentrasi Karbon dioksida di udara selalu rendah, yaitu sekitar 0,03%. Karbon dioksida dapat naik jika ada proses-proses yang menghasilkan karbon dioksida seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran, atau di sekitar kumpulan massa manusia di dalam ruangan terbatas yaitu karena pernafasan ([Ferdiaz, 1992](#)).

Pencemaran udara dibedakan menjadi empat yaitu pencemaran udara menurut bentuk, tempat, susunan kimia dan asalnya. Menurut bentuknya dibagi menjadi dua yaitu pencemaran udara yang berupa gas dan pencemaran udara yang berupa partikel. Menurut tempatnya juga dibagi menjadi dua yaitu pencemaran udara di dalam ruangan dan pencemaran udara di udara bebas. Sedangkan pencemaran berdasarkan susunan kimia yang mencemari dibedakan menjadi organik dan anorganik. Dan yang terakhir yaitu pencemaran udara menurut asalnya dibagi menjadi pencemaran udara primer primer dan sekunder.

Pada udara bebas (*outdoor*) sumber pencemarannya disebabkan oleh berbagai hal salah satunya yaitu yang merupakan sumber pencemar alamiah seperti pencemaran yang berasal dari letusan gunung berapi, pembusukan, kebakaran hutan dan lahan gambut. Selain itu juga terdapat pencemaran yang berasal dari kegiatan manusia, misalnya berasal dari kegiatan industri, rumah tangga, asap

kendaraan bermotor, pembakaran biomass, serta gas buang pabrik yang menghasilkan gas berbahaya. Untuk menghindari terjadinya pencemaran udara di lingkungan ditetapkan baku mutu udara yang dapat dibedakan atas baku mutu udara ambien dan baku mutu udara emisi. Baku mutu udara ambien adalah batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar terdapat di udara, namun tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuh –tumbuhan dan atau benda. Baku mutu udara emisi adalah batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar untuk dikeluarkan dari sumber pencemaran ke udara, sehingga tidak mengakibatkan dilampauinya baku mutu udara *ambient*.

Standar acuan kualitas uadara berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, baku mutu udara ambien nasional untuk PM_{10} sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam), untuk $PM_{2,5}$ sebesar $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam) dan TSP yaitu $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam).

2.2 Polusi Udara

Ada tiga kategori sumber dari polusi udara yaitu yang pertama adalah natural (segala sesuatu yang tidak ada hubungannya dengan aktivitas manusia), yang kedua yaitu *anthropogenic* (dihasilkan oleh aktivitas manusia) dan yang ketiga yaitu *secondary* (dibentuk oleh atmosfer dari polusi *natural* dan *anthropogenic*). Setiap kategori dapat dibagi lagi menjadi beberapa subkategori. Sebagai contoh, polusi *anthropogenic* dapat diklasifikasikan menjadi stasioner (pabrik, kebun, rumah dan lainnya) dan kendaraan (mobil, truk, kapal, pesawat dan lainnya). Subkategori lainnya seperti *indoor* dan *outdoor*, organik dan anorganik, atau lokal dan regional juga dapat digunakan. Dari semua pilihan tersebut akan menghasilkan gambaran sumber dan emisi yang bersangkutan dengan kategori lain dari polusi udara (Phalen & Phalen, 2013).

Polusi udara juga dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yakni polusi udara primer dan sekunder. Polusi udara primer berasal dari sumber yang dapat diidentifikasi. Polusi udara sekunder merupakan polusi yang dihasilkan dari dua atau lebih polusi primer dengan dipengaruhi oleh katalitik atau gaya temperatur dari reseptor yang sesuai seperti debu atau partikel asap (Mukadavi, 2010). Deskripsi lainnya menunjukkan bahwa pencemar udara primer, dengan 90% jumlah polutan udara seluruhnya, dapat dibedakan menjadi karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x),

Hidrokarbon (HC), Sulfur oksida (SO_x), dan partikulat atau PM. Sebaliknya, pencemar udara sekunder dideskripsikan sebagai pencemar udara primer yang berubah di udara.

Salah satu contoh kasus terjadinya polusi udara yakni pencemaran udara di Las Vegas, Amerika Serikat. Menurut sebuah penelitian di daerah tersebut, diketahui bahwa emisi dari kendaraan bermotor merupakan sumber utama polusi udara yang terdiri atas 29% *Volatile Organic Compound* (VOC), 35% nitrogen oksida (NO_x), 58% karbon monoksida (CO), 1% *Particulate Matter* 10 (PM 10), dan 3% *Particulate Matter* 2,5 (PM 2,5) (Kuhns dkk., 2004).

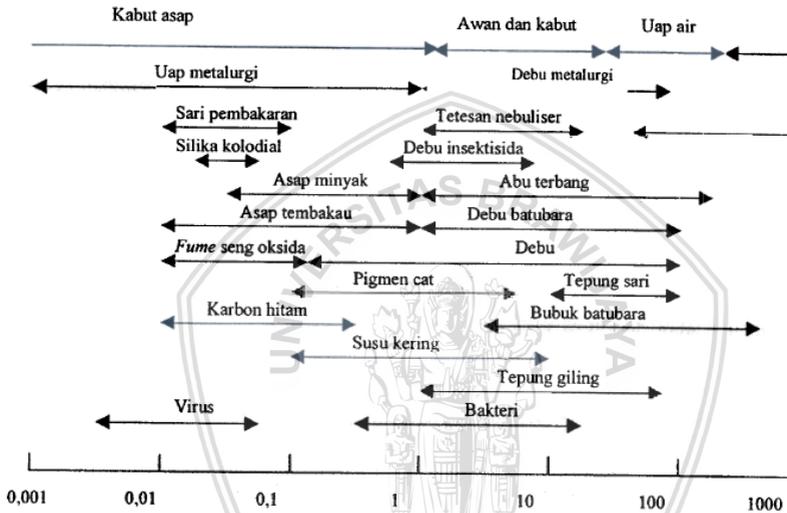
Di sisi lain, pencemaran udara menimbulkan toksisitas yang merupakan kemampuan bahan kimia menyebabkan kerusakan pada kondisi tertentu. Toksisitas udara tersebut memiliki nilai toksisitas yang rendah dengan prosentase polutan yang semakin besar (Sutra, 2009). Contoh dari gangguan fisik di antaranya yaitu polusi suara, panas, dan radiasi atau polusi cahaya. Contoh gangguan kimia pada polusi udara diantaranya, yaitu asap industri, asap kendaraan bermotor, asap pembangkit listrik, asap kebakaran hutan, dan asap rokok. Sedangkan contoh gangguan biologi pada polusi udara diantaranya, yaitu timbunan gas metana pada lokasi urugan tanah, timbunan gas metana pada tempat pembuangan sampah, dan uap pelarut organik (Susanta & Sutjahjo, 2007).

Dalam proses pencemaran ini terjadi keadaan ketika polutan satu dengan polutan yang lain di udara bereaksi menjadi jenis polutan baru yang lebih berbahaya dari polutan semula. Misalnya, jenis komponen polutan yang berasal dari sisa pembakaran bahan bakar minyak (yaitu nitrogen dioksida dan hidrokarbon) dengan bantuan sinar ultraviolet akan membentuk jenis polutan baru (peroksiasetil dan ozon) yang sangat berbahaya bagi kesehatan, dengan reaksi sebagai berikut (Chandra, 2007).

2.3 PM (*Particulate Matter*)

Salah satu emisi kendaraan bermotor yang menjadi salah satu polutan udara selain logam berat dan polutan gas adalah berasal dari golongan partikulat atau PM (Kampa & Castanas, 2008; Kumar dkk., 2014; Szymczak dkk., 2007). PM merupakan campuran partikel padatan atau cairan yang sangat kecil dan tersuspensi di udara (Morawska and Zhang, 2002b). PM merupakan polusi udara yang tersebar luas dan secara konvensional dikarakterisasikan berdasarkan konsentrasi massanya (Ibald-mulli dkk., 2002). Jika dibandingkan

dengan berbagai campuran lain, ukuran PM sangatlah kecil (**Gambar 2.1**). Partikel individual tidak dapat dilihat secara kasat mata, namun jika partikel tersebut terkumpul (aglomerasi), mereka dapat terlihat seperti jelaga hitam, awan debu atau kabut kusam. PM dapat dihasilkan melalui proses alami (serbuk sari, bakteri, virus, jamur, ragi, tanah hasil erosi) atau melalui kegiatan manusia seperti penggunaan truk diesel, pembangkit listrik, pembakaran kayu dan proses industri (*Alias dkk., 2007*).

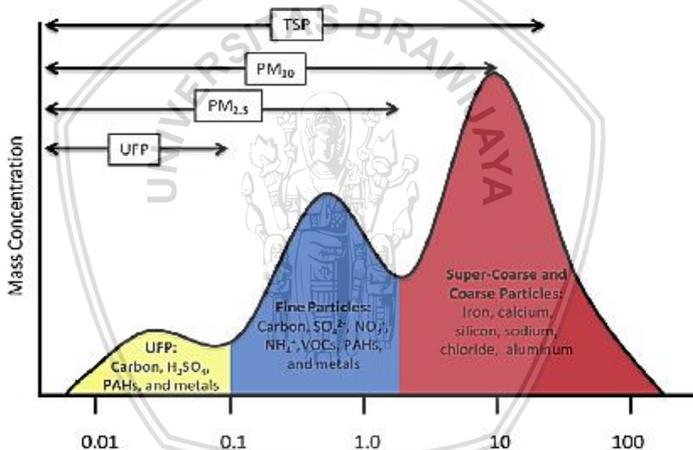


Gambar 2.1 Diameter beberapa partikel (*Suhariyono & Wiyono, 2003*)

Komposisi kimia PM secara umum adalah sulfida, nitrat, amonium, dan ion anorganik lainnya seperti: ion sodium, potasium, kalsium, magnesium dan klorida, elemental karbon dan organik, material crustal, *particle-bound water*, logam, dan PAH atau *polycyclic aromatic hydrocarbons*. PM tersebut dapat pula berada dalam bentuk ion-ion dengan sejumlah konsentrasi, baik dalam fraksi netral (*Ku dkk., 2011*) maupun yang bermuatan positif-negatif (*Noh dkk., 2011; Syakur dkk., 2009*).

PM dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori, yakni PM_{0.1}, PM_{2.5}, PM₁₀, dan TSP (*Sabaliauskas dkk., 2012*). TSP atau *Total Suspended Particles* memiliki diameter kurang dari 30 µm

(Sabaliauskas dkk., 2012). Partikel PM10 memiliki diameter aerodinamis sekitar 2.5 μm hingga 10 μm . Mereka terbentuk dari berbagai peristiwa, seperti penghancuran, penghalusan, abrasi dari suatu permukaan, evaporasi dari semprotan, dan suspensi debu. PM10 tersusun atas aluminosilikat dan oksida dari unsur kerak dan sumber utama termasuk buangan debu dari jalan, industri, agrikultur, konstruksi dan pembongkaran, dan abu yang terbang dari pembakaran bahan bakar fosil (Fierro, 2001). PM2.5 memiliki diameter antara 0,1 μm sampai dengan 2,5 μm (Hart dkk., 2015). PM0.1 yang dikenal pula sebagai *ultrafine particle* memiliki ukuran diameter kurang dari 0,1 μm (Sioutas dkk., 2005). Karena perbedaan ukuran diameter, masing-masing jenis PM tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda (Gambar 2.2; Tabel 1).



Gambar 2.2 Pendekatan distribusi massa PM di dalam atmosfer (Sabaliauskas dkk., 2012)

Tabel 1. Jenis PM berdasarkan ukuran diameternya

Jenis Partikel	Rentang Ukuran
PM ₁₀ (<i>Coarsed Particle</i>)	≤ 10 μm
PM _{2,5} (FP)	≤ 2,5 μm
PM _{0,1} (UFP)	≤ 0,1 μm

(disadur dari Asgharian & Price, 2007; Gilli dkk., 2007; Sabaliauskas dkk., 2012)

Partikel-partikel tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama, kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan. Selain dapat membahayakan terhadap kesehatan juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan dapat mengadakan berbagai reaksi kimia sehingga komposisi debu di udara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang relatif berbeda-beda (Pudjiastuti, 2002). Selain ini jumlah partikel akan dipengaruhi oleh musim, ketika musim kemarau jumlah partikel cenderung lebih rendah dibandingkan pada musim dingin (Wu dkk., 2008) (Tabel 2).

Tabel 2. Perbandingan dari partikel kasar dan partikel halus

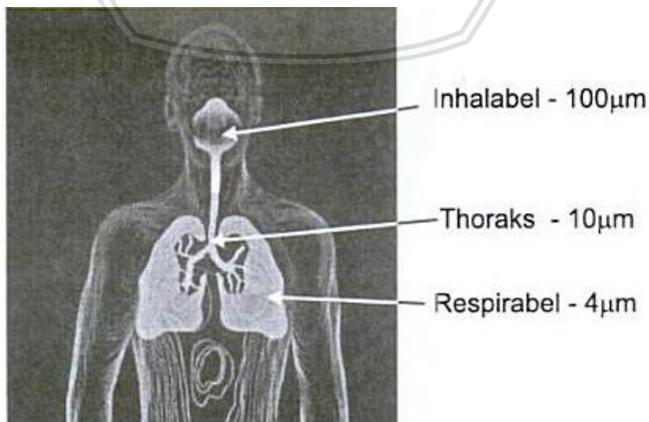
Keterangan	Partikel Halus	Partikel Kasar
Terbentuk dari	Gas	Padatan besar/tetesan
Terbentuk oleh	Reaksi Kimia; Nukleasi; kondensasi, pembekuan; evaporasi dari kabut dan tetesan awan yang dimana gas telah larut dan tereaksi	Gangguan mekanis (seperti penghancuran, penghalusan, abrasi dari permukaan); evaporasi dari semprotan; suspensi debu
Tersusun dari	Sulfat (SO_{42}^-); Nitrat (NO_3^-); amonium (NH_4^+); ion hidrogen (H^+); elemen karbon; komponen organik (seperti PAHs, PNAs); metal (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe); partikel pengikat air	Disuspensi debu (seperti debu tanah, debu jalan); abu terbang dari batu bara dan minyak; oksidasi metal dari unsur kerak (Si, Al, Ti, Fe); CaCO_3 , NaCl, garam laut; serbuk sari, spora jamur; potongan-potongan hewan/tumbuhan; puing-puing ban
Keterangan	Partikel Halus	Partikel Kasar
Daya Larut	Larut secara luas, hidroskopis dan <i>deliquescent</i>	Tidak laruh seluruhnya dan non-hidroskopis
Sumber	Pembakaran batu bara, minyak, bensin, diesel, kayu; produk transformasi	Resuspensi dari debu industri dan tanah yang terbawa ke jalan; suspensi dari tanah yang terganggu

Keterangan	Partikel Halus	Partikel Kasar
	atmosferis dari NO_x , SO_x dan komponen organik termasuk spesies biogenik (seperti terpenes); proses temperatur tinggi, peleburan, pabrik baja, dan sebagainya	(seperti berkebum, pertambangan dan jalan tak beraspal); sumber biologis; konstruksi dan penghancuran; pembakaran batu bara dan minyak; <i>ocean spray</i>
Ketahanan	Hari hingga minggu	Menit hingga jam
Jarak pergerakan	100s hingga 1000s perkilometer	<1 hingga 10s perkilometer

(Sumber: Fierro, 2001)

2.4 Dampak PM Bagi Kesehatan dan Lingkungan

Partikulat dapat terdeposit pada bagian sistem pernapasan manusia, dan hal ini sangatlah bergantung pada ukuran partikulat tersebut. Partikulat dengan ukuran $\geq 100 \mu\text{m}$ terdeposit pada bagian hidung dan disebut sebagai *inhalable particle*; partikulat dengan ukuran $>4-10 \mu\text{m}$ terdeposit pada bagian toraks dan disebut sebagai *thoracic particle*; dan partikulat dengan ukuran $<4 \mu\text{m}$ terdeposit pada bagian paru dan disebut sebagai partikel respirabel (*respirable particle*). Lokasi partikulat terdeposit pada sistem pernapasan manusia disajikan pada **Gambar 2.3** (Lestari, 2007).



Gambar 2.3 Lokasi partikulat terdeposit (Lestari, 2007)

Dari uraian di atas, jelas bahwa diameter PM memiliki peranan penting dalam kaitannya dengan efek atau dampak kesehatan terhadap manusia. Berbagai studi dan penelitian membuktikan bahwa partikulat dengan diameter yang berbeda dapat memiliki penyusun kimia yang berbeda serta memiliki efisiensi deposisi yang berbeda-beda pula di dalam sistem respirasi (Han dkk., 2016; Thomson dkk., 2009). Semakin kecil ukuran diameter PM akan mengakibatkan semakin besar dan bahaya terhadap dampak kesehatan. Menurut Brauer dkk. (2002), polusi udara yang disebabkan oleh PM_{2.5} dan NO_x dapat menyebabkan penyakit pernafasan, mengi yang khusus, infeksi telinga/hidung/tenggorokan dan diagnosa asma oleh dokter serta flu atau demam yang serius. Semua penyakit ini dapat menyerang umumnya pada anak usia 2 tahun. Partikulat yang terhirup saat proses respirasi tidak dapat keluar lagi. Hal ini menyebabkan beberapa masalah pernapasan. Pelemahan dari sistem kekebalan organ pernapasan dapat terjadi jika partikulat yang terhirup semakin banyak mengendap di tubuh. Konsentrasi PM yang cukup tinggi dapat menyebabkan pelemahan fungsi paru-paru (Kesavachandran dkk., 2015).

Polusi udara akibat PM_{2.5} diketahui telah pula berkontribusi dalam kelainan kardio respiratori, kematian, menjadi salah satu kontributor penting dalam penyebab banyak penyakit ketika mekanisme biologis pokok telah terasosiasi meskipun belum sepenuhnya. Banyak bukti ilmiah mengindikasikan bahwa level stress oksidatif, ROS, dan inflamasi berperan penting dalam penginduksian PM terhadap kesehatan termasuk peradangan sistem pernapasan dan kerusakan DNA. Sebagai tambahan, sumber seperti lalu lintas dan pembakaran biomassa telah diketahui telah mempengaruhi potensi oksidaatif dari polusi udara partikulat (Weichenthal dkk., 2016).

2.5 Sistem Pembuangan Emisi Sepeda Motor

Sistem pembuangan emisi pada kendaraan bermotor merupakan saluran untuk membuang sisa hasil pembakaran pada mesin pembakaran kendaraan bermotor. Sistem pembuangan dapat terdiri dari beberapa komponen, seperti sebuah pipa pembuangan dengan bahan logam tertentu. Di Indonesia, sistem ini dikenal sebagai “knalpot”. Desain knalpot sepeda motor dirancang sedemikian hingga dapat menyalurkan emisi hasil pembakaran mesin ke tempat yang aman bagi pengguna mesin. Karena tingginya temperatur pada

bagian ini ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$), maka knalpot harus bersifat tahan panas dan juga cepat melepaskan panas.

2.6 Teknik Filtrasi PM Dari Kendaraan Bermotor

Salah satu teknik filtrasi PM adalah DPF yang memiliki kepanjangan *Diesel Particulate Filter* (**Gambar 2.4**). Filter jenis DPF ini sangat jamak ditemukan di dalam kendaraan bermesin diesel. Selain itu, DPF memiliki satu permasalahan penting, di mana regenerasi filter jenis ini membutuhkan studi lebih lanjut (Dwyer dkk., 2010). Pada saat partikulat melewati dinding DPF, filter ini membuat PM melewati seluruh celah yang ada pada dinding DPF. Hasil efisiensinya memang terbukti cukup besar. Untuk sistem filtering $\text{PM}_{0.1}$, didapatkan efisiensi sebesar 42%-50%. Untuk sistem filtering $\text{PM}_{2.5}$, didapatkan efisiensi sebesar 36%-47%. Nilai efisiensi ini bergantung pada panjang pendeknya filter (Wahyuningrum dkk., 2014).



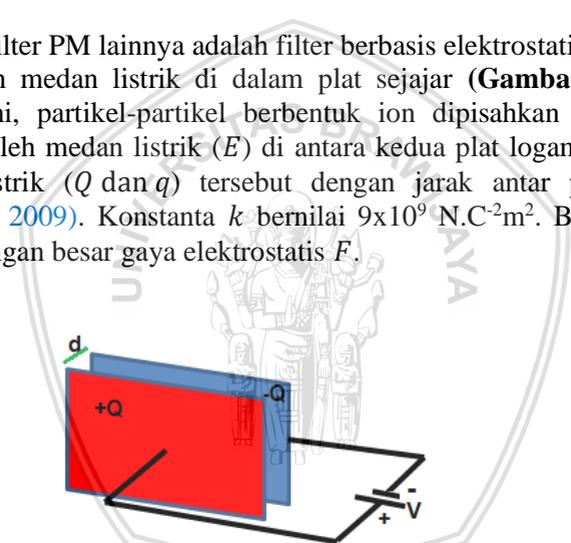
Gambar 2.4 Ilustrasi aliran partikulat melewati dinding DPF (Wahyuningrum dkk., 2014)

Selain DPF, terdapat filter PM berbasis porositas lainnya, yakni filter lembaran tipis yang berasal dari biomassa. Filter tersebut dapat terbuat dari berbagai kombinasi bahan, seperti campuran antara serbuk sabut kelapa dan lem kanji dengan perbandingan 50:50. Filter ini memiliki efisiensi 16%-47% untuk $\text{PM}_{2.5}$ (**Gambar 2.5**). Efisiensi filter lembaran tipis biomassa ini dipengaruhi oleh ketebalan filter, densitas filter, dan ketahanan filter (Pawestri dkk., 2014).



Gambar 2.5 Filter partikulat berbahan sabut kelapa dan lem kanji dengan perbandingan tertentu (Pawestri dkk., 2014)

Contoh filter PM lainnya adalah filter berbasis elektrostatis yang memanfaatkan medan listrik di dalam plat sejajar (**Gambar 2.6**). Pada filter ini, partikel-partikel berbentuk ion dipisahkan secara elektrostatis oleh medan listrik (E) di antara kedua plat logam yang bermuatan listrik (Q dan q) tersebut dengan jarak antar plat d (Syakur dkk., 2009). Konstanta k bernilai $9 \times 10^9 \text{ N.C}^{-2}\text{m}^2$. Besar E sebanding dengan besar gaya elektrostatis F .



Gambar 2.6 Prinsip pada filter elektrostatis

Dari **Gambar 2.6**, medan listrik yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1) berikut.

$$E = \frac{F}{q} = \frac{k \frac{Q \cdot q}{d^2}}{q} \quad (2.1)$$

Selain itu, besar E akan dipengaruhi oleh besar tegangan (V), sehingga:

$$V = k \frac{Q}{d} = E \cdot d \quad (2.2)$$



2.7 Efisiensi Filter PM

Efisiensi filter ($\%EF$) menyatakan perbandingan dari selisih antara konsentrasi awal dan konsentrasi akhir polutan terhadap konsentrasi awal polutan sepeda motor, yang dapat ditulis dalam bentuk persentase, seperti pada persamaan (2.3) (Pawestri dkk., 2014; Wahyuningrum dkk., 2014).

$$\%EF = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

di mana $\%EF$ adalah efisiensi filter (dalam bentuk %), C_0 menyatakan konsentrasi awal dan C_t menyatakan konsentrasi akhir partikel.

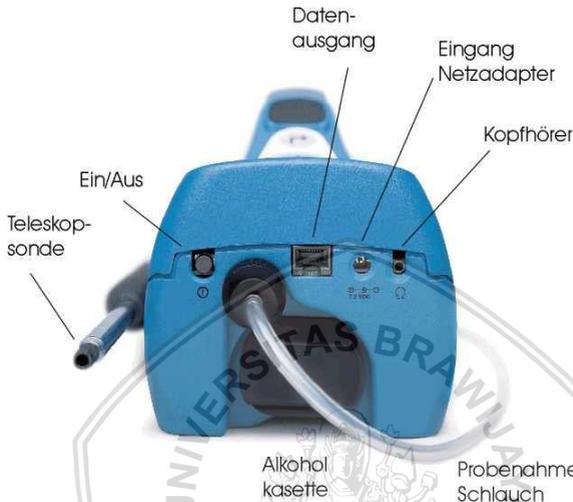
2.8 P-Trak Ultrafine Particle Counter (TSI, Model 8525)

P-trak *Ultrafine Particle Counter* Model 8525 digunakan untuk mengukur atau mendeteksi jumlah partikel berukuran nanometer (yaitu $\leq 1 \mu\text{m}$) di udara. Dalam penelitian ini, P-Trak digunakan untuk mengukur emisi dari hasil pembakaran kendaraan bermotor jenis PM0.1 (Gambar 2.9).



Gambar 2.7 P-Trak *Ultrafine Particle Counter* Model 8525 (TSI Incorporated, 2013)

Bagian-bagian dari P-Trak dan fungsi dari masing-masing bagian yang digunakan pada pengambilan data dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.8 Bagian-bagian dan fungsi masing-masing P-Trak (TSI Incorporated, 2013)

Bagian-bagian dari P-Trak *Ultrafine Particle Counter Model 8525* terdiri dari *probe*, tombol *power on/off*, *jack DC power*, *sampling hose*, *audio jack*, *dataport*, *alcohol cartridge*, dan beberapa bagian lainnya. *Probe* berfungsi sebagai ujung dari alat pencacah data. *Probe* diletakkan berdekatan pada ujung knalpot. *Power on/off* berfungsi sebagai tombol untuk menghidupkan alat dan mematikan alat. *DC power* berfungsi sebagai penghubung alat ke power AC (yang kemudian diubah menjadi DC) agar alat mendapatkan suplai aliran listrik dan dapat dihidupkan. *Sampling hose* berfungsi sebagai jalannya udara yang masuk melalui probe, alat ini berbentuk pipa. *Audio jack* berfungsi sebagai port untuk mendengarkan suara pada alat. *Data port* berfungsi sebagai penghubung apabila data yang didapat akan diolah. *Alcohol cartridge* merupakan tempat untuk *isopropyl alcohol* diletakkan. Alkohol (jenis *isopropyl alcohol* 99%) di sini digunakan untuk pembungkus partikel agar ukurannya relatif sama. Diusahakan pada *alcohol cartridge* steril dari udara

yang tidak akan diteliti agar alat fokus ke udara yang diteliti dan tidak terpengaruh dari udara lainnya yang memungkinkan memiliki ukuran partikel dengan ukuran partikel dengan ukuran nanometer (TSI Incorporated, 2013).

Prinsip kerja dari P-Trak ini adalah partikel akan dideteksi dan dipompa masuk ke probe kemudian melalui *sampling hose*. Dalam alat ini terdapat tabung yang berisi alkohol yang berfungsi sebagai pembungkus partikel agar memiliki ukuran yang relatif sama. Kemudian akan terjadi kondensasi karena perubahan suhu. Partikel akan dilewatkan pada sinar laser yang kemudian dideteksi oleh detektor (TSI Incorporated, 2013).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober sampai dengan bulan Desember 2017 di Laboratory of Air Quality Research and Astro Imaging Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, serta di garasi rumah (daerah Perumahan D'Cassablanca).

3.2 Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan di dalam penelitian ini adalah empat buah filter partikulat yang dikembangkan dengan variasi empat *gap* atau jarak antar plat elektroda (d) yang berbeda-beda (**Tabel 3**), aki sepeda motor, sambungan pipa PVC (75mm ke 63mm), P-Trak *Ultrafine Particle Counter* (TSI, model 8525), Q-Trak (TSI), Anemomaster (Kanomax, model A031), rangkaian pengkondisi sinyal, termometer digital dengan sensor jenis termokopel (tipe-K), pisau akrilik, osiloskop, dan multimeter digital.

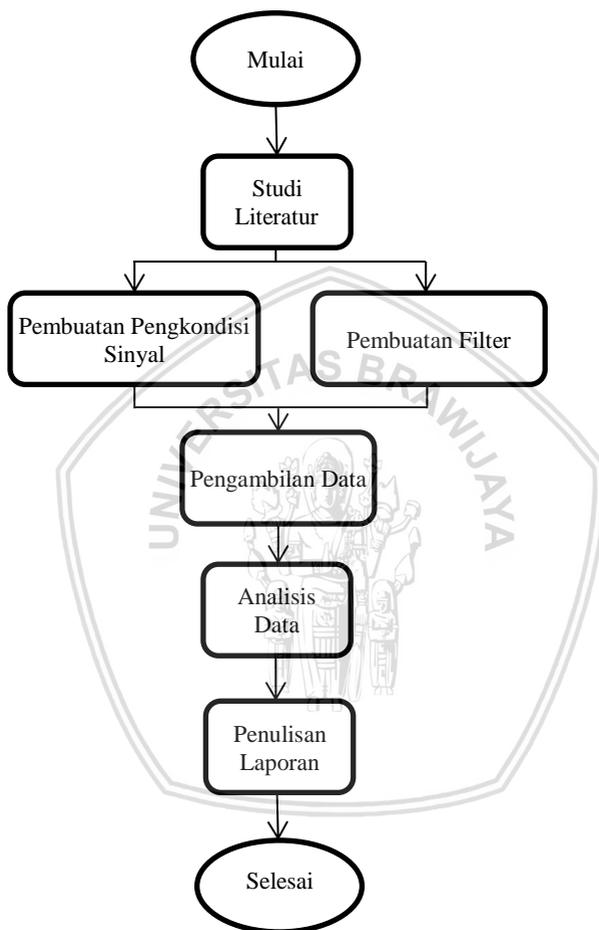
Tabel 3. Variasi filter yang digunakan

No.	Filter	Lebar <i>Gap</i> (mm)
1	Filter 1	36
2	Filter 2	18
3	Filter 3	12
4	Filter 4	9

Adapun bahan-bahan utama di dalam pembuatan filter yakni akrilik dengan ketebalan 3 mm, kertas karton tipe *duplex*, lem klorofom, lem besi, pipa PVC (3"), plat aluminium (ketebalan 0,21 mm), plakban, resistor, kapasitor, transistor, PCB lubang, timah, dan kabel secukupnya. Adapun sampel motor yang digunakan berjumlah tiga motor *automatic transmission* dengan spesifikasi kubikasi mesin yang berbeda-beda namun berasal dari pabrikasi yang sama. Ketiga sampel motor diberi kode M1, M2, dan M3.

3.3 Alur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan seperti pada **Gambar 3.1** berikut.



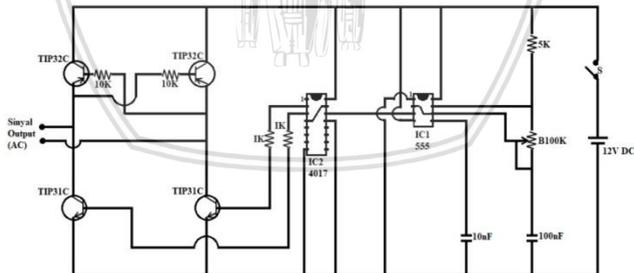
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Dalam proses penelitian ini, studi literatur merupakan tahapan pertama yang dijalani. Dalam tahap ini, penulis mencari pengetahuan mengenai sifat dari partikulat PM0.1. Setelah itu, penulis mencari literatur mengenai pengkondisi sinyal tegangan (rangkaiannya pembagi tegangan, osilator, dan pengubah sinyal DC-AC) yang bersumber dari baterai sepeda motor (aki). Selanjutnya, penulis mencari literatur mengenai karakteristik fisis logam jenis aluminium dan mencari literatur mengenai perpindahan panas yang terjadi di dalam pengukuran.

3.3.2 Pembuatan Pengkondisi Sinyal Tegangan

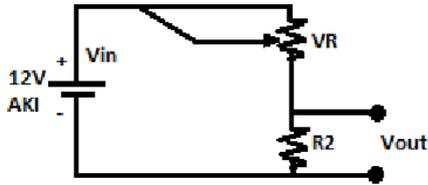
Untuk pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal, tahapan ini menggunakan rangkaian inverter *h-bridge* seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3.2**. Rangkaian ini dibuat menggunakan transistor TIP31C (NPN) dan TIP32C (PNP) yang saling berkebalikan, IC 4017 (*counter*) dan NE555 (*timer*), dengan dua buah kapasitor 10nF dan 100 nF untuk menghasilkan clock tertentu yang saling berlawanan dan membangkitkan frekuensi. Selain itu, digunakan resistor 1k Ω , 10 k Ω , dan 5k Ω , serta resistor variabel 100k Ω . Resistor variabel digunakan untuk mengatur besar frekuensi sesuai yang diinginkan.



Gambar 3.2 Rangkaian inverter

Selanjutnya, sinyal *output* dari rangkaian pengkondisi sinyal pertama ini dimasukkan ke dalam rangkaian kedua yang merupakan rangkaian pembagi tegangan sederhana (**Gambar 3.3**). Rangkaian ini memiliki dua buah resistor variabel 10k Ω . Resistor variabel digunakan untuk mengatur besar frekuensi dan tegangan sesuai yang diinginkan. Rangkaian ini menghasilkan *output* tegangan 12 Volt AC

dengan lebar frekuensi f_1 (60Hz), f_2 (684Hz), dan f_3 (1309Hz). *Output* ini dihubungkan ke filter menggunakan *probe filter*.

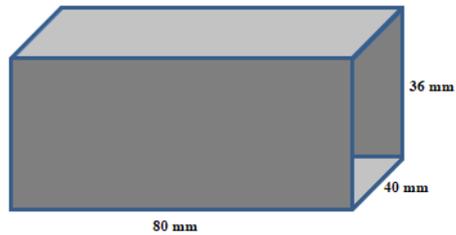


Gambar 3.3 Rangkaian pembagi tegangan dengan menggunakan resistor variabel (Wardoyo dkk., 2017)

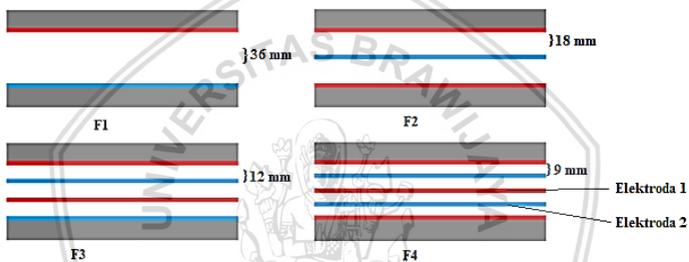
3.3.3 Pembuatan Filter

Tahap pertama yang dilakukan yakni menyiapkan *main frame* dari filter. *Main frame* tersebut terbuat dari pipa PVC berdiameter 63,5 mm yang kemudian dipotong dengan panjang 80 mm. Dimensi *main frame* ini dibuat mengacu pada penelitian sebelumnya yang telah dilaksanakan (Budianto & Wardoyo, 2016). Karena filter yang digunakan di dalam penelitian ini berjumlah 12 buah (empat variasi filter untuk masing-masing sampel motor), maka *main frame* dibuat sebanyak 12 buah pula. Selanjutnya, lembaran aluminium dipotong dengan dimensi panjang 80 mm dan lebar 40 mm sejumlah 42 buah plat yang nantinya digunakan sebagai elektroda dari filter partikulat. Elektroda inilah yang nantinya disambungkan ke sinyal *output* dari pengkondisi sinyal. Plat tersebut dipasang pada balok akrilik (**Gambar 3.4**) dengan bantuan perekat (lem besi) dengan ketentuan menyesuaikan dengan variasi filter tujuan (empat variasi). Filter 1 (F1) memiliki 2 buah plat, di mana plat pertama digunakan sebagai elektroda 1, plat sisanya sebagai elektroda 2. F1 memiliki jarak antar plat sebesar 36 mm. Filter 2 (F2) memiliki 3 buah plat, di mana plat pertama dan plat ketiga digunakan sebagai elektroda 1, plat sisanya yakni elektroda 2. F2 memiliki jarak antar plat sebesar 18 mm. Filter 3 (F3) memiliki 4 buah plat, di mana plat pertama dan plat ketiga digunakan sebagai elektroda 1, plat sisanya yakni elektroda 2. F3 memiliki jarak antar plat sebesar 12 mm. Sedangkan untuk variasi terakhir, F4, memiliki jarak antar plat sebesar seperempat dari F1, dengan total 5 buah plat aluminium. Plat pertama, ketiga, dan kelima digunakan sebagai elektroda 1, dan sisanya sebagai elektroda 2 (**Gambar 3.5**). Filter tersebut kemudian digabung menjadi satu ke

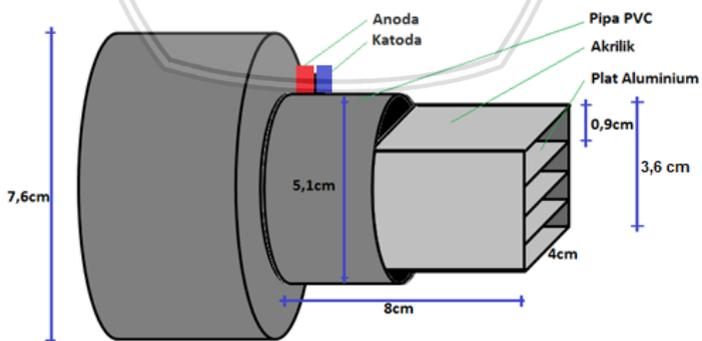
dalam *main frame* filter (**Gambar 3.6**) dan dihubungkan dengan pengkondisi sinyal.



Gambar 3.4 Blok akrilik



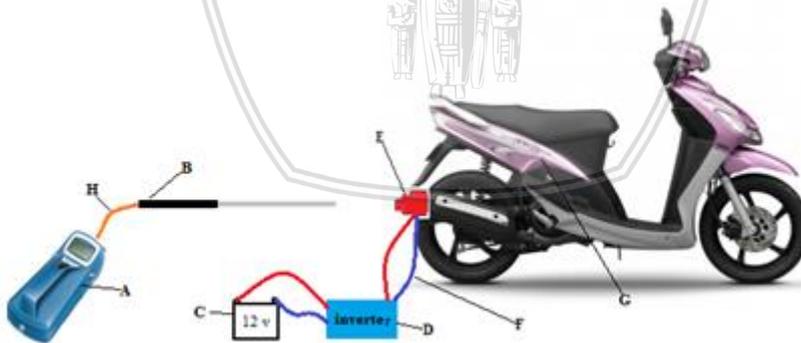
Gambar 3.5 Variasi *gap* filter yang dibuat



Gambar 3.6 Desain akhir filter (Wardoyo dkk., 2017)

3.3.4 Pengambilan Data

Filter yang telah siap kemudian dipasang di seluruh knalpot sampel sepeda motor. Temperatur udara *ambient* (T_a) dan temperatur kontrol atau temperatur mula-mula knalpot sepeda motor (T_k) dicatat terlebih dahulu sebagai kontrol dalam pengujian. Sumber tegangan aki disambungkan pada pengkondisi sinyal tegangan dan diatur tegangan pada angka 12 Volt. *Probe* alat ukur konsentrasi PM0.1 diletakkan sejauh 40 cm di depan filter yang telah dipasang (Valentino dkk., 2013). Pengatur frekuensi diatur pada besar 60 Hz. Selanjutnya, sepeda motor dinyalakan (kondisi *idling, cold start*) dan ditunggu hingga menit pertama. Saat menit pertama, diukur data konsentrasi PM0.1 (C_t) dan temperatur emisi (T_e). Pengukuran dilakukan sebanyak tujuh kali. Selanjutnya, ditunggu hingga menit kedua. Saat menit kedua, dilakukan pengukuran yang sama. Hal ini dilakukan hingga menit kelima, dengan selang interval tiap satu menit. Pengukuran lainnya dilakukan setelah knalpot dingin sesuai dengan T_k . Pengukuran berikutnya dilakukan dengan metode yang sama, namun dengan mengganti besar frekuensi menjadi 684Hz dan 1309Hz. Sebagai pembanding, perlakuan ini juga diterapkan pada emisi knalpot tanpa menggunakan filter (C_0). Secara terinci, pengambilan data dapat ditunjukkan dengan **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Skema pengambilan data

(A=P-trak; B=Probe; C=Aki (12Volt); D=Pengkondisi sinyal tegangan; E=Filter; F=Kabel; G=Sepeda Motor; dan H=Selang)

3.3.5 Analisis Data

Pada tahap analisis data, data yang sudah didapat akan diolah agar dapat didapatkan hasil dari penelitian. Pertama-tama data yang didapat pada masing-masing kelompok yaitu kelompok menit ke-1, kelompok menit ke-2, kelompok menit ke-3, kelompok menit ke-4, dan kelompok menit ke-5 diambil tujuh data dan dihitung rata-rata (\bar{X}) dan standar deviasinya (δ). Untuk perhitungan konsentrasi rata-rata sebelum dipasang filter yaitu:

$$\bar{C}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (C_0)_i}{n} \quad (3.1)$$

Standar deviasi konsentrasi rata-rata sebelum dipasang filter (δC_0):

$$\delta C_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |(C_0)_i - \bar{C}_0|^2}{n(n-1)}} \quad (3.2)$$

Selanjutnya untuk konsentrasi rata-rata sesudah dipasang filter untuk tiap menitnya (C_t), dihitung dengan menggunakan persamaan (3.3) sebagai berikut.

$$\bar{C}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_1)_i}{n} \quad (3.3)$$

Standar deviasi konsentrasi rata-rata sesudah dipasang filter (δC_t):

$$\delta \bar{C}_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |(C_1)_i - \bar{C}_1|^2}{n(n-1)}} \quad (3.4)$$

Besar efisiensi PM0.1 dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$E_f = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \quad (3.5)$$

Standar deviasi efisiensi E_f :

$$\delta E_f = \sqrt{\left(\frac{\sum |E_{fn} - \bar{E}_f|}{n(n-1)}\right)^2} \quad (3.6)$$



Data-data yang telah diperoleh kemudian dicari nilai rata-rata beserta standar deviasinya (δ), kemudian diinterpretasikan ke dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu sampling (t) dan efisiensi filter (Ef) untuk seluruh variasi filter dan tegangan.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil desain Filter

Dari hasil penelitian, didapatkan 12 buah filter dengan empat variasi *gap* filter (**Gambar 4.1 dan Tabel 4**).



Gambar 4.1. Filter yang dihasilkan

Filter memiliki bentuk tabung, yang ditengah-tengahnya terdapat aluminium berjajar. Aluminium tersebut berjajar dan membentang membentuk horisontal dengan memiliki gap yang berbeda pada akrilik. Satu set filter terdapat empat variasi filter yang digunakan untuk satu sepeda motor, sehingga 12 buah filter digunakan untuk tiga sepeda motor.

Tabel 4. Empat variasi filter yang dihasilkan

No.	Filter	Lebar <i>Gap</i> (mm)
1	Filter 1	36
2	Filter 2	18
3	Filter 3	12
4	Filter 4	9

4.1.2 Hasil Desain Inverter

Penelitian ini membutuhkan sumber tegangan yang berasal dari inverter, yang memiliki tegangan masukan 12V DC dan keluaran 12V AC. Inverter ini menghasilkan gelombang kotak yang mempunyai rentang frekuensi yang dapat disesuaikan dari 60 Hz hingga 1309 Hz.

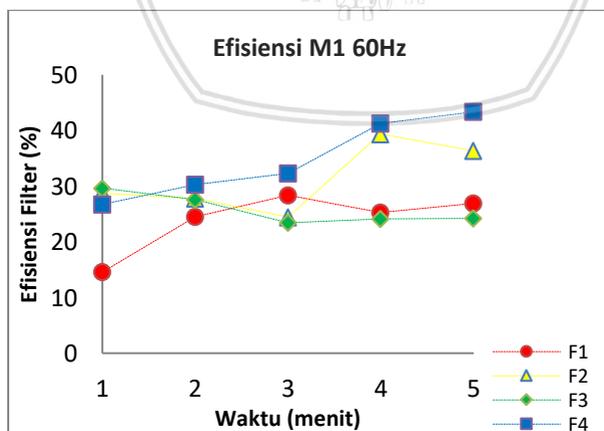


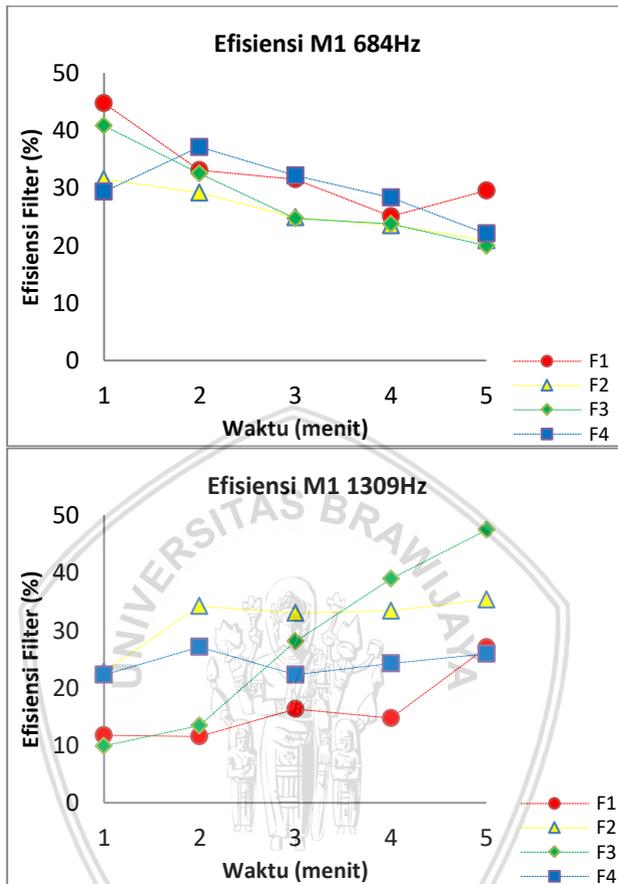
Gambar 4.2. Inverter yang dihasilkan

4.2 Hasil Pengujian Efisiensi Filter

4.2.1 Sampel Motor M1

Untuk mengetahui seberapa besar efisiensi filter F1 sampai dengan F4, maka dilakukan pengujian efisiensi dengan membandingkan data konsentrasi $PM_{0.1}$ sebelum dan sesudah pengaplikasian filter tersebut. Data efisiensi menggunakan sampel motor M1 pada ketiga variasi frekuensi (60, 684, dan 1309Hz) disajikan dalam Gambar 4.3 berikut.



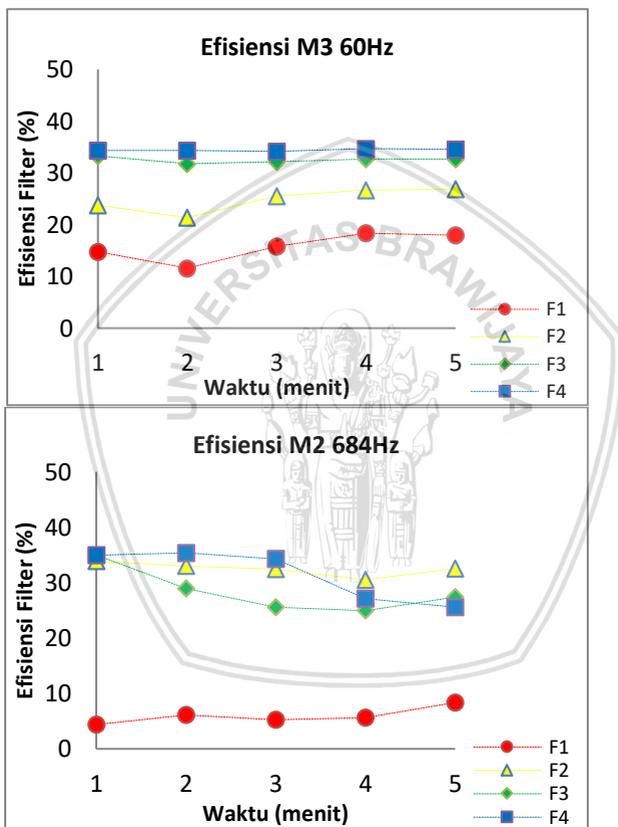


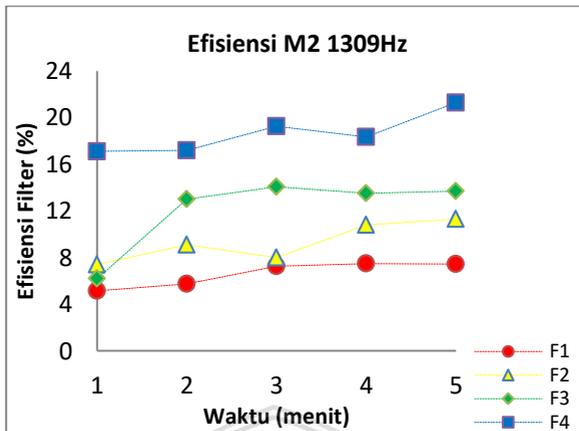
Gambar 4.3. Hasil uji efisiensi menggunakan sampel motor M1

Dari data yang tersaji pada **Gambar 4.3** di atas, diketahui bahwa efisiensi tidak terlalu meningkat seiring dengan berkurangnya frekuensi yang digunakan. Frekuensi terkecil, yakni 60Hz, terbukti menghasilkan efisiensi terbesar berturut-turut filter 1 menit ke tiga 28%, filter 2 menit ke empat 39%, filter 3 menit pertama 30%, filter 3 menit ke lima 43%. Efisiensi terkecil justru diperoleh saat menggunakan frekuensi terbesar, 1309Hz, dengan tingkat efisiensi hanya sebesar 12%, 23%, 10%, 22% untuk filter 1, filter 2, filter 3, dan filter 4.

4.2.2 Sampel Motor M2

Untuk mengetahui seberapa besar konsistensi kinerja filter, uji efisiensi dilakukan pula menggunakan motor yang berbeda, yakni M2. Metode pengukuran yang dilakukan tetap sama, dengan membandingkan data konsentrasi $PM_{0.1}$ sebelum dan sesudah pengaplikasian filter tersebut. Data efisiensi menggunakan M2 pada ketiga variasi frekuensi disajikan dalam **Gambar 4.4.** berikut.





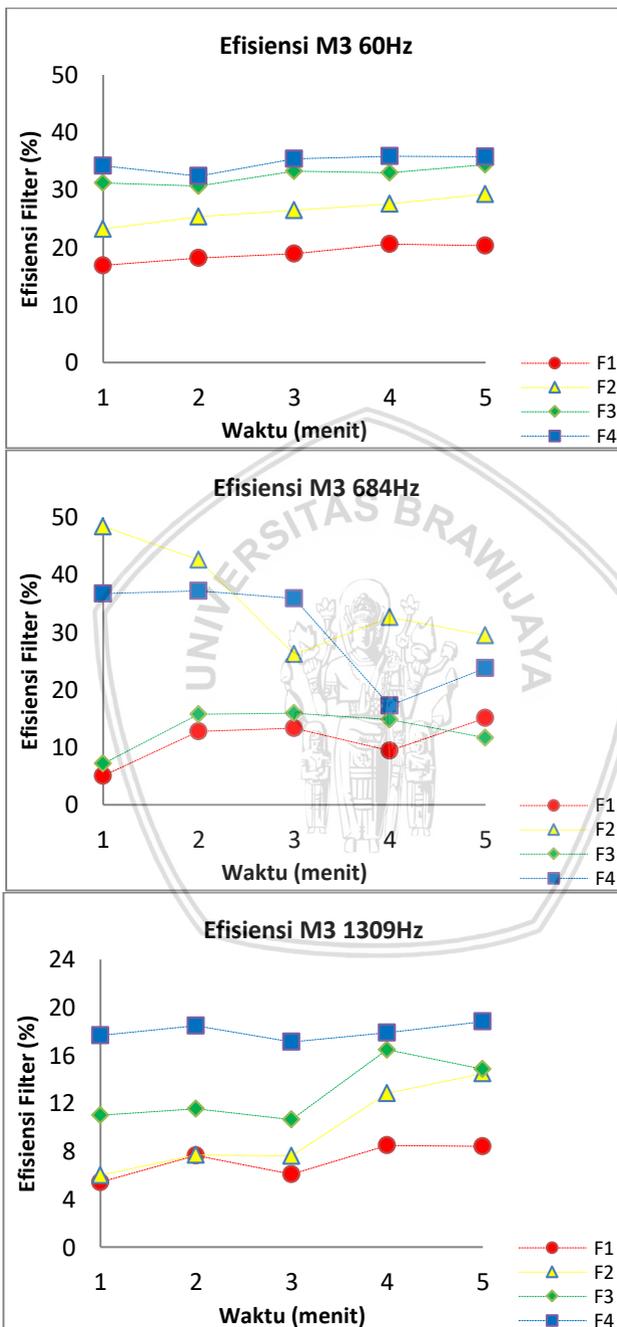
Gambar 4.4. Hasil uji efisiensi menggunakan sampel motor M2

Dari data yang tersaji pada **Gambar 4.4** di atas, didapatkan *trend* atau kecenderungan perilaku yang sama dengan hasil yang diperoleh pada sampel motor M1. Diketahui bahwa efisiensi juga meningkat seiring dengan berkurangnya frekuensi yang digunakan. Frekuensi terkecil, yakni 60Hz, menghasilkan efisiensi terbesar (pada menit kelima) berturut turut 18%, 27%, 33%, dan 35% untuk F1, F2, F3, fan F4. Efisiensi terkecil (untuk menit kelima) justru diperoleh saat menggunakan frekuensi terbesar, 1309Hz, dengan tingkat efisiensi hanya sebesar 7%, 11%, 14%, dan 21% untuk F1, F2, F3, dan F4. Efisiensi juga tetap meningkat seiring dengan bertambahnya waktu, di mana efisiensi pada menit pertama jauh lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi pada menit terakhir pengujian, yakni menit kelima.

Namun, sedikit anomali didapatkan pada frekuensi kedua (684Hz), di mana F1 tetap menghasilkan efisiensi terkecil, namun F2 menghasilkan efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan F3. Pada menit pertama pengujian, F2 sedikit lebih rendah dibandingkan dengan F3. Tetapi, sejak menit kedua hingga menit kelima, efisiensi F2 lebih besar daripada F3. F4 bahkan mengalami penurunan efisiensi pada menit-menit akhir.

4.2.3 Sampel Motor M3

Data efisiensi menggunakan sampel motor M3 pada ketiga variasi frekuensi (60Hz, 684Hz, dan 1309Hz) disajikan dalam **Gambar 4.5** berikut.

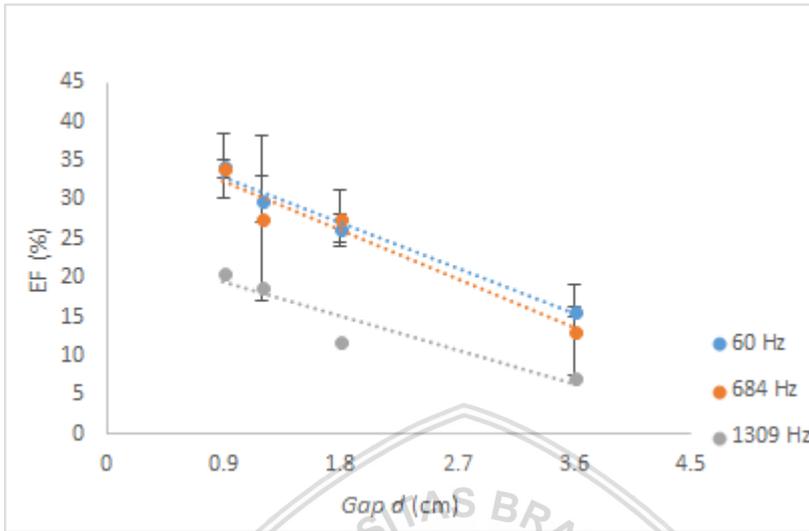


Gambar 4.5. Hasil uji efisiensi menggunakan sampel motor M3

Data pada **Gambar 4.5** membuktikan konsistensi kinerja filter, di mana efisiensi yang didapatkan memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil yang diperoleh pada sampel motor M1 dan M2. Pada menit kelima, frekuensi terkecil menghasilkan efisiensi terbesar berturut turut 20%, 29%, 34%, dan 36% untuk F1, F2, F3, fan F4. Di sisi lain, pada menit kelima, efisiensi terkecil juga diperoleh saat menggunakan frekuensi terbesar, 1309Hz, dengan tingkat efisiensi hanya sebesar 8%, 14%, 15%, dan 19% untuk F1, F2, F3, dan F4. Efisiensi juga tetap meningkat seiring dengan bertambahnya waktu, di mana efisiensi pada menit pertama jauh lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi pada menit terakhir pengujian, yakni menit kelima. Namun, sedikit anomali didapatkan pada menit kedua dan ketiga untuk F1 dan F4. Anomali lebih besar ditemukan pada F3. Hal ini dimungkinkan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang akan dibahas lebih detail pada sub bab pembahasan.

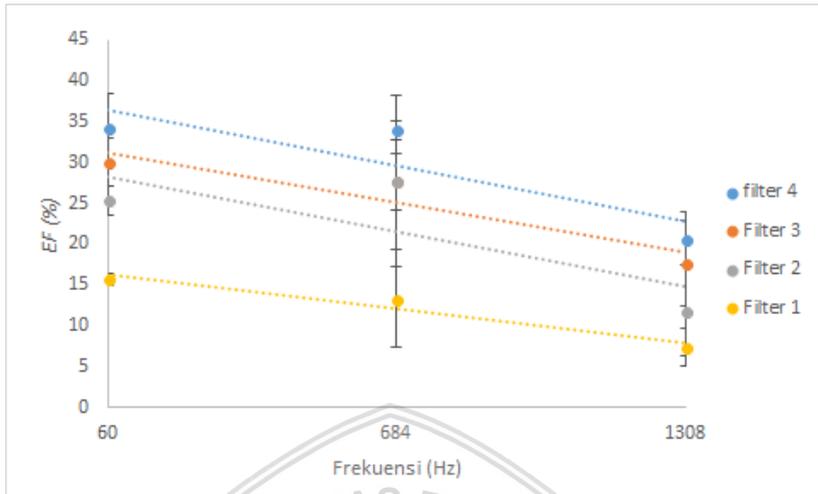
4.2.4 Efisiensi Rata-rata

Data pada **Gambar 4.3** sampai dengan **Gambar 4.5** menunjukkan efisiensi filter yang diperoleh untuk masing-masing sampel sepeda motor. Untuk mengetahui kinerja filter secara keseluruhan, maka dilakukan perhitungan rata-rata efisiensi filter tersebut. Data hasil pengolahan efisiensi tersebut diinterpretasikan ke dalam nilai rata-rata \pm standar deviasi (dalam persentase) dalam grafik hubungan antara efisiensi filter dengan gap dan efisiensi filter dengan frekuensi. (**Gambar 4.6**).



Gambar 4.6. Hubungan antara gap dengan EF (d1=0,9cm ; d2=1,8cm ; d3=2,7cm ; d4=3,6cm)

Dari **Gambar 4.6**, diketahui bahwa hubungan antara gap dengan efisiensi rata-rata filter mengikuti pola *trendline* linear. Pola tersebut mengikuti persamaan garis $y = -6.54x + 38.84$, $y = -7.04x + 38.87$, dan $y = -4.83x + 23.82$ berturut-turut untuk frekuensi 60Hz, 684Hz, dan 1309Hz. Koefisien determinasi R^2 yang diperoleh berturut-turut sebesar 0.98, 0.95, dan 0.89. Hasil nilai ini menunjukkan adanya hubungan atau korelasi ekstrim linear positif x , di mana semakin lama waktu pengujian memberikan dampak kenaikan efisiensi filter yang signifikan.



Gambar 4.7. Hubungan antara frekuensi dengan efisiensi filter ($f_1=60\text{Hz}$, $f_2=684\text{Hz}$, $f_3=1300\text{Hz}$)

Dari **Gambar 4.7**, diketahui bahwa hubungan antara frekuensi dengan efisiensi rata-rata filter mengikuti pola *trendline* linear. Pola tersebut mengikuti persamaan garis $y = -0.01x + 16.68$, $y = -0.01x + 29.01$, $y = -0.01x + 31.88$, dan $y = -0.01x + 37.16$ berturut-turut untuk frekuensi 60Hz, 684Hz, dan 1309Hz. Koefisien determinasi R^2 yang diperoleh berturut-turut sebesar 0.93, 0.62, 0.89, dan 0.77. Hasil nilai ini menunjukkan adanya hubungan atau korelasi ekstrim linear positif (Eeftens dkk., 2015), di mana semakin lama waktu pengujian memberikan dampak kenaikan efisiensi filter yang signifikan.

4.3 Pembahasan

Dari filter yang telah dihasilkan memiliki efisiensi sebesar 3 hingga 25%. Efisiensi tersebut berbeda-beda sesuai dengan variasi filter yang telah dibuat. Efisiensi tersebut bisa dibilang rendah apabila dibandingkan dengan filter yang sama akan tetapi arusnya yang berbeda, yaitu arus DC (searah) (Wardoyo & Budianto, 2017). Penggunaan arus DC terbukti berhasil mereduksi partikulat dengan aproksimasi linier (Budianto & Wardoyo, 2016). Bagaimanapun, aplikasi dari medan listrik AC tergolong jarang diuji coba dan andaikan terdapat teori-teori hanya sebatas apriori dalam bidang filtrasi. Filter elektrostatis dengan arus DC dapat menghasilkan efisiensi 17% lebih baik jika dibandingkan dengan filter yang sedang

dikembangkan ini. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi *ambient* tempat pengambilan data atau pengukuran, jarak antara plat atau gap (d), *frekuensi* (f), bentuk aliran fluida, dan *flow rate* emisi yang perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

Dari hasil penelitian (data terlampir), dapat diketahui bahwa nilai efisiensi dipengaruhi oleh frekuensi yang diberikan. Hal tersebut didukung pula oleh **Gambar 4.6 - 4.7**, di mana f dan gap terhadap EF yang menunjukkan semakin rendah nilai frekuensi f maka semakin meningkat EF filter dan semakin besar nilai gap semakin rendah nilai EF filter. Hasil ini memiliki kesamaan dengan penelitian sebelumnya (Budianto & Wardoyo, 2016; Wardoyo dkk., 2017).

Semakin lama waktu pengujian, semakin besar efisiensi filter. Di sisi lain, semakin lama waktu pengujian memberikan peningkatan temperatur. Secara tidak langsung, hal ini membuktikan bahwa efisiensi memiliki hubungan dengan temperatur. **Gambar 4.3 – 4.5** menunjukkan bahwa efisiensi filter dipengaruhi oleh waktu. Semakin lama waktu pengujian, semakin besar efisiensi filter. Di sisi lain, semakin lama waktu pengujian memberikan peningkatan temperatur. Secara tidak langsung, hal ini membuktikan bahwa efisiensi memiliki hubungan dengan temperatur.

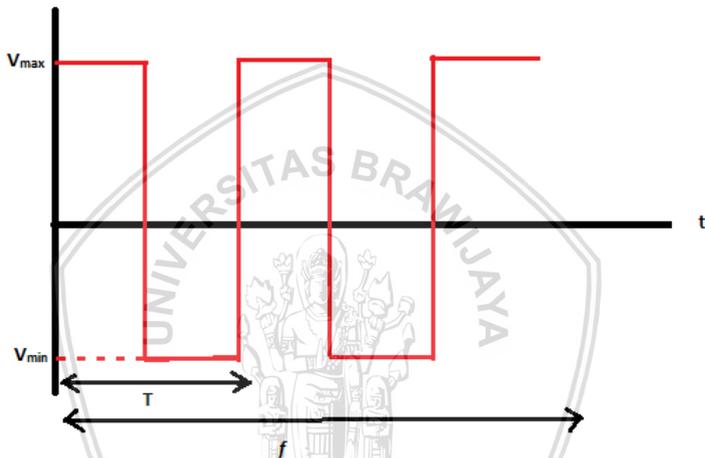
Data efisiensi yang diperoleh memiliki pola *trendline* yang sama dengan penelitian yang dikembangkan oleh Budianto & Wardoyo (2016). Namun, tingkat efisiensi yang dihasilkan masih sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan listrik arus DC pada penelitian tersebut. Hal ini sesuai dengan uraian sebelumnya, bahwasannya arus AC dan DC memiliki perbedaan karakteristik yang dapat mempengaruhi kinerja filter berbasis elektrostatis ini.

Pemilihan lebar gap maksimal sebesar 3,6 cm berkaca pada dimensi maksimal knalpot standar (5 cm) pada bagian outlet dengan mengubah dimensi lingkaran menjadi kubus, titik kulminasi yang diperoleh adalah sebesar 3,6 cm pada bagian sisi kubus. Setelah diperoleh titik kulminasi selanjutnya dilakukan panjang plat minimal yang diperlukan agar partikulat dapat menempel pada plat saat berada pada titik kulminasi tersebut. Berdasarkan penelitian panjang plat minimal yang harus diperoleh sebesar 0,8 cm (Budianto & Wardoyo, 2016). Secara eksentif panjang plat sebesar 8 cm akan lebih mudah menangkap filter apabila terjadi aglomerasi pada titik

nakhirnya (10 kali lipat dari panjang minimal). Hal ini juga dapat bermanfaat saat digunakan listrik berarus AC, mengingat arus AC bersifat osilatif (Gambar 4.8).

Dalam listrik arus bolak-balik (AC), terdapat besaran frekuensi gelombang. Saat dilakukan perbandingan dengan filter partikulat berbasis radiasi (*reheated filter*), Frekuensi f dapat ditentukan dengan:

$$f = \frac{1}{T} \quad (4.1)$$



Gambar 4.8 Gelombang kotak arus AC

Proses yang akan terjadi ketika partikulat melewati filter partikulat berbasis kapasitor multi menggunakan sumber tegangan AC adalah sebagai berikut : Ketika sebuah plat sejajar dihubungkan pada suatu sumber tegangan AC, maka medan listrik (E) yang homogen akan timbul dan memiliki arah medan dari polaritas ($V+$) ke ($V-$). Telah diketahui polaritas yang terdapat pada arus AC dapat berubah-ubah secara periodic, oleh sebab itu arah medan listrik yang terdapat pada plat filter berubah sesuai dengan frekuensi yang datang dari sumber AC yang diberikan kepada filter. Ketika $PM_{0.1}$ dengan jari-jari (r) memiliki kecepatan awal v_0 (data anemometer) dan seharusnya memiliki gerak lurus yang beraturan, pada saat melewati medan listrik (E) setengah periode gelombang AC terdapat medan dari arah ($V+$) ke ($V-$). Partikel akan mengalami gaya peluru dari 2 arah tersebut yang menghambat pergerakan (bias juga

menghentikan pergerakan) dikarenakan adanya pengaruh gaya elektrostatis F . partikel bermuatan akan tertarik pada plat tersebut dengan medan magnet yang telah dihasilkan dengan sumbu vertikal, sehingga partikel tersebut bergerak yang semula lurus menjadi gerak peluru pada saat partikel melewati plat sejajar tersebut. Kemudian setelah gelombang AC melewati setengah periode maka akan terjadi polaritas ($V+$) dan ($V-$) yang terdapat pada kedua buah plat sejajar sehingga menyebabkan arah medan listrik berubah. Pada saat terjadi perubahan arah medan listrik maka partikel yang telah menempel pada plat sejajar (yang terdapat pada filter) terlepas dan bergerak menuju plat lain yang memiliki polaritas berlawanan dengan muatan partikel. Pergerakan partikel yang menempel menuju plat akan sama dengan pergerakan partikel menempel menuju plat pada saat setengah periode gelombang AC (menuju plat yang berlainan). Proses perpindahan partikel dari plat satu ke plat yang lainnya terjadi pada setiap satu periode gelombang AC. Hal ini akan terus berlangsung hingga partikel keluar dari filter, sehingga partikel tersebut hanya tertahan pada filter tersebut dengan jangka waktu tertentu.

Agar dapat mempermudah interpretasi proses ini, dapat dimisalkan suatu partikel memiliki muatan ($q+$) berada pada jarak $0.9 \times 10^{-2}m$ dari plat yang memiliki polaritas negative ($V-$) pada setengah periode gelombang AC. Maka jarak terjauh yang dapat ditempuh oleh partikulat (gerak peluru) tersebut sebelum tepat menempel pada plat positif dapat ditentukan dengan prinsip Hukum II Newton, elektrositas, dan gerak peluru sebagai berikut :

$$a_y = \frac{F}{m} = \frac{q \cdot E}{m} \quad (4.2)$$

Mengingat $F = q \cdot E$ dan menurut Hukum II Newton, jumlah gaya ΣF akan sama dengan jumlah massa (m) dikalikan dengan percepatannya (a). Dalam persamaan gerak peluru, partikel tersebut memiliki percepatan pada komponen y saja (a_y). Dari persamaan tersebut, diketahui bahwa dalam titik asalnya tersebut, partikulat berada dalam titik tertinggi, sehingga tidak memiliki komponen kecepatan vertikal ($v_{0y} = 0$). Namun untuk komponen horisontalnya, seperti titik jatuh partikulat di sumbu x , dapat dicari menggunakan persamaan :

$$x = v_{0x} \cdot t = v_0 \cdot t \quad (4.3)$$

Dari persamaan di atas didapatkan bahwa $t = \frac{x}{v_0}$. Untuk menentukan jarak terjauh partikulat (x) yang merupakan panjang plat minimum yang ditargetkan $x = p_{min}$ dalam penelitian ini, maka dengan menggunakan prinsip gerak peluru, dapat ditemukan persamaan :

$$y = v_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} a_y t^2 \quad (4.4)$$

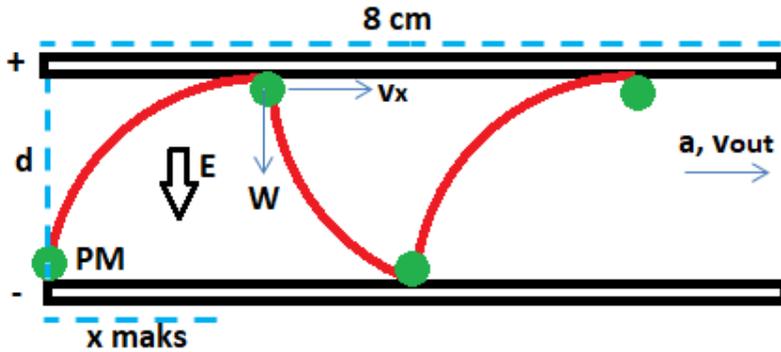
$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{q \cdot E}{m} \right) t^2 \quad (4.5)$$

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{q \cdot E}{m} \right) \frac{x^2}{v_0^2} \quad (4.6)$$

Maka :

$$x = \sqrt{\frac{2myv_0^2}{q \cdot E}} \quad (4.7)$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai jarak terjauh untuk $PM_{0,1}$ dengan tegangan 12 volt dan jarak antar filter sebesar 0.9×10^{-2} m adalah x (dari hasil berupa jarak terjauh partikel). Menurut persamaan gerak peluru 4.4, waktu yang dibutuhkan oleh partikel untuk menempel sebesar $0,774 \times 10^{-6}$ s. Menurut persamaan frekuensi di atas, waktu setengah periode gelombang untuk frekuensi 60 Hz adalah 8×10^{-2} s (sebagai contoh). Dari perbandingan nilai waktu yang dibutuhkan oleh sebuah partikel untuk menempel dan waktu setengah periode gelombang (untuk seluruh variasi frekuensi yang diuji) dapat diketahui bahwa partikel dapat menempel pada plat sebelum polaritas yang terdapat pada plat berubah. Selain itu jarak yang ditempuh partikel untuk setengah periode untuk frekuensi 60 Hz, 684 Hz, dan 1309 Hz adalah sama, yaitu jarak terjauh partikel menempel pada plat (x). Dalam suatu periode gelombang AC partikel menempuh jarak yaitu 2 kali jarak terjauh partikel untuk menempel pada sebuah plat.



Gambar 4.9 Gerak partikel melewati plat sejajar

Dari gambar tersebut dapat pula diketahui bahwa terdapat komponen v pada sumbu x , v merupakan kecepatan aliran fluida pada knalpot (data flowrate pada anemomaster). Sehingga, perbedaan kecepatan aliran fluida yang terdapat pada setiap motor juga dapat berpengaruh pada jarak terjauh partikel untuk menempel (x). Hal tersebut juga terdapat pada persamaan 4.5 dimana x dan v berbanding lurus dengan *flowrate*. Kecepatan fluida yang semakin meningkat menyebabkan jarak terjauh partikel untuk menempel (x) semakin besar dan menyebabkan waktu yang dibutuhkan partikel untuk keluar dari filter semakin cepat.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini juga sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan filter partikulat metode porositas, seperti DPF (*Diesel Particulate Filter*) yang diterapkan di sepeda motor. Dengan pengujian menggunakan PM jenis yang sama, yakni $PM_{0.1}$, filter DPF berbahan sabut kelapa ini menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 42% hingga 50% (Wahyuningrum dkk., 2014).

Jika dilakukan perbandingan dengan PM berdiameter lebih besar, yakni $PM_{2.5}$, filter DPF ini memiliki efisiensi rata-rata sebesar 36%-47% (Wahyuningrum dkk., 2014). Untuk filter lainnya, filter lembaran tipis yang berasal dari biomassa yang dikembangkan oleh Pawestri dkk. (2014) terbukti mampu memfilter $PM_{2.5}$ dengan tingkat efisiensi 16% hingga 47%. Namun hasil penelitian menggunakan PM berdiameter lebih besar ini tidak dapat dibandingkan secara langsung mengingat ukuran PM yang diuji berbeda, di mana tiap-tiap jenis PM memiliki karakteristik tertentu yang berbeda-beda pula.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Telah berhasil dibuat empat buah variasi filter $PM_{0,1}$ berbasis kapasitor multi tegangan 12 Volt AC, dengan variasi frekuensi 60 Hz, 684 Hz, dan 1309 HZ. Filter tersebut terbuat dari bahan aluminium dengan variasi jarak gap 0,9 cm hingga 3,6 cm
2. Efisiensi filter bergantung dari frekuensi sumber AC dan lebar *gap*. Dimana frekuensi rendah 60 Hz memiliki efisiensi tertinggi yaitu 27% hingga 35%, sementara itu lebar *gap* terkecil memiliki efisiensi tertinggi sebesar 30% hingga 35%.

5.2 Saran

Untuk penelitian yang akan datang disarankan :

1. Perlu digunakan frekuensi yang lebih kecil dari 60 Hz dan lebih tinggi dari 1309 Hz untuk lebih mengetahui karakteristik filter tersebut.
2. Perlu digunakan tegangan tinggi sebagai sumber tegangan filter berbasis kapasitor multi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Alias, M., Hamzah, Z., Kenn, L.S., 2007. Pm 10 and Total Suspended Particulates (TSP) Measurements in Various Power Stations. *Malaysian J. Anal. Sci.* 11, 255–261.
- Asgharian, B., Price, O.T., 2007. Deposition of Ultrafine (NANO) Particles in the Human Lung. *Inhal. Toxicol.* 19, 1045–1054. doi:10.1080/08958370701626501
- Brauer, M., Hoek, G., Van Vliet, P., Meliefste, K., Fischer, P.H., Wijga, A., Koopman, L.P., Neijens, H.J., Gerritsen, J., Kerkhof, M., Heinrich, J., Bellander, T., Brunekreef, B., 2002. Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 166, 1092–1098. doi:10.1164/rccm.200108-007OC
- Budianto, A., Wardoyo, A.Y.P., 2016. DC Low Electrostatic Voltage Particulate Filter: PM 0 . 1 And PM 2 . 5 Emission Efficiency Measurement. *Int. Semin. Sensors, Instrumentation, Meas. Metrol.* 115–118.
- Dwyer, H., Ayala, A., Zhang, S., Collins, J., Huai, T., Herner, J., Chau, W., 2010. Emissions from a diesel car during regeneration of an active diesel particulate filter. *J. Aerosol Sci.* 41, 541–552. doi:10.1016/j.jaerosci.2010.04.001
- Eeftens, M., Phuleria, H.C., Meier, R., Aguilera, I., Corradi, E., Davey, M., Ducret-Stich, R., Fierz, M., Gehrig, R., Ineichen, A., Keidel, D., Probst-Hensch, N., Ragettli, M.S., Schindler, C., Künzli, N., Tsai, M.-Y., 2015. Spatial and temporal variability of ultrafine particles, NO₂, PM_{2.5}, PM_{2.5} absorbance, PM₁₀ and PM_{coarse} in Swiss study areas. *Atmos. Environ.* 111, 60–70. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.03.031
- Ferdiaz, S., 1992. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Fierro, M., 2001. Particulate matter, in: *Environmental Protection*. pp. 1–11. doi:10.1016/j.atmosenv.2
- Geng, P., Zhang, H., Yang, S., 2015. Experimental investigation on the combustion and particulate matter (PM) emissions from a port-fuel injection (PFI) gasoline engine fueled with methanol–ultralow sulfur gasoline blends. *Fuel* 145, 221–227. doi:10.1016/j.fuel.2014.12.067
- Gilli, G., Traversi, D., Rovere, R., Pignata, C., Schilirò, T., 2007.

- Chemical characteristics and mutagenic activity of PM₁₀ in Torino , a Northern Italian City 385, 97–107. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.07.006
- Han, Y., Zhu, T., Guan, T., Zhu, Y., Liu, J., Ji, Y., Gao, S., Wang, F., Lu, H., Huang, W., 2016. Association between size-segregated particles in ambient air and acute respiratory inflammation. *Sci. Total Environ.* 565, 412–419. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.196
- Hart, J.E., Liao, X., Hong, B., Puett, R.C., Yanosky, J.D., Suh, H., Kioumourtzoglou, M., Spiegelman, D., Laden, F., 2015. The association of long-term exposure to PM_{2.5} on all-cause mortality in the Nurses' Health Study and the impact of measurement-error correction. *Environ. Heal.* 14, 1–9. doi:10.1186/s12940-015-0027-6
- Ibald-mulli, A., Wichmann, H., Kreyling, W., Peters, A., 2002. Epidemiological Evidence on Health Effects of Ultrafine Particles. *J. Aerosol Med.* 15, 189–201. doi:10.1089/089426802320282310
- Ii, B.A.B., Pustaka, T., 2009. Hubungan antara..., Dian Eka Sutra, FKM UI, 2009 7–32.
- Kampa, M., Castanas, E., 2008. Human health effects of air pollution. *Environ. Pollut.* 151, 362–367. doi:10.1016/j.envpol.2007.06.012
- Kesavachandran, C.N., Kamal, R., Bihari, V., Pathak, M.K., Singh, A., 2015. Particulate matter in ambient air and its association with alterations in lung functions and respiratory health problems among outdoor exercisers in National Capital Region, India. *Atmos. Pollut. Res.* 6, 618–625. doi:10.5094/APR.2015.070
- Ku, B.K., Deye, G.J., Kulkarni, P., Baron, P.A., 2011. Bipolar diffusion charging of high-aspect ratio aerosols. *J. Electrostat.* 69, 641–647. doi:10.1016/j.elstat.2011.08.006
- Kumar, P., Morawska, L., Birmili, W., Paasonen, P., Hu, M., Kulmala, M., Harrison, R.M., Norford, L., Britter, R., 2014. Ultrafine particles in cities. *Environ. Int.* 66, 1–10. doi:10.1016/j.envint.2014.01.013
- Lestari, F., 2007. Bahaya Kimia sampling dan pengukuran kontaminan di udara. EGC, Jakarta.
- Morawska, L., Zhang, J. (Jim), 2002a. Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures. *Chemosphere* 49, 1045–1058. doi:10.1016/S0045-6535(02)00241-2

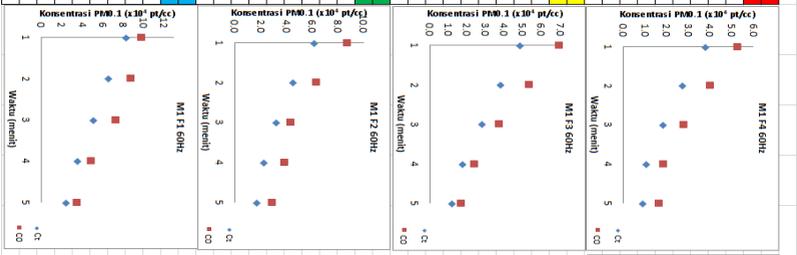
- Morawska, L., Zhang, J.J., 2002b. Combustion sources of particles . 1 . Health relevance and source signatures. *Chemosphere* 49, 1045–1058.
- Mudakavi, J.R., 2010. Principles and Practices of Air Pollution Control and Analysis. I.K. International Publishing House, New Delhi.
- Noh, K., Lee, J., Kim, C., Yi, S., Hwang, J., 2011. Filtration of Submicron Aerosol Particles Using a Carbon Fiber Ionizer-assisted Electret Filter. *Aerosol Air Qual. Res.* 11, 811–821. doi:10.4209/aaqr.2011.05.0060
- Pandey, a., Venkataraman, C., 2014. Estimating emissions from the Indian transport sector with on-road fleet composition and traffic volume. *Atmos. Environ.* 98, 123–133. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.08.039
- Pawestri, M.A., Wardoyo, A.Y.P., Yuana, F., 2014. Sistem Filter PM_{2,5} Berbahan Campuran Serbuk Sabut Kelapa Dan Lem Kanji Dengan Perbandingan 50:50 I, 1–4.
- Phalen, R.F., Phalen, R.N., 2013. Introduction to Air Pollution Science : A Public Health Perspective. Jone & Bartlett Learning, Burlington.
- Sabaliauskas, K., Evansa, G., Jeonga, C.-H., 2012. Source Identification of Traffic-Related Ultrafine Particles Data Mining Contest. *Procedia Comput. Sci.* 13, 99–107. doi:10.1016/j.procs.2012.09.118
- Sioutas, C., Delfino, R.J., Singh, M., 2005. Exposure Assessment for Atmospheric Ultrafine Particles (UFPs) and Implications in Epidemiologic Research. *Environ. Health Perspect.* 113, 947–956. doi:10.1289/ehp.7939
- Spellman, F.R., 2009. The Science of Air: Concepts and Applications, second edi. ed. Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Suhariyono, G., Wiyono, M., 2003. Distribusi Diameter Partikel Debu PM₁₀ Dan PM_{2,5} Dalam Udara Sekitar Kawasan Pabrik Semen, Citeureup-Bogor. *Pros. Semin. Aspek Keselam. Radiasi dan Lingkungan. Pada Ind. Non Nukl.* 161–173.
- Syakur, A., Warsito, A., Nurlailati, 2009. Aplikasi Tegangan Tinggi DC Sebagai Pengendap Debu Secara Elektrostatik. *Teknologi Elektro* 8(1).
- Szymczak, W., Menzel, N., Keck, L., 2007. Emission of ultrafine copper particles by universal motors controlled by phase angle

- modulation. *J. Aerosol Sci.* 38, 520–531. doi:10.1016/j.jaerosci.2007.03.002
- Thomson, E.M., Williams, A., Yauk, C.L., Vincent, R., 2009. Toxicogenomic analysis of susceptibility to inhaled urban particulate matter in mice with chronic lung inflammation. Part. *Fibre Toxicol.* 6, 1–18. doi:10.1186/1743-8977-6-6
- TSI Incorporated, 2013. P-TRAK Ultrafine Particle Counter Model 8525 Operation and Service Manual.
- Valentino, A., Wardoyo, Arinto, T.P., Darmawan, H.A., 2013. Pengaruh Bahan Bakar Minyak Terhadap Emisi Partikel Ultrafine (UP) Sepeda Motor. *Phys. Student J.* 1, 1–4.
- Wahyuningrum, A., Wardoyo, A.Y.P., Darmawan, H.A., 2004. Sistem Filtering Berbahan Serabut Kelapa Untuk Emisi Partikulat PM 2,5 (Particulate Matter 2,5) dari Sepeda Motor. *Phys. Student J.* 1, 10–12.
- Wardoyo, A.Y.P., Budianto, A., Abdurrouf, 2017. Filtration of Submicron Particles From Motorcycle Emission Using a DC Low Electrostatic Filter. *Int. J. Appl. Eng. Res.* 12, 1725–1728.
- Weichenthal, S., Crouse, D.L., Pinault, L., Godri-Pollitt, K., Lavigne, E., Evans, G., van Donkelaar, A., Martin, R. V, Burnett, R.T., 2016. Oxidative burden of fine particulate air pollution and risk of cause-specific mortality in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *Environ. Res.* 146, 92–9. doi:10.1016/j.envres.2015.12.013

LAMPIRAN

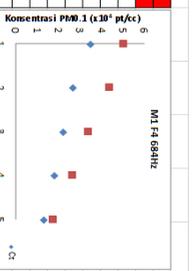
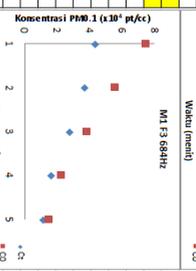
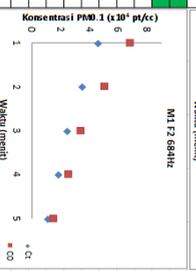
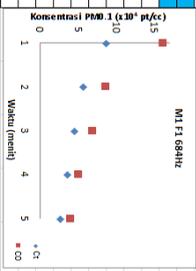
A. Konsentrasi dan Efisiensi PM_{0.1} Sampel Motor 1 1. Frekuensi 60 Hz

Mentor	M1 60 Hz					Efisiensi (%)									
	1	2	3	4	5										
1	39900	28800	19800	10000	9130	53900	41400	27300	18500	16500	26	30	27	45	45
2	39900	27100	17400	11400	9050	55300	37400	27400	18500	16400	28	28	36	38	45
3	37800	26800	17600	10900	9140	51800	40800	27400	18900	16400	27	34	36	39	44
4	37400	26600	17900	10800	9100	51700	40600	27800	18000	16100	28	34	36	40	44
5	37700	29100	18500	11100	9210	52600	38600	29200	18700	16000	28	25	37	39	43
6	38000	27500	20000	10900	9930	50400	39000	27600	19000	16000	25	30	27	43	40
7	38800	28200	20500	10900	9160	51800	40600	28300	19400	16000	25	31	28	44	44
Mean	38457	27729	18843	10871	9160	52500	38229	27857	18514	16343	27	30	32	41	43
SD	398	373	491	149	113	614	539	258	198	57	1	1	1	1	1
Mentor	M2 60 Hz					Efisiensi (%)									
	1	2	3	4	5										
1	50000	36600	29500	19400	13200	71400	50000	33800	23300	16500	30	29	22	17	20
2	46600	38200	29600	18500	12300	63800	51400	36400	23400	16500	30	26	23	22	26
3	50500	39500	26400	18600	12700	71800	54800	35400	22400	16000	30	28	21	21	28
4	50900	38700	29900	18400	11800	71600	54600	35800	22800	16000	29	29	22	23	28
5	47100	38300	27200	18200	12500	69400	53400	35700	25200	16200	30	27	25	28	23
6	49300	41900	27700	17200	12500	69400	53400	35700	22800	17000	29	27	24	27	26
7	47900	36600	28500	16600	13100	68600	54600	35500	24800	17400	30	33	20	32	25
Mean	48814	38457	28357	18066	12514	69386	53114	37029	23857	16514	30	28	23	24	24
SD	699	733	520	349	218	917	653	501	258	198	0	1	1	1	1
Mentor	M3 60 Hz					Efisiensi (%)									
	1	2	3	4	5										
1	59000	47400	33300	21600	19300	86500	60400	44400	39300	31500	32	22	22	45	39
2	66100	41900	36000	24800	19300	87800	61400	46200	39400	28500	24	32	22	38	32
3	64200	46900	33700	24200	17600	87800	64800	43400	38400	27000	27	28	22	37	31
4	62300	46700	30100	24600	19400	87600	66600	41500	38800	28000	29	28	27	37	31
5	61900	45600	32400	23600	16900	88600	62600	42700	38200	27200	30	27	26	38	39
6	60800	46800	32500	21400	16900	88400	63400	43700	36600	27500	30	26	24	42	39
7	61200	44400	31300	23700	17600	87500	66100	41500	39300	29400	30	31	25	40	40
Mean	62286	45557	32343	23866	18100	87040	63114	43314	38571	28433	29	28	23	39	36
SD	689	714	713	509	467	296	686	627	373	597	1	1	1	1	1
Mentor	M4 60 Hz					Efisiensi (%)									
	1	2	3	4	5										
1	86000	66400	53700	38900	29500	96000	85400	74400	49300	33900	12	22	28	23	30
2	86100	65400	54900	34900	25800	100000	85400	71200	49700	33500	14	24	24	29	29
3	82100	65500	50000	35000	25600	96000	88900	73400	48400	34000	14	27	32	28	32
4	82100	65400	48900	37100	23800	101000	88900	73500	48200	34200	15	25	25	25	26
5	84000	65800	55200	36000	25200	99000	87600	72700	46600	34500	18	21	33	21	25
6	81500	69500	48600	38600	25800	99000	88400	72700	46600	34500	18	21	33	21	25
7	86600	66500	53700	36700	25400	98200	89700	71500	49300	34600	10	25	25	27	27
Mean	80357	66637	51386	36271	25157	98423	87971	72866	48571	34443	15	25	28	25	27
SD	823	552	594	494	413	719	613	493	373	384	1	1	1	1	1



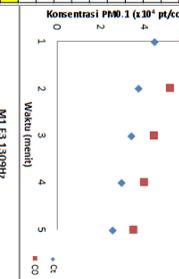
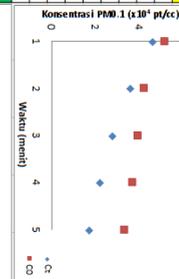
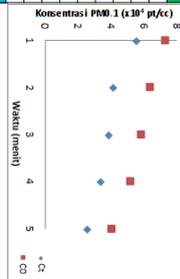
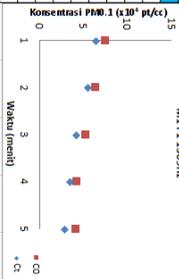
2. Frekuensi 684 Hz

Mentik ke	MI 684 Hz					MI 14 684Hz									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
1	32000	27900	22100	18700	12400	51000	36200	35400	27200	15200	38	23	38	31	18
2	44800	26200	22300	17200	13100	51500	43100	34500	27900	15100	33	39	35	37	13
3	35900	28700	23700	19300	13100	51800	44900	34800	27600	15600	30	36	32	30	22
4	34100	25800	22400	18500	13500	50100	43700	24800	26100	15700	32	41	36	29	14
5	35100	27500	22800	18800	13500	50000	46400	42300	31600	22400	32	39	28	16	30
6	37900	26700	22700	19600	13700	50300	45100	33800	28300	19100	25	41	32	25	28
7	42300	27200	22700	18400	14300	49900	49500	30100	25300	19500	30	41	25	29	28
Mean	34000	27143	22671	18657	13371	50143	43443	33543	28143	17780	29	37	32	28	22
SD	466	379	196	278	223	676	743	1260	780	780	2	2	2	2	3
Mentik ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	41000	39400	27400	18900	12500	76400	53100	38400	25300	18000	46	28	29	26	22
2	42900	36600	26900	18000	12000	73100	53700	39500	21500	16900	41	28	32	16	29
3	50000	39300	29300	14900	11600	78300	53200	39800	24400	13900	36	39	26	39	24
4	41900	36800	28400	16900	11200	78400	54100	35100	20400	14300	47	28	19	20	13
5	42700	35000	29400	17300	11400	75400	55900	34600	21400	12000	42	37	15	19	5
6	47300	38200	29300	16800	11100	74000	59600	39700	20500	14800	39	36	26	18	25
7	47600	34800	28700	14900	11800	72400	58500	38600	20600	14900	34	41	26	28	22
Mean	44057	37443	28486	16729	11814	74486	55614	37957	22413	14886	41	32	25	24	20
SD	1774	733	375	568	204	1188	829	777	580	580	2	2	2	2	3
Mentik ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	43800	32700	25900	18900	11600	65100	50700	35400	24300	16900	33	35	27	22	31
2	46800	38100	22600	18400	10900	63700	50700	34500	24400	16900	24	25	32	25	2
3	46400	39900	29500	19800	12700	71500	59500	34600	24500	12500	37	21	26	25	2
4	44000	37600	24300	19100	13700	60100	51200	34800	24100	14300	31	36	30	21	4
5	46500	38300	23400	19500	10200	69900	46700	31600	24800	13300	31	21	26	25	33
6	46800	30900	24800	19500	10700	74300	49500	33600	25200	14800	34	36	26	23	28
7	44500	35200	28000	20000	10800	69300	49900	30100	26200	12900	36	29	29	7	24
Mean	46229	33586	25086	19171	11514	67729	49866	33843	25071	14719	32	29	25	24	21
SD	872	1304	601	235	475	1868	387	743	358	568	2	3	3	1	5
Mentik ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	64700	57100	45300	38300	172000	78400	65100	50400	38400	51	25	31	24	32	
2	63700	57800	48700	37800	26400	173000	84100	69700	50700	50500	31	24	25	47	
3	69300	58200	48700	36100	28500	151000	87200	77500	50900	39600	41	33	32	29	28
4	69900	57000	43100	37700	136000	86300	60100	51200	34800	34	32	28	26	25	
5	68700	59600	46500	38900	26800	164000	86900	69900	48700	36100	46	31	33	20	26
6	67000	55100	44000	38300	27200	174000	93400	74300	48500	38600	51	41	41	21	30
7	69000	54900	47400	35100	28200	148000	87400	69500	49300	35100	40	37	32	30	20
Mean	67575	57100	46223	37429	166423	85566	67729	49966	38900	45	33	31	25	30	
SD	749	632	851	506	358	5907	1925	1868	387	1906	3	2	2	3	



3. Frekuensi 1309 Hz

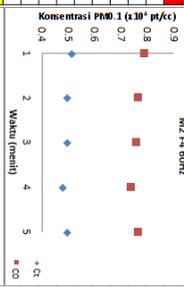
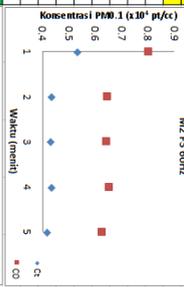
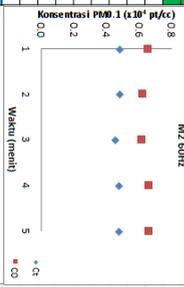
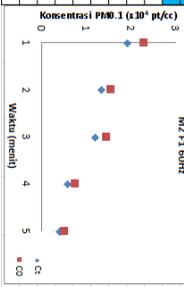
Mentor ke	M1 1309 Hz					Etihaseni (%)									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
1	45300	39100	34500	30800	25200	55900	51600	45300	41000	35200	19	24	23	25	28
2	46600	35700	34200	30400	23500	58400	51100	44900	44400	35400	21	50	24	32	28
3	45300	35900	34100	29600	26800	59400	52400	49800	41000	34100	22	33	22	28	21
4	44800	35400	36700	28700	26200	58100	52400	49900	38900	34900	23	32	16	26	25
5	45200	40600	35200	29700	25700	58800	52000	44100	41000	34500	23	23	20	28	26
6	44900	39600	33900	29600	24540	59900	51400	44200	37100	34600	24	23	23	20	29
Mean	45257	37229	34400	30071	25763	58214	51500	44000	35700	34800	23	25	27	27	24
SD	148	818	618	370	291	454	184	182	105	165	1	2	2	24	26
Mentor ke	CT					CO					Etihaseni (%)				
1	45800	34800	30100	22200	19300	51800	41200	3	4	5	1	2	25	40	5
2	47600	36200	26900	23200	19500	51600	35900	40000	37200	32800	12	16	28	40	41
3	47300	37900	26600	23300	14500	51300	41200	39300	36300	33500	8	7	33	38	41
4	46800	34300	25600	21800	19600	51200	42600	38400	36600	33400	9	8	33	36	57
5	45700	34200	31800	23100	12800	51400	42300	38100	37000	32900	11	19	17	38	61
6	46800	37900	27700	21200	16600	51400	45100	38100	36100	32800	9	16	27	38	41
7	45100	37800	28100	22500	19800	51700	41600	38800	36900	32900	13	9	28	38	40
Mean	46414	36157	28114	22500	17400	51844	41842	39100	36642	33086	10	13	28	39	47
SD	358	653	613	301	1085	94	706	328	211	114	1	2	2	1	3
Mentor ke	CT					CO					Etihaseni (%)				
1	55100	42000	40900	34600	26000	64800	65200	55900	51400	40300	15	36	27	33	35
2	54400	40300	40000	35800	25200	69300	65700	58400	51800	40400	20	39	32	31	38
3	59900	42100	39000	36300	26400	69000	65300	58000	51600	40400	3	36	33	30	35
4	58100	43300	38600	33100	26500	71600	64100	58100	52100	40400	19	32	34	36	34
5	53400	40100	38400	33900	26800	76400	61200	58800	50600	40300	25	34	35	31	35
6	52400	40200	38000	33200	25800	76400	62600	59500	51100	40300	31	32	37	35	36
7	55700	41600	38000	32100	26800	69700	60500	58000	51900	40100	16	31	24	38	34
Mean	55714	41729	38986	34300	26071	72714	65314	58214	51500	40329	23	34	33	33	35
SD	976	445	412	584	184	3060	793	454	195	42	1	2	2	1	0
Mentor ke	CT					CO					Etihaseni (%)				
1	62000	56600	49000	36100	30500	64800	65200	51400	41800	40300	4	13	16	14	24
2	66900	57700	41400	35900	30400	69300	65700	51800	41800	40400	5	12	20	16	25
3	66500	54300	46300	36300	25800	59000	65300	51600	41300	40400	25	17	10	12	27
4	65200	56700	41900	35500	29800	71600	64100	52100	41200	40300	9	12	20	14	28
5	61500	58600	41000	35100	28700	71300	61200	50600	41400	40300	9	4	18	15	29
6	61500	57000	46700	36400	28500	76400	62600	51100	41900	40400	20	9	9	13	29
7	66900	52200	40700	33800	28700	76600	60500	51900	41700	40100	10	14	22	22	28
Mean	64986	56157	49386	35457	29443	74129	65314	51500	41586	40329	12	12	16	15	27
SD	965	826	945	348	315	2920	793	454	106	42	3	3	2	1	1



B. Konsentrasi dan Efisiensi PM_{0,1} Sampel Motor 2

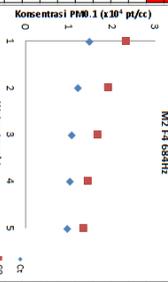
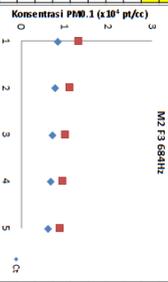
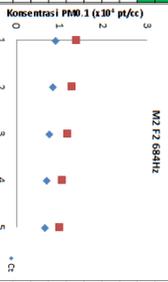
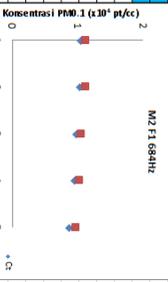
1. Frekuensi 60 Hz

Mentri ke	M2 60 Hz					M2 60 Hz					M2 60 Hz					M2 60 Hz				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	5250	5030	4900	4760	5040	8130	8070	7560	7230	7580	35	38	35	34	34	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8
2	5090	5190	5050	4850	5020	7220	8080	7520	7210	7730	30	36	33	33	33	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
3	5240	5000	5030	4810	4930	8130	8100	7160	7290	7740	36	38	38	34	35	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7
4	5220	4870	5000	4810	4950	8830	7960	8040	8040	7570	35	38	38	36	36	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
5	5160	4910	5020	4710	5010	8020	7040	7590	7340	7490	36	30	34	36	33	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
6	5020	4990	4920	4860	4980	8130	7070	7540	7610	7610	38	29	35	34	33	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
7	5130	4900	4900	4790	4950	7410	7060	7530	7510	7480	31	31	35	36	34	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
Mean	5159	4984	4974	4799	4994	7867	7630	7563	7500	7631	34	34	34	35	35	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
SD	32	41	25	20	16	145	198	97	52	47	1	1	1	1	0	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
Mentri ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8
1	5250	4340	4380	4230	4220	8030	6640	5970	6110	6720	35	37	27	30	37	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
2	5230	4310	4350	4360	4110	8650	6940	6010	6230	6090	35	38	28	30	32	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7
3	5140	4380	4370	4380	4180	7380	6130	6980	6240	6000	36	29	37	30	30	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
4	5170	4310	4300	4370	4190	8040	6720	6820	6710	6840	36	36	37	35	39	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
5	5020	4400	4290	4410	4200	8000	5840	6490	6840	5990	37	25	34	36	30	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
6	5850	4330	4270	4400	4200	8010	6740	6450	6730	6110	27	36	34	35	31	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
7	5780	4450	4360	4460	4290	8010	5720	6150	6790	6090	28	22	29	34	30	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
Mean	5349	4360	4331	4380	4199	8017	6434	6410	6530	6254	33	32	32	33	33	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
SD	124	20	17	21	20	9	197	148	119	137	2	2	2	2	1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Mentri ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
1	4970	4860	4680	4870	4710	6540	6120	6060	6200	6340	24	21	23	21	26	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
2	4830	4820	4680	4870	4820	6180	6180	6020	6850	6710	38	22	22	29	28	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
3	4770	4830	4630	4830	4800	6520	5990	6110	6890	6720	30	19	24	29	26	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
4	4790	4890	4560	4780	4820	6830	6040	6180	6890	6720	30	19	26	31	28	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
5	4960	4970	4850	4780	4800	5300	6590	6150	6760	6610	5	25	26	29	27	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
6	5010	4910	4390	4810	4790	6400	6370	6070	6110	6580	22	25	24	21	27	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
7	4990	4890	4890	4380	4890	6370	6270	6580	6420	6530	22	21	33	25	25	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Mean	4903	4884	4687	4819	4884	6319	6216	6168	6583	6570	24	21	26	27	27	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
SD	39	18	18	15	20	286	78	78	126	49	4	1	1	2	0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Mentri ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
1	18500	14000	12700	6380	4040	21800	15400	14000	7410	5040	15	9	14	14	20	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
2	19500	13900	12000	5920	4130	21700	15400	14700	7450	5020	10	10	18	21	20	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
3	21500	13600	12800	5910	4110	22700	15200	14100	7480	5030	5	11	9	20	18	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
4	20900	13800	11600	5860	4120	23600	15000	14800	7100	4940	11	8	20	16	17	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
5	18000	12900	11900	5820	4120	22200	15100	14890	7000	4840	19	15	22	17	15	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
6	18600	12900	12800	5930	4090	24800	15700	15000	7420	5040	25	18	15	20	19	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
7	18500	14000	11500	5970	4140	22500	15800	13900	7530	4980	17	11	17	21	17	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
Mean	19357	13386	12186	5984	4050	22757	15371	14486	7310	4964	15	12	16	18	18	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
SD	509	184	215	68	15	430	113	177	74	28	2	2	2	2	1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3



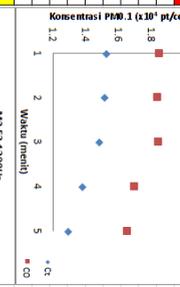
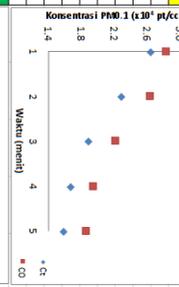
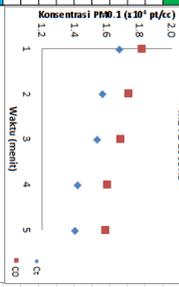
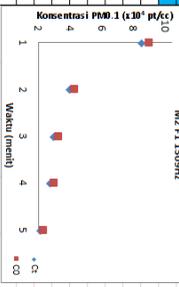
2. Frekuensi 684 Hz

										M2 684 Hz									
Mentil ke		3		4		5		6		7		8		9		10		Efisiensi (%)	
1	15300	12700	11200	10400	10100	22300	19300	15200	14300	13300	31	24	31	27	24	24	24	24	24
2	15000	12800	11100	10500	10000	24100	19700	16200	14300	13300	38	35	31	27	25	25	25	25	25
3	13300	12500	10800	10400	9090	23600	19300	17500	14400	13600	38	35	38	28	33	33	33	33	33
4	15300	12000	10800	10500	9990	23300	19600	16700	14500	13300	34	35	35	35	35	35	35	35	35
5	15100	12000	10700	10500	10000	23300	18700	16200	14400	13100	35	36	34	27	22	22	22	22	22
6	14500	11800	10800	10500	10000	22500	17600	14700	13200	13200	36	33	39	27	23	23	23	23	23
7	15000	12100	11200	10400	10000	22300	19000	16400	14100	13400	33	32	32	32	26	26	26	26	26
Mean	15071	12300	10957	10457	9856	22300	19043	16400	14100	13443	35	35	34	27	26	26	26	26	26
SD	108	141	78	20	142	342	271	213	48	65	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Mentil ke		1		2		3		4		5		6		7		8		Efisiensi (%)	
1	6480	8040	7680	7090	6420	13100	11000	9950	9280	8900	35	27	23	24	28	28	28	28	28
2	6300	7870	7490	7010	6380	13200	11000	9880	9410	8980	36	28	24	26	29	29	29	29	29
3	8380	7760	7380	6940	6520	13300	11000	9920	9410	8650	36	29	26	26	25	25	25	25	25
4	8300	7860	7360	6920	6210	13100	11100	9970	9380	8270	35	29	26	26	26	26	26	26	26
5	8420	7930	7520	7030	6200	13000	11200	9980	9000	8830	34	29	25	22	30	30	30	30	30
6	8520	7780	7200	6930	6380	13000	11000	9980	9280	8860	34	30	28	28	28	28	28	28	28
7	8680	7850	7220	6850	6360	13100	11100	9990	9220	8860	34	29	28	28	28	28	28	28	28
Mean	8326	7889	7407	6967	6356	13144	11071	9954	9284	8704	35	29	26	25	27	27	27	27	27
SD	23	34	65	30	41	40	29	16	55	91	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Mentil ke		1		2		3		4		5		6		7		8		Efisiensi (%)	
1	9040	8550	7850	7200	6600	13700	11800	10700	9880	9110	31	33	33	33	33	33	33	33	33
2	9040	8520	7820	7260	6680	13800	12700	11500	10200	9780	34	33	32	29	30	32	32	32	32
3	9140	8420	7880	7150	6700	13700	11700	11000	10200	9830	33	34	33	30	32	32	32	32	32
4	9280	8440	7850	7150	6630	13800	12600	11600	10300	9900	33	33	32	31	33	33	33	33	33
5	9090	8550	7850	7150	6690	13900	12800	11700	10300	9910	35	32	32	31	32	32	32	32	32
6	9080	8530	7740	7150	6650	13900	12800	11200	10300	9850	35	33	31	31	31	31	31	31	31
7	9080	8590	7740	7100	6670	13900	12900	11500	10200	9940	35	33	33	30	33	33	33	33	33
Mean	9089	8514	7819	7166	6660	13743	12714	11571	10314	9870	34	33	32	31	31	31	31	31	31
SD	36	23	23	19	13	95	40	75	67	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0



3. Frekuensi 1309 Hz

M2 F3 1309Hz															
Mentil ke	Ct					C0					Efisiensi (%)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	15300	15000	14800	13500	12700	13600	18200	18100	19000	16900	23	15	22	22	24
2	15400	15100	14900	13600	12300	13600	18300	18100	19700	16700	15	17	22	19	25
3	15300	15000	14900	13600	12400	13900	18900	19500	18100	16700	18	22	18	19	25
4	15100	15000	14700	13900	13000	16700	17700	18100	16400	16100	14	19	15	19	18
5	15400	15100	14900	13800	13000	18800	19500	17800	17400	16900	14	23	16	21	19
6	15100	15400	15000	14700	13000	13000	18100	18100	18400	16000	12	15	18	15	21
7	15500	15400	14800	13900	13600	13200	18000	18400	17400	16300	20	20	20	17	21
Mean	15300	15186	14871	13857	12971	14866	18371	18429	16971	16486	17	17	19	18	21
SD	58	67	36	153	215	273	288	191	151	151	1	1	1	1	1
M2 F2 1309Hz															
Mentil ke	Ct					C0					Efisiensi (%)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	27400	23900	18900	16900	15800	23900	26800	24400	19900	17900	5	11	12	15	12
2	26000	22500	19200	17400	15700	26700	28800	21200	19700	17800	13	6	9	12	12
3	24400	22500	18500	16800	15600	26900	26100	21300	19000	17600	8	14	13	12	11
4	26500	23300	19000	16900	15500	23800	26100	21800	19500	18100	8	11	13	13	14
5	29500	22800	19900	16800	16500	29900	26200	22500	19700	19700	1	13	12	15	16
6	27500	21800	19400	17100	16900	27800	26400	22500	19000	19400	1	17	18	10	13
7	25800	21500	18400	15800	15900	27700	26500	23400	19300	19900	7	19	21	18	18
Mean	26586	22986	19013	16814	15986	23329	26414	22200	19443	18843	6	13	14	14	14
SD	653	470	196	187	196	413	114	399	134	334	2	2	2	1	1
M2 F1 1309Hz															
Mentil ke	Ct					C0					Efisiensi (%)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	16300	16200	16900	14600	13300	18900	17700	16000	14800	14800	14	8	5	9	10
2	16500	16500	16200	14800	14900	18700	17800	16700	15700	14900	12	7	3	6	6
3	17100	15900	14800	14500	14800	17700	16700	16700	15800	15800	5	10	11	13	6
4	17600	15100	15800	13700	14800	18200	17000	16100	17400	17400	3	11	2	14	15
5	16900	15200	14500	13000	13000	17700	16800	15900	16100	16400	5	10	0	10	21
6	16700	15800	14100	13800	13800	17500	17200	17400	15700	16100	5	8	19	12	14
7	16500	15600	14400	14000	13800	18100	17100	17200	15800	15800	9	9	16	11	13
Mean	16800	15757	15443	14271	14057	14857	138157	13228	16814	16900	7	9	8	11	11
SD	168	191	88	163	294	190	151	131	131	337	0	0	3	1	3



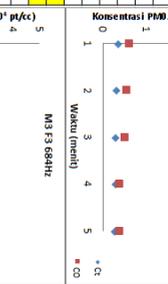
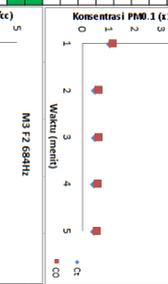
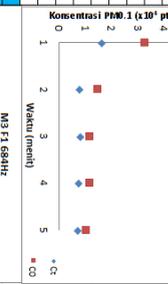
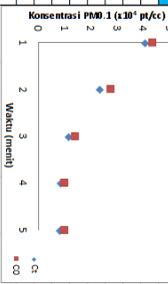
C. Konsentrasi dan Efisiensi PM_{0.1} Sampel Motor 3

1. Frekuensi 60 Hz

Mentri ke	M3 60 Hz					M3 60 Hz					M3 60 Hz					M3 60 Hz				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	13300	6970	3290	3150	3060	22100	9950	5180	4920	4120	40	30	36	36	26	0	1	2	2	2
2	13500	6740	3100	3130	3060	22000	11000	4840	4950	4810	39	30	36	37	36	0	1	2	2	2
3	12900	6400	3180	3020	3080	21400	9980	4930	4960	4990	40	35	35	39	38	0	1	2	2	2
4	13000	6900	3390	3080	3120	20000	9650	5000	4810	4870	35	28	32	36	36	0	1	2	2	2
5	14400	5100	3150	3090	3140	19890	9650	4830	4440	5020	29	44	35	30	37	0	1	2	2	2
6	13600	6950	3160	3060	3140	18200	9350	4940	4830	5010	25	27	36	37	37	0	1	2	2	2
7	12900	6840	3180	3060	3100	18990	10110	5050	4790	5090	32	32	37	36	39	0	1	2	2	2
Mean	13314	6543	3207	3084	3100	20343	9670	4965	4814	4884	34	32	35	36	36	0	1	2	2	2
SD	168	250	37	17	17	578	142	47	68	126	2	2	2	2	2	0	1	2	2	2
Mentri ke	Ct					C0					Efisiensi (%)									
1	14300	8410	5480	4460	4130	20700	10600	7890	7220	5970	31	21	31	38	31	0	1	2	2	2
2	14300	6590	6300	4740	4120	22100	10900	8180	7060	6710	35	34	23	33	39	0	1	2	2	2
3	14800	7250	5710	4750	4120	20800	11100	7280	7000	6110	29	35	22	32	33	0	1	2	2	2
4	13900	6300	4850	4060	4120	20700	10700	7980	6300	6350	33	42	38	36	34	0	1	2	2	2
5	14700	6900	4260	4270	4120	20900	10700	7890	6080	6110	28	41	46	29	30	0	1	2	2	2
6	15100	7990	4780	4240	4190	20690	9610	7570	6340	6700	35	18	37	33	37	0	1	2	2	2
7	13700	7790	4840	4390	4120	21200	10600	7710	6230	6540	35	19	37	30	37	0	1	2	2	2
Mean	14400	7204	5189	4416	4151	20957	10459	7786	6937	6341	31	31	33	33	34	0	1	2	2	2
SD	189	326	258	97	21	229	229	112	181	115	1	4	3	3	3	0	1	2	2	2
Mentri ke	Ct					C0					Efisiensi (%)									
1	15300	11000	8350	5320	4790	18900	13000	10900	7280	5980	19	15	22	27	20	0	1	2	2	2
2	13800	10500	7570	5430	4760	18700	13700	11800	7740	6660	23	23	38	30	21	0	1	2	2	2
3	15000	11000	8400	5420	4740	18900	16000	11100	7890	7080	17	31	24	31	33	0	1	2	2	2
4	15400	10900	8150	5820	4850	19900	15400	11600	7280	7030	23	33	30	20	31	0	1	2	2	2
5	15100	11400	8690	5320	4710	20200	14300	11800	7710	6370	25	20	26	31	28	0	1	2	2	2
6	15600	10000	7970	5700	4810	21800	15200	10700	7890	7880	28	34	26	28	28	0	1	2	2	2
7	15900	11500	9530	5610	4780	21000	14300	11900	7570	7400	24	24	20	26	35	0	1	2	2	2
Mean	15157	10814	8377	5517	4777	19786	14557	11400	7623	6814	23	25	25	28	29	0	1	2	2	2
SD	253	213	253	74	17	509	393	185	98	265	2	3	3	3	3	0	1	2	2	2
Mentri ke	Ct					C0					Efisiensi (%)									
1	20000	16500	10080	9870	7050	23900	18400	12510	10200	8350	16	11	15	3	16	0	1	2	2	2
2	18100	14800	10590	8770	7100	24200	17200	12300	10200	9640	25	18	18	14	21	0	1	2	2	2
3	19300	15600	10300	8030	7080	23800	18000	12700	10100	8300	18	14	19	20	15	0	1	2	2	2
4	19800	14200	10200	7820	6990	24300	17500	11800	10700	8800	19	18	14	18	19	0	1	2	2	2
5	18800	14300	11100	8240	7300	24500	17400	13700	10700	9610	23	19	14	32	24	0	1	2	2	2
6	21200	14900	10300	7980	7430	22700	18400	13700	10900	9980	7	19	25	27	27	0	1	2	2	2
7	21900	14400	9970	7740	7780	24300	17900	13000	10300	9980	10	20	23	30	22	0	1	2	2	2
Mean	19900	14657	10424	8279	7247	23971	17900	12866	10443	9123	17	18	19	21	20	0	1	2	2	2
SD	496	332	136	358	106	228	151	254	119	279	3	3	2	4	2	0	1	2	2	2

2. Frekuensi 684 Hz

Mentor ke	M3 F1 684Hz					M3 F2 684Hz					M3 F3 684Hz					M3 F4 684Hz				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	3870	3320	3170	3000	2850	3880	3260	3120	2950	2800	3890	3270	3130	2960	2810	3900	3280	3140	2970	2820
2	3820	3270	3120	3000	2850	3830	3210	3070	2900	2750	3840	3220	3080	2910	2760	3850	3230	3090	2920	2770
3	3860	3290	3140	3070	2820	3870	3240	3100	2930	2780	3880	3250	3110	2940	2790	3890	3260	3120	2950	2800
4	3800	3230	3100	3030	2820	3810	3190	3040	2870	2720	3820	3200	3050	2880	2730	3830	3210	3060	2890	2740
5	3860	3240	3130	3060	2810	3870	3200	3070	2900	2750	3880	3210	3080	2910	2760	3890	3220	3090	2920	2770
6	3790	3160	3040	3050	2820	3800	3120	2990	2840	2690	3810	3130	3000	2850	2700	3820	3140	3010	2860	2710
7	3860	3410	3190	3040	2790	3870	3300	3090	2940	2790	3880	3310	3100	2950	2800	3890	3320	3110	2960	2810
Mean	3721	3313	3160	3034	2797	3827	3276	3120	2952	2802	3837	3286	3130	2962	2812	3847	3296	3140	2972	2822
SD	25	34	9	8	19	18	18	10	10	19	18	18	10	10	19	18	18	10	10	19
Mentor ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	10300	5220	5020	4780	4700	11800	6120	6010	5720	5830	11800	6120	6010	5720	5830	11800	6120	6010	5720	5830
2	11100	5010	4990	4980	4690	11800	5980	6000	5770	5580	11800	5980	6000	5770	5580	11800	5980	6000	5770	5580
3	10700	5160	4960	4770	4720	11900	6120	5990	5690	5550	11900	6120	5990	5690	5550	11900	6120	5990	5690	5550
4	10900	5080	4920	4950	4630	11200	6260	5840	5660	5340	11200	6260	5840	5660	5340	11200	6260	5840	5660	5340
5	10600	5010	5040	4750	4750	11400	5230	5840	5760	5290	11400	5230	5840	5760	5290	11400	5230	5840	5760	5290
6	10700	5120	4740	4940	4820	11400	6510	5810	5610	5280	11400	6510	5810	5610	5280	11400	6510	5810	5610	5280
7	10300	4870	5110	4740	4640	11700	6120	5880	5690	5290	11700	6120	5880	5690	5290	11700	6120	5880	5690	5290
Mean	10686	5069	4969	4841	4689	11514	6036	5910	5684	5309	11514	6036	5910	5684	5309	11514	6036	5910	5684	5309
SD	99	45	44	41	33	94	152	33	21	11	94	152	33	21	11	94	152	33	21	11
Mentor ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	19300	8220	8240	7980	7190	38800	18600	11400	11800	10300	38800	18600	11400	11800	10300	38800	18600	11400	11800	10300
2	21500	8340	8260	7780	7270	31100	19100	11800	11800	10400	31100	19100	11800	11800	10400	31100	19100	11800	11800	10400
3	15800	8310	8400	7850	7350	35900	15100	11600	11300	10400	35900	15100	11600	11300	10400	35900	15100	11600	11300	10400
4	14400	8230	8800	7730	7120	34100	14000	12100	11200	10400	34100	14000	12100	11200	10400	34100	14000	12100	11200	10400
5	16800	8240	8890	7740	7390	32700	12900	10600	11400	10300	32700	12900	10600	11400	10300	32700	12900	10600	11400	10300
6	15000	8090	8690	7780	7430	24600	14000	11100	11900	10400	24600	14000	11100	11900	10400	24600	14000	11100	11900	10400
7	13800	8120	8860	7820	7270	32300	12100	11300	11700	10100	32300	12100	11300	11700	10100	32300	12100	11300	11700	10100
Mean	16657	8221	8476	7899	7399	32671	14542	11500	11586	10229	32671	14542	11500	11586	10229	32671	14542	11500	11586	10229
SD	1060	34	34	33	42	1608	792	135	106	42	1608	792	135	106	42	1608	792	135	106	42
Mentor ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	40500	22900	11200	9030	8310	40800	26900	13200	9960	10000	40800	26900	13200	9960	10000	40800	26900	13200	9960	10000
2	48700	26000	12200	8910	8420	26800	13600	9270	9990	6	3	10	4	16	16	3	10	4	16	16
3	43900	21000	11900	8840	8290	45600	26800	13400	10100	9	18	14	9	18	18	14	9	18	14	9
4	33700	25700	11300	8880	8410	41700	29200	14300	9860	9970	19	12	12	13	10	16	16	16	16	16
5	39500	24100	12000	8680	8480	40100	28800	14200	9920	10100	1	10	13	13	13	16	16	16	16	16
6	40700	22800	12500	8980	8380	41700	27200	14600	9720	9860	2	12	12	14	9	16	16	16	16	16
7	40300	23500	12100	8680	8400	41700	27800	14800	9780	9270	2	13	12	14	9	16	16	16	16	16
Mean	41129	23857	11704	8831	8413	43329	27807	14900	9783	9913	5	13	13	13	9	15	15	15	15	15
SD	1715	641	224	48	27	1543	337	251	87	109	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1



3. Frekuensi 1309 Hz

Mentor ke	G1					G2					G3					G4					G5					G6					G7					G8					G9					G10				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
1	23300	15000	14200	12700	11700	27700	21300	21200	17200	15500	15100	16100	15400	13700	13000	13000	12100	11700	10500	9500	9500	8700	8100	7400	6700	6100	5500	5000	4500	4000	3500	3000	2500	2000	1500	1000	500	0	0	0	0	0	0	0	0					
2	29100	17400	14800	12300	14000	33500	21000	17200	14000	15400	15400	13700	14800	18	21	19	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24										
3	26000	15900	14500	11900	11300	31900	20200	18000	13100	14800	18	21	19	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9	24	9										
4	23800	15000	14500	12000	11600	29400	20000	17700	15500	13700	19	26	18	18	27	15	18	27	15	18	18	27	15	18	27	15	18	27	15	18	18	27	15	18	27	15	18	27	15	18										
5	22300	15300	14900	12100	10700	28500	20000	17700	13400	13000	20	24	16	21	18	18	27	15	18	27	15	18	27	15	18	18	27	15	18	27	15	18	27	15	18	18	27	15	18	27										
6	22200	15400	14500	12000	10500	20100	26700	20100	17400	1380	12100	17	23	23	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13										
7	21300	18400	14600	11900	10400	25600	19800	17900	13200	14900	20	17	18	10	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30										
Mean	24057	16629	14571	12114	11457	29186	20386	17586	14857	14143	18	18	17	18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10										
SD	1012	614	87	106	467	995	209	122	545	467	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Meant ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5										
1	39000	30900	30900	18100	18800	67000	45400	34300	20600	19900	11	14	10	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6										
2	57000	38300	28400	18100	18500	41200	48500	21800	10	7	2	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15											
3	55100	38500	23400	17700	17700	62800	40000	21800	21400	21400	12	6	13	4	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16										
4	56500	34400	22100	19200	17800	66600	39400	25400	20000	21100	15	13	13	4	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16										
5	58000	33300	20400	18200	17600	59200	38400	22800	25900	21300	2	13	11	30	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17										
6	51300	32400	19000	19100	17400	64200	37800	23100	24600	21900	20	14	18	18	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20										
7	57200	31400	19300	18800	17550	60700	38200	23600	26800	20300	6	11	13	19	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13										
Mean	56943	35529	23343	18386	17500	63409	39514	26029	22186	21057	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11										
SD	972	1209	1752	199	202	1082	1131	1586	886	290	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Meant ke	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5															
1	99800	69100	46000	30100	28200	105000	71400	50500	31400	31300	5	3	9	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10										
2	81800	58900	44600	27100	22000	94800	61900	51800	30400	31000	14	5	14	11	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29										
3	83700	69200	46600	26300	29300	91900	65000	52400	35200	33100	6	4	11	25	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11										
4	90100	58100	43100	31200	22100	95100	66500	43000	36100	32400	5	13	0	14	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19										
5	83800	57700	44800	30900	24800	89200	62700	49800	34100	32300	6	12	9	9	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25										
6	83700	62700	49200	28700	28700	88000	60000	50400	36300	28800	0	3	2	21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
7	83800	62800	47300	30700	28300	84200	69300	51800	32600	29800	0	9	8	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5										
Mean	86643	62643	45343	29286	26114	92243	67814	49843	33729	30658	6	8	8	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14										
SD	2406	1850	1740	1222	1222	2570	1318	1877	877	750	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4										

D. Efisiensi Rata-rata Motor 1, 2, dan 3

Efisiensi Rata-rata Motor 1, 2, dan 3					
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	22	27	22	24	26
motor 2	17	17	19	18	21
motor 3	18	18	17	18	19
rata-rata	19	21	20	20	22
deviasi	1	2	1	1	1
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	10	13	28	39	47
motor 2	6	13	14	14	14
motor 3	11	12	11	16	15
rata-rata	9	13	18	23	25
deviasi	1	0	3	5	7
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	23	34	33	33	35
motor 2	7	9	8	11	11
motor 3	6	8	8	13	14
rata-rata	12	17	16	19	20
deviasi	4	6	5	5	5
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	12	12	16	15	27
motor 2	5	6	7	7	7
motor 3	5	8	6	8	8
rata-rata	7	8	10	10	14
deviasi	1	1	2	1	4
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	41	32	25	24	20
motor 2	35	29	26	25	27
motor 3	7	16	16	15	12
rata-rata	28	26	22	21	20
deviasi	7	3	3	2	3
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	29	28	24	39	36
motor 2	24	21	26	27	27
motor 3	23	25	26	28	29
rata-rata	25	25	25	31	31
deviasi	1	1	0	3	2
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	45	33	31	25	30
motor 2	4	6	5	6	8
motor 3	5	13	13	9	15
rata-rata	18	17	17	13	18
deviasi	9	5	5	4	4
Mentik e	1	2	3	4	5
motor 1	15	25	28	28	27
motor 2	15	12	16	18	18
motor 3	17	18	19	21	20
rata-rata	15	18	21	22	22
deviasi	0	2	2	2	2

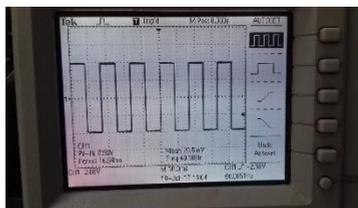


Tabel Efisiensi rata-rata filter

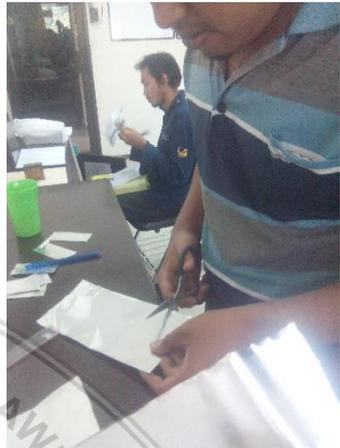
Efisiensi Filter 4 (%)			
Menit ke	Frekuensi		
	60 Hz	684 Hz	1309 Hz
1	27	34	19
2	29	37	21
3	30	34	20
4	34	24	20
5	35	24	22
Efisiensi Filter 3 (%)			
Menit ke	Frekuensi		
	60 Hz	684 Hz	1309 Hz
1	31	28	9
2	30	26	13
3	30	22	18
4	30	21	23
5	30	20	25
Efisiensi Filter 2 (%)			
Menit ke	Frekuensi		
	60 Hz	684 Hz	1309 Hz
1	25	38	12
2	25	35	17
3	25	28	16
4	31	29	19
5	31	28	20
Efisiensi Filter 1 (%)			
Menit ke	Frekuensi		
	60 Hz	684 Hz	1309 Hz
1	15	18	7
2	18	17	8
3	21	17	10
4	22	13	10
5	22	18	14

E. Foto Penelitian

1. Pembuatan Inverter



2. Pembuatan Filter



3. Pengambilan Data

