

**PENGUKURAN FAKTOR EMISI PARTIKEL ULTRAFINE
PADA ASAP ROKOK YANG BEREDAR DI INDONESIA**

SKRIPSI

oleh :
Elmiar Isdityo Lolivianda
0910930038-93



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**PENGUKURAN FAKTOR EMISI PARTIKEL ULTRAFINE
PADA ASAP ROKOK YANG BEREDAR DI INDONESIA**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh :

Elmiar Isdityo Lolivianda

0910930038-93



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGUKURAN FAKTOR EMISI PARTIKEL ULTRAFINE PADA ASAP ROKOK YANG BEREDAR DI INDONESIA

oleh :

Elmiar Isdityo Lolivianda
0910930038-93

Setelah dipertahankan di depan majelis Penguji pada.....
Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Arinto Yudi W, Ph.D
NIP. 196407021989031001

Firdy Yuana, S.si., M.Si
NIP. 198003292005022007

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Adi Susilo, M.Si, Ph.D
NIP. 196312271991031002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Elmiar Isdityo Lolivianda

NIM : 0910930038

Jurusan : Fisika

Penulis skripsi berjudul :

Pengukuran Faktor Emisi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok yang Beredar di Indonesia

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka TA ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa isi TA saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran

Malang, Juni 2013
Yang Menyatakan

(Elmiar Isdityo Lolivianda)
NIM. 0910930038

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENGUKURAN FAKTOR EMISI PARTIKEL ULTRAFINE PADA ASAP ROKOK YANG BEREDAR DI INDONESIA

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok. Sampel didapatkan dari rokok yang beredar di Indonesia. Sampel yang digunakan adalah 40 merk rokok dengan dan tanpa filter. Faktor emisi dapat ditentukan dari pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine pada asap rokok yang di ukur dengan P-Track di dalam chamber.

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditunjukkan bahwa besarnya faktor emisi bervariasi tergantung dari merk dan jenis rokok. Faktor emisi didapatkan pada range antara $7,56 \times 10^{10}$ sampai $1,43 \times 10^{11}$ partikel/batang untuk jenis rokok non filter produk nasional, sedangkan jenis filter besar faktor emisinya antara $6,82 \times 10^{10}$ sampai $1,2 \times 10^{11}$ partikel/batang. Pada jenis non filter produk lokal besar faktor emisinya antara $5,38 \times 10^{10}$ sampai $1,15 \times 10^{11}$ partikel/batang, dan jenis filter besar faktor emisi antara $4,48 \times 10^{10}$ sampai $1,12 \times 10^{11}$ partikel/batang.

Kata kunci : partikel ultrafine, konsentrasi partikel, faktor emisi, asap rokok.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



EMISSION FACTOR MEASUREMENT OF SMOKE ULTRAFINE PARTICLES OUTSTANDING IN INDONESIA

ABSTRACT

This study was conducted to determine the ultrafine particles emission factors of cigarette smokes that circulated in Indonesia by using a P-Track Ultrafine Particle Counter (UPC). The samples were taken from the cigarettes circulated in Indonesia. The samples were preferred 40 brands of cigarettes with and without filters. The emission factors were determined by measuring of the total concentrations of the cigarette smokes measured by a P-Track in chamber.

The results showed that the emission factors varied depending on the type and brand of cigarettes. The emission factors was found in the range of 7.56×10^{10} to 1.43×10^{11} particles / cigarettes for without filter at the national product. While the emission factor of the filter type between 6.82×10^{10} to 1.2×10^{11} particles / cigarettes. On the without filter type of the local product between the emission factor of 5.38×10^{10} to 1.15×10^{11} particles / cigarettes, and the emission factor of the filter type between 4.48×10^{10} to 1.12×10^{11} particles / cigarettes.

Keywords: ultrafine particles, particle concentrations, emission factors, and cigarette smokes.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga diberikan kemudahan untuk menyusun dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu jalannya penulisan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah yang telah diberikan.
2. Orang tua, kakak, adik dan semua saudaraku yang selalu memberi dukungan moral, material dan spiritual.
3. Bapak Adi Susilo, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
4. Bapak Drs. Arinto Yudi Ponco Wardoyo, M.Sc.,PhD selaku Pembimbing I dan Pembimbing Akademik, atas motivasi, bimbingan, inspirasi dan bantuannya.
5. Ibu Firdy Yuana, M.Si selaku Pembimbing II, atas bimbingan, waktu dan motivasi yang diberikan.
6. Bapak dan ibu dosen staf pengajar, laboran, dan karyawan TU Jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas segala bantuannya.
7. Segenap dosen dan karyawan Fakultas MIPA yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuan selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya.
8. Sahabat dan teman-teman (Binti, Nella pliss, fera, diah, dll) yang banyak membantu dengan perhatian, doa dan semangat kebersamaan
9. Seorang teman special, terima kasih atas dukungan, kritik dan semangat yang diberikan
10. Mas Alin sebagai dosen pembimbing pengganti, dan mas aul sebagai editor.
11. Teman-teman Jurusan Fisika Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2009, terima kasih atas kebersamaan, kebahagiaan dan kekompakan selama ini.

12. Keluarga Jin Botol yang telah memberikan dukungan, canda dan tawa sehingga membantu kelancaran penelitian tugas akhir.
13. Tidak lupa, semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Kritik dan saran sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya. Terimakasih atas segala perhatian dari pembaca dan semoga dapat memberikan manfaat.

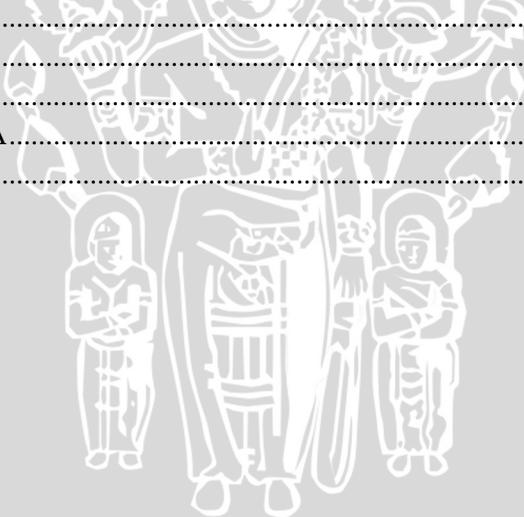
Malang, Juni 2013
Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pencemaran Udara.....	5
2.2 Partikulat Matter.....	5
2.2.1 Klasifikasi Partikulat	7
2.2.2 Sifat-sifat Partikulat.....	8
2.3 Partikel Ultrafine	9
2.4 Pembakaran Biomassa.....	10
2.5 Rokok	11
2.5.1 Definisi Rokok	11
2.5.2 Bahan Baku Rokok.....	12
2.5.3 Terbentuknya Asap Rokok.....	14
2.5.4 Environmental Tobacco Smoke (ETS).....	15
2.6 Emisi.....	17
2.7 Cara Kerja Pengukuran Partikel Ultrafine.....	18
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21

3.2 Alat dan Bahan	21
3.2.1 Alat-alat penelitian	21
3.2.2 Bahan – bahan Penelitian.....	23
3.3 Tahapan Penelitian	24
3.4 Pengambilan Data.....	25
3.5 Pengolahan Data	26
3.4 Analisa Data	26
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Pengukuran.....	29
4.1.1 Hasil Pengukuran Kecepatan Hisap pada Pompa	29
4.1.2 Hasil Pengukuran Konsentrasi Partikel Ultrafine.....	30
4.1.3 Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine ..	32
4.1.4 Hasil Pengukuran Faktor Emisi Partikel Ultrafine	37
4.2 Pembahasan	40
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diameter dan asal dari particle matter (Sumber : US EPA).....	7
Gambar 2. 2 Bahan-bahan yang terkandung pada rokok.....	14
Gambar 2. 3 Proses terjadinya asap rokok pada pembakaran rokok	15
Gambar 2. 4 Prinsip Kerja Pengukuran Partikel Ultrafine	19
Gambar 3. 1 P-Track Ultrafine Particle Counter.....	21
Gambar 3. 2 Anemomaster Kanomax	22
Gambar 3. 3 Rangkaian Penelitian	25
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 4. 1 Grafik Pengukuran Kecepatan Hisap pada Pompa.....	29
Gambar 4. 2 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok GG ..	30
Gambar 4. 3 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok DS ...	31
Gambar 4. 4 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok Dg ...	31
Gambar 4. 5 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok NS ...	32
Gambar 4. 6 Tampilan grafik pada software Origin 8.1.....	33
Gambar 4. 7 Tampilan hasil pengukuran dari software Origin	33
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Non Filter	34
Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Filter	35
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Non Filter	36
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Filter	36
Gambar 4. 12 Grafik hasil pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter.....	38
Gambar 4. 13 Grafik hasil pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis filter.....	38

Gambar 4. 14 Grafik hasil pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter39

Gambar 4. 15 Grafik pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis filter39

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Macam Particulate Matter (PM) beserta ukurannya.....	7
Tabel 2. 2 Data Zat pada satu MS untuk satu batang rokok dan ETS di lingkungan tercemar (Tomashefski, 2008).....	17
Tabel 3. 1 Nama-nama merk rokok yang akan diteliti	23

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada merk rokok jenis non filter dan filter produk nasional.....	51
Lampiran 2. Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada merk rokok jenis non filter dan filter produk local (Malang).....	60
Lampiran 3. Data Kecepatan Hisap pada Pompa	69
Lampiran 4. Data pengukuran diameter pompa	70



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat pencemaran udara yang sangat tinggi. Bahan atau zat yang dapat mencemari udara dapat berbentuk gas dan partikel. Pencemaran udara dapat berasal dari proses alami dan aktivitas manusia (Fardiaz, 1992). Salah satu dari aktivitas manusia yang dapat menyebabkan pencemaran udara adalah merokok. Menurut data WHO (2012) menyebutkan bahwa jumlah perokok di Indonesia menempati urutan ketiga setelah Cina dan India. Sebanyak 67,4 persen penduduk pria dan 2,7 persen penduduk wanita adalah perokok. Oleh karena konsumen rokok terus meningkat, industri rokok pun juga semakin banyak dengan memproduksi berbagai merk rokok baik non filter maupun filter.

Rokok merupakan produk yang mengandung zat-zat yang bersifat adiktif (menimbulkan kecanduan), berbentuk silinder dari kertas dengan ukuran 70 – 120 mm (Young dkk., 2010). Pembakaran rokok akan menghasilkan suatu emisi yaitu sisa hasil pembakaran, karena lebih dari 100.000 jenis zat dihasilkan. Dua belas ribu (12.000) zat telah diketahui dan 4.000 zat lain dinyatakan sebagai zat yang berbahaya (Pappas dkk., 2006). Asap rokok terdiri dari campuran bahan yang berisi lebih dari 3800 senyawa, seperti aerosol yang mudah menguap dalam fasa uap, senyawa semi volatil dan non volatil. Selain nikotin, asap rokok juga mengandung senyawa-senyawa beracun dan karsinogen seperti Tar. Tar terdiri dari senyawa *Polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) yang merupakan sumber utama penyebab gangguan kesehatan (Tian dkk., 2009). Gangguan kesehatan itu antara lain adalah penyakit saluran pencernaan, penyakit kanker, osteoporosis, penyakit jantung, stroke, kemandulan dan lain-lain (Bernhard dkk., 2007).

Menurut Daher, dkk (2009) pembakaran rokok menimbulkan partikel-partikel baru (*particulate matter*) yang dapat membahayakan tubuh manusia. *Particulate Matter* (PM) merupakan istilah yang sering digunakan untuk campuran partikel zat padat dan partikel cair yang tersuspensi di udara. Partikel-partikel tersebut terbentuk di

udara (atmosfer) dengan transformasi emisi gas. PM mempunyai ukuran yang bervariasi dan dibedakan menjadi dua yaitu *fine particle* dan *ultrafine particle* (UFP) (Fierro, 2000). Partikel ultrafine mempunyai dampak yang besar dalam menimbulkan penyakit pada tubuh akibat aktivitas merokok (Daher dkk., 2009). Partikel ultrafine dihasilkan dari gas dan kondensasi uap bertemperatur tinggi selama pembakaran. Partikel ini sangat sulit dideteksi karena ukurannya yang kecil sehingga mudah masuk ke dalam tubuh khususnya melewati saluran pernapasan. Kuantitas partikel ultrafine sangat besar di udara dan berkemampuan penetrasi tinggi di dalam paru-paru, sehingga partikel ultrafine menjadi perhatian besar di bidang kesehatan pernafasan (Fierro, 2000).

Pencemaran udara yang disebabkan oleh polutan (partikel ultrafine) dinyatakan dengan besar faktor emisi. Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Daher (2009) menyatakan bahwa asap mainstream dari sebuah rokok telah menghasilkan partikel-partikel antara lain partikel ultrafine yang dapat menyebabkan faktor emisi lingkungan (Daher dkk., 2009). Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran konsentrasi partikel ultrafine untuk mendapatkan faktor emisi pada asap rokok. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur faktor emisi polutan udara (partikel ultrafine) hasil pembakaran dari rokok-rokok yang beredar di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah berapakah hasil pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada rokok jenis filter dan non filter?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dibatasi beberapa hal yaitu :

1. Hanya menggunakan 10 jenis merk rokok filter maupun non filter produk Nasional.
2. Hanya menggunakan 10 jenis merk rokok filter maupun non filter produk lokal (Malang).
3. Hanya menentukan faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok.

4. Partikel yang diukur adalah partikel ultrafine dengan ukuran antara 20 – 1000 nm dengan menggunakan alat P-Track Ultrafine Counter Model 8525.
5. Hanya menggunakan satu kecepatan hisap yang telah ditentukan.
6. Tidak meneliti dampak dari partikel ultrafine.
7. Tidak meneliti bahan dan campuran dari rokok.
8. Tidak mengukur massa rokok dan filternya.
9. Tidak meneliti kualitas filter dari masing-masing rokok.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor emisi partikel ultrafine dari asap rokok filter dan non filter yang beredar di Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan sebagai acuan bagi masyarakat tentang wawasan dan pengetahuan mengenai berapa banyak faktor emisi partikel ultrafine yang dihasilkan pada setiap batang rokok.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{Halaman ini sengaja dikosongkan}



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan peristiwa masuknya, atau tercampurnya, polutan (unsur-unsur berbahaya) ke dalam lapisan udara (atmosfer) yang dapat mengakibatkan menurunnya kualitas udara (lingkungan) (Fardiaz, 1992). Sedangkan menurut Haris, dkk (2012) pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat atau bahan kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai jumlah tertentu sehingga dapat dideteksi oleh manusia serta dapat menimbulkan efek negatif bagi manusia maupun lingkungan.

Beberapa jenis pencemaran udara yaitu :

1. Gas yang terdiri dari senyawa karbon (hidrokarbon, hidrokarbon teroksigenasi, dan CO atau CO₂), senyawa sulfur (sulfur oksida), senyawa nitrogen (nitrogen oksida dan sulfur) dan senyawa halogen (fluor, klorin, hydrogen klorida, hidrokarbon terklorinasi dan bromin).
2. Partikel yang berasal dari proses kondensasi, proses dispersi contohnya proses menyemprot (*spraying*), maupun dari proses erosi dari bahan tertentu (Mukono, 1997).

2.2 Partikulat Matter

Particulate Matter (PM) merupakan istilah yang digunakan untuk campuran partikel padat dan partikel cair yang terdapat di udara. Partikel-partikel tersebut berasal dari berbagai sumber yang terbentuk di udara (atmosfer) dengan transformasi gas emisi, misalnya pembangkit listrik, proses industri, dan kendaraan bermotor. Partikel-partikel dari komponen kimia dan komponen fisik tergantung dari lokasi, waktu (tahun), dan cuaca.

Fine particle adalah partikel yang berukuran antara 1µm sampai dengan 10 µm. Secara umum partikel ini dibentuk berdasarkan gangguan mekanik (misalnya penghancuran suatu bahan, penggilingan, abrasi penguapan), penguapan semprotan, suspense dari debu dan sebagainya yang merupakan proses pembentukan partikel dari jenis PM₁₀ dan PM_{2.5}. PM₁₀ terdiri dari oksida

aluminosilikat, kerak, dan sumber utamanya adalah debu dari jalan, industri, pertanian, konstruksi dan pembongkaran dan pembakaran dari bahan bakar fosil.

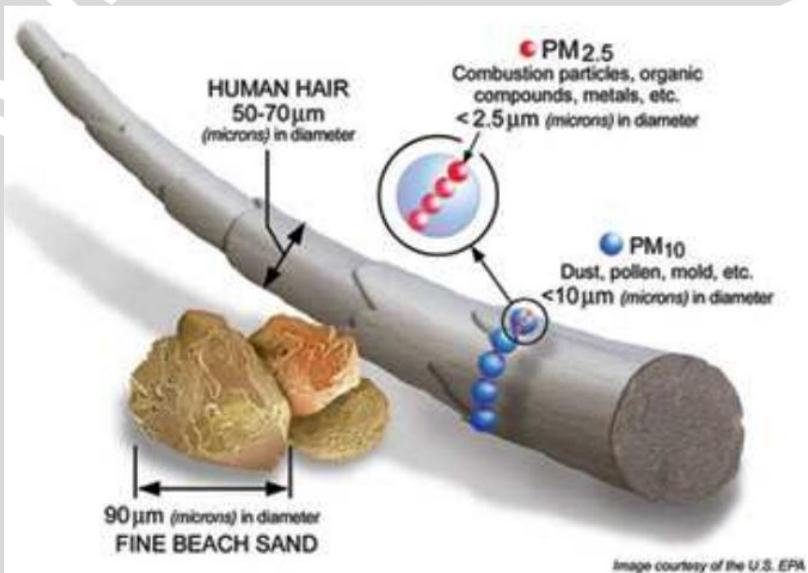
Ultrafine Particle (UFP) yang mempunyai ukuran kurang dari 0.1 μm dihasilkan dari gas dan kondensasi uap bertemperatur tinggi selama pembakaran. Partikel ini terdiri dari beberapa partikel sulfat, senyawa nitrat, karbon, ammonium, ion hidrogen, senyawa organik, logam (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, dan Fe) dan partikel air terikat. Sumber utama partikel ini adalah berasal dari proses pembakaran bahan bakar, pembakaran vegetasi, peleburan dan pengolahan logam. Kapasitas partikel untuk menghasilkan efek kesehatan yang merugikan pada manusia tergantung pada deposisi dalam saluran pernafasan. Ukuran partikel, bentuk dan kepadatan mempengaruhi tingkat deposisi. Karakteristik yang paling penting yang mempengaruhi pengendapan partikel dalam sistem pernafasan adalah ukuran partikel dan aerodinamis (Fierro, 2000).

Particulate Matter (PM) adalah salah satu komponen berbahaya yang dapat ditemukan pada Environmental Tobacco Smoke (ETS). PM ini termasuk partikulat udara dalam ruangan yang memiliki tingkat polusi yang cukup besar. Macam-macam dari PM beserta ukurannya dapat dilihat pada tabel 2.1. Pada gambar 2.1 dapat diketahui bahwa diameter partikel dengan ukuran 10 mikron diibaratkan sehelai rambut dari manusia, jika sehelai rambut tersebut dibelah menjadi 7 bagian secara melintang, 1 bagian dari belahan tersebut diameternya merupakan ukuran diameter partikel 10 mikron (EPA, 2000).



Tabel 2. 1 Macam Particulate Matter (PM) beserta ukurannya
(Fierro, 2000).

Fraksi	Rentang Udara
PM ₁₀ (thoracic fraction)	≤ 10 μm
PM _{2.5} (respirable fraction)	≤ 2,5 μm
PM ₁	≤ 1 μm
Ultrafine (UFP)	≤ 0,1 μm



Gambar 2. 1 Diameter dan asal dari particle matter (Sumber : US EPA)

2.2.1 Klasifikasi Partikulat

Menurut EPA (2008), kategori partikulat berdasarkan ukurannya terbagi ke dalam Total Suspended Particulated Matter (TSP) merupakan partikel yang memiliki diameter ukuran mulai dari 0,1

μm hingga $30 \mu\text{m}$. TSP ini terdiri dari *fine particle*, *coarse particle*, dan *supercoarse particle*.

1. $PM_{2,5}$ (*fine particle*) adalah partikulat yang memiliki diameter aerodinamik $\leq 2,5 \mu\text{m}$ yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling $PM_{2,5}$. $PM_{2,5}$ dibedakan menjadi *fine particle* dan *coarse particle*. Dimana komposisi pembentuknya terdiri dari sulfat, nitrat, komponen organik, komponen amonium, material acid dan bahan kontaminan lainnya yang dipercaya memberikan efek buruk bagi kesehatan.
2. PM_{10} (*coarse particle*) adalah partikulat yang memiliki diameter $\leq 10 \mu\text{m}$ yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling PM_{10} . Partikulat ini merupakan jenis tipe polutan karena dapat masuk ke saluran pernapasan lebih dalam.
3. *Supercoarse particle* adalah partikulat yang memiliki diameter $> 10 \mu\text{m}$.
4. *Ultrafine Particle* adalah partikulat yang memiliki ukuran $< 0,1 \mu\text{m}$ yang dibentuk oleh 20 sampai 50 kelompok molekul yang sangat kecil. Partikulat ini banyak berasal dari proses industri seperti proses pembakaran dan proses metalurgi. (Agency, 2000).

2.2.2 Sifat-sifat Partikulat

Berdasarkan sifatnya, partikulat dibagi menjadi 4 sifat, diantaranya :

1. Sifat mengendap yaitu partikel yang berukuran lebih besar dari 2 – 40 mikron (tergantung dari densitasnya) tidak bertahan terus-menerus di udara, melainkan akan mengendap. Partikel yang tersuspensi secara permanen di udara juga mempunyai kecepatan pengendapan, tetapi partikel-partikel ini tetap terdapat di udara karena gerakan udara.
2. Sifat Adsorpsi, kemampuan partikel sebagai tempat adsorpsi (sorpsi secara fisik) atau kimiasorpsi (sorpsi disertai dengan interaksi kimia).
3. Sifat Absorpsi, jika molekul yang teradsorpsi tersebut larut di dalam partikel, jenis absorpsi ini sangat menentukan tingkat bahaya dari partikel.

4. Sifat Optik, dimana partikel yang mempunyai diameter kurang dari $0,1\mu$ berukuran sedemikian kecilnya dibandingkan dengan panjang gelombang sinar, sehingga partikel-partikel tersebut mempengaruhi sinar seperti halnya molekul-molekul dan menyebabkan refraksi. Sifat optik sangat penting dalam menentukan pengaruh partikel atmosfer terhadap radiasi dan visibilitas solar energi (Fardiaz, 1992).

2.3 Partikel Ultrafine

Partikel Ultrafine merupakan salah satu jenis partikel yang dihasilkan dari pembakaran rokok. Partikel ini berukuran sangat kecil yaitu kurang dari 100 nm. Partikel ultrafine ini biasanya diproduksi dari hasil pembakaran, gesekan maupun secara alamiah di udara maupun di air. Dalam suatu sistem pernafasan partikel ultrafine dapat cepat masuk ke sistem pernafasan manusia karena ukurannya yang berukuran nanometer. Partikel ini akan menumpuk di paru-paru dan mampu masuk ke dalam bagian paru-paru yang paling dalam sehingga sulit dihilangkan. Oleh karena itu partikel ultrafine menjadi perhatian yang sangat serius di dunia kedokteran. Pada penelitian sebelumnya telah dinyatakan bahwa asap mainstream dari sebuah rokok telah menghasilkan partikel-partikel antara lain nicotine, CO, PAH, volatile aldehyd dan partikel ultrafine (Daher,dkk., 2009).

Asap pembakaran tembakau akan mengandung beberapa jumlah partikel dalam bentuk padatan maupun bentuk cair dalam bentuk fase gas. Partikel-partikel tersebut dihasilkan melalui proses pembakaran meliputi pirolisis, pirosintesis, distilasi, sublimasi dan kondensasi. Pada saat rokok dinyalakan, temperatur saat pembakaran mencapai $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selama waktu tertentu pada saat proses penghisapan, temperatur meningkat menjadi $910\text{-}920\text{ }^{\circ}\text{C}$ di zona luar yaitu di sekitar batang rokok. Proses endotermik yang terjadi hanya beberapa millimeter di belakang zona pembakaran merupakan penyebab utama yang membuat temperatur turun lebih dari $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi setara dengan temperatur udara sekitar ketika keluar dari ujung bawah dan dihisap oleh perokok (Borgerding dan Klus, 2005).

Hasil dari penyakit kanker ini secara biologis merupakan dampak dari menghirup asap rokok yang dihirup yang merupakan campuran terkondensasi zat kimia yang dihasilkan oleh pirosintesis

atau penyulingan kimia dari tembakau. Banyak sekali jenis zat kimia yang dihasilkan yaitu kurang lebih 4000 bahan kimia yang terdeteksi di asap diantaranya nitrosamine, poliakromatik hidrokarbon dan logam berat yang dapat menyebabkan penyakit logam berat yang hadir dalam asap tembakau dikaitkan dengan sejumlah penyakit yang diakibatkannya. Adapun jenis-jenis dari logam berat tersebut yaitu jenis cadmium, timah dan talium yang secara alami diekstraksi dari tanah oleh tanaman tembakau. Dengan demikian, tingkat logam berat dalam tembakau lebih tinggi bila ditanam di tanah yang memiliki konsentrasi logam berat yang tinggi. Faktor lingkungan lainnya juga dapat mempengaruhi logam berat. Selama proses merokok kandungan logam berat awalnya hadir dalam partisi tembakau yaitu pada asap *mainstream*, *sidestream*, abu dan puntung rokok. Fraksi yang berada di *mainstream* telah diperiksa, karena hal ini merupakan paparan utama seorang perokok aktif (Pappas dkk., 2006).

Antioksidan dapat menjadi terapi yang efektif untuk penyakit yang berhubungan dengan paru-paru inflamasi, seperti obstruktif kronis. Platinum nanopartikel distabilkan dengan *polyacrylate* untuk pembentukan larutan koloid yang stabil. (PAA-Pt) yang merupakan bentuk baru dari antioksidan yang terbukti efektif menekan oksigen reaktif (ROS) (Onizawa, dkk., 2008).

2.4 Pembakaran Biomassa

Pembakaran merupakan runutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan oksidan yang disertai dengan produksi panas maupun cahaya dalam bentuk pendar atau api. Proses pembakaran terdiri dari dua jenis yaitu pembakaran lengkap (*complete combustion*) dan pembakaran tidak lengkap (*incomplete combustion*). Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen hanya menghasilkan CO_2 , seluruh unsur H menghasilkan H_2O dan seluruh S yang menghasilkan SO_2 . Pada pembakaran tidak sempurna terjadi apabila unsur C yang terkandung dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen dan gas yang dihasilkan tidak seluruhnya CO_2 (Loo dan Koppejan, 2008). Dalam suatu reaksi pembakaran sempurna, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya yaitu senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi, salah satu contohnya seperti persamaan dibawah ini :



Biomassa merupakan material biologi dari organisme kehidupan. Biomassa juga sebagai sumber energi terbarukan yang digunakan secara langsung ataupun diubah menjadi bentuk energi lain seperti biofuel. Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar dapat menyebabkan polusi udara dalam bentuk carbon monoksida, NOx (nitrogen oksida), VOC (*volatile organic compounds*), partikel dan polutan lainnya (Wikipedia, 2013). Pembakaran biomassa akan dapat meningkatkan laju pembakaran dan mengontrol emisi NOx termasuk juga jenis N volatile sebagai contoh NH₃, karena biomassa banyak mengandung *volatile matter*. Pembakaran biomassa dalam keadaan ideal dari pembakaran sempurna dan akan menghasilkan karbondioksida (CO₂) dan penguapan air (H₂O) sesuai dengan persamaan (Lobert dkk., 1991).

Dari sekian banyak polusi udara, pembakaran biomassa dianggap sebagai penyumbang polusi terdepan dalam bentuk PM maupun dalam bentuk gas. Emisi partikel yang berada di udara secara langsung mempengaruhi panas yang terjadi di atmosfer (Wardoyo dkk., 2007). Proses pembakaran dibagi menjadi beberapa tahapan atau fase yaitu fase *ignitation* (pemanasan), *flaming* (pembakaran), *smouldering* (pembaraan) dan *glowing* (proses menjadi arang) (DeBano dkk., 1998).

2.5 Rokok

2.5.1 Definisi Rokok

Rokok adalah salah satu bentuk dari biomassa karena bahan penyusun rokok merupakan bahan-bahan yang berasal dari tembakau yang merupakan biomassa. Rokok merupakan benda yang berbentuk silinder yang berukuran panjang sekitar 70 mm hingga 120 mm dengan diameter sekitar 10 mm yang sebagian besar berisi daun-daun tembakau yang telah dicacah (Wikipedia, 2012).

Rokok adalah salah satu zat adiktif yang apabila digunakan akan mengakibatkan bahaya bagi kesehatan individu dan masyarakat. Kemudian ada juga yang menyebutkan bahwa rokok merupakan hasil olahan tembakau yang terbungkus atau bahan lainnya yang dihasilkan dari jenis tanaman *Nicotiana Tabacum*, *Nicotina Rustica*

dan spesies lainnya atau sintentisnya yang mengandung nikotin dan tar dengan atau tanpa bahan tambahan (Kusuma dkk., 2010).

Asap rokok yang baru mati di asbak mengandung tiga kali lipat bahan pemicu kanker di udara dan lima puluh kali mengandung bahan pengiritasi mata dan pernapasan. Suatu tempat atau ruangan yang dipenuhi polusi asap rokok adalah tempat yang lebih berbahaya dari pada polusi di jalan raya yang terkena macet. Sehingga semakin pendek rokok maka akan semakin tinggi kadar racun yang ada di udara. Seseorang yang merokok biasanya akan kecanduan karena rokok bersifat candu yang sulit dilepaskan dalam kondisi dan situasi apapun. Seseorang perokok berat akan lebih memilih merokok dari pada makan apabila uang yang dimiliki sangat terbatas (Mulyadi, 2010).

Adapun jenis-jenis rokok berdasarkan penggunaan filternya terdiri dari

1. Rokok Filter (RF) : rokok yang bagian ujung pangkalnya terdapat gabus.
2. Rokok Non Filter (RNF) : rokok yang bagian ujung pangkalnya tidak terdapat gabus (Wikipedia, 2012).

2.5.2 Bahan Baku Rokok

Rokok mengandung kurang lebih 4000 senyawa. Adapun bahan penyusun rokok antara lain tembakau, merupakan komponen utama dalam pembuatan rokok, yang dicampur dengan cengkeh dan bahan lain sebagai bahan tambahan. Dari bahan tersebut dihasilkan berbagai zat kimia antara lain karbonil volatil, fenol, alkena volatile, benzo [a] pyrene, N-Nitrosamine tobacco dan lain sebagainya (Bernhard, dkk., 2006).

Di dalam rokok terdapat macam-macam zat kimia, antara lain nikotin yang bersifat adiktif dan tar yang bersifat karsinogenik yang dapat mengakibatkan penyakit kanker (Negoro, 2000). Fase gas dari rokok mengandung 500 senyawa volatile termasuk karbon monoksida, oksida nitrogen dan ammonia dan terdiri dari sekitar 95% dari asap. Sedangkan fase yang berifat partikel berisi lebih dari 3500 semivolatile dan nonvolatile termasuk nikotin, *Polynucelar Aromatic Hidrokarbon* (PAH). *Mainstream cigarette smoke* (MSS)

biasanya dianalisis baik yang menunjukkan hasil maupun komposisi. (Wilson, dkk., 2008).

Bahan baku dalam rokok terdiri dari 2 bentuk yaitu fase gas dan fase tar (fase partikulat). Fase gas terdiri dari berbagai macam gas berbahaya yang dihasilkan pada asap rokok yakni nitrosamine, nitrosopirolidin, hidrasin, vinil klorida, uretan, formaldehid, hidrogen sianida, akrolein, asetaldehida, nitrogen oksida, amonia piridin, dan karbon monoksida. Sedangkan fase tar (partikulat) merupakan bahan yang terserap dari penyaringan asap rokok dengan menggunakan *filter cartridge* yang mempunyai ukuran pori-pori 0,1 μm . Bahan-bahan yang termasuk pada fase tar (partikulat) yakni bensopirin, dibensakridin, dibensokarbasol, piren, fluoranten, hidrokarbon aromatik, polinuklear, naftalen, nitrosamin yang tidak mudah menguap, nikel, arsen, nikotin, alkaloid tembakau, fenol dan kresol. Bahan-bahan yang terkandung dalam asap rokok dapat dilihat pada **Gambar 2.2** (Prignot, 1987).

Asap tembakau merupakan aerosol dari titik-titik cairan (fase partikel) yang tersuspensi dalam campuran senyawa gas dan semi volatile. Asap rokok terbagi menjadi asap *mainstream*, asap *sidestream* dan asap tembakau sekitar ETS (*Environmental Tobacco Smoke*). Asap rokok *mainstream* merupakan asap rokok yang masuk dalam sistem pernafasan. Uap konsentrasi tinggi, super jenuh dihasilkan pada pirolisis, distilasi, sublimasi, dan proses kondensasi pada zona pembakaran. (Borgerding dan Klus, 2005).

Asap tembakau mengandung berbagai macam senyawa hidrokarbon. Jenis hidrokarbon yang dihasilkan berasal dari suhu tembakau tersebut. Biasanya antara suhu 300 dan 500°C menghasilkan hidrokarbon dengan molekul C. Suhu 400 dan 700 °C yang terbentuk adalah alkane dan alkena. Sedangkan pada suhu diatas 500 °C benzene dan alkil benzena yang terbentuk. Lebih dari 300 senyawa PAH (*Polynuclear Aromatic Hydrocarbon*) yang teridentifikasi pada asap rokok. Asap rokok juga mengandung dua jenis umum nitrosamine yaitu tembakau nitrosimin yang spesifik dan non nitrosamine yang spesifik (Baker, 2006).



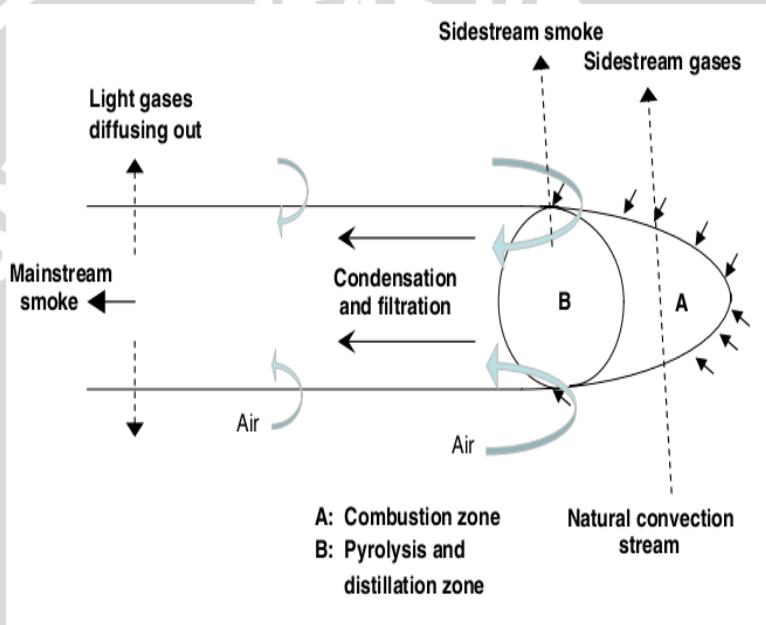
Gambar 2. 2 Bahan-bahan yang terkandung pada rokok

Merokok telah dikaitkan dengan penyakit kanker berbagai jenis organ penyakit paru-paru dan penyakit jantung. Hal ini dikarenakan adanya PM dari hasil pembakaran rokok. Asap yang dihasilkan dari pembakaran rokok tersebut merupakan campuran yang terkonsentrasi zat kimia yang dihasilkan oleh pirosintesis, langsung dari penyulingan komponen kimia dan tembakau (Pappas dkk., 2006).

2.5.3 Terbentuknya Asap Rokok

Mekanisme terbentuknya asap dari pembakaran rokok terdiri dari tiga proses yaitu proses pirolisis dan pembakaran, proses transfer massa fisis dan filtrasi, dan proses pembentukan aerosol. Setiap mekanisme memiliki bahan kimia yang terkandung dalam asap rokok sehingga menimbulkan efek. Sebuah rokok yang terbakar merupakan sistem yang kompleks dimana berbagai jenis reaksi kimia dan proses fisik terjadi. Asap rokok terjadi dari proses pembakaran yang tidak sempurna dan dapat merugikan kesehatan. Proses pirolisis merupakan dekomposisi termo kimia pada material organik pada temperatur tinggi tanpa melibatkan adanya oksigen. Pirolisis juga diartikan sebagai perubahan mendadak pada susunan kimia dan fase fisis, dan hanya proses tersebut tidak dapat dibalik (*irreversible*). Pada pembakaran rokok terdapat dua zona daerah pembakaran yaitu

zona pembakaran dan zona pirolisis atau zona destilasi. Pada zona pembakaran oksigen akan bereaksi dengan tembakau terkarbonasi yang pada akhirnya akan menghasilkan gas-gas sederhana seperti karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO) dan hydrogen (H). Suhu pada zona pembakaran akan mencapai 950°C. Pada zona pirolisis/destilasi dihasilkan 5000 senyawa kimia yang dihasilkan pada asap rokok (Baker, 2006). Proses terjadinya asap rokok pada pembakaran rokok ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses terjadinya asap rokok pada pembakaran rokok

2.5.4 Environmental Tobacco Smoke (ETS)

Environmental Tobacco Smoke (ETS) atau lingkungan asap tembakau didefinisikan sebagai campuran asap dari ujung pembakaran rokok, pipa (cerutu) dan asap yang telah dihembuskan oleh perokok. Adapun klasifikasi dari ETS adalah

1. *Sidestream Smoke* (SS) merupakan asap yang berasal dari hasil pembakaran rokok, pipa atau cerutu.

2. *Mainstream Smoke* (MS) merupakan asap yang berasal dari hasil pembakaran rokok yang telah dihisap oleh perokok aktif (Pandey dan Kim, 2010). MS memberikan kontribusi antara 15% dan 43% partikel, 1% dan 13% fase uap, dan asap *sidestream* pada ETS (Borgerding dan Klus, 2005)

Setengah dari ETS dihasilkan dalam bentuk *Sidestream Smoke* (SS). Pada dasarnya bahan dasar SS mengandung zat karsinogenik dan gas beracun sama dengan MS yang bisa dilepas dan dihirup langsung oleh si perokok pada dosis yang lebih tinggi, serta mengandung hampir 4800 bahan kimia beracun yang telah diidentifikasi sebagai bahan dari asap. Sementara itu sebanyak 400 orang yang telah dianalisis secara kuantitatif, sebanyak 200 zat beracun bagi manusia telah diketahui lebih dari 80 orang dari mereka. Zat yang terkandung di dalamnya terdapat karsinogenik. Terdapat pula tar, karbon monoksida, hidrogen sianida, fenol, ammonia, formaldehid, benzene, nitrosamine dan nikotin.

Apabila orang yang tidak merokok tetapi berada dalam ETS, maka orang tersebut dinamakan perokok pasif. Jika terdapat pada ETS, perokok pasif akan menyerap senyawa nikotin dan zat beracun lainnya bila dibandingkan dengan perokok aktif yang nantinya akan berbahaya bagi kesehatan tubuh. Diperkirakan bahwa perokok lebih mungkin terkena 15 kali kanker paru-paru, 11 kali untuk penyakit paru-paru kronis dan menderita infark miokardial 2 kali lebih sering dari perokok aktif.

Ketika asap rokok dihisap oleh perokok, maka campuran zat dari asap rokok tersebut akan masuk ke saluran pernafasan. Selama menyalakan rokok untuk menghisap hembusan asap yang masuk ke sistem pernafasan maka akan timbul berbagai variasi reaksi kimia, fenomena fisis dan fisiologis. Ketika asap baru dihasilkan dari pembakaran maka hasilnya akan sangat kompleks dan sistem reaksi akan dinamis karena pengaruh dari sifat fisis, dan reaksi kimia. Dalam hal ini sama dengan yang diteliti oleh orang lain secara ekstensif mengenai campuran kompleks seperti polusi udara dan mesin diesel yang beremisi (Pandey dan Kim, 2010). Dari tabel 2.2 dapat diketahui data zat pada suatu MS untuk satu batang rokok dan ETS di lingkungan tercemar.

Tabel 2. 2 Data Zat pada satu MS untuk satu batang rokok dan ETS di lingkungan tercemar (Tomashefski, 2008).

Constituent	Amount in MS of 1 cigarette	Inhaled ETS in 1 hour
Acrolein	60-100 µg	8-72 µg
Benzpo[a]pyrene	20-40 ng	1.7-460 ng
Carbon monoxide	10-23 mg	1.2-22 mg
Dimethylnitrosamine	10-40 ng	6-140 ng
Nicotine	1-2.5 mg	0.6-30 µg

Terdapat tiga parameter yang mempengaruhi dampak dari lingkungan asap tembakau (ETS) dalam tingkat partikel dalam suatu ruangan. Pertama adalah faktor emisi yaitu massa partikel yang dikeluarkan atau dihasilkan per satuan ETS sesuai dengan produk tembakau yang diproduksi. Yang kedua adalah ukuran partikel yang bermacam-macam sehingga dapat memberikan dampak asap tembakau. Secara umum ukuran partikel yang ditemukan di udara dalam ruangan sangat bervariasi dari ukuran 0,001 µm sampai dengan 10 µm. Yang terakhir adalah komposisi kimia yang memberikan dampak asap tembakau. Komposisi kimia ini sangat penting terhadap efek kesehatan yang telah merugikan dari paparan ETS (Nazzaroff, 2003).

2.6 Emisi

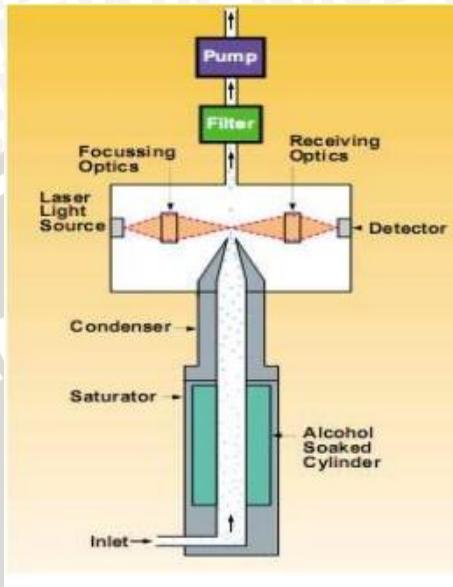
Emisi merupakan zat atau komponen lain dari hasil suatu kegiatan yang terdapat diudara dimana berpotensi sebagai pencemar udara. Emisi ini dapat berupa gas, cair, atau partikel (Beddows dan Harrison, 2008). Emisi gas buang yaitu sisa dari hasil pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam mesin pembakaran, baik itu mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar maupun mesin jet dimana sisa hasil pembakaran ini dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Emisi gas buang yang dihasilkan dapat berupa air (H₂O), gas karbon monoksida (CO) yang beracun, gas CO₂ (karbon dioksida), HC yang berupa senyawa hidrat arang sebagai akibat ketidak sempurnaan dari proses pembakaran serta partikel lepas, senyawa nitrogen oksida (NO_x), senyawa sulfur (SO_x), dan timbal/Pb (Wikipedia, 2012).

Faktor emisi adalah nilai representatif yang digunakan untuk menghubungkan jumlah polutan yang dilepaskan ke atmosfer dengan aktivitas yang terkait dengan pelepasan polutan itu sendiri (Valley, 2012). Faktor-faktor yang biasanya dinyatakan sebagai berat polutan dibagi dengan satuan berat, volume, jarak atau lamanya aktifitas yang mengemisikan polutan. Jenis-jenis dari emisi yaitu :

1. Emisi langsung adalah emisi yang langsung keluar dari aktivitas atau sumber dalam ruang batas yang telah ditetapkan. Contoh : emisi CO₂ dari kendaraan bermotor.
2. Emisi tidak langsung adalah hasil dari aktivitas di dalam ruang batas yang telah ditetapkan. Contoh : konsumsi energi listrik di rumah tangga (Haurissa dkk., 2010).

2.7 Cara Kerja Pengukuran Partikel Ultrafine

Pada dasarnya prinsip kerja pada pengukuran partikel ultrafine sama dengan prinsip kondensasi, dimana zat yang dikondensasikan berupa isopropyl alkohol. Kemudian sampel udara yang terdiri dari partikel ultrafine akan ditarik atau disedot masuk ke dalam probe alat instrumen, selanjutnya partikel ini akan masuk ke dalam abung saturator dimana di dalam tabung ini terdapat alkohol yang telah dikondensasikan menjadi uap alkohol. Partikel ultrafine dan uap alkohol yang telah bercampur selanjutnya masuk ke dalam tabung condenser dimana uap alkohol akan menjadikan partikel memadat dan menjadi butiran-butiran, sehingga padatan ini akan lebih mudah untuk dihitung. Padatan partikel ini akan jatuh dan mengenai fokus dari sinar laser yang berupa kilasan cahaya. Dimana pada saat padatan tersebut jatuh, maka kilasan cahaya laser akan terhalang. Kilasan cahaya laser yang diteruskan akan dideteksi oleh sensor yang dinamakan dengan photodetector dan hasilnya akan dihitung untuk menentukan besar konsentrasi partikel yang berada disekitar lingkungan. Prinsip kerja dari pengukuran partikel ultrafine dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2. 4 Prinsip Kerja Pengukuran Partikel Ultrafine



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{Halaman ini sengaja dikosongkan}



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2013 sampai dengan Februari 2013.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan berbagai macam peralatan sebagai berikut :

1. *P-Track Ultrafine Particle Counter (UPC) Model 8525*, merupakan suatu alat yang mampu mengukur dan mendeteksi jumlah partikel di udara sampai dengan ukuran nano partikel. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur sumber polutan seperti migrasi gas buang yang beracun, gas buang hasil pembakaran, zat sisa hasil penggunaan mesin fotokopi, printer dan sebagainya. Gambar alat P-Track UPC dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1P-Track Ultrafine Particle Counter

2. Pompa Hisap Rokok, merupakan alat yang digunakan untuk menghisap rokok dengan menggunakan pompa udara yang biasa digunakan untuk membuat gelembung udara pada aquarium. Pada alat pompa hisap ini, kecepatan dapat ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Merujuk dari penelitian (Utomo, 2011)

menyatakan bahwa kecepatan yang digunakan umumnya pada pompa hisap rokok yaitu kecepatan sedang.

3. *Anemomaster Kanomax seri A 031*, merupakan alat yang digunakan untuk menentukan kecepatan aliran udara di lingkungan. Pada penelitian ini, alat Anemomaster Kanomax digunakan untuk menentukan kecepatan hisap pada pompa hisap dan kecepatan pada pompa. Gambar alat Anemomaster Kanomax dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Anemomaster Kanomax

4. *Environmental Chamber*, merupakan alat berbentuk kubus yang terbuat dari kaca dengan ukuran $0.75 \times 0.75 \times 0.75 \text{ m}^3$ tanpa adanya ventilasi. Di dalam chamber terdapat kipas listrik kecil yang diletakkan di salah satu sudut yang berfungsi agar asap yang masuk ke dalam chamber ini akan tercampur dengan udara yang berada di dalam secara seragam (homogen). Sisi yang berlawanan terdapat 3 lubang yang digunakan sebagai tempat probe dari instrument pengukuran yang dipakai dan tempat saluran pembuangan. Lubang yang tidak terpakai dibuat tertutup.
5. *Software Origin 8.1*, merupakan software yang digunakan dalam pengolahan data. Data yang akan diolah adalah data yang diperoleh dari alat P-track UPC dan diolah dalam bentuk grafik. Dari grafik yang telah didapat nantinya akan dicari luas area dengan menggunakan bantuan software origin. Luas area ini merupakan bentuk integral dari grafik tersebut.
6. PC / Komputer / *Notebook*, merupakan alat yang digunakan untuk mengolah data dari hasil percobaan yang telah tersimpan

pada alat *P-Track UPC* kemudian di export dalam bentuk *Microsoft Excel* dan dilihat dalam bentuk grafik.

3.2.2 Bahan – bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. *Isopropyl Alkohol*. Larutan *isopropyl alkohol* ini merupakan nama untuk senyawa kimia dengan nomor molekul C_3H_8O , dimana larutan ini tidak berwarna tetapi memiliki bau yang sangat tajam dan bersifat mudah terbakar.
2. Rokok, merupakan bahan utama pada penelitian. Rokok yang akan digunakan adalah 10 macam merk rokok jenis filter dan 10 macam merk rokok jenis non filter produk Nasional. Selain itu, juga digunakan rokok jenis filter dan non filter produk lokal (Malang). Adapun tabel merk rokok yang akan digunakan akan disajikan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Nama-nama merk rokok yang akan diteliti

Produk Nasional		Produk Lokal	
Non Filter	Filter	Non Filter	Filter
B	Am	BM	NS
DC	Cm	TJ	G
D	D	FB	A
S	Lm	A	Sm
SA	Mg	WK	Rm
Ws	Sc	MB	I
GG	SG	VL	Gm
DS	Um	PM	TJ
GD	DM	EL	A
Dj	Dg	A	H

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pada penelitian ini diantaranya :

1. Studi Literatur

Langkah awal yang dilakukan adalah studi literatur. Studi literatur untuk mempelajari literatur yang diambil dari paper-paper penelitian, artikel-artikel baik dari jurnal maupun dari internet yang berkaitan dengan rokok, partikulat matter, partikel ultrafine, emisi, dan sebagainya.

2. Menentukan Nilai Kecepatan Hisap pada Pompa

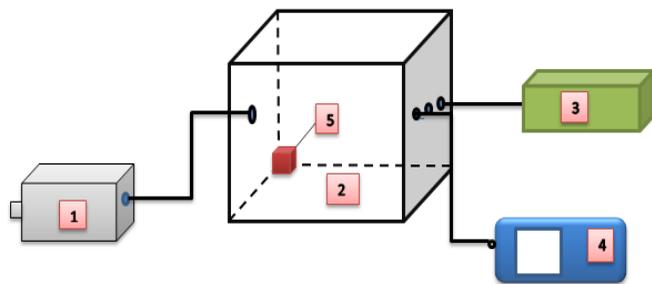
Selanjutnya untuk menentukan nilai kecepatan hisap pada pompa ini dilakukan dengan menggunakan alat Anemomaster Kanomax. Nilai kecepatan hisap pada pompa digunakan untuk menghitung faktor emisi partikel ultrafine tiap batang rokok.

3. Menentukan Luas Penampang Pompa

Untuk menentukan luas penampang dari pompa terlebih dahulu menentukan diameter pompa. Pengukuran diameter pompa dilakukan sebanyak 10 kali pengambilan data.

4. Merangkai Alat

Selanjutnya adalah merangkai semua alat yakni pompa hisap, environmental chamber, P-Track dan pompa yang dihubungkan dengan selang dalam satu rangkaian yang digambarkan pada **Gambar 3.3**.



- Keterangan**
- 1 = Smoking Machine
 - 2 = Enviromental Chamber
 - 3 = Pump
 - 4 = Ultrafine Particle counter
 - 5 = Mixer

Gambar 3.3 Rangkaian Penelitian

3.4 Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dimulai dari rokok ditempatkan pada pompa hisap dan kemudian dibakar dengan kecepatan yang telah ditentukan sebelumnya. Pada saat pembakaran, rokok menghasilkan asap mainstream yang nantinya akan masuk pada environmental chamber. Setelah itu, asap hasil pembakaran ditampung pada chamber yang kemudian diserap oleh UPC dan dicacah nilai jumlah partikelnya tiap batang rokok. Pada bagian bawah pojok terdapat kipas kecil yang berfungsi sebagai pengaduk asap mainstream yang masuk di dalam chamber sehingga pendistribusian asap merata disemua bagian chamber. Setelah asap mainstream yang masuk di dalam chamber diaduk dengan kipas pengaduk, jumlah konsentrasi partikel yang dihasilkan pada asap mainstream tersebut diukur dengan menggunakan alat UPC sampai dengan mendekati jumlah konsentrasi partikel yang ada di dalam chamber sebelum dilakukannya pembakaran. Untuk setiap batang rokok dibutuhkan waktu ± 1 jam. Pengambilan data awal dilakukan sebanyak tiga kali perulangan setiap 1 jenis merk rokok yaitu 1 merk rokok filter produk lokal (Malang), 2 rokok non filter dan 1 rokok filter produk nasional untuk melihat nilai deviasi pada keempat batang rokok tersebut. Untuk jenis rokok lainnya dilakukan hanya satu kali pengambilan data tiap batang.

3.5 Pengolahan Data

Data yang telah dicacah oleh UPC P-Track dan telah tersimpan di dalam UPC P-Track kemudian di download ke komputer. Data yang semula berupa file.tkp data selanjutnya di export dan akan muncul semua data yang telah dicacah oleh UPC P-Track tiap 10 detik sekali. Data yang telah di export tersebut ditulis ulang ke Microsoft Excel 2010 dalam tabel dan diplotkan hubungan antara waktu (sekon) dengan jumlah partikel (pt/cc) dalam bentuk grafik.

3.6 Analisa Data

Setelah melakukan pengolahan data, maka dilakukan analisa data sebagai berikut :

1. Menentukan Total Konsentrasi Partikel Ultrafine

Total konsentrasi partikel ultrafine ditentukan dengan luas area grafik yang telah dibuat untuk tiap batang rokok. Luasan pada grafik dapat ditentukan dengan menggunakan software Origin 8.1. Sebelum menghitung luasan grafik, terlebih dahulu data jumlah partikel yang dihasilkan di plot terhadap waktu tiap 10 detiknya. Setelah di dapatkan grafik, nilai luasan dianalisis dengan perhitungan integral untuk mencari nilai luasan pada grafik secara otomatis.

2. Menentukan Nilai Faktor Emisi

Merujuk dari penelitian (Utomo, 2011) bahwa nilai faktor emisi untuk tiap batang rokok dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_f = A \cdot v \int_0^t C(t) dt \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

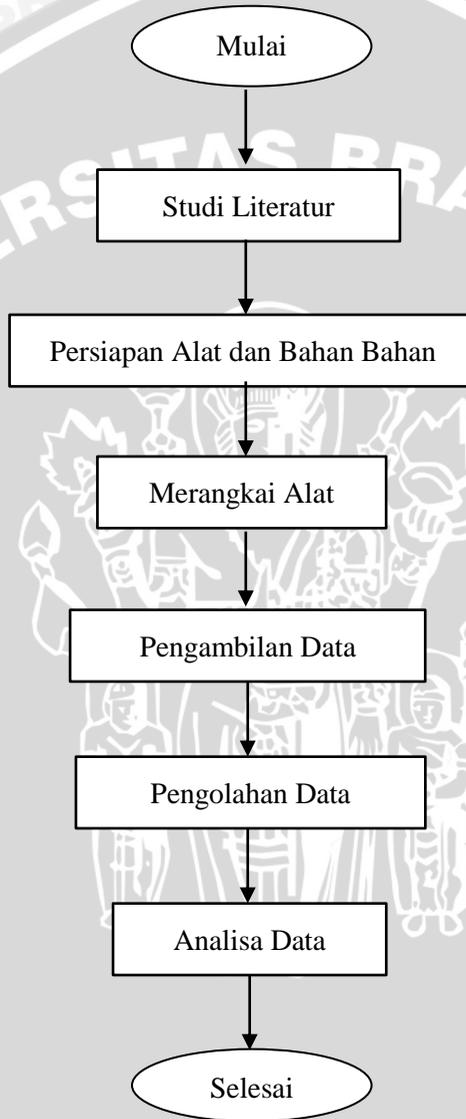
- E_f = Faktor Emisi (partikel / batang)
- A = Luas penampang batang pompa
- v = Kecepatan pompa (m/s)
- $C(t)$ = Konsentrasi Partikel hasil pembakaran (partikel/ $10^{-6}m^3$)
- $\int_0^t C(t) dt$ = Total konsentrasi partikel (partikel/ m^3 . sekon)

Sedangkan untuk mencari nilai deviasi dari faktor emisi partikel ultrafine dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta E_f = \sqrt{\left(\frac{\delta E_f}{\delta A} \delta A\right)^2 + \left(\frac{\delta E_f}{\delta v} \delta v\right)^2 + \left(\frac{\delta E_f}{\delta c} \delta c\right)^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

3.7 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian ini yaitu :



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{Halaman ini sengaja dikosongkan}

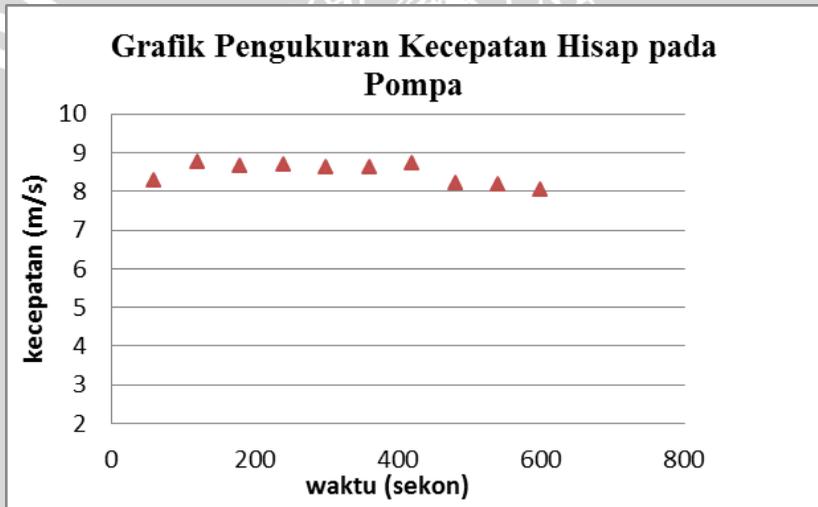


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran

4.1.1 Hasil Pengukuran Kecepatan Hisap pada Pompa

Pengukuran kecepatan hisap pada pompa ini juga dilakukan dengan menggunakan alat Anemomaster Kanomax. Pengukuran ini dilakukan untuk mengitung faktor emisi partikel ultrafine. Kecepatan hisap ditentukan selama 10 menit dengan 10 kali pengambilan data. Adapun hasil dari nilai kecepatan hisap pada pompa disajikan pada **Gambar 4.1**.

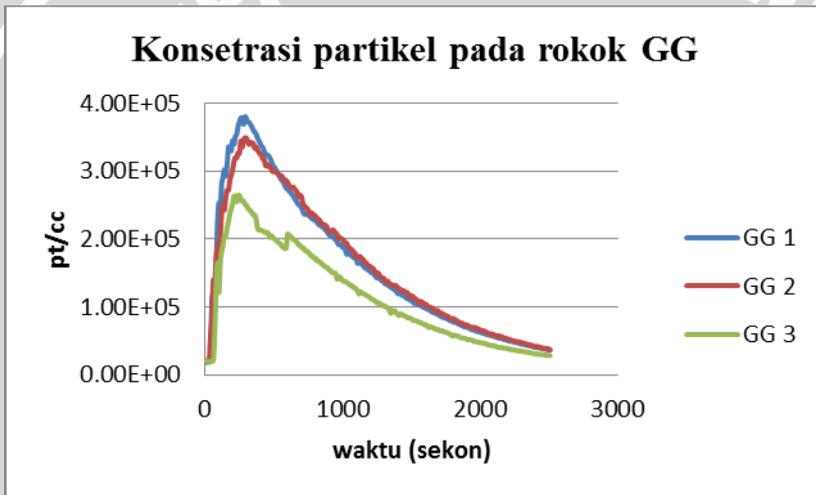


Gambar 4. 1 Grafik Pengukuran Kecepatan Hisap pada Pompa

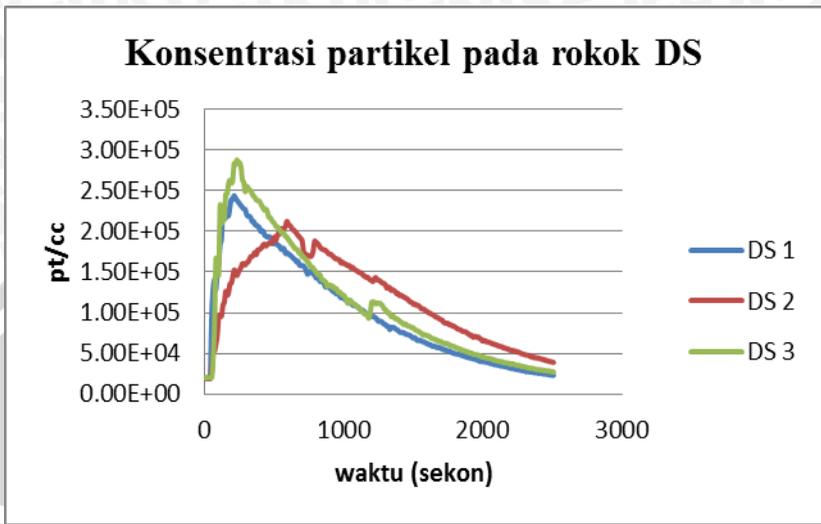
Dengan melakukan beberapa kali pengambilan data, maka akan didapatkan nilai kecepatan hisap yang baik. Setelah itu dicari nilai kecepatan hisap rata-rata dan nilai bentuk deviasi dari kecepatan rata-rata. Dari data yang dihasilkan, maka didapatkan nilai kecepatan (v) pada pompa yaitu $8,5 \pm 0,3$ m/s. Sedangkan nilai kesalahan relative kecepatan pada pompa hisap adalah sebesar 3,2 %.

4.1.2 Hasil Pengukuran Konsentrasi Partikel Ultrafine

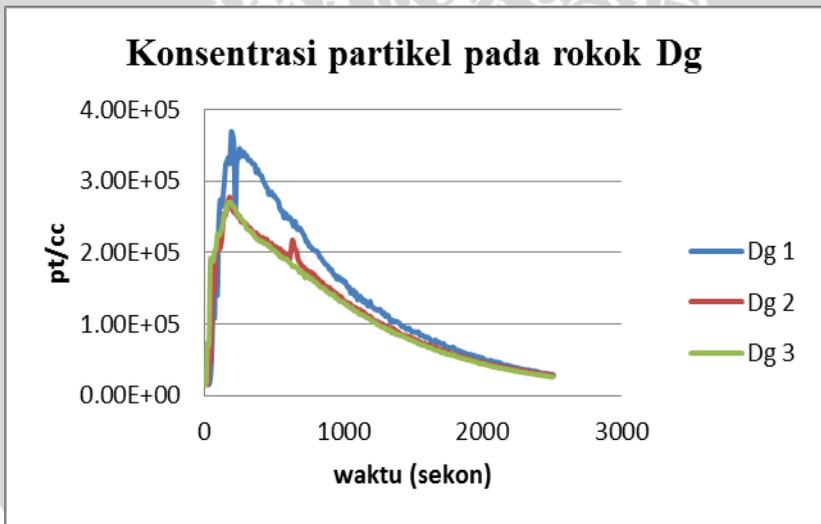
Pengukuran konsentrasi partikel ultrafine yang terdapat pada asap rokok dilakukan dengan pengambilan data pada saat pembakaran rokok yang berada pada alat P-Track Ultrafine Particle Counter (UPC) yang kemudian di *download* ke komputer dalam bentuk *Microsoft Excel* dan ditampilkan dalam bentuk grafik. **Gambar 4.2, 4.3, 4.4,** dan **4.5** merupakan grafik konsentrasi partikel pada rokok GG dan DS jenis non filter, Dg dan NS jenis filter.



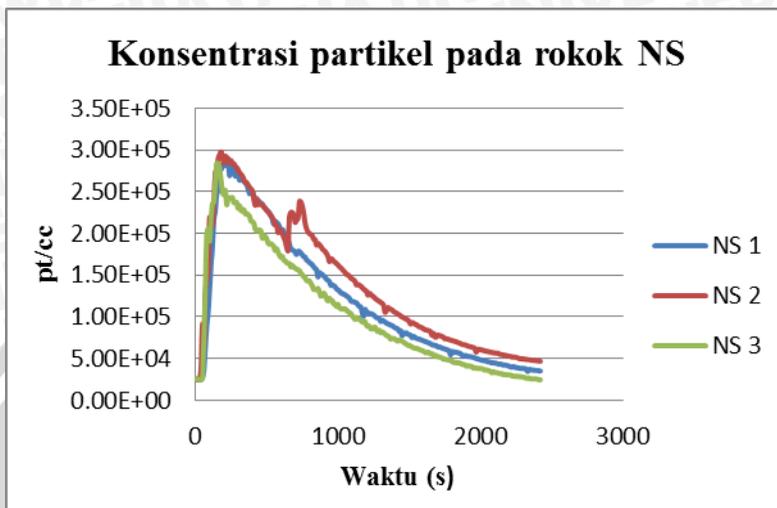
Gambar 4. 2 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok GG



Gambar 4. 3 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok DS



Gambar 4. 4 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok Dg



Gambar 4. 5 Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada rokok NS

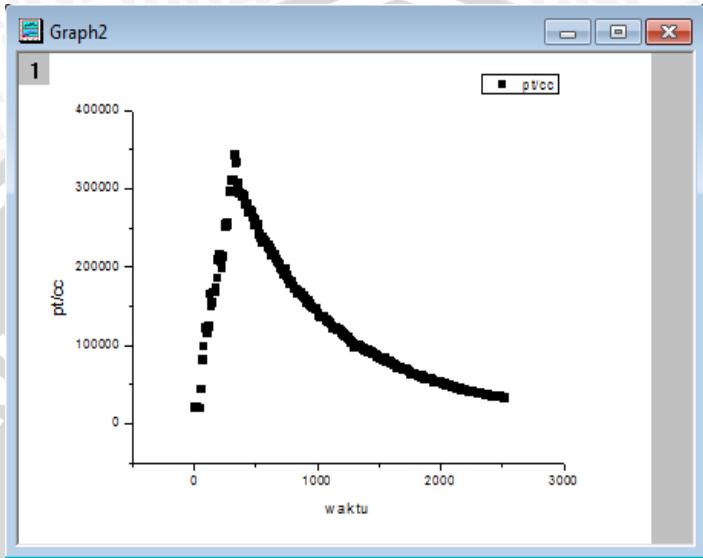
Dari grafik di atas dapat diketahui konsentrasi partikel ultrafine yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Dimana grafik menunjukkan hubungan antara waktu (sekon) dengan partikel ultrafine yang dihasilkan pada asap rokok tiap batang rokok. Pengukuran di atas dilakukan 3 kali pengambilan data tiap 1 jenis merk rokok. Setiap 10 detik sekali alat P-Track UPC menyimpan partikel ultrafine yang dihasilkan pada asap rokok tersebut.

Dari pengukuran yang sudah dilakukan, didapatkan bahwa nilai konsentrasi partikel ultrafine yang tidak jauh berbeda pada tiap batang rokok untuk 1 jenis merk rokok. Dengan melihat hasil yang telah didapatkan pada pengukuran yang telah dilakukan dan mengingat sampel yang akan diuji juga banyak maka pada percobaan selanjutnya hanya diukur 1 kali saja untuk tiap jenis merk rokok baik filter maupun non filter.

4.1.3 Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine

Pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine ditentukan dengan mencari luas area dari grafik yang telah didapatkan untuk tiap batang rokok. Penentuan luas area grafik tiap batang rokok dilakukan dengan menggunakan software Origin 8.1. Bentuk

tampilan pengolahan data untuk menghitung total konsentrasi partikel ultrafine dapat dilihat pada **Gambar 4.6** dan **4.7**.



Gambar 4. 6 Tampilan grafik pada software Origin 8.1

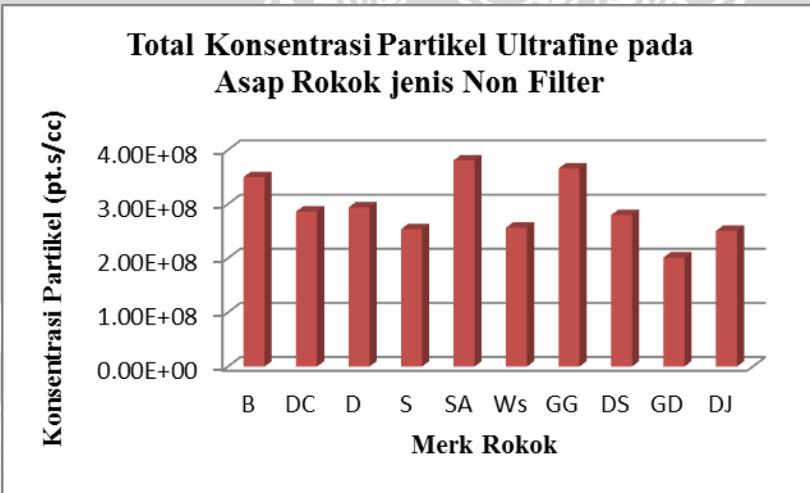
```
[6/5/2013 15:35:47 "" (2456448)]
integ1
  Input
    iy = [Book1]Sheet1!(A"waktu",B"pt/cc")
    baseline = 0
    type = 0 (math:Mathematical Area)
    plot = 0
  Output
    oy = [Book1]Sheet1!(,D"Integrated Y2")
    x1 = 0
    x2 = 2510
    i1 = 1
    i2 = 252
    area = 313064150
    y0 = 344700
    x0 = 320
    dx = 654.4688269073
```

Gambar 4. 7 Tampilan hasil pengukuran dari software Origin

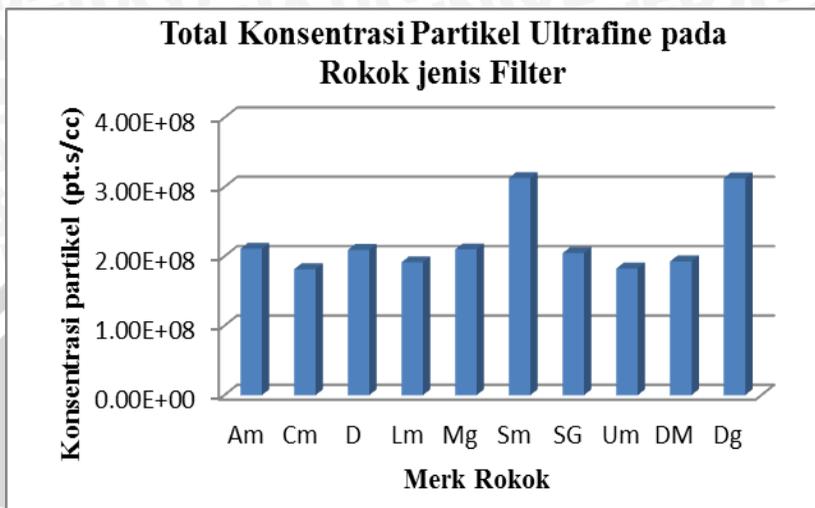
Untuk menentukan luas area grafik pada rokok GG, DS untuk jenis non filter dan Dg, NS untuk jenis filter dilakukan 3 kali pengukuran sesuai dengan jumlah rokok yang diukur guna menentukan nilai dari deviasinya. Pada rokok jenis non filter dengan merk rokok GG didapatkan hasil luas area grafik yang telah dihitung dengan menggunakan software origin sebesar $3,7 \times 10^8 \pm 3,8 \times 10^7$ pt.s/cm³. Sedangkan untuk merk DS didapatkan hasil luas area grafiknya sebesar $2,8 \times 10^8 \pm 1,2 \times 10^7$ pt.s/cm³.

Untuk hasil luas area grafik pada rokok jenis filter dengan merk rokok Dg sebesar $3,1 \times 10^8 \pm 2,1 \times 10^8$ pt.s/cm³. Sedangkan pada rokok merk NS hasil luas area grafik yang telah dihitung dengan menggunakan software Origin adalah $2,9 \times 10^8 \pm 2,3 \times 10^7$ pt.s/cm³.

Setelah dilakukan pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine pada merk rokok GG, DS, Dg dan NS, maka dilakukan kembali pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine pada merk rokok dengan satu kali pengukuran yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai faktor emisi partikel ultrafine dari tiap batang rokok

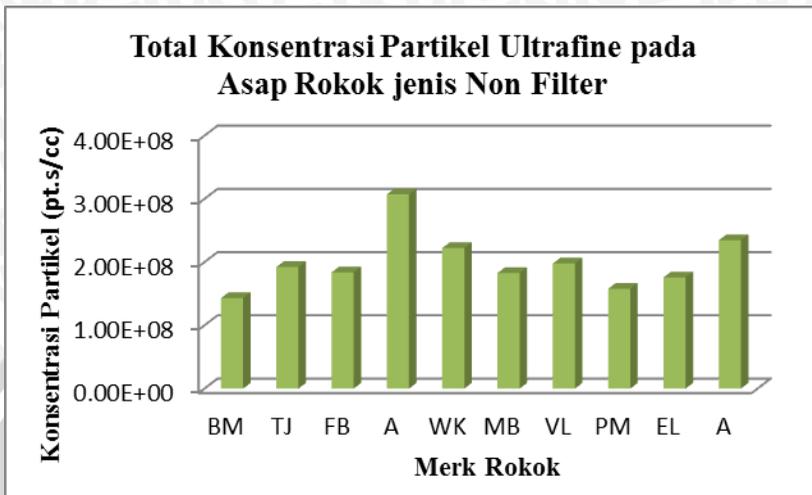


Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Non Filter

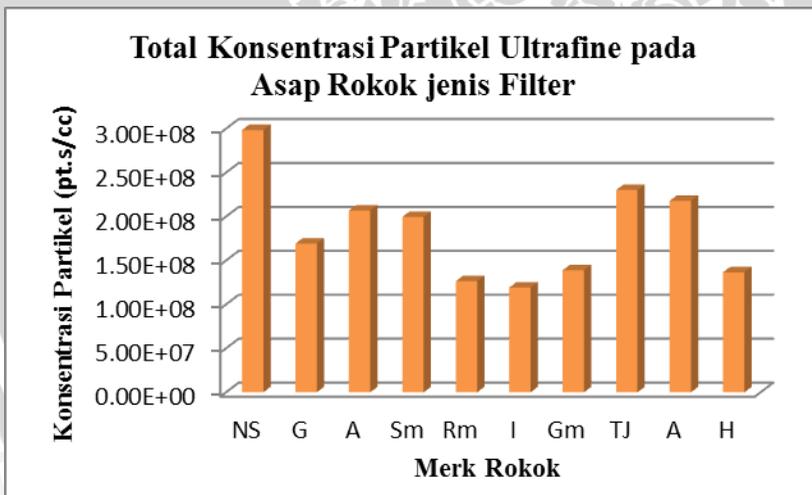


Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Filter

Gambar 4.8 dan **4.9** merupakan grafik hasil pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter dan filter produk nasional. Selanjutnya untuk grafik hasil pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter dan filter yang produk lokal (Malang) disajikan pada gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Non Filter



Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok jenis Filter

Dari Gambar 4.8 untuk hasil pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter produk nasional didapatkan nilai tertinggi total konsentrasi sebesar $3,81 \times 10^8$ partikel.sekon/cc atau partikel.sekon/cm³ pada merk rokok SA dan

nilai terendah sebesar $2,01 \times 10^8$ pt.s/cm³ pada merk rokok GD. Pada gambar 4.9 untuk jenis filter didapatkan nilai tertinggi total konsentrasi partikel ultrafine sebesar $3,13 \times 10^8$ pt.s/cm³ pada merk rokok Sm dan nilai terendahnya sebesar $1,82 \times 10^8$ pt.s/cm³ pada merk rokok Cm.

Sedangkan pada gambar 4.10 yaitu hasil pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter produksi lokal didapatkan nilai tertinggi total konsentrasi sebesar $3,07 \times 10^8$ partikel.sekon/cc atau partikel.sekon/cm³ pada merk rokok A dan nilai terendahnya sebesar $1,43 \times 10^8$ pt.s/cm³ pada merk rokok BM. Untuk grafik 4.11 merupakan grafik jenis filter pada pengukuran konsentrasi partikel ultrafine produk lokal didapatkan nilai tertinggi konsentrasi sebesar $2,98 \times 10^8$ pt.s/cm³ pada merk rokok NS dan nilai terendah sebesar $1,19 \times 10^8$ pt.s/cm³ pada merk rokok I.

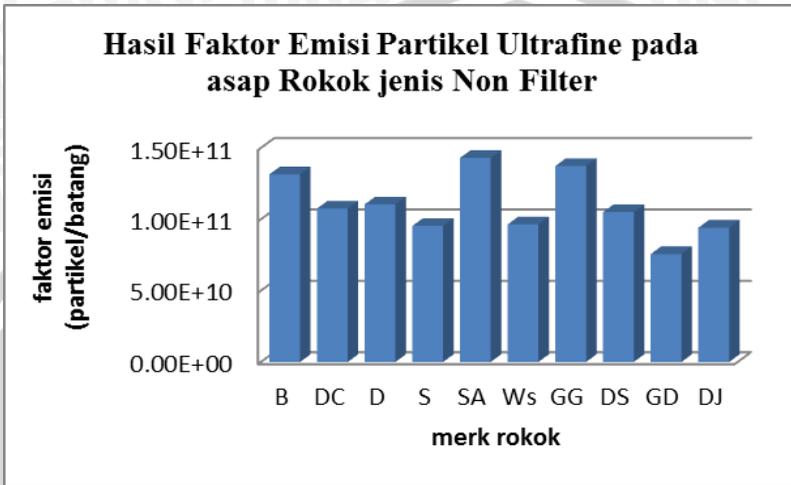
4.1.4 Hasil Pengukuran Faktor Emisi Partikel Ultrafine

Faktor emisi partikel ultrafine pada tiap batang rokok untuk jenis non filter dan filter ditentukan oleh hasil kali dari luas penampang pompa, kecepatan hisap pompa dan luas area grafik. Persamaan untuk menentukan faktor emisi partikel ultrafine dapat dilihat pada persamaan 3.1.

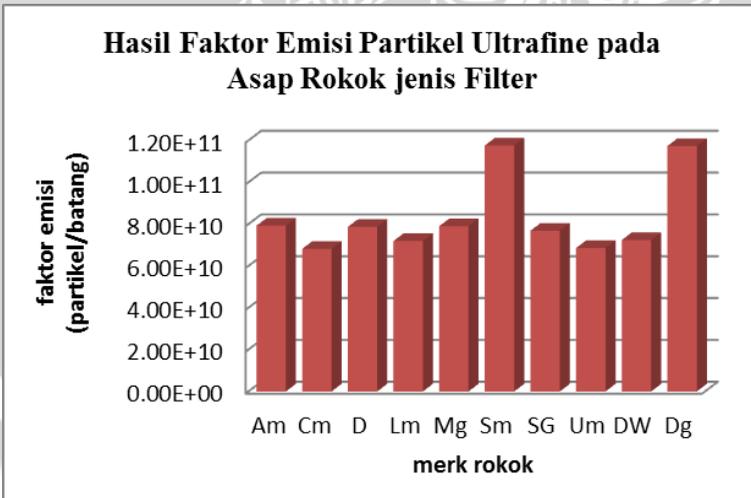
Luas area grafik yang telah dihitung mempunyai satuan partikel/cc. Untuk mengkonversi satuan luas area grafik ke dalam satuan yang sama yaitu ke satuan meter, maka pada perhitungan faktor emisi nilai luas area grafik dikalikan dengan 10^6 karena besarnya nilai dari 1 cc sama dengan 10^{-6} m³. Nilai lus penampang pompa (A) adalah $4,43 \times 10^{-5} \pm 2,96 \times 10^{-6}$ m².

Pada rokok jenis non filter dengan merk GG didapatkan nilai faktor emisinya $1,4 \times 10^{11} \pm 2,0 \times 10^{10}$ partikel/batang dengan ralat 15%. Sedangkan untuk merk DS didapatkan $1,05 \times 10^{11} \pm 8,6 \times 10^9$ partikel/batang dengan ralat 8,2%. Untuk hasil nilai faktor emisi pada rokok jenis filter merk Dg sebesar $1,2 \times 10^{11} \pm 1,3 \times 10^{10}$ partikel/batang dengan ralat 11%. Sedangkan untuk merk NS nilai faktor emisinya adalah $1,1 \times 10^{11} \pm 1,3 \times 10^{10}$ partikel/batang dengan ralat 12 %. Setelah menghitung nilai faktor emisi dari tiap batang rokok jenis non filter maupun filter sesuai dengan persamaan 3.1 hasil perhitungan dengan satu kali pengukuran ditampilkan dalam

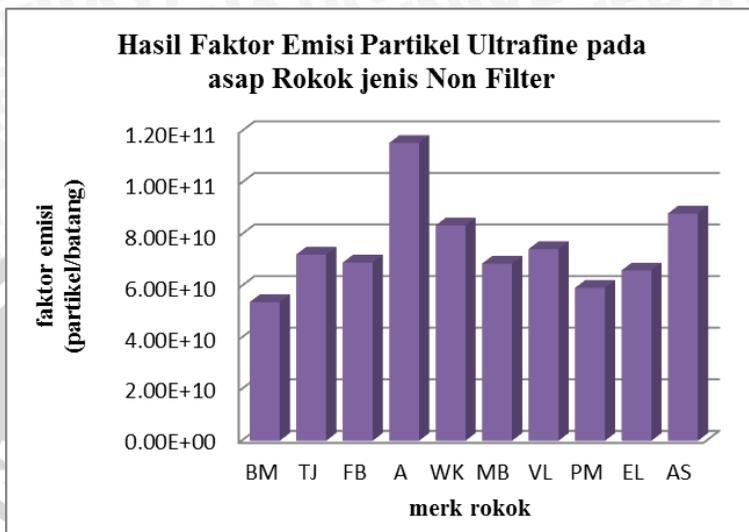
bentuk grafik batang untuk membandingkan nilai faktor emisi tiap batang rokok.



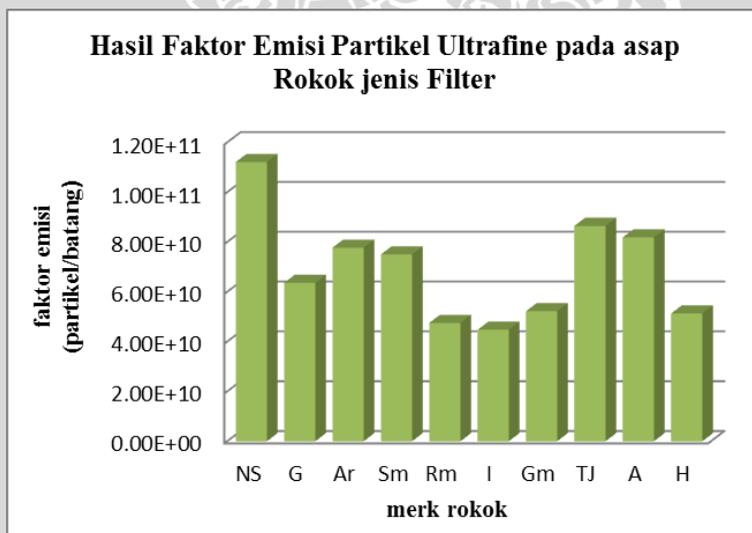
Gambar 4. 12 Grafik hasil pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter.



Gambar 4. 13 Grafik hasil pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis filter



Gambar 4. 14 Grafik hasil pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter



Gambar 4. 15 Grafik pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis filter

Dari gambar 4.12 yang telah disajikan dimana gambar tersebut merupakan grafik pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada

asap rokok jenis non filter produk nasional didapatkan nilai tertinggi konsentrasi partikel sebesar $1,43 \times 10^{11}$ partikel/batang pada merk rokok SA dan nilai terendah konsentrasi partikel sebesar $7,56 \times 10^{10}$ partikel/batang pada merk rokok GD. Pada gambar 4.13 jenis filter didapatkan nilai tertinggi konsentrasi partikel ultrafine sebesar $1,2 \times 10^{11}$ partikel/batang pada merk rokok Sm dan nilai terendah konsentrasi partikel sebesar $6,82 \times 10^{10}$ partikel/batang pada merk rokok Cm.

Sedangkan pada gambar 4.14 merupakan grafik pengukuran faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok jenis non filter produk lokal (Malang) didapatkan nilai konsentrasi partikel sebesar $1,15 \times 10^{11}$ partikel/batang pada merk rokok A dan nilai terkecil konsentrasi partikel sebesar $5,38 \times 10^{10}$ partikel/batang pada merk rokok BM. Untuk gambar 4.15 yaitu grafik jenis filter produk lokal (Malang) didapatkan nilai tertinggi pada konsentrasi partikel ultrafine sebesar $1,12 \times 10^{11}$ partikel/batang pada merk rokok NS dan nilai terendah konsentrasi sebesar $4,48 \times 10^{10}$ partikel/batang pada merk rokok I.

4.2 Pembahasan

Partikulat merupakan partikel padat dan cair yang tersebar di udara. Partikel-partikel ini dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa cara. Berdasarkan mekanisme pembentukannya terdiri dari partikel primer dan partikel sekunder. Partikel primer adalah partikel yang langsung dipancarkan sedangkan partikel sekunder merupakan partikel yang terbentuk dari gas (Fardiaz, 1992). Berdasarkan ukuran fisik, ukuran partikel berdiameter dalam nanometer (nm) dan micrometer (μm). Partikel ultrafine adalah partikel yang memiliki ukuran kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ yang dibentuk oleh 20 sampai 50 kelompok molekul yang sangat kecil. Karena partikel ultrafine mempunyai ukuran yang sangat kecil, sehingga partikel ini memiliki pergerakan ke udara secara acak (Fierro, 2000). Salah satu sumber polutan yang dapat menghasilkan partikel ultrafine adalah pada saat proses merokok. Dimana asap rokok yang dihasilkan pada saat merokok ini akan menghasilkan partikel ultrafine.

Menurut (Utomo, 2011), secara umum bahan baku dari rokok adalah tembakau yang dicampur dengan cengkeh dan bahan-bahan baku lainnya dimana bahan tersebut tersusun oleh berbagai bahan polimer. Polimer merupakan kumpulan dari beberapa monomer yang

dapat berikatan secara kimia dan dapat membentuk sifat baru yang berbeda dengan unsur monomer yang membentuknya. Dari polimer-polimer yang tersusun di dalam rokok yang akan menjadi monomer-monomer yang berbentuk particulate matter yang banyak dengan berbagai macam ukuran. Pada asap rokok yang dihasilkan pada saat pembakaran rokok, partikel ultrafine sangat membahayakan bagi kesehatan manusia. Proses pembentukan partikel ultrafine pada rokok terjadi ketika rokok dibakar maka bahan-bahan penyusun rokok akan memecah menjadi partikel-partikel dengan berbagai macam ukuran salah satunya berukuran nanometer yaitu partikel ultrafine. Partikel ultrafine ini dapat menyebabkan efek kesehatan karena luas permukaan, kapasitas oksidan, kemampuan untuk menghindari fagositosis makrofag dan kecenderungan untuk menginduksi inflamasi paru.

Pembakaran biomassa merupakan salah satu dari sumber polusi udara yang menjadi pusat perhatian dunia dalam hal kontribusi terhadap ketersediaan partikel dan gas di atmosfer. Pembakaran merupakan interaksi kompleks antara proses-proses fisika yaitu dinamika fluida dan perpindahan panas dan massa, dengan proses kimia yaitu termodinamika dan kinetika kimia. Biasanya proses pembakaran berlangsung jika ada bahan bakar, pengoksidasi (oksigen / udara) dan panas atau energi aktivasi. Biomassa terdiri dari 30 – 40 % oksigen, 30 – 60 % karbon dan 5–6 % hydrogen dan selebihnya kurang dari 1% merupakan sulfur, nitrogen, chlorine dan lain-lain (Mayasari, 2010).

Proses pembakaran biomassa terjadi karena proses pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dengan suhu sekitar 300-600 °C yang menghasilkan emisi (sisa-sisa hasil pembakaran). Untuk pembakaran biomassa pada rokok bahan-bahan yang digunakan adalah tembakau, cengkeh dan bahan campuran lainnya. Komponen biomassa terdiri dari bahan penyusun selulose, hemiselulose, lignin, lignat, hidrokarbon dan lain-lain yang bahannya merupakan bahan polimer. Sehingga pada saat dilakukan peristiwa pembakaran maka polimer-polimer tersebut akan terpecah dan menjadi monomer-monomer yang berupa gas dan PM. Selain itu, juga dihasilkan berbagai macam zat yaitu Fe, Cu, Mn, Pb, Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH), dioxil, Aldehyde, dan Volatile Organic Compounds (VOCs) (Leumieux, 2003)

Dari data hasil pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine yang telah dilakukan maka didapatkan hasil dimana setiap merk rokok memiliki nilai konsentrasi yang bervariasi. Untuk merk rokok jenis non filter produk nasional didapatkan konsentrasi antara $2,00 \times 10^8$ sampai $3,99 \times 10^8$ partikel.sekon/cm³, sedangkan merk rokok jenis filter konsentrasi partikelnya antara $1,84 \times 10^8$ sampai $3,37 \times 10^8$ partikel.sekon/cm³. Pada merk rokok jenis non filter produk lokal (malang) konsentrasi partikel ultrafine antara $1,42 \times 10^8$ sampai $3,37 \times 10^8$ partikel.sekon/cm³, sedangkan merk rokok jenis filter konsentrasinya antara $1,11 \times 10^8$ sampai $2,95 \times 10^8$ partikel.sekon/cm³.

Faktor emisi bergantung pada besarnya total konsentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan. Dimana semakin tinggi nilai konsentrasi partikel ultrafine maka faktor emisinya juga akan tinggi. Sehingga besarnya nilai faktor emisi setiap merk rokok juga bervariasi. Besarnya faktor emisi pada merk rokok jenis non filter produk nasional antara $7,11 \times 10^{10}$ sampai $1,42 \times 10^{11}$ partikel/batang, sedangkan pada merk rokok jenis filter antara $6,49 \times 10^{10}$ sampai $1,2 \times 10^{11}$ partikel/batang. Untuk besarnya faktor emisi pada merk rokok jenis non filter produk lokal (Malang) antara $5,05 \times 10^{10}$ sampai $1,2 \times 10^{11}$ partikel/batang, dan pada merk rokok jenis filter faktor emisinya antara $3,93 \times 10^{10}$ sampai $1,05 \times 10^{11}$ partikel/batang. Perbedaan nilai faktor emisi tiap merk rokok dikarenakan komposisi (tembakau,cengkeh,saus) pada rokok yang berbeda-beda sesuai pabrik yang memproduksinya.

Dari data yang telah diperoleh juga dapat diketahui bahwa untuk nilai konsentrasi partikel dan faktor emisi pada merk rokok jenis non filter baik produk nasional maupun lokal (Malang) lebih besar dari pada merk rokok jenis filter. Hal ini dikarenakan pada pangkal rokok filter terdapat gabus yang fungsinya untuk menyaring atau menyerap partikel dan bahan baku lainnya yang dihasilkan pada asap rokok seperti partikel ultrafine.

Rokok filter merupakan rokok yang dibuat berdasarkan bahan campuran tembakau yang dikelilingi oleh kertas berbentuk silinder dan disalah satu ujungnya diberi filter (penyaring). Pada perkembangan teknologi terdapat jenis rokok filter yang berjenis tip ventiled. Rokok jenis ini mempunyai pengertian bahwa asap mainstream dapat diencerkan dalam udara sehingga zat adiktif yang

dihasilkan juga kecil karena pengaruh dari tip ventiled (Borgerding dan Klus, 2005). Oleh karena itu rokok jenis filter nilai konsentrasi, total konsentrasi dan faktor emisinya lebih kecil dari pada rokok jenis non filter.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{Halaman ini sengaja dikosongkan}



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari pengukuran semua merk rokok jenis non filter dan filter produk nasional maupun lokal (malang) dapat disimpulkan bahwa :

1. Besarnya faktor emisi untuk masing-masing rokok jenis filter dan non filter pada produk nasional maupun lokal (Malang) bervariasi. Untuk merk rokok jenis non filter produk nasional didapatkan nilai faktor emisi antara $7,56 \times 10^{10}$ sampai $1,43 \times 10^{11}$ partikel/batang, sedangkan pada merk rokok jenis filter antara $6,82 \times 10^{10}$ sampai $1,2 \times 10^{11}$ partikel/batang. Pada merk rokok jenis non filter produk lokal (Malang) antara $5,38 \times 10^{10}$ sampai $1,15 \times 10^{11}$ partikel/batang, dan pada merk rokok jenis filter faktor emisinya antara $4,48 \times 10^{10}$ sampai $1,12 \times 10^{11}$ partikel/batang.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kandungan VOC dan PAH yang teremisi agar dapat diketahui besarnya kandungan polutan dalam rokok. Selain itu juga dapat dilakukan penelitian besarnya faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok selain jenis filter dan non filter.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{Halaman ini sengaja dikosongkan}



DAFTAR PUSTAKA

- Agency, E. P. (2000). *National Ambient Air Quality Standarts*. 40
Akses tanggal 18 Januari, 2013.
- Baker, R. R. 2006. *Smoke generation inside a burning cigarette: Modifying combustion to develop cigarettes that may be less hazardous to health*. *Progress in Energy and Combustion Science*. 32: 377.
- Beddows, D. C. S. dan R. M. Harrison. 2008. *Comparison of average particle number emission factors for heavy and light duty vehicles derived from rolling chassis dynamometer and field studies*. *Atmospheric Environment*. 42(34): 7954.
- Bernhard, D., C. Moser, A. Backovic dan G. Wick. 2007. *Cigarette smoke – an aging accelerator?* *Experimental Gerontology*. 42.
- Borgerding, M. dan H. Klus. 2005. *Analysis of complex mixtures – Cigarette smoke*. *Experimental and Toxicologic Pathology*. 57: 43–73.
- C.L. Wilson, J.A. Bodnar, B.G. Brown, W.T. Morgan, R.J. Potts dan M. F. Borgerding. 2008. *Assessment of dioxin and dioxin-like compounds in mainstream smoke from selected US cigarette brands and reference cigarettes*. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 1721–173.
- Daher, N., R. Saleh, E. Jaroudi, H. Sheheitli, T. r. s. Badr, E. Sepetdjian, M. A. Rashidi, N. Saliba dan A. Shihadeh. 2009. *Comparison of carcinogen, carbon monoxide, and ultrafine particle emissions from narghilewaterpipe and cigarette smoking: Sidestream smoke measurements and assessment of second-hand smoke emission factors*. *Atmospheric Environment*: 1-2.
- David Bernhard , C. M., Aleksandar Backovic, Georg Wick. 2006. *Cigarette smoke – an aging accelerator*. *Vascular Biology Group, Division Experimental Pathophysiology and Immunology*, Biocenter, Innsbruck Medical University, Fritz-Pregl-Str. 3/4. OG. 6020 Innsbruck, Austria.
- DeBano, L. F., D. G. Neary dan P. F. Ffolliott. 1998. *Fire Effects on Ecosystems*. John Wiley and Sons Inc. New York.

- Duffus, J. H. 1983. *Environmental Toxicology*. London.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Fierro, M. 2000. *Particulate Matter*. 1-11. <http://www.airinfonow.or/pdf/particulatematter>, tanggal akses : 28 desember 2011.
- Haurissa, A. M., M. G. Insani, P. P. Sari, Q. Pidriansy dan S. Krisyanti. 2010. *Faktor Emisi*. <http://ultrawomen.wordpress.com/2010/02/28/faktor-emisi/>. tanggal akses : 28 Desember 2012.
- Haris, A., M. Ikhsan dan R. Rogayah. 2012. *Asap Rokok sebagai Bahan Pencemar dalam Ruangan*. CDK-189. 39.
- Kusuma, D. A., S. S. Yuwono dan S. N. Wulan. 2010. *Studi Kadar Nikotin dan Tar Sembilan Merk Rokok Kretek Filter yang Beredar di Wilayah Kabupaten Nganjuk J.Tek..Pert. 5*: 151.
- Leumieux, P. M. 2003. *Emissions of Organic Air Toxics from Open Burning*. 1-6.
- Lobert, J. M., D. H. Scharffe, W. M. Hao, T. A. Kuhlbusch, R. Seuwan, P. Warneck dan P. J. Crutzen. 1991. *Experimental Evaluation of Biomass Burning Emissions: nitrogen and carbon containing compounds*.
- Loo, S. V. dan J. Koppejan. 2008. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. Earth Scan. London.
- Mayasari, C. 2010. *Studi Analisis Karakteristik Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) dari hasil Pembakaran Biomassa*. Fisika. Malang, Universitas Brawijaya.
- Mukono, H. J. 1997. *Pencemaran Udara Dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Airlangga Univesity Press. Surabaya..
- NAAQS/EPA-U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Code of Federal Regulations, Title 40 Part 50. *National Ambient Air Quality Standarts*. <http://www.epa.gov/ttn/naaqs/>.
- Nazaroff, W. W., N. E. K. 2003. *Environmental Tobacco Smoke Particles*. 1-3.

- Negoro, S. S. 2000. *Rokok Kretek*.
<http://www.joglosemar.com/health/nicotine.htm>. tanggal akses : 28 Desember 2012.
- Pandey, S. K. dan K.-H. Kim. 2010. *A review of environmental tobacco smoke and its determination in air*. Trends in Analytical Chemistry. 29: 804-808.
- Pappas, R. S., G. M. Polzin, L. Zhang, C. H. Watson, D. C. Paschal dan D. L. Ashley. 2006. *Cadmium, lead, and thallium in mainstream tobacco smoke particulate*. Food and Chemical Toxicology. 44: 714-715.
- Price, S. A. dan L. M. Wilson. 2006. *Patofisiologi: Konsep Klinis Proses-Proses Penyakit, Edisi ke 4*, Buku II, Judul Asli Pathophysiology Clinical Concept. ECG. Jakarta.
- Prignot, J. 1987. *Quantification and chemical markers of tobacco exposure*. Eur J Respir Dis. 70: 1-7.
- Shigemitsu Onizawa, K. A., Masashi Kajita, Yusei Miyamoto, Atsushi Nagai. 2008. *Platinum nanoparticle antioxidants inhibit pulmonary inflammation in mice exposed to cigarette smoke*.
- Tian, B., P. Chen, J. Chen dan L. Bai. 2009. *Blocking and filtering effect of Bombyx morisilkworm silk fiber filter tips against mainstream smoke of cigarettes*. Materials and Design. 30: 2289–2294.
- Tomashefski, J. F. 2008. *Dail and Hammar's Pulmonary Pathology: Volume II: Neoplastic Lung Disease*. Springer.
- Utomo, S. S. 2011. *Pengaruh Kecepatan Hisap Pada Faktor Emisi Partikel Ultrafine Asap Rokok*. Fisika. Malang, Universitas Brawijaya.
- Valley, S. J. 2012. *Emission Factor*. N. S. F. Office, Air Pollution Control District. California.
- Wardoyo, A. Y. P., L. Morawskab, Z. D. Ristovskib, M. Jamriskac, S. Carrc dan G. Johnsonb. 2007. *Size distribution of particles emitted from grass fires in the Northern Territory, Australia*. Atmospheric Environment. 41(38).
- Wikipedia. 2012. *Emisi Gas Buang*.
http://id.wikipedia.org/wiki/Emisi_gas_buang. tanggal akses : 28 Desember 2012.

Wikipedia. 2012. *Rokok*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Rokok>. tanggal akses : 4 Oktober 2012.

Wikipedia. 2013. *Biomass*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Biomass>. tanggal akses : 15 Maret 2013.

Yadi, Mulyadi. (2010). *Ilmu Kesehatan*. 1-11.

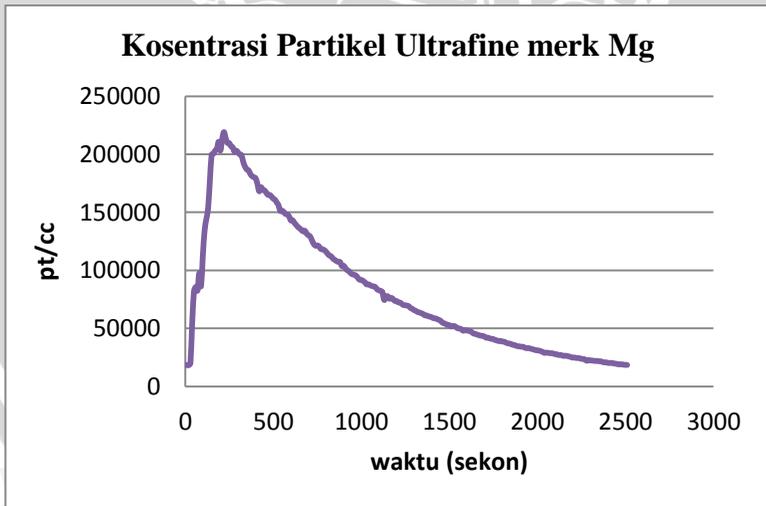
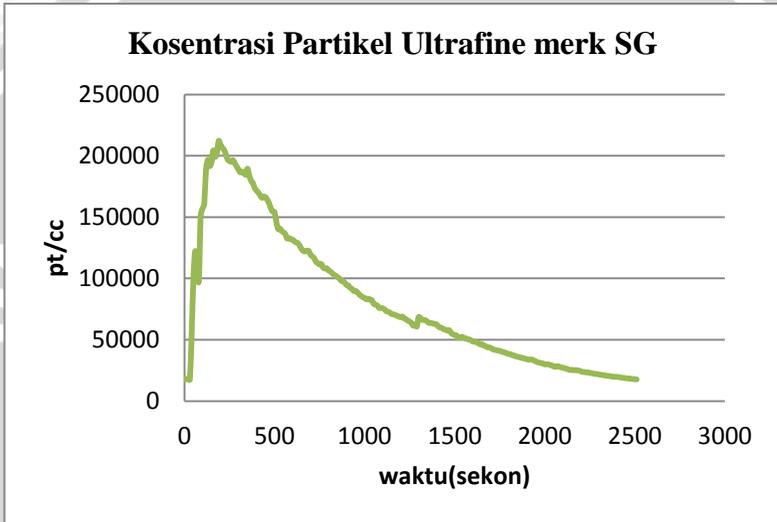
Young, T., J. McAughey, C. Mocker, C. McGrath dan R. Zimmermann. 2010. *Influence of filter ventilation on the chemical composition of cigarette mainstream smoke*. *Analytica Chimica Acta*(36–44).



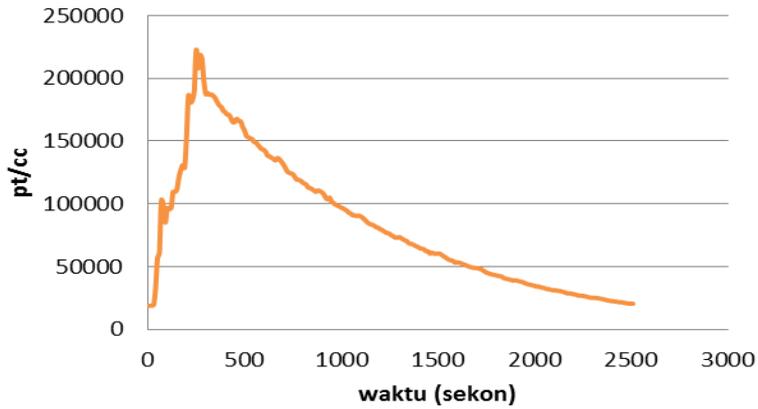
LAMPIRAN

Lampiran 1. Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada merk rokok jenis non filter dan filter produk nasional

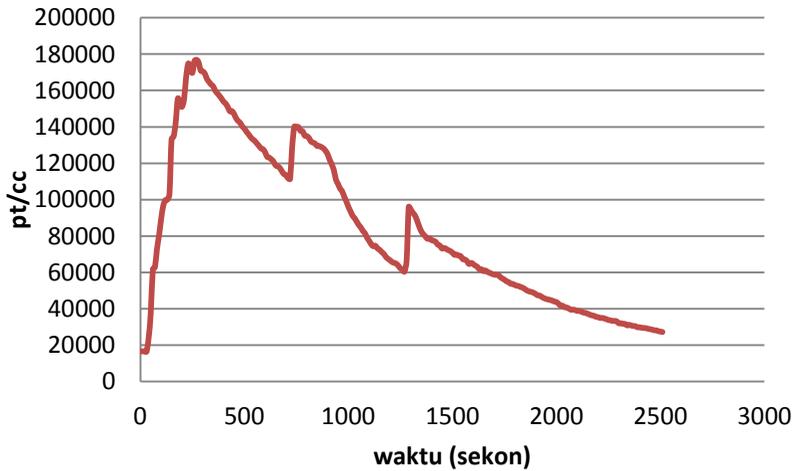
1. Rokok Filter



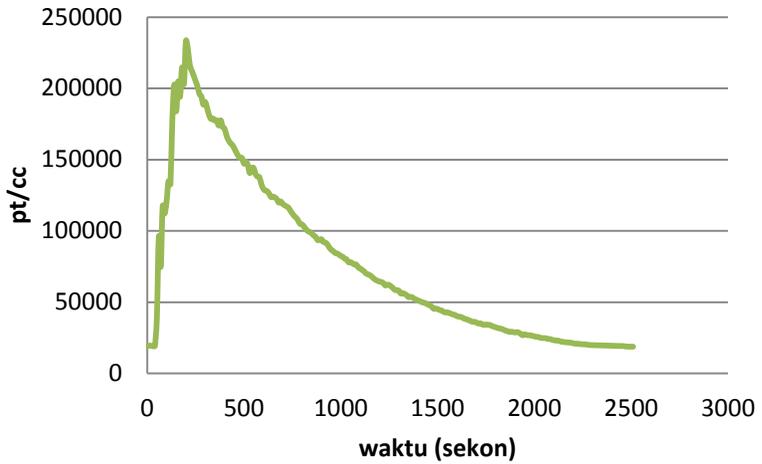
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk D



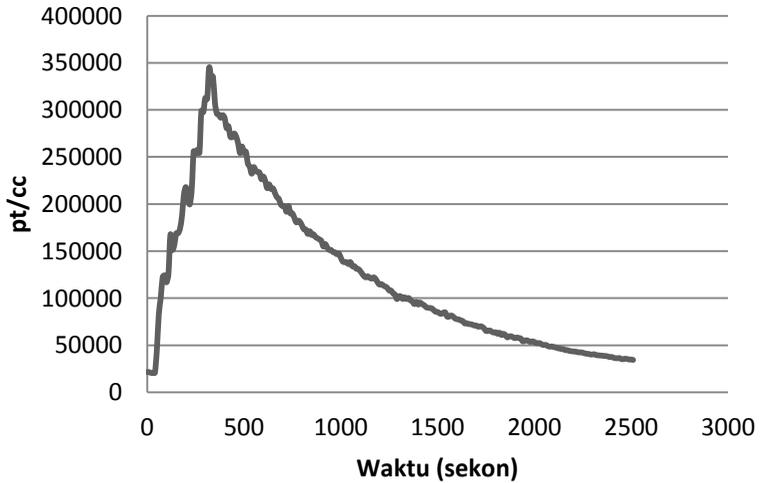
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Am



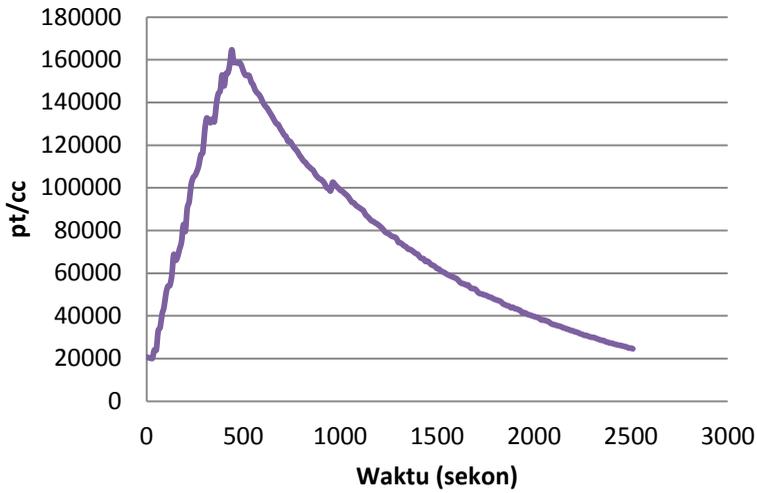
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk DW



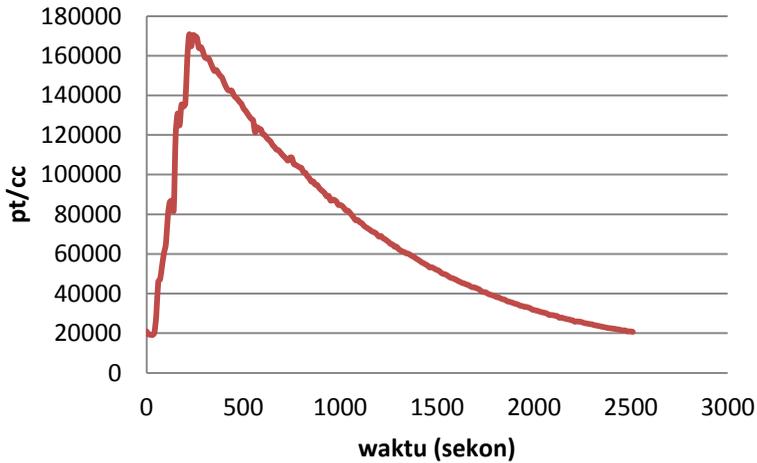
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Sm



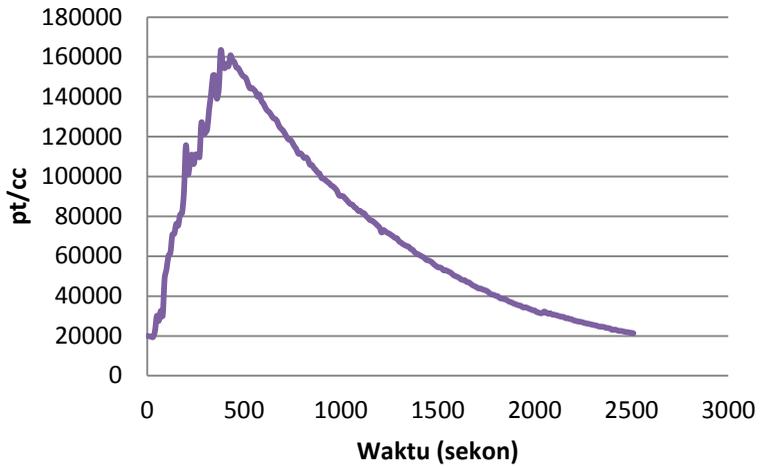
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Lm



Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Um

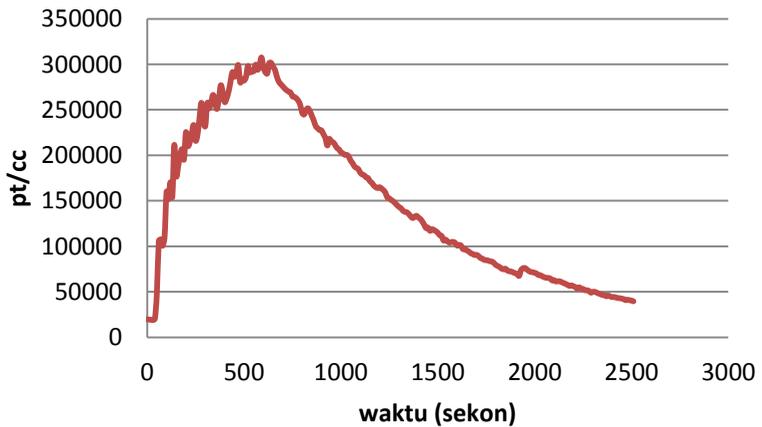


Konsentrasi Partikl Ultrafine merk Cm

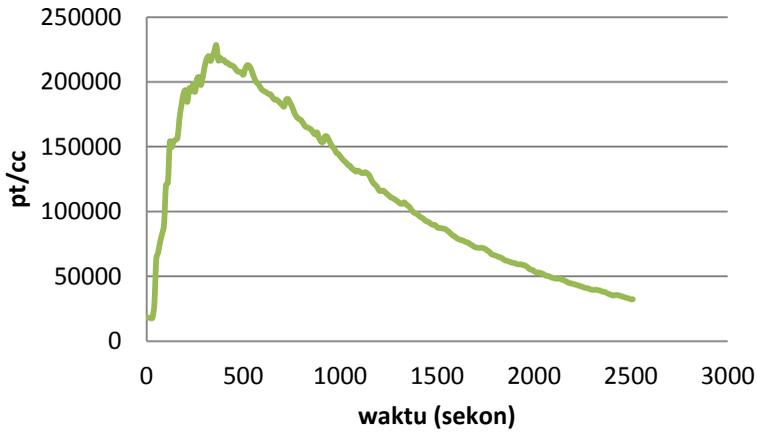


2. Rokok Non Filter

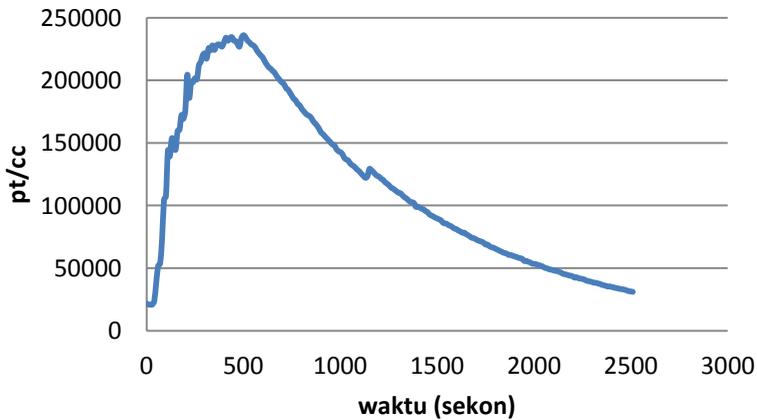
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk S



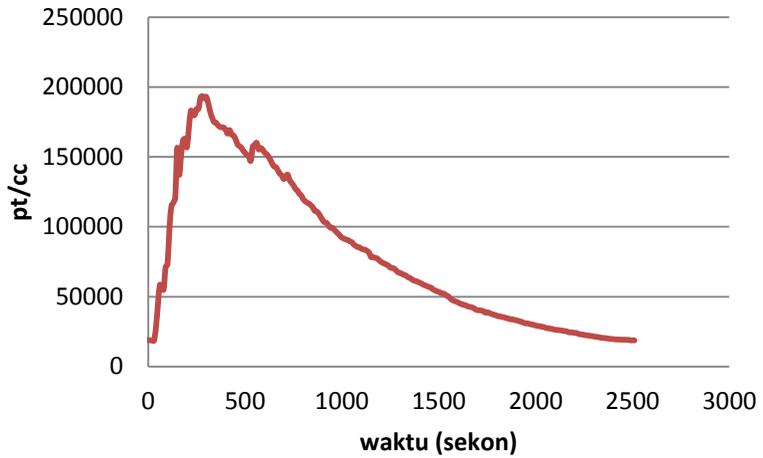
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Dc



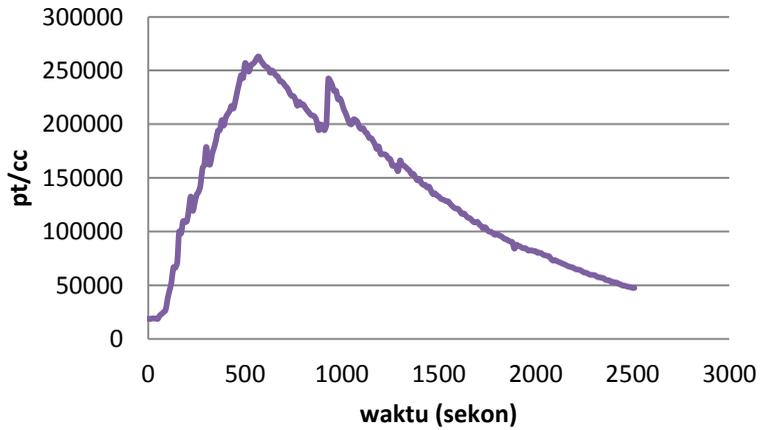
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Dj



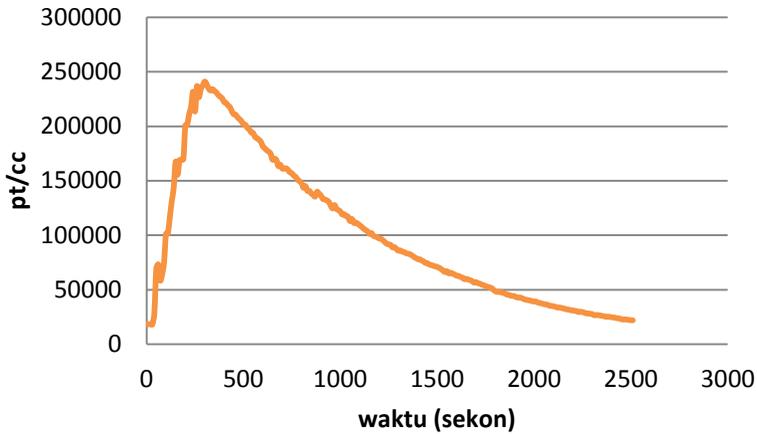
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk GD



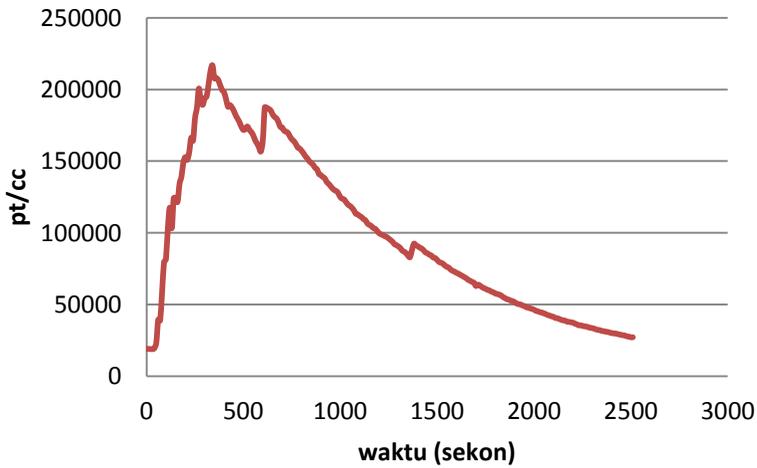
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk B



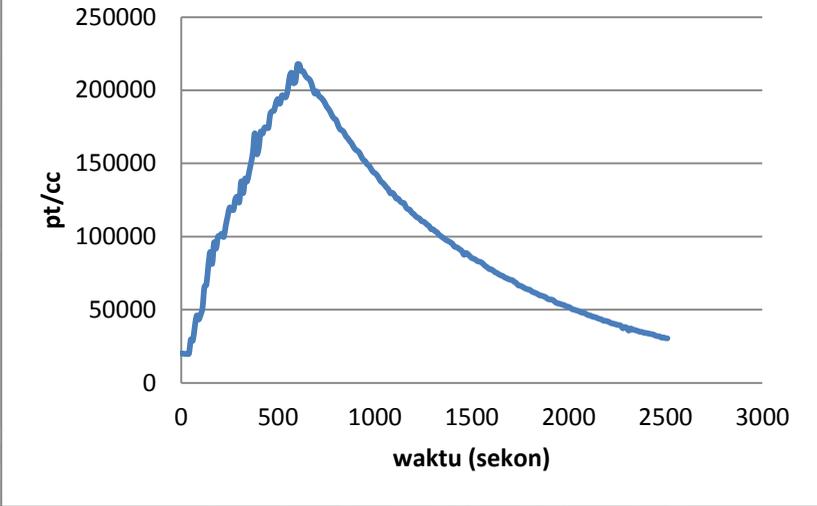
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk SA



Konsentrasi Partikel Ultrafine merk D

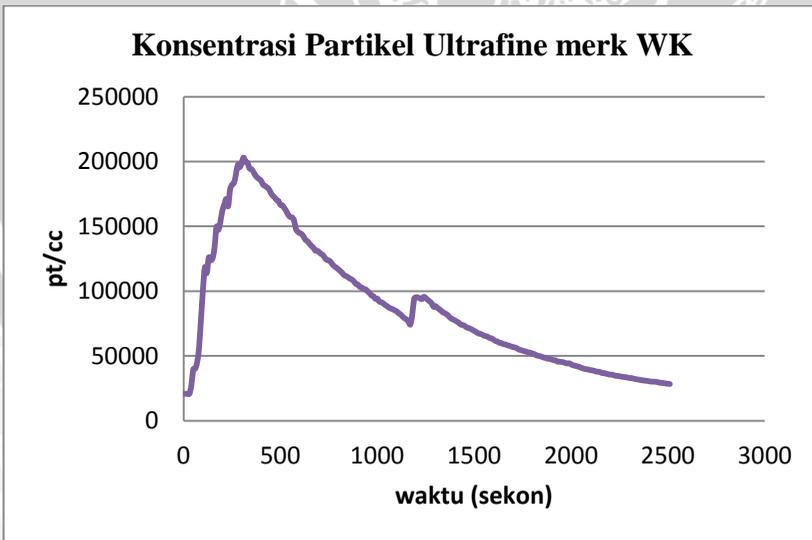
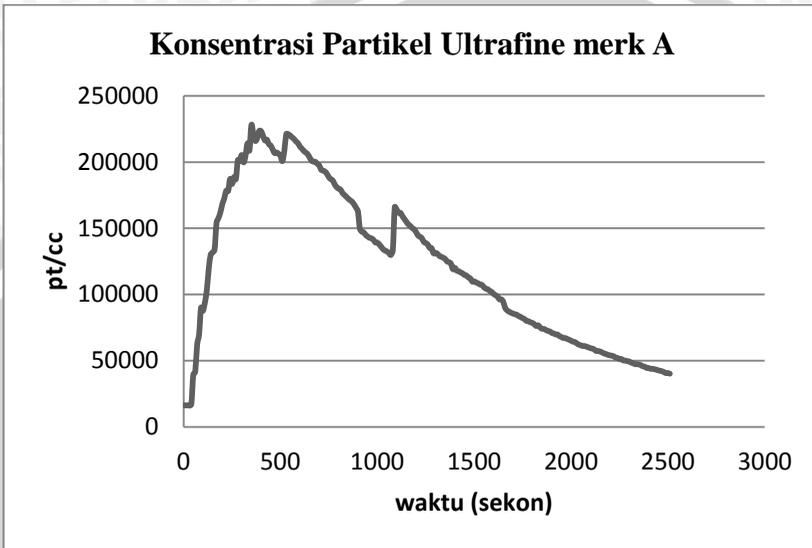


Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Ws

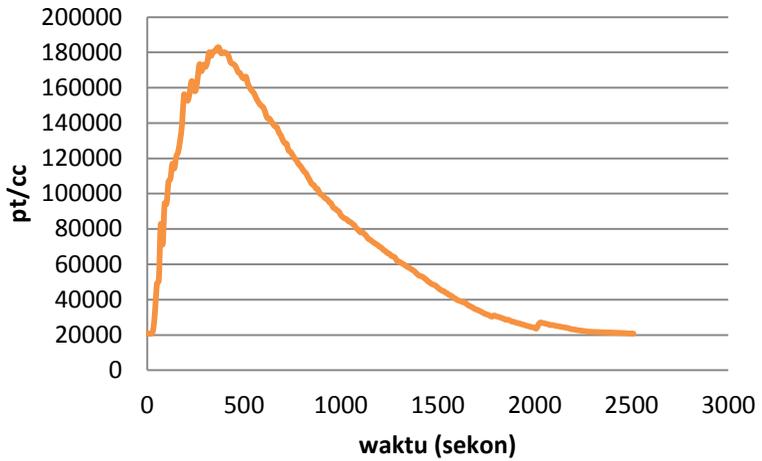


Lampiran 2. Grafik konsentrasi partikel ultrafine pada merk rokok jenis non filter dan filter produk lokal (Malang).

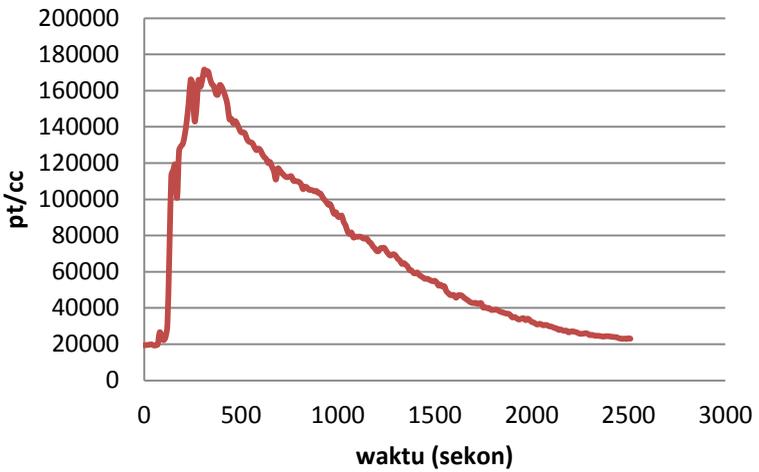
1. Rokok Non Filter



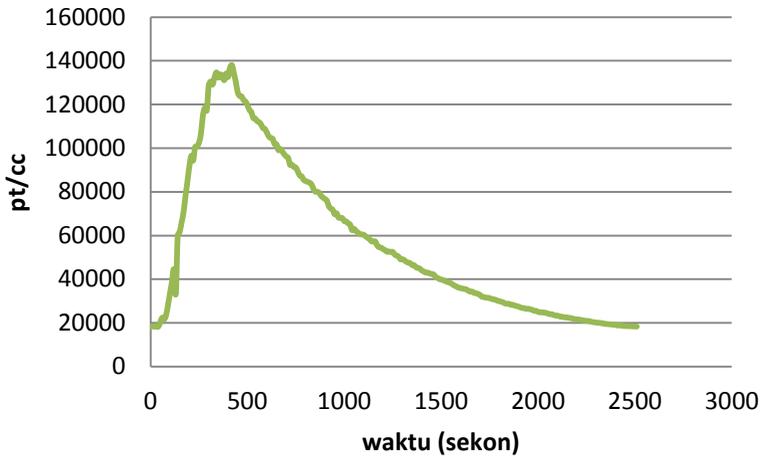
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk TJ



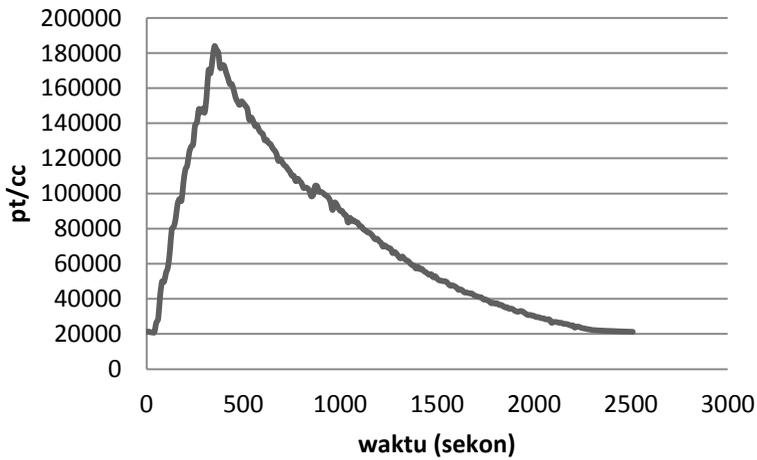
Konsentrasi Partikel Ultrafine FB



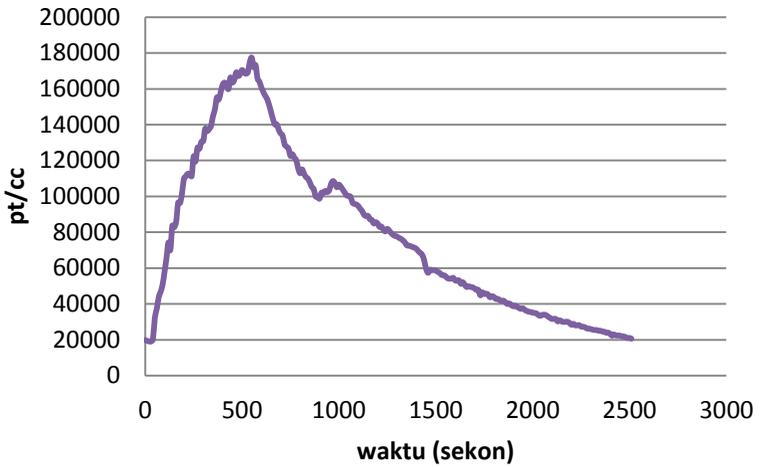
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk BM



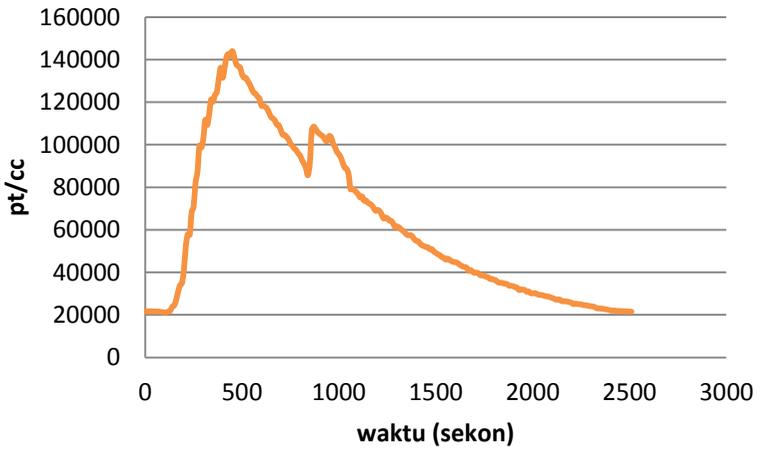
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk MB



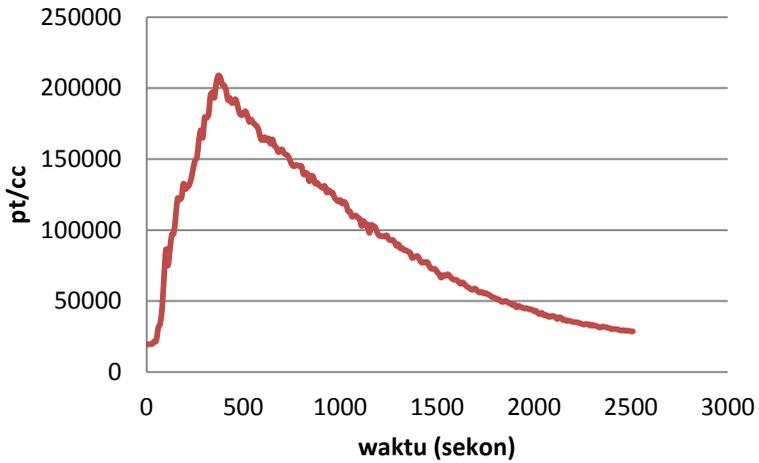
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk VL



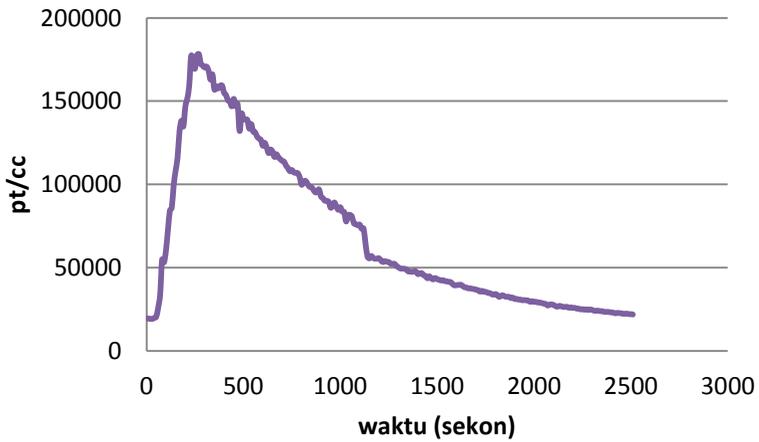
Kosentrasi Partikel Ultrafine merk PM



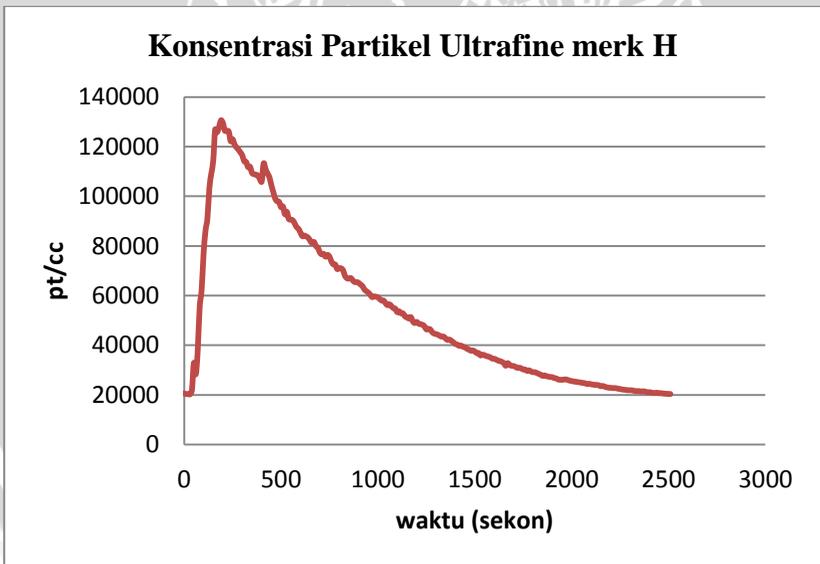
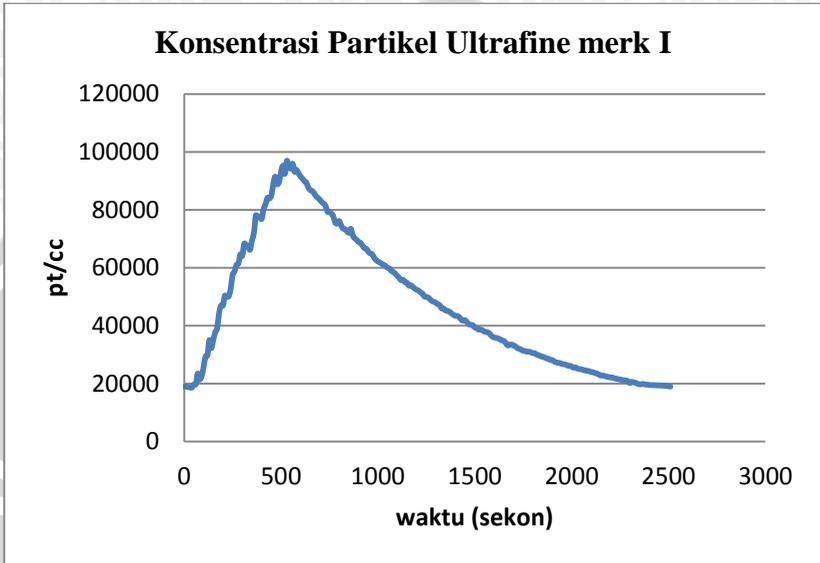
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk As



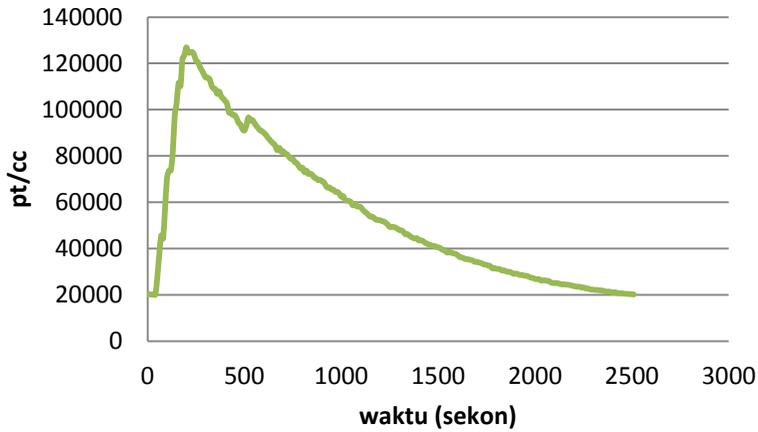
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk EL



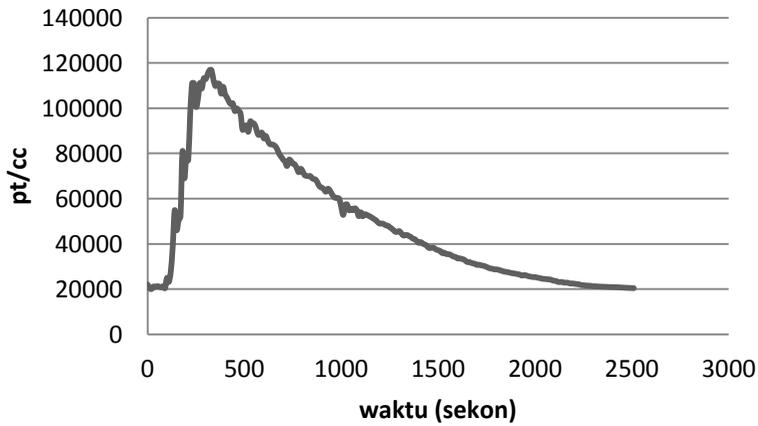
2. Rokok Filter



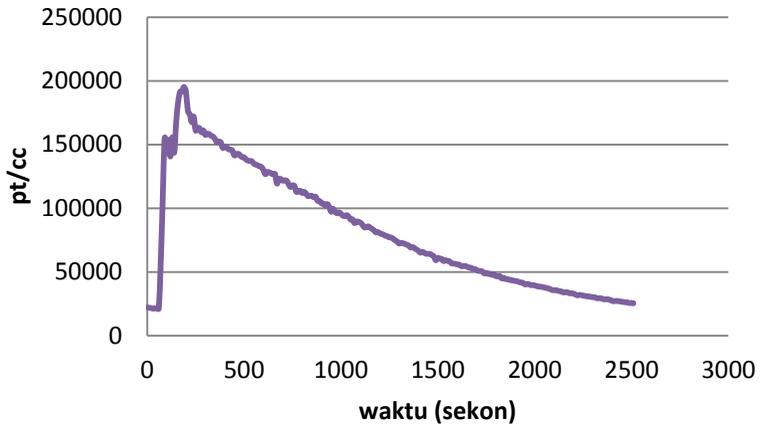
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Gm



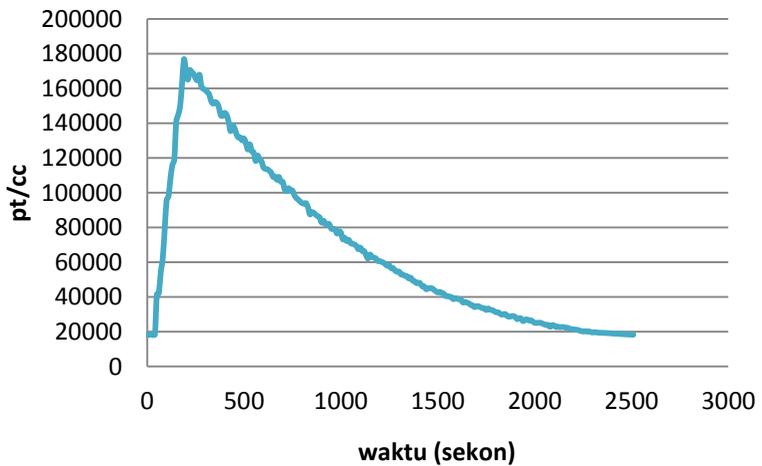
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Rm



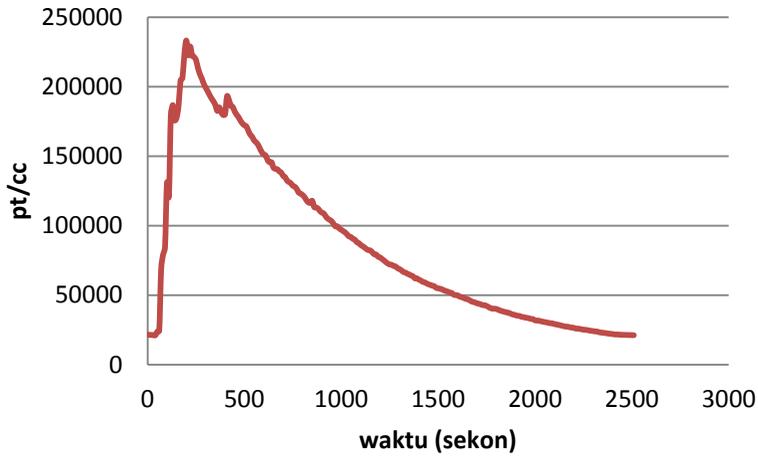
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk Ar



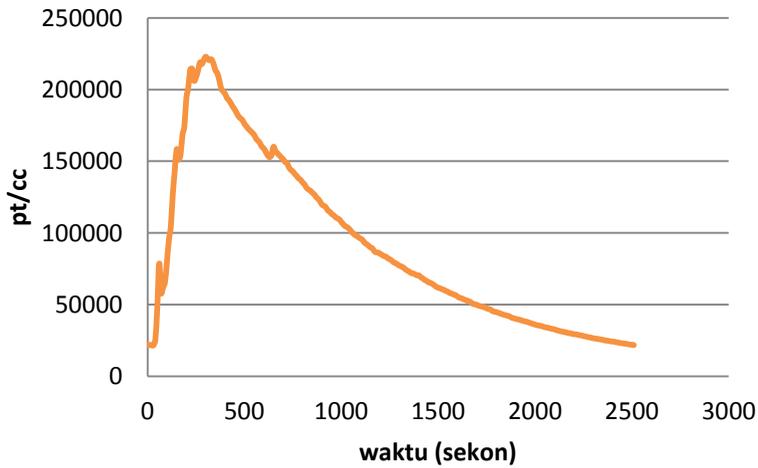
Konsentrasi Partikel Ultrafine merk G



Konsentrasi Partikel Ultrafine merk A



Konsentrasi Partikel Ultrafine merk TJ



Lampiran 3. Data Kecepatan Hisap pada Pompa

Pengukuran (sekon)	Kecepatan (m/s)
60	8.29
120	8.77
180	8.66
240	8.69
300	8.63
360	8.61
420	8.72
480	8.21
540	8.19
600	8.03

1. Nilai rata-rata pada pengukuran kecepatan hisap pada pompa :

$$\bar{v} = \frac{\Sigma v}{n} = \frac{84,8}{10} = 8,48 \text{ m/s}$$

2. Nilai deviasi pada pengukuran kecepatan hisap pada pompa :

$$\Delta v = \sqrt{\frac{(v - \bar{v})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{(0,65)^2}{9}} = 0,27 \text{ m/s}$$

3. Ralat :

$$Kr = \frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\% = \frac{0,27}{8,48} \times 100\% = 3,2\%$$

Lampiran 4. Data pengukuran diameter pompa

Pengukuran	Diameter (m)	Jari-jari (m)
1	0.0076	0.0038
2	0.0077	0.00385
3	0.0079	0.00395
4	0.0075	0.00375
5	0.0074	0.0037
6	0.0075	0.00375
7	0.0074	0.0037
8	0.0078	0.0039
9	0.0071	0.00355
10	0.0072	0.0036
Rata-Rata	0.00751	0.003755

- Luas Penampang (A) : $4.43 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- Nilai rata-rata luas penampang (A)

$$\begin{aligned}\bar{A} &= (4.43 \times 10^{-4}) / 10 \\ &= 4.43 \times 10^{-5} \text{ m}^2\end{aligned}$$

- Nilai deviasi pada luas penampang (A)

$$\begin{aligned}\Delta A &= \sqrt{\frac{(A - \bar{A})^2}{(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{(7.89 \times 10^{-7})^2}{9}} \\ &= 2.96 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

- Nilai Ralat

$$\begin{aligned}\text{Kr} &= \frac{\Delta A}{\bar{A}} \times 100\% \\ &= \frac{2.96 \times 10^{-6}}{4.43 \times 10^{-5}} \times 100\% \\ &= 6,7\%\end{aligned}$$