

**PENGARUH PENGGUNAAN FILTER DARI SERABUT
KELAPA TERHADAP EMISI PARTIKEL UTRAFINE
ASAP MAINSTREAM ROKOK**

SKRIPSI

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

oleh :

FERDIAN FASLAH

0910930008



JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN FILTER DARI SERABUT
KELAPA TERHADAP EMISI PARTIKEL ULTRAFINE ASAP
MAINSTREAM ROKOK**

Oleh :
FERDIAN FASLAH
0910930008

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

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Arinto Yudi P.W., M.Sc. Ph.D
NIP. 19640702 1989 03 1 001

Chomsin S.Widodo, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19691020 1995 12 1 002

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Brawijaya**

Drs. Adi Susilo, Ph.D
NIP. 196312271991031002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ferdian Faslakh
NIM : 0910930008
Jurusan : Fisika
Penulis Tugas Akhir Berjudul :

PENGARUH PENGGUNAAN FILTER DARI SERABUT KELAPA TERHADAP EMISI PARTIKEL ULTRAFINE ASAP MAINSTREAM ROKOK

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama-nama dan karya-karya yang ada dalam daftar pustaka digunakan semata-mata untuk acuan.
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,

Ferdian Faslakh
Nim. 0910930008

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENGARUH PENGGUNAAN FILTER DARI SERABUT KELAPA TERHADAP EMISI PARTIKEL UTRAFINE ASAP MAINSTREAM ROKOK

Abstrak

Partikel ultrafine (UFP) yang dihasilkan oleh asap *mainstream* rokok dapat menyebabkan gangguan terhadap kesehatan manusia. Untuk mengurangi jumlah partikel ultrafine maka digunakan sebuah filter rokok. Dalam penelitian ini dibuat sebuah jenis filter yaitu filter dari serabut kelapa dengan variasi densitas filter untuk mengetahui pengaruhnya terhadap faktor emisi partikel ultrafine.

Penelitian dilakukan dengan metode *chamber*. Asap *mainstream* rokok dimasukkan dengan pompa penghisap ke dalam *chamber*. Konsentrasi partikel ultrafine di dalam *chamber* kemudian diukur menggunakan P-TRAK UPC. Total partikel ultrafine ini digunakan untuk menentukan nilai faktor emisi ultrafine yaitu partikel ultrafine yang dihasilkan per batang rokok yang dibakar. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan filter rokok yang dari serabut kelapa dengan beberapa densitas filter akan menghasilkan faktor emisi partikel ultrafine yang berbeda. Faktor emisi partikel ultrafine asap *mainstream* rokok berkurang seiring dengan besarnya densitas filter yang digunakan. Penurunan faktor emisi partikel ultrafine antara 10% sampai dengan 90% tergantung dari densitas filter serabut kelapa yang digunakan. Semakin besar densitas filter yang digunakan maka akan semakin padat filternya dan semakin banyak partikel ultrafine yang dapat disaring sehingga faktor emisi yang dihasilkan semakin kecil.

Kata Kunci : Rokok filter, partikel ultrafine, faktor emisi, serabut kelapa

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



THE INFLUENCE OF COCONUT FIBER FILTER TOWARD ULTRAFINES PARTICLES EMISSION OF MAINSTREAM CIGARETTE SMOKE

Abstract

Ultrafine particles (UFP) emitted from mainstream cigarette smoke have impacts on human health. A filter on the cigarettes was developed to reduce ultrafine particles. It has been developed a filter made of coconut fiber in order to reduce the ultrafine particles.

The chamber method was used in this research. Mainstream smoke from cigarette combustion was inhaled into the chamber using a smoking machine. The concentration of the smoke inside the chamber was measured by the P-TRAK UPC. The total concentration of the ultrafine particle was used for calculating the emission factor. The result showed that UFP emitted from the mainstream cigarette smoke have differences for various densities. Emission factor of UFP in mainstream cigarette smokes is reduced if the filter has higher density. The reductions of UFP due to the coconut fiber in range of 10% to 90% depend on the filter density. The emission factor decreases when the filter density gets higher because it becomes denser.

Keyword: Filter cigarette, ultrafine particle, emission factor, coconut fiber

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warohmatullah Wabarokatuh

Puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu wata'ala* atas segala nikmat dan karunia-Nya yang dilimpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Penggunaan Filter dari Serabut Kelapa terhadap Emisi Partikel Ultrafine Asap Mainstream Rokok”** sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Fisika. Sholawat dan salam semoga tetap tecurahkan untuk junjungan Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam*, beserta keluarga, sahabat-sahabatnya dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

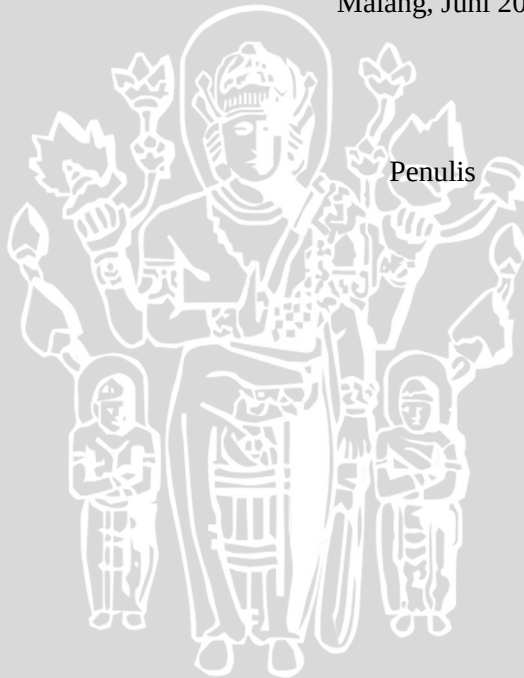
Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya dengan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu (Nita Yuliana), Bapak (Sucipto), Kakak (Farida Faslah), Adik (Feriyanto Tri Saputra) dan seluruh keluarga yang sudah memberikan kepercayaan, motivasi dan kasih sayang yang tiada henti kepada penulis,
2. Drs. Adi Susilo, PhD selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang,
3. Drs. Arinto Yudi W, M. Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Dosen Pembimbing Akademik penulis atas segala bimbingan, pengarahan, perhatian, dan kesabaran yang diberikan kepada penulis,
4. Chomsin S.Widodo, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Dosen Pembimbing II atas arahan dan petunjuk yang diberikan kepada penulis,
5. Seluruh Dosen Penguji dan Bapak / Ibu Dosen di Jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas ilmu yang telah diberikan selama penulis mengenyam bangku kuliah,
6. Seluruh Karyawan, Staf dan Laboran di Jurusan Fisika atas bantuannya dalam melancarkan administrasi perkuliahan dan yang telah memfasilitasi semua yang dibutuhkan penulis selama ini,
7. Elmiar Isdityo, Mbak Fizkha, Nella Fernania dan semua sahabat penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu,

8. Mbak Nita, Mbak Ririn, Mbak Deasy dan Mbak Virginia yang merupakan teman-teman seperjuangan ketika melakukan penelitian Tugas Akhir ini,
9. Teman-teman Fisika 2009 terima kasih atas kekompakan dan kebersamaannya selama ini,
10. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga segala yang tertulis dalam laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Penulis juga mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan laporan ini.

Malang, Juni 2013



Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan	iii
Lembar Pernyataan.....	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi.....	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvi
Daftar Lampiran	xvii
BAB I Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II Tinjauan Pustaka	5
2.1 Polusi Udara	5
2.2 <i>Particulate Matter</i> (PM).....	6
2.2.1 Partikel Ultrafine (UFP)	8
2.2.2 P-Track Ultrafine Particle Counter Model 8525	9
2.3 Rokok	11
2.3.1 Bahan Baku Penyusun Rokok	12
2.4.2 Jenis Rokok Berdasarkan Penggunaan Filter	14
2.4.3 ETS (<i>Environmental Tobacco Smoke</i>)	16
2.4 Faktor Emisi	17
2.5 Serabut Kelapa	18
BAB III Metodologi.....	21
3.1 Waktu dan tempat Pelaksanaan	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Tahapan Penelitian	21
3.3.1 Persiapan Sampel	22
3.3.2 Persiapan Alat	23
3.3.2.1 Menentukan Kecepatan Hisap Pompa	23
3.3.2.2 Merangkai Alat	24

3.3.3 Pengukuran Faktor Emisi	25
3.3.3.1 Menentukan Total Kosentrasi UFP.....	26
3.3.3.2 Menentukan Luas Penampang dan Kecepatan Pompa	27
3.3.3.3 Menentukan Densitas Filter	28
3.3.4 Analisis Data	27
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....	31
4.1 Hasil percobaan	31
4.1.1 Hasil Pengukuran Kadar Air Serabut Kelapa.....	31
4.1.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Hisap Pompa	32
4.1.3 Hasil Pengukuran Kosentrasi Partikel Ultrafine.....	32
4.1.4 Penentuan Faktor Emisi Partikel Ultrafine	33
4.1.5 Penentuan Prosentase Penurunan Partikel Ultrafine.....	36
4.2 Pembahasan	37
BAB V Penutup.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian – bagian P-Track Ultrafine Particle Counter Model 8525	10
Gambar 2.2 Prinsip Kerja P-Track Ultrafine Particle Counter Model 8525	10
Gambar 2.3 Sebatang Rokok saat Dibakar	12
Gambar 2.4 Rokok Filter	14
Gambar 2.5 <i>Environmental Tobacco Smoke</i> (ETS)	16
Gambar 2.6 Kategori Faktor Emisi	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2 Proses Pengambilan Data pada Pompa Hisap	24
Gambar 3.3 Rangkaian Pompa Hisap, Chamber dan P-Track Particle Counter Mode 8525	25
Gambar 3.4 Integral Suatu Fungsi	27
Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Kadar Air Serabut Kelapa	31
Gambar 4.2 Konsentrasi Partikel Ultrafine Rokok A	32
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Kecepatan Pompa	34
Gambar 4.4 Grafik Faktor Emisi Partikel Ultrafine Rokok A, B dan C	35
Gambar 4.5 Grafik Prosentase Penurunan Faktor Emisi Partikel Ultrafine Rokok A, B dan C	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fraksi dan Ukuran Partikulat	7
Tabel 2.2 Perbedaan kandungan nikotin dan tar asap <i>mainstream</i> rokok dengan dan tanpa arang filter	15
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Sabut Kelapa.....	19
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kosentrasi Partikel Ultrafine	35

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I : Grafik konsentrasi partikel ultrafine.....	47
Lampiran II : Data hasil pengukuran kadar air serabut kelapa, kecepatan pompa dan Diameter Pompa.....	57
Lampiran III : Perhitungan Kesalahan Relatif (K_r)	58
Lampiran IV : Tabel Faktor Emisi UFP	60
Lampiran V : Tabel Prosentase Penurunan UFP	61



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu udara luar ruangan (*outdoor air*) dan udara dalam ruangan (*indoor air*). Kualitas udara dalam ruangan sangat mempengaruhi kesehatan manusia, karena hampir 90 % hidup manusia berada dalam ruangan. Sebanyak 400 sampai 500 juta orang khususnya di negara yang sedang berkembang sedang berhadapan dengan masalah polusi udara dalam ruangan. Salah satu bahan pencemar udara adalah debu yang mempunyai diameter 0,1 sampai 100 μm . Partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari 10 μm yang biasanya disebut dengan PM_{10} (*particulate matter*) dan kurang dari 2,5 μm di dalam rumah ($\text{PM}_{2,5}$) diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernafasan karena partikel PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ dapat mengendap pada saluran pernafasan daerah bronki dan alveoli (Gindo dan Budi, 2012).

Partikel ultrafine dapat dengan mudah masuk ke daerah alveolus dalam paru-paru dan dalam jumlah yang sangat banyak dapat berpotensi negatif terhadap kesehatan. Asap *mainstream* rokok (asap yang berasal dari ujung rokok yang dekat dengan mulut perokok dan langsung dihirup oleh perokok) membawa karsinogenik semivolatil (misalnya *tobacco-specific nitrosamines* and *polycyclic aromatic hydrocarbons-PAH*), terlibat sebagai penyebab dari beberapa penyakit yang disebabkan oleh rokok. Sebagai bukti nyata dapat ditaksirkan sebagai kemungkinan relatifnya, dapat dikembangkan sebuah metode inovasi untuk mengkuantifikasi jumlah dan konsentrasi dari partikel serta batas karsinogenik partikel ultrafine ketika menghisap dan menghembuskan asap rokok oleh perokok (Brinkman dkk., 2010). Partikel ultrafine ini merupakan penyebab dari buruknya kondisi paru-paru manusia yaitu berupa radang paru-paru (Diaz, 1997), asma dan juga komplikasi pada paru-paru (Ghio dkk., 2000).

Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa asap *mainstream* rokok sebagian besar mengandung nikotin, partikulat, CO, PAH, *aldehyde volatile* dan partikel ultrafine (Daher dkk., 2009).

Pada tahun 2000, dilaporkan bahwa telah terjadi kurang lebih 5 juta angka kematian yang diakibatkan oleh kebiasaan merokok tiap tahun. Jumlah ini diperkirakan akan meningkat menjadi 10 juta kematian per tahun pada tahun 2030. Tujuh dari sepuluh kematian akibat konsumsi tembakau ini terjadi di negara-negara berkembang(Djuharta, 2003).

Rokok mempunyai bahan baku penyusun yang sangat beragam. Ketika rokok dibakar maka akan mengeluarkan lebih kurang 4000 zat kimia yang beracun(Burns, 1991).Bahan penyusun rokok antara lain tembakau, merupakan komponen utama dalam pembuatan rokok, yang dicampur dengan cengkeh dan bahan lain sebagai bahan tambahan. Zat kimia hasil pembakaran rokok antara lain karbonil volatil, fenol, *alkena volatile*, *benzo[a] pyrene*, *N-Nitrosamine tobacco* dan lain sebagainya (Bernhard dkk., 2006).

Di dalam ruangan, asap rokok merupakan sumber terpenting penghasil PAH. Sampai saat ini, 549 jenis PAH telah diidentifikasi keberadaannya dalam asap rokok. Duabelas diantaranya dikasifikasikan sebagai penyebab karsinogenik oleh *Internasional Agency for Research on Cancer* (IARC). Selama pembakaran rokok, PAH didistribusikan dalam bentuk gas dan dalam fase partikel yang kemudian akan diubah menjadi partikel dengan ukuran yang berbeda (Castro dkk., 2011). Merokok juga menyumbang polusi udara karena ketika rokok dibakar akan menghasilkan lebih dari 100.000 jenis zat, 12.000 diantaranya sudah diketahui dan 4.000 diantaranya dinyatakan sebagai zat yang berbahaya. Dalam aktivitas merokok akan dihasilkan suatu emisi yaitu hasil pembakaran (Pappas dkk., 2005).

Dalam perkembangan teknologi terdapat jenis rokok filter yaitu *tip ventilated* yaitu rokok yang dapat mengencerkan asap *mainstream* (asap yang dihasilkan dari asap yang dihisap oleh perokok aktif) ke udara sehingga zat aditif yang dihasilkan juga kecil karena pengaruh dari *tip ventilated*. Rokok filter pertama kali diproduksi pada tahun 1950. Rokok filter ini dibuat untuk menanggapi tuntutan rokok dengan hasil asap *sidestream*(asap yang menyebar ke lingkungan yang berasal dari ujung rokok yang menyala) maupun asap *mainstream* yang rendah. Sebagian besar filter rokok dibuat dari bahan mono-filamen yang dicampur dengan selulosa asetat dan mampu mengurangi kadar tar dan

nikotin sekitar 40-50% jika dibandingkan dengan rokok jenis non-filter (Borgerding dan Klus, 2005).

Filter yang terbuat dari *Bombyx mori silkworm silk fibers (dSSFs)* dapat memblokir dan menyaring kandungan senyawa *Polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) dalam asap *mainstream* rokok (Tian dkk., 2009). Dengan aktivasi arang filter kandungan *p-benzosemiquinone*, tar dan nikotin dalam asap *mainstream* rokok juga berkurang (Dey dkk., 2010). Sebagian besar filter rokok dibuat dari bahan mono-filamen yang dicampur dengan selulosa asetat dan mampu mengurangi kadar tar dan nikotin sekitar 40-50% jika dibandingkan dengan rokok jenis non-filter (Borgerding dan Klus, 2005). Belum pernah dilakukan penelitian tentang penggunaan filter dari serabut kelapa sebagai filter rokok. Serabut kelapa mengandung 43,44 % selulosa (Amelia, 2009).

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penggunaan filter dari serabut kelapa dengan variasi densitas filter terhadap emisi partikel ultrafine yang dihasilkan dari asap *mainstream* rokok?

1.3 Batasan Masalah

- 1) Tidak meneliti kandungan kimia terhadap serabut kelapa,
- 2) Tidak membahas pengaruh selulosa terhadap kandungan partikel ultrafine asap *mainstream* rokok,
- 3) Tidak membandingkan faktor emisi partikel ultrafine yang dihasilkan oleh rokok dengan filter dari serabut kelapa dengan rokok yang menggunakan filter asli.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan filter yang terbuat dari serabut kelapa dengan variasi densitas filter terhadap emisi partikel ultrafine yang terdapat di dalam asap *mainstream* rokok.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberikan informasi tentang bahaya partikel ultrafine yang dihasilkan asap rokok bagi kesehatan manusia serta dapat memberikan informasi untuk produsen rokok mengenai filter dari sabut kelapa yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti filter yang terbuat dari gabus.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polusi Udara

Udara merupakan sumber daya alam yang harus dilindungi untuk hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup yang lainnya karena sangat penting untuk kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. (Harman, 2012). Udara dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu udara luar ruangan (*outdoor air*) dan udara dalam ruangan (*indoor air*). Kualitas udara dalam ruangan sangat mempengaruhi kesehatan manusia, karena hampir 90 % hidup manusia berada dalam ruangan. Sebanyak 400 sampai 500 juta orang khususnya di negara yang sedang berkembang sedang berhadapan dengan masalah polusi udara dalam ruangan. Pemerintah Indonesia telah mengatur persyaratan kualitas udara dalam ruang perkantoran yaitu dengan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 dalam keputusan tersebut dinyatakan bahwa angka kuman kurang dari 770 koloni/m³ udara, bebas kuman patogen.

Polusi udara merupakan keberadaan substansi kimia, partikel maupun material biologi yang membahayakan atau menimbulkan ketidaknyamanan pada manusia atau organisme hidup yang lain, atau menimbulkan kerusakan pada lingkungan dan atmosfer (BPLHD, 2011). Di Amerika, isu polusi udara sudah mencuat ketika EPA pada tahun 1989 mengumumkan studi polusi udara dalam ruangan lebih berat daripada di luar ruangan (Fitria dkk., 2011).

Dalam sebuah penelitian mengenai tingkat pencemaran udara di 20 kota besar di seluruh dunia, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan bahwa sekurangnya satu jenis pencemaran udara di kota-kota besar tersebut telah melebihi ambang batas toleransi pencemaran udara yang ditetapkan oleh WHO. WHO juga memperkirakan bahwa sekitar 1,25 milyar orang tinggal di kota-kota yang tingkat pencemaran debu sudah sangat tinggi. Kota-kota besar di Indonesia juga tidak luput dari permasalahan pencemaran udara ini. Hasil pemantauan Badan Metrologi dan Geofisika di beberapa kota besar seperti Jakarta, Bandung, Surabaya, Medan dan Manado menunjukkan bahwa tingkat ambang pencemaran debu (*suspended particulate matter*

atau SPM), timah hitam, nitrogren dioksida (NO_2), karbon monoksida(CO_2) dan sulfur dioksida (SO_2) terus naik sejak tahun 1980. Stasiun-stasiun pemantau ini juga menunjukkan bahwa tingkat ambang debu, timah hitam, dan nitrogen dioksida di beberapa kota besar telah melebihi ambang batas toleransi pencemaran udara yang ditetapkan pemerintah Indonesia (Resosudarsono, 2012).

Salah satu bahan pencemar udara adalah debu yang mempunyai diameter 0,1 sampai 100 μm dan menjadi perhatian bersama khususnya debu yang dihasilkan oleh pengolahan bahan padat dari industry. Partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari 10 μm yang biasanya disebut dengan PM_{10} (*particulate matter*) dan kurang dari 2,5 μm di dalam rumah ($\text{PM}_{2,5}$) diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernafasan karena partikel PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ dapat mengendap pada saluran pernafasan daerah bronki dan alveoli (Gindo dan Budi, 2012).

2.2 Particulate Matter (PM)

Particulate matter (PM) merupakan bagian penyusun dari suatu materi yang memiliki ukuran bervariasi. Biasanya partikel ini dihasilkan dari peristiwa pemecahan suatu zat atau molekul. Banyak sekali peristiwa pemecahan suatu molekul dan menjadi partikel-partikel yang terjadi di muka bumi ini. Dan salah satunya terjadi pada peristiwa pembakaran antara lain pada pembakaran kendaraan bermotor, proses kegiatan industri maupun pembakaran biomassa (termasuk pembakaran tembakau). Ukuran partikel itu sendiri dapat dibagi menjadi dua yaitu *fine particle* dan *ultrafine particle*. Yang termasuk *fine particle* adalah PM_{10} yang berukuran kurang dari 10 μm dan $\text{PM}_{2,5}$ yang berukuran kurang dari 2,5 μm (Fierro, 2003).

Partikulat atau yang biasa disebut dengan Aerosol dapat digolongkan menjadi aerosol primer dan aerosol sekunder. Aerosol primer adalah aerosol yang dipancarkan langsung dari beberapa sumber, seperti debu yang terbawa oleh udara sebagai akibat dari adanya angin atau partikel asap yang dipancarkan dari cerobong. Aerosol sekunder merujuk pada partikel yang dihasilkan di dalam atmosfer yang mengalami reaksi kimia dari komponen gas (Gindo dan Budi, 2012). Fraksi dan ukuran dari partikulat debu di udara dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Fraksi dan Ukuran Partikulat 3

FRAKSI	UKURAN PARTIKULAT
PM ₁₀ (<i>thoracic</i>)	≤ 10 µm
PM _{2.5} (<i>respirable</i>)	≤ 2.5 µm
PM ₁	≤ 1 µm
Ultrafine (UFP atau UP)	≤ 0.1 µm
PM ₁₀ -PM _{2.5} (<i>coarse fraction</i>)	2.5 µm – 10 µm

(Prayitno dkk., 2011).

Menurut EPA pada tahun 2008, kategori partikulat berdasarkan ukurannya terbagi ke dalam *Total Suspended Matter* (TSP) yang merupakan partikel yang memiliki diameter ukuran mulai dari 0,1 µm sampai 30 µm. TSP ini terdiri dari *fine particle*, *coarse particle*, dan *supercoarse particle*.

1) PM_{2.5} (*fine particle*)

PM_{2.5} merupakan partikulat yang memiliki diameter ≤ 2,5 µm. Komposisi pembentuk PM_{2.5} terdiri dari *sulfat*, *nitrat*, *organic compounds*, *ammonium compound*, *metal*, *acidic material* dan bahan kontaminan lainnya yang dipercaya akan memberikan efek buruk bagi kesehatan. PM_{2.5} dapat bertahan di atmosfer selama beberapa jam hingga beberapa hari pada cuaca normal.

2) PM₁₀ (*coarse particle*)

PM₁₀ (*coarse particle*) merupakan partikel yang memiliki diameter ≤ 10 µm. partikulat ini termasuk ke dalam tipe polutan karena dapat masuk ke saluran pernafasan lebih dalam.

3) *Sopercoarse Particle*

Sopercoarse particle merupakan partikulat yang memiliki diameter > 10 µm. Diantara *fine particle* (1 µm), *coarse particle* (10

μm) dan *supercoarse particle* memiliki perbandingan dalam hal ukuran partikel (Environmental Protection Agency, 2000).

4) **Ultrafine Particle (UFP)**

Ultrafine Particle yang mempunyai ukuran kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ dihasilkan dari gas dan kondensasi uap bertemperatur tinggi selama pembakaran. Partikel ini terdiri dari beberapa partikel sulfat, senyawa nitrat, karbon, ammonium, ion hydrogen, senyawa organik, logam (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, dan Fe) dan partikel air terikat (Fierro, 2000).

Keberadaan *particulate Matter (PM)* di udara sering diabaikan karena akibat yang ditimbulkan pada manusia tidak seketika. Karena ukurannya yang kecil, partikel berukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ ini akan melayang-layang selama beberapa waktu di udara dan terhirup tanpa mampu disaring oleh bulu-bulu halus hidung dan selanjutnya diteruskan ke organ-organ pernafasan bagian dalam dan akhirnya mengendap di permukaan paru-paru. Endapan ini akan menyebabkan flek yang secara kronis akan menimbulkan bronchitis, asma dan kanker paru-paru (Mediastika, 2002).

2.2.1 Partikel Ultrafine

Suatu proses pembakaran sudah pasti akan menghasilkan banyak sekali jumlah partikel dengan diameter kurang dari 100 nm . Partikel ini dinamakan partikel ultrafine. Partikel ultrafine juga memiliki massa yang sangat kecil (Ellermann dan Massling, 2010).

Partikel yang sangat kecil, termasuk partikel ultrafine (diameter *aerodynamic* $\leq 0,1 \mu\text{m}$), dapat dengan mudah masuk ke daerah alveolus dalam paru-paru dan dalam jumlah yang sangat banyak dapat berpotensi negatif terhadap kesehatan. Asap *mainstream* rokok mengandung partikel ultrafine dalam jumlah banyak dan membawa karsinogenik semivolatil (misalnya *tobacco-specific nitrosamines* and *polycyclic aromatic hydrocarbons*), terlibat sebagai penyebab dari beberapa penyakit yang disebabkan oleh rokok. Sebagai bukti nyatanya dapat ditaksirkan sebagai kemungkinan relatifnya, dapat dikembangkan sebuah metode inovasi untuk mengkuantifikasi jumlah dan konsentrasi dari partikel serta batas karsinogenik partikel ultrafine ketika menghisap dan menghembuskan asap rokok oleh perokok (Brinkman dkk., 2010).

Pada saat rokok dinyalakan, temperatur pada saat pembakaran mencapai 800 °C. Selama waktu tertentu pada saat proses penghisapan, temperatur meningkat menjadi 910-920 °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 dari lebih dari 800 °C menjadi setara dengan temperatur udara sekitar ketika keluar dari ujung bawah dan dihisap oleh perokok (Borgerding dan Klus, 2005).

Selama proses merokok kandungan logam berat awalnya hadir dalam partisi tembakau yaitu pada asap *mainstream*, *sidestream*, abu dan punting rokok. Fraksi yang berada di *mainstream* telah diperiksa, karena hal ini merupakan paparan utama seorang perokok aktif (Pappas dkk., 2005).

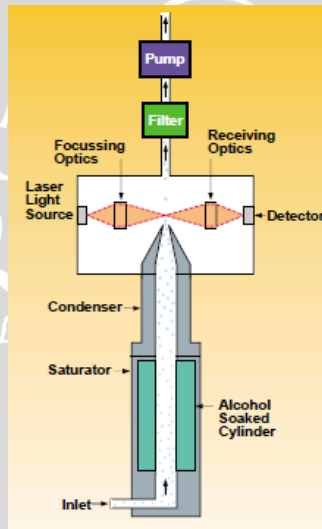
Ultrafine Particle yang mempunyai ukuran kurang dari 0,1 µm dihasilkan dari gas dan kondensasi uap bertemperatur tinggi selama pembakaran. Partikel ini terdiri dari beberapa partikel sulfat, senyawa nitrat, karbon, ammonium, ion hidrogen, senyawa organik, logam (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, dan Fe) dan 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 system pernafasan adalah ukuran partikel dan aerodinamis (Fierro, 2000).

2.2.2 P-Track Ultrafine Particle Counter Model 8525

P-track Ultrafine Particle Counter ini merupakan alat yang digunakan untuk mengukur jumlah partikel yang berukuran 20 – 1000 nm. Alat ini memiliki range konsentrasi partikel yang dapat diukur sampai dengan 5×10^5 partikel/cm³. Bagian-bagian P-Track Ultrafine Particle Counter Model 8525 dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 2.1 Bagian-Bagian P-Track Particle Counter Model 8525



Gambar 2.2 Prinsip Kerja P-Track Particle Counter Model 8525

Prinsip kerja dari P-Track Particle Counter yaitu partikel masuk dengan cara dipompa masuk ke dalam alat ini. Di dalam alat ini, partikel masuk ke dalam tabung saturator kemudian bercampur dengan alkohol yang ada di dalam tabung ini. Karena terjadi perbedaan suhu, maka terjadi kondensasi. Alkohol digunakan sebagai pembungkus atau pelapis partikel agar ukurannya menjadi sama. Setelah itu partikel dilewatkan pada sinar laser kemudian dideteksi oleh detektor yang berada tepat di

depan sumber sinar laser sehingga dapat diketahui jumlah partikel yang ada (TSI, 1999).

2.3 Rokok

Rokok adalah silinder dari kertas yang berukuran panjang anatar 70 hingga 120 mm (bervariasi tergantung negara) dengan diameter sekitar 10 mm yang berisi daun-daun tembakau yang dicacah. Rokok dibakar pada salah satu ujungnya dan dibiarkan membara agar asapnya dapat dihirup lewat mulut pada ujung lainnya (Wikipedia, 2012).

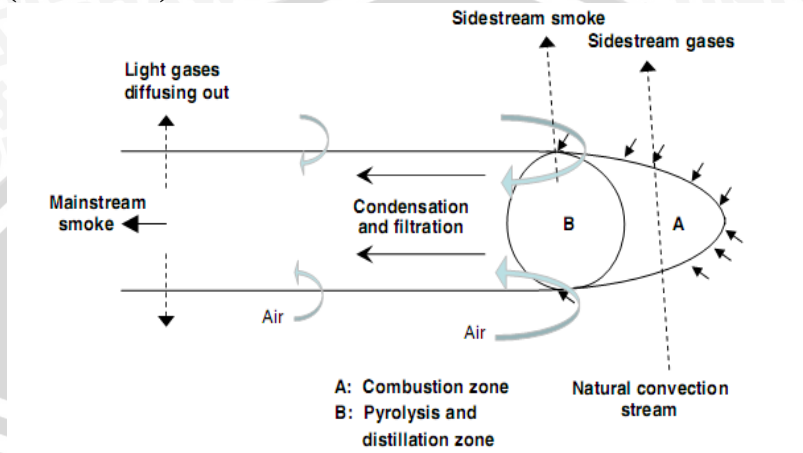
Merokok merupakan penyebab utama terjadinya beberapa kasus kanker di Amerika Serikat, diperkirakan 440.000 kematian dini per tahun. Merokok telah dikaitkan dengan penyakit kanker berbagai jenis organ penyakit paru-paru dan penyakit jantung. Hal ini disebabkan karena adanya particulate matter hasil dari pembakaran rokok tersebut. Asap tersebut merupakan campuran terkonsentrasi zat kimia yang dihasilkan oleh pyrosynthesis, langsung dari penyulingan komponen kimia dan tembakau (Pappas dkk., 2005).

Purkis (2009) dalam papernya mengatakan bahwa pemerintah Inggris dan beberapa produsen disana telah membentuk suatu lembaga yang menangani masalah asap rokok. Lembaga ini meneliti tentang bagaimana cara penanggulangan asap rokok dengan mengurangi kadar nikotin, tar dan karbon monoksida yang dihasilkan dari asap pembakaran rokok tersebut. Mengingat bahwa nikotin, tar dan karbon monoksida mempunyai sifat yang membahayakan maka masalah pengukuran ini telah ditangani dengan pengawasan yang sangat ketat(Purkis dkk., 2009).

Mekanisme terjadinya asap dari pembakaran rokok yaitu reaksi dengan oksigen dan reaksi pirolisis.

1. Reaksi rokok dengan oksigenyaitureaksi pembakaran pada temperatur tinggi, diatas 800 °C. Reaksi ini terjadi dibagian ujung rokokyang membara.
2. Reaksi Pirolisis yaitu reaksi yang terjadi akibat pemanasan dan ketiadaan oksigen. Pirolisis berlangsung pada suhu yang lebih rendah dari 800 °C sehingga rentang terjadinya pirolisis pada bagian dalam rokok berada pada area temperatur 400°C – 800 °C ciri khas reaksi ini yaitu dihasilkannya ribuan senyawa kimia yang strukturnya kompleks. Walaupun reaksi pirolisis tidak dominan dalam proses merokok, tetapi banyak

senyawa yang dihasilkan tergolong pada senyawa kimia yang beracun yang mempunyai kemampuan berdifusi dalam darah (Baker, 2006).



Gambar 2.3 Sebatang rokok saat dibakar (Baker, 2006)

Asap rokok merupakan partikel aerosol yang dihasilkan oleh kondensasi uap super jenuh yang mendingin dengan cepat. Pada tembakau sendiri terdapat sekitar 3800 penyusun yang terdiri dari molekul organik, inorganik, dan biopolimer. Molekul-molekul kecil tersebut antara lain adalah hidrokarbon, terpena, alkohol, fenol, asam-asaman, aldehid, keton, quinon, ester, nitril, senyawa belerang, karbohidrat, asam amino, alkaloid, sterol, isoprenoid, senyawa amadori dan seterusnya. Kelompok biopolimer antara lain selulosa, hemiselulosa, pectin, lignin, protein dan peptide, dan asam nukleai. Pada saat proses merokok, semua molekul tersebut akan terbakar pada suhu yang mencapai 950°C dengan konsentrasi oksigen yang berubah-ubah. Sekitar 4800 zat berbahaya telah teridentifikasi pada asap tembakau (Baker, 2006).

2.3.1 Bahan Baku Penyusun Rokok

Rokok mempunyai bahan baku penyusun yang sangat beragam. Ketika rokok dibakar maka akan mengeluarkan lebih kurang 4000 zat kimia yang beracun (Burns, 1991). 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).

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, *polynuclear aromatic hidrokarbon* (PAH). *Mainstream cigarette smoke* (MSS) biasanya dianalisis baik yang menunjukkan hasil maupun komposisi. Hasil pengukuran mencakup penentuan tar, nikotin dan karbon monoksida yang dihasilkan dan ditentukan oleh badan domestik dan internasional (Wilson dan Bodnar, 2008).

Rokok mengandung kurang lebih 4000 zat toksik (racun) dan 60% diantaranya bersifat karsinogenik (penyebab kanker). Racun utama pada rokok adalah tar, nikotin, dan karbon monoksida.

Nikotin yang memiliki formula kimia $C_{10}H_{14}N_2$ adalah bahan cairan berminyak beracun yang tidak berwarna dan kadang kekuningan serta merupakan salah satu racun paling keras yang kita kenal. Nikotin menganngu system saraf simpatik dengan akibat meningkatnya kebutuhan oksigen miokard. Nikotin mengandung zat adiktif yang membuat orang menjadi kecanduan dan sulit menghilangkan kebiasaan merokok (Wijayanti, 2009).

Tar adalah senyawa polisiklik hidrokarbon aromatika yang bersifat karsinogenik, bertanggung jawab atas tumbuhnya sel kanker dalam tubuh pecandu rokok (Wijayanti, 2009). Tar digunakan untuk melapisi jalan atau aspal, pada rokok tar menyebabkan tumbuhnya sel kanker. Sebagian lagi berupa penumpukan zat kapur, *nitrosamine* dan *B-naphthylamine*, *cadmium* dan nikel.

Selain nikotin, asap rokok juga mengandung berbagai senyawa beracun dan agen karsinogenik seperti tar. Tar terutama mengandung senyawa *Polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) yang merupakan penyebab utama gangguan kesehatan yang ditimbulkan oleh asap rokok (Tian dkk., 2009).

Di Unites States (US) dan Eropa, banyak ditemukan rokok yang di dalam asap rokoknya terkandung banyak senyawa *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) seperti *benz[a]anthracene* dan *benzo[a]pyrene* yang telah diklasifikasikan sebagai karsinogenik oleh *Internasional Agency for Research on Cancer* (IARC). US

Environmental Protection Agency (EPA) juga telah menyatakan bahwa PAH adalah polusi lingkungan yang utama (Lee dkk., 2011).

2.3.2 Jenis Rokok Berdasarkan Penggunaan Filter

Rokok dibedakan menjadi beberapa jenis, salah satunya dibedakan menurut penggunaan filter. Jenis rokok berdasarkan penggunaan filter dibagi menjadi dua, yaitu:

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

Seperti yang telah diketahui sebelumnya bahwa salah satu jenis rokok yang dikenal secara luas adalah rokok filter. Rokok filter merupakan rokok yang dibuat berdasarkan bahan campuran tembakau yang dikelilingi oleh kertas berbentuk silinder dan di salah satu ujungnya diberi filter (penyaring). Dalam perkembangan teknologi terdapat jenis rokok filter yang berjenis *tip ventilated*. Rokok jenis ini mempunyai arti yaitu bahwa asap *mainstream* dapat diencerkan dalam udara sehingga zat aditif yang dihasilkan juga kecil karena pengaruh dari tip ventilated .



Gambar 3.1 Rokok Filter (Bentoel, 2012)

Rokok filter pertama kali diproduksi pada awal tahun 1950 dimana rokok filter ini dibuat untuk menanggapi tuntutan rokok dengan hasil asap *sidestream* maupun *mainstream* yang rendah. Sebagian besar filter rokok dibuat dari band of *mono – filament* yang dicampur dengan selulosa asetat dan mampu mengurangi kadar tar dan nikotin sekitar 40-50 % jika dibandingkan dengan rokok jenis non (Borgerding dan Klus, 2005).

Lodovici, dkk pada tahun 2007 telah melakukan penelitian yaitu tentang penurunan relative level PAH pada asap *mainstream* rokok dengan modifikasi filter dan mengontrol efek dari modifikasi filter itu terhadap kandungan nikotin dan tar yang ada dalam asap *mainstream* rokok. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa total penurunan PAH karsinogenik pada asap *mainstream* rokok sekitar 44,5 % dan 42,3 %. Hal ini menunjukkan bahwa filter ini sangat efektif untuk mengurangi PAH dalam asap *mainstream* rokok (Lodovici dkk., 2007).

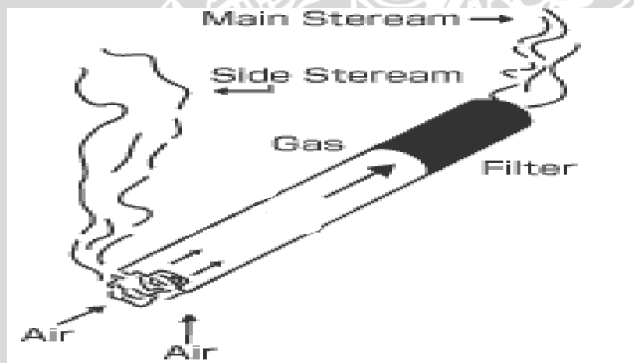
Tabel 2.2. Perbedaan kandungan nikotin dan tar asap *mainstream* rokok dengan dan tanpa arang filter

Condition with or without charcoal filter	Brand of cigarette	p-BSQ ^a content (μg)	Per cent reduction in p-BSQ content ^{**}	BSA ^a oxidation (nmoles of carbonyl formed) ^f	Nicotine ^e delivery (mg)	Tar ^g content (mg)
Without	Kentucky	100 ± 7.07	--	6.0	0.75	9
With	3R4F†	20 ± 1.79	80	1.5	0.40	4
Without	Kentucky	180 ± 17.90	--	10.0	1.16	15
With	1R3F†	40 ± 2.83	78	3.0	0.50	10
Without	Wills	200 ± 17.90	--	10.0	1.00	20
With	Navy Cut§	40 ± 3.16	80	2.5	0.45	12
Without	Winston	200 ± 20.00	--	12.4	1.3	18
With		45 ± 4.47	77	3.0	0.55	11
Without	Camel	180 ± 16.10	--	10.6	1.3	17
With		45 ± 8.94	75	2.8	0.52	10
Without	Viceroy	175 ± 13.40	--	10.4	1.3	16
With		40 ± 4.56	73	2.7	0.54	9
Without	Marlboro	170 ± 13.40	--	10.0	1.2	16
With		36 ± 3.44	79	2.5	0.50	10
Without	Benson & Hedges	170 ± 14.30	--	10.2	1.1	16
With		34 ± 3.58	80	2.5	0.47	9
Without	Virginia Slims	160 ± 14.30	--	9.8	1.1	14
With		34 ± 4.47	79	2.4	0.46	8
Without	Cambridge	160 ± 13.40	--	10.0	1.0	15
With		36 ± 4.50	77	2.6	0.44	9
Without	Kent	150 ± 9.80	--	8.5	1.0	14
With		30 ± 2.83	80	2.2	0.46	9
Without	Kool	155 ± 11.40	--	9.0	1.0	14
With		32 ± 4.56	79	2.0	0.44	9
Without	Classic	135 ± 8.94	--	7.5	0.8	12
With		25 ± 3.69	79	1.6	0.40	8
Without	Monte Carlo	140 ± 9.88	--	7.0	0.8	12
With		25 ± 2.68	78	1.5	0.40	8
Without	Mild	100 ± 7.07	--	6.0	0.7	8
With	Seven Light*	20 ± 2.28	80	1.4	0.38	3
Without	Magna*	110 ± 8.10	--	6.5	0.6	9
With		22 ± 2.83	80	1.5	0.36	4

2.3.3 ETS (*Environmental Tobacco Smoke*)

Environmental Tobacco Smoke (ETS) dalam bahasa Indonesia berarti lingkungan asap tembakau yaitu gabungan dari asap yang dihasilkan dari pembakaran rokok/tembakau maupun asap yang dihasilkan oleh asap rokok yang dihisap oleh perokok.

Ada dua macam asap rokok yang mengganggu kesehatan yaitu asap utama (*mainstream*) dan asap sampingan (*sidestream*). Asap *mainstream* merupakan asap yang muncul dari ujung rokok yang dekat dengan mulut sedangkan asap *sidestream* adalah asap yang menyebar ke lingkungan yang berasal dari ujung rokok yang menyala. Asap *sidestream* dan asap *mainstream* yang dihembuskan akan menyebar ke atmosfer akan mengalami perubahan fisik dan kimia karena bereaksi dengan ambient udara sehingga menjadi *Environmental Tobacco Smoke* (ETS). Asap *mainstream* rokok berisikan campuran yang kompleks ketika asap itu dihirup oleh system respirasi. Karakteristik fisik dan komposisi kimia dari asap *mainstream* rokok lebih terlihat dan lebih jelas daripada asap *sidestream* rokok (Borgerding dan Klus, 2005)



Gambar 2.5 *Environmental Tobacco Smoke* (ETS)

Pada dasarnya ETS mengandung karsinogenik dan gas beracun sama dengan apa yang dihasilkan oleh asap *mainstream* yang dihirup dan dilepas oleh perokok dan mengandung sebanyak 4800 zat beracun yang telah diidentifikasi sebagai komponen asap. Sementara itu sebanyak 400 orang yang telah dianalisis secara kuantitatif, sebanyak 200 zat beracun bagi manusia telah diketahui lebih dari 80 orang dari

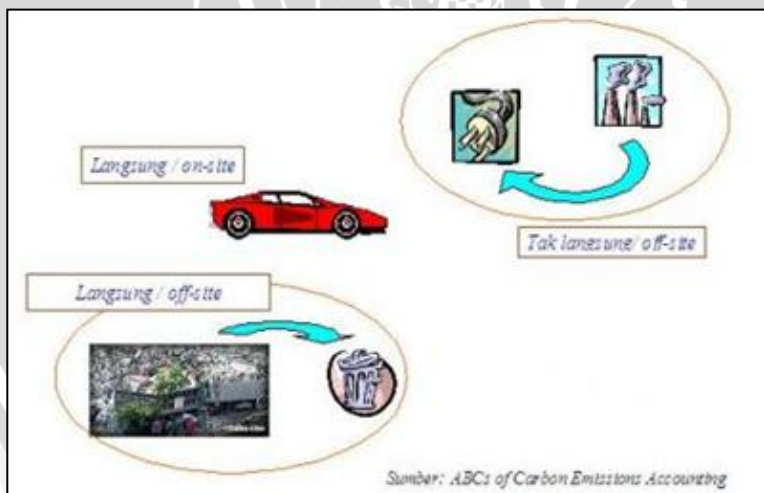
mereka. Zat yang terkandung di dalamnya terdapat karsinogenik. Terdapat pula tar, karbonmonoksida, hydrogen sianida, fenol, ammonia, formaldehid, benzene, nitrosamine dan nikotin (Pandev, 2010).

2.4 Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan nilai representative yang menghubungkan kuantitas suatu polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari suatu kegiatan yang terkait dengan sumber polutan. Faktor-faktor ini biasanya dinyatakan sebagai berat polutan dibagi dengan satuan berat, volume, jarak ataupun lamanya aktivitas yang mengemisikan polutan. Emisi dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu :

- 1 Emisi langsung yaitu emisi yang keluar langsung dari aktifitas atau sumber dalam ruang batas yang ditetapkan. Misalnya emisi CO₂ dari asap kendaraan bermotor.
- 2 Emisi tidak langsung merupakan hasil aktifitas di dalam ruang batas yang ditetapkan. Misalnya konsumsi listrik dalam rumah tangga.

Untuk keterangan jenis-jenis faktor emisi akan disajikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kategori Faktor Emisi

Faktor emisi mungkin cocok untuk digunakan dalam situasi tertentu seperti membuat perkiraan sumber emisi spesifik pada suatu area. Pendataan memiliki banyak tujuan termasuk pemodelan dan analisis *disperse ambient*, pengembangan strategi control, penyaringan dalam studi kepatuhan. Penggunaan faktor emisi juga mungkin tepat di beberapa aplikasi, seperti dalam penentuan dan penerapan biaya izin operasi (Shodiq, 2011).

Salah satu sumber emisi yaitu asap rokok. Emisi yang dihasilkan oleh asap rokok salah satunya adalah *particulate Matter* atau *PM* (*ultrafine particles UFP*, <100 nm). Partikel ultrafine dan nanopartikel memiliki sifat khusus aerodinamis dan biokimia yang mempengaruhi sistem kekebalan tubuh dan kesehatan manusia yang berbeda dari partikel gas atau yang lebih besar. Efek ini berasal dari sifat khusus yang memiliki kemampuan untuk masuk kedalam jaringan dan sel, yang berinteraksi dengan protein dan DNA pada level molekular dan secara langsung maupun tidak langsung mengubah sistem kekebalan tubuh. Zat partikel dikategorikan berdasarkan ukurannya. PM_{10} merupakan partikel yang memiliki diameter kurang dari $10\text{ }\mu\text{m}$, $PM_{2,5}$ adalah partikel yang memiliki diameter aerodinamik kurang dari $2,5\text{ }\mu\text{m}$, UFP dan nanopartikel didefinisikan sebagai partikel yang memiliki diameter kurang dari 100 nm (Slezakova, 2008).

2.5 Serabut Kelapa

Buah kelapa terdiri dari *epicarp* yaitu bagian luar yang permukaannya licin, agak keras dan tebalnya $\pm 7\text{ mm}$, *mesocarp* yaitu bagian tengah yang biasanya disebut serabut, bagian ini terdiri dari serat keras yang tebalnya $3 - 5\text{ cm}$, *endocarp* yaitu tempurung yang tebalnya $3-6\text{ mm}$. Serabut merupakan bagian tengah (*mesocarp*), *epicarp* dan *endocarp*.

Serabut kelapa merupakan bagian terluar dari buah kelapa. Ketebalan serabut kelapa berkisar antara $5-6\text{ cm}$ yang terdiri dari lapisan terluar (*exocarpium*) dan lapisan dalam (*endocarpium*). Endocarpium mengandung serat halus sebagai bahan pembuat tali, karpet, filter, bahan pengisi jok kursi atau mobil. Satu butir kelapa menghasilkan $0,4\text{ kg}$ serabut yang mengandung 30% serat.

Dari sifat mekaniknya, serabut kelapa terdiri dari :

- 1) Kekuatan tarik dari serat kasar dan halus berbeda.
- 2) Mudah Rapuh

3) Bersifat lentur

Menurut Grimwood (1975) diacu dalam Amelia (2009), terdapat tiga jenis serat yang dihasilkan dari sabut kelapa, yaitu:

1. *Mat/yarn fibre* adalah bahan yang memiliki serat yang panjang dan halus, cocok untuk pembuatan tikar dan tali.
2. *Bristle/fibre* adalah bahan yang memiliki serat yang kasar yang sering dimanfaatkan untuk pembuatan sapu dan sikat.
3. *Mattres* adalah bahan yang memiliki serat pendek dan dimanfaatkan sebagai bahan untuk pengisi kasur.

Komposisi Kimia Serabut Kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Sabut Kelapa

No	Komponen	Sabut (%)	Serat sabut (%)
1	Air	26,0	5,25
2	Pektin	14,25	3,00
3	Hemiselulosa	8,50	0,25
4	Lignin	29,23	45,84
5	Selulosa	21,07	43,44

Serabut kelapa disusun dari jaringan dasar sebagai jaringan utama penyusun sabut, jaringan dasar tersebut mempunyai konsistensi seperti gabus. Komponen selulosa, dan lignin terdapat pada bagian seratnya sedangkan komponen lainnya seperti tannin dan hemiselulosa terdapat pada jaringan dasar (gabus) (Amelia, 2009).

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik dari suatu bahan yang menunjukkan banyaknya air yang terkandung dalam bahan. Kadar air menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan bobot bahan.

Kadar air bahan dapat dinyatakan berdasarkan basis basah (Wb) dan Basis Kering (db). Pada prinsipnya yaitu menguapkan air yang ada dalam bahan dengan cara pemanasan. Kemudian bahan ditimbang hingga beratnya konstan yang berarti semua air sudah diuapkan. Untuk menentukan kadar air, digunakan persamaan 2.1 di bawah ini.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{W_m}{(W_m + W_d)} \times 100\% \quad (2.1)$$

dimana W_m adalah massa air (kg) dan W_b adalah massa bahan kering (kg) (Anonymous, 2013).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{ Halaman ini sengaja dikosongkan }



BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

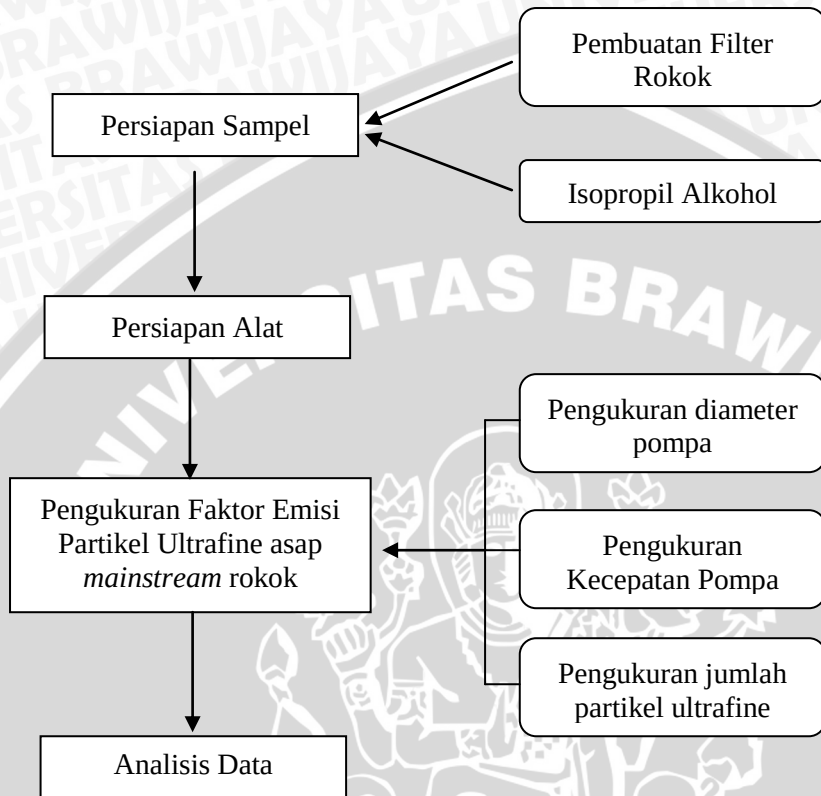
Penelitian ini dimulai pada pertengahan Oktober 2012 sampai dengan Januari 2013 di Laboratorium Pengukuran dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, digunakan beberapa alat yaitu P-Track Particle Counter Model 8525, Anemomaster Kanomax seri A 031, pompa hisap rokok, *Environmental Chamber* (ukuran $0,75 \times 0,75 \times 0,75 \text{ m}^3$), timbangan, pompa, jangka sorong, oven, computer dan software origin. Bahan yang digunakan yaitu 3 jenis rokok filter yang dipilih secara acak, *isopropyl alcohol* 99,9 % dan serabut kelapa.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Persiapan Sampel

Sampel yang digunakan berupa rokok dengan menggunakan filter yang terbuat dari serabut kelapa. Kadar air yang terkandung dalam serabut kelapa diukur terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik dari serabut kelapa. Untuk mengukur kadar air yaitu dengan proses pengeringan. Pengeringan ini dilakukan di dalam oven dengan suhu 100⁰C dalam waktu 2 jam. Dengan menggunakan persamaan 3.1, maka dapat diketahui kadar air dalam serabut kelapa.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{W_m}{(W_m + W_d)} \times 100\% \quad (3.1)$$

Wm adalah massa air yang diperoleh dari hasil pengurangan antara massa bahan sebelum dikeringkan dikurangi massa bahan setelah dikeringkan sedangkan Wm+Wd adalah massa bahan sebelum dikeringkan.

Untuk pembuatan filter, yang dilakukan pertama kali yaitu mengambil bagian daging dari serabut kelapa yang akan digunakan sebagai filter. Serabut kelapa kemudian dipipihkan sampai dengan ketebalan tertentu (sekitar 1mm). Sabut kelapa ini dipotong kecil-kecil sesuai dengan panjang filter rokok yang asli yaitu 2 cm. Sabut kelapa yang sudah dipotong ditimbang mulai dari 0,2 gram sampai 0,4 gram dengan selang 0,225 gram. Diambil massa terbesarnya 0,4 gram karena massa 0,4 gram adalah massa filter maksimum yang dapat masuk ke wadah filter rokok. Setelah massanya ditimbang, filter asli yang ada pada rokok dilepas kemudian diganti dengan filter yang sudah dibuat dari serabut kelapa

3.3.2 Persiapan Alat

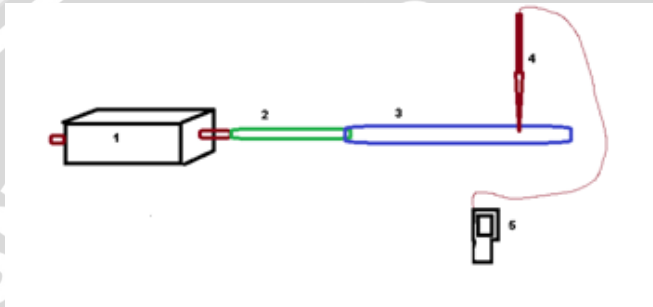
3.3.2.1 Menentukan Kecepatan Hisap Pompa Hisap

Untuk menentukan nilai kecepatan hisap dari pompa hisap digunakan Anemomaster Kanomax. Pada pompa hisap terdapat dua buah selang. Selang pertama untuk tempat meletakkan rokok yang akan dihisap, kedua untuk selanga yang akan dihubungkan ke *chamber*. Selang pertama yaitu untuk tempat rokok ketika dibakar disambung dengan selang dengan ukuran yang lebih besar. Kemudian selang besar tersebut dilubangi bagian atasnya untuk memasukan probe dari Anomemaster Kanomax. Ketika pompa dihidupkan diatur kecepatan yang kita inginkan maka probe tersebut dimasukkan ke dalam lubang bagian atas selang besar dan akan diketahui nilai kecepatan hisap dari pompa tersebut. Karena selang yang dibuat untuk meletakkan rokok ketika dibakar, disambung dengan selang yang lebih besar, maka untuk menghitung kecepatan alir di selang kecil dihitung dengan menggunakan konsep persamaan kontinuitas. Digunakan persamaan 3.2 untuk menghitung nilai dari kecepatan pompa hisap.

$$v_1 = \frac{A_2 \cdot v_2}{A_1} \quad (3.2)$$

Keterangan :
 v_1 = kecepatan aliran udara pada selang kecil
 v_2 = kecepatan aliran udara pada selang besar
 A_1 = luas penampang selang kecil
 A_2 = luas penampang selang besar

Proses pengambilan data untuk mengetahui kecepatan pompa hisap dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.

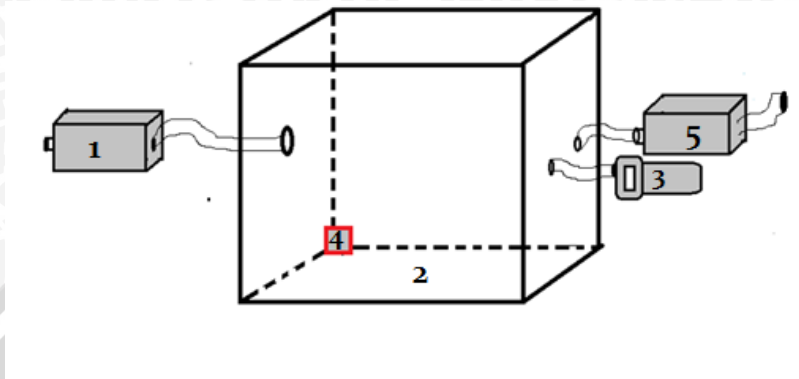


Keterangan: 1 = Pompa Hisap
 2 = Selang Kecil
 3 = Selang Besar
 4 = Probe Anemomaster Kanomax seri A 031
 5 = Anemomaster Kanomax seri A 031

Gambar 3.2 Proses pengambilan data pada pompa hisap

3.3.2.2 Rangkaian Alat

Rangkaian alat pada penelitian ini yaitu selang yang ada pada pompa hisap rokok dihubungkan ke lubang yang ada di salah satu sisi *environmental chamber*. Selang pada P-Track Ultrafine Particle Counter juga dihubungkan ke salah satu lubang yang ada pada sisi lain *environmental chamber*. Pompa untuk mengeluarkan gas dihubungkan ke lubang yang ada di sebelah lubang untuk probe P-Tack Ultrafine Particle Counter.



Keterangan: 1 = Pompa Hisap
 2 = *Environmental Chamber*
 3 = P-Track Particle Counter Model 8525
 4 = Kipas
 5 = Pompa

Gambar 3.3 Rangkaian Pompa Hisap, Chamber dan P-Track Particle Counter Mode 8525

3.3.3 Pengukuran Emisi Partikel Ultrafine per Batang Rokok

Pengukuran Faktor emisi dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar emisi partikel ultrafine yang dihasilkan untuk setiap batang rokok yang dibakar. Nilai dari faktor emisi partikel ultrafine pada asap rokok dalam satu batang rokok dapat ditentukan dengan persamaan 3.3 sebagai berikut :

$$E_f = A \cdot v \int_0^t C(t) dt \quad (3.3)$$

Keterangan :

E_f = Faktor Emisi (partikel/batang rokok)
 A = Luas penampang pompa (cm²)
 V = Kecepatan pompa (cm/s)
 C_t = Konsentrasi partikel hasil pembakaran (partikel/cm³)

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa untuk menentukan faktor emisi partikel ultrafine, terlebih dahulu harus dilakukan total

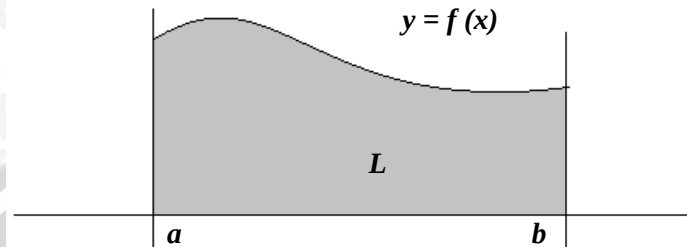
kosentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan pada setiap batang rokoknya. Kemudian dilakukan juga pengukuran untuk mengetahui kecepatan pompa dan luas penampang selang yang ada pada pompa tersebut.

3.3.3.1 Menentukan Total Kosentrasi Partikel Ultrafine (UFP)

Penelitian dimulai dengan rokok ditempatkan di pompa hisap kemudian dibakar dengan kecepatan hisap yang telah ditentukan yaitu 1,58 m/s. Asap *mainstream* rokok kemudian masuk ke dalam *chamber*, melalui selang penghubung. Dalam *chamber* ini, asap rokok akan ditampung. Di dalam *chamber* ini terdapat sebuah kipas kecil yang fungsinya supaya asap rokok ini merata di dalamnya. Kemudian P-Track Ultrafine Particle Counter akan mengukur jumlah partikel ultrafine yang ada di dalam *chamber*. Pengukuran yang dilakukan oleh P-Track ini yaitu dimulai ketika *chamber* masih belum terisi asap rokok kemudian sampai terisi asap rokok dan diakhiri sampai nilai yang terbaca pada P-Track sama seperti pada saat *chamber* sebelum terisi asap rokok yang artinya partikel yang terkandung dalam asap rokok di dalam *chamber* sudah habis. P-track akan secara otomatis merekam data yang ada setiap sepuluh detik sekali.

Pada penelitian ini, untuk setiap batang rokoknya memerlukan waktu sekitar 1 jam. Pengukuran kosentrasi partikel ultrafine pada asap *mainstream* rokok yang difilter dengan filter sabut kelapa dilakukan sebanyak 3 kali untuk Rokok A dengan menggunakan filter sabut kelapa yaitu dengan massa filter 0,2 gram (densitas 0,199 gr/cm³), massa 0,3 gram (densitas 0,299 gr/cm³), dan massa 0,4 gram (densitas 0,398 gr/cm³). Hal ini dilakukan agar dapat diketahui deviasi pada setiap massa filter yang digunakan serta dapat diketahui kestabilan dari pengukuran yang dilakukan.

Data yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan P-Track Particle Counter yaitu berupa jumlah partikel yang dihasilkan per cc setiap sepuluh detik sekali mulai dari kondisi *chamber* yang belum diisi asap kemudian terisi asap rokok sampai dengan kondisi *chamber* kembali pada keadaan semula seperti sebelum ada asap rokok. Data yang diperoleh kemudian dibuat grafik hubungan antara jumlah partikel (pt/cc) dengan waktu (sekon). Luas area dari grafik yang dihasilkan merupakan total kosentrasi partikel ultrafine. Untuk menentukan luas area grafik maka digunakan rumus integral grafik.



Gambar 3.4 Integral suatu fungsi

Suatu integral tertentu secara geometridan matematik diwakili oleh gambar 3.4. Persamaan untuk integral dari grafik di atas yaitu:

$$L = \int_a^b f(x) dx \quad (3.4)$$

Persamaan 3.4 adalah nilai total area atau luas area yang dibatasi oleh fungsi $f(x)$ dan sumbu x serta kontinu pada titik (a, b) .

Dalam penelitian kali ini, dilakukan perhitungan integral dari grafik hubungan antara waktu dengan jumlah partikel/cc untuk mengetahui total konsentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan. Untuk mempermudah perhitungan maka *software* origin 8.1. *Software* ini salah satunya berfungsi untuk menentukan integral grafik. Dengan menggunakan *software* ini, data yang diperoleh kemudian diplotkan dalam bentuk grafik hubungan antara jumlah partikel/cc dengan waktu (sekon). Kemudian dengan menggunakan perhitungan integral yang ada pada *software* ini maka luas area grafik dapat diketahui. Luas area grafik ini merupakan total konsentrasi partikel ultrafine dari setiap pengukuran.

3.3.3.2 Menentukan Luas Penampang dan Kecepatan Pompa

Untuk menentukan luas penampang pompa maka perlu diketahui diameter (d) dari pompa yang digunakan. Sehingga dengan menggunakan persamaan 3.5 dapat diketahui luas penampang pompa.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.5)$$

Pengukuran diameter pompa dilakukan sebanyak sepuluh kali agar nilai yang diperoleh mendekati nilai yang sebenarnya dan juga dapat diketahui ralat dari pengukurannya. Untuk menentukan ralat dari pengukuran ini digunakan persamaan 3.6.

$$\Delta A = \frac{\partial A}{\partial d} \times \Delta d \quad (3.6)$$

ΔA merupakan ralat dari pengukuran yang dilakukan, $\partial A / \partial d$ diperoleh dari hasil penurunan rumus 3.5. Selain dipengaruhi oleh luas penampang pompa, faktor emisi partikel ultrafine juga dipengaruhi oleh kecepatan pompa. Pengukuran kecepatan pompa ini juga dilakukan sebanyak sepuluh kali pengukuran. Karena pengukurannya yang dilakukan sebanyak sepuluh kali, maka dapat diketahui ralat dari pengukuran kecepatan pompa yang dilakukan. Ralat pengukuran kecepatan pompa ini dapat ditentukan dengan menggunakan rumus 3.7.

$$\Delta v = \left(\sqrt{\frac{\sum |v - \bar{v}|^2}{n-1}} \right) \quad (3.7)$$

Pada penelitian ini juga dihitung ralat dari pengukuran yang telah dilakukan. Untuk menentukan ralat dari faktor emisi (partikel per batang rokok) digunakan persamaan 3.8 di bawah ini.

$$\Delta E_f = \left(\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta Ct}{Ct} \right) \times E_f \quad (3.8)$$

Sehingga diketahui bahwa ralat dari faktor emisi juga dipengaruhi oleh ralat dari pengukuran diameter pompa yaitu yang berpengaruh terhadap ralat A (Luas Penampang Pompa) dan juga dipengaruhi oleh ralat dari pengukuran kecepatan pompa (Δv).

3.3.3.3 Menentukan Densitas Filter

Densitas filter tergantung dari massa filter yang digunakan. pada penelitian ini massa filter yang digunakan antara 0,2 gram sampai dengan 0,4 gram dengan selang 0,225 gram dan juga tergantung dari volume filter. Volume filter rokok ini tergantung pada jenis rokok yang digunakan karena setiap rokok memiliki ukuran yang berbeda-beda. Namun, pada penelitian ini ketiga rokok memiliki volume yang sama sehingga untuk setiap massa serabut kelapa yang sama memiliki

densitas yang sama juga. Apabila massa dan volume filter sudah diketahui, maka dapat dihitung besarnya densitas filter dengan menggunakan persamaan 3.9.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.9)$$

Keterangan: ρ = massa jenis filter (gram/cm³)
 m = massa filter (gram)
 v = volume filter (cm³)

3.3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan melihat bentuk trend grafik antara massa jenis filter yang digunakan pada saat penelitian dengan konsentrasi partikel yang dihasilkan dari pembakaran tembakau. Sehingga dari hubungan tersebut didapatkan sebuah korelasi dari parameter-parameter yang bersangkutan. Dari hubungan korelasi itu juga dapat ditentukan besarnya faktor emisi yang dihasilkan dari pembakaran rokok apabila menggunakan filter yang terbuat dari serabut kelapa. Kemudian dilihat pula persamaan eksponensial dari grafik faktor emisi partikel ultrafine untuk rokok dengan filter dari serabut kelapa dengan beberapa densitas filter yang berbeda.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{ Halaman ini sengaja dikosongkan }



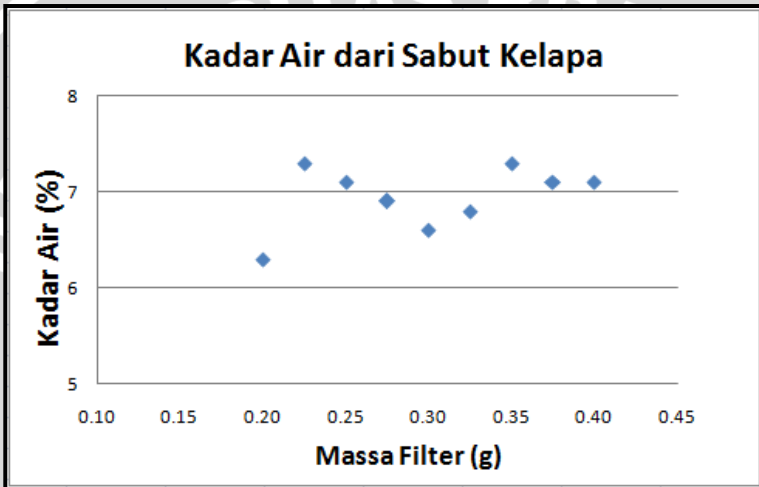
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengukuran Kadar Air Serabut Kelapa

Hasil pengujian kadar air serabut kelapa dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Hasil pengukuran kadar air serabut kelapa

Pengukuran ini dilakukan terhadap 9 perbedaan massa serabut kelapa dimana setiap massanya dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Dari pengukuran yang telah dilakukan diperoleh nilai kadar air beserta ralat dari pengukurannya yaitu $(6,95 \pm 0,12)\%$. Kesalahan relatif yang diperoleh dari pengukuran sebesar 1,67 %.

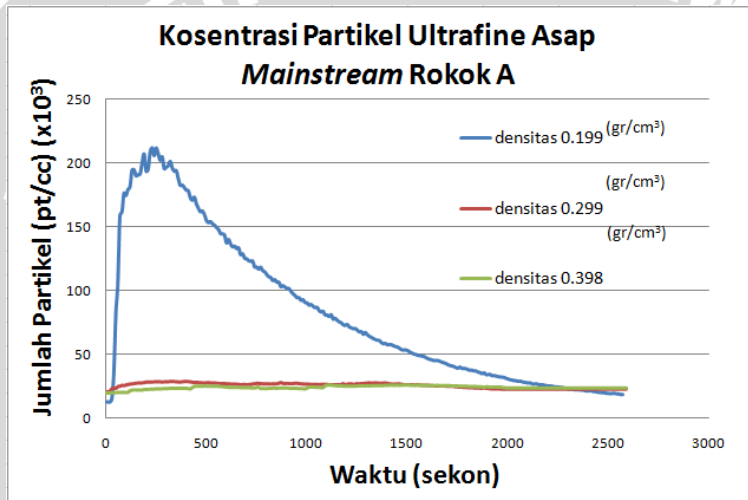
4.1.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Hisap Pompa

Kecepatan hisap dipilih pada kecepatan sedang dimana kecepatan sedang merupakan kecepatan hisap orang merokok pada umumnya. Kecepatan hisap rokok ditentukan menggunakan persamaan 3.2. Berdasarkan persamaan ini, kecepatan hisap (v_1) ditentukan dari kecepatan di selang besar. Kecepatan selang besar (v_2) adalah 1,5

m/s. Jari-jari pipa besar (r_1) adalah 0,0125m sehingga luas penampang pipa A_1 adalah $4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Sementara itu jari-jari pipa kecil (r_2) adalah 0,004 m sehingga luas penampang pipa A_2 adalah $5,02 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Setelah dilakukan perhitungan, maka diketahui kecepatan alir udara v_1 (kecepatan hisap) sebesar 1,58 m/s.

4.1.3 Hasil Pengukuran Kosentrasi Partikel Ultrafine

Grafik untuk pengukuran kosentrasi partikel ultrafine Rokok A dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Konsentrasi partikel ultrafine rokok A

Dari Gambar 4.2 di atas, dapat dilihat bahwa untuk besarnya densitas filter yang sama tidak terlihat perbedaan yang cukup jauh antara jumlah konsentrasi partikel ultrafine untuk setiap perbedaan densitas filter. Dari Gambar 4.2 di atas dapat diketahui pula bahwa hubungan antar densitas filter dari sabut kelapa dengan konsentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan oleh asap *mainstream* rokok. Semakin besar densitas filter sabut kelapa maka akan semakin kecil konsentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan oleh asap *mainstream* rokok.

Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiga buah sampel yaitu Rokok A agar dapat diketahui kestabilan dari

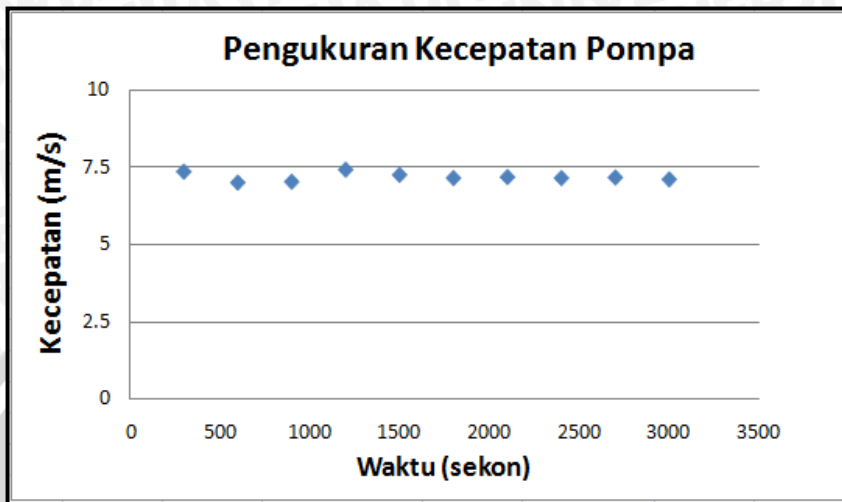
pengukuran untuk tiga sampel ini sehingga untuk pengukuran selanjutnya pada setiap sampelnya dilakukan pengukuran hanya sekali. Hasil dari pengukuran keempat sampel beserta ralat dan kesalahan relatif pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran total konsentrasi partikel ultrafine

Jenis Filter	Hasil Pengukuran Total Konsentrasi Partikel ultrafine		Kr
Serabut kelapa dengan densitas 0,199 gr/cm ³	3,25 x 10 ⁸	(3,21 ± 0,03) x 10 ⁸	0,90%
	3,18 x 10 ⁸		
	3,20 x 10 ⁸		
Serabut kelapa dengan densitas 0,299 gr/cm ³	6,21 x 10 ⁷	(6,3 ± 0,2) x 10 ⁷	2,62%
	6,17 x 10 ⁷		
	6,54 x 10 ⁷		
Serabut kelapa dengan densitas 0,398 gr/cm ³	3,99 x 10 ⁷	(4,4 ± 0,3) x 10 ⁷	7,09%
	4,74 x 10 ⁷		
	4,54 x 10 ⁷		

4.1.4 Penentuan Faktor Emisi Partikel Ultrafine

Faktor emisi partikel ultrafine dihitung dengan menggunakan persamaan 3.3. Berdasarkan persamaan tersebut diketahui bahwa untuk menentukan faktor emisi partikel ultrafine per batang rokoknya harus diketahui kecepatan pompa dan luas penampang dari pompa. Pengukuran diameter pompa dan kecepatan pompa dilakukan sebanyak sepuluh kali pengukuran agar dapat diketahui ketidakpastian dari pengukuran tersebut. Gambar 4.3 merupakan grafik hasil pengukuran kecepatan pompa.

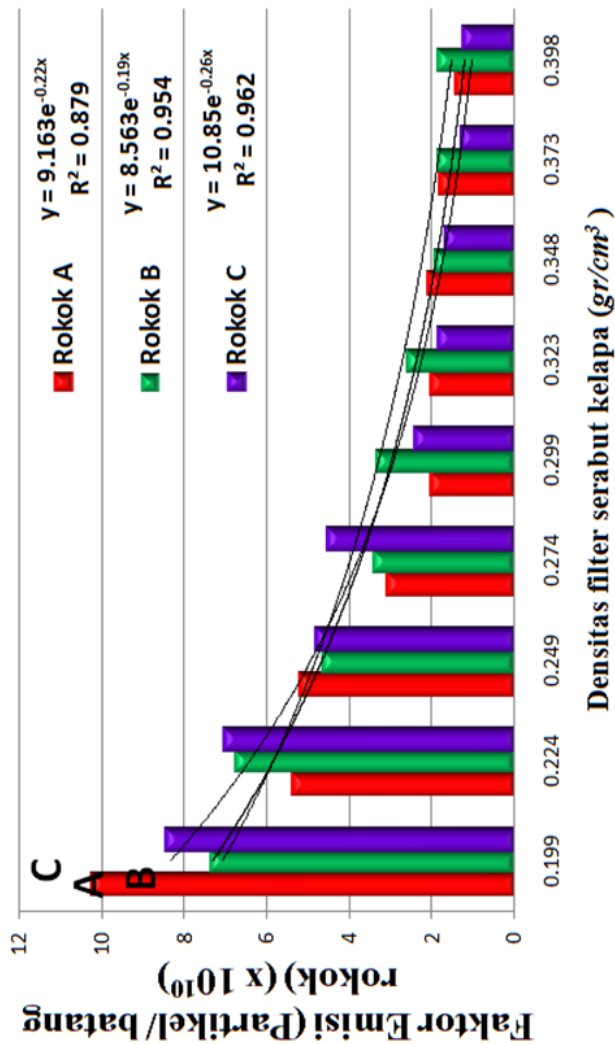


Gambar 4.3 Hasil Pengukuran kecepatan pompa

Dari pengukuran yang sudah dilakukan diperoleh besarnya kecepatan pompa yaitu $(7,2 \pm 0,1)$ m/s dengan diameter pompa sebesar $(0,75 \pm 0,02)$ cm.

Faktor emisi partikel ultrafine per batang rokok dengan filter dari serabut kelapa untuk setiap 3 jenis rokok yaitu Rokok A, Rokok B dan Rokok C beserta trend penurunannya dapat dilihat pada Gambar 4.4

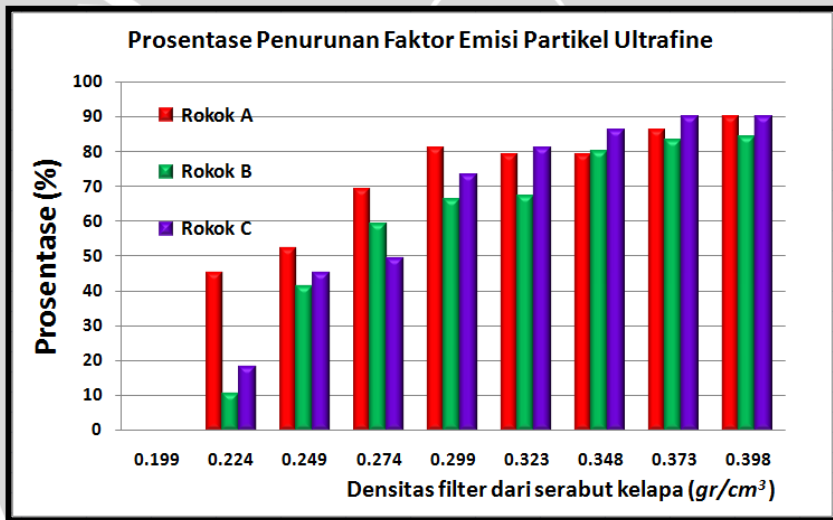
Faktor Emisi Partikel Ultrafine Rokok A, B dan C



Gambar 4.4 Grafik Faktor Emisi Partikel Ultrafine Rokok A, B dan C

4.1.5 Penentuan Prosentase Penurunan Partikel Ultrafine

Penurunan faktor emisi partikel ultrafine yang dihasilkan oleh asap *mainstream* rokok dapat dinyatakan dalam bentuk persen (%). Prosentase penurunan ini sesuai dengan emisi partikel ultrafine yang dihasilkan berdasarkan pengukuran untuk rokok A, rokok B dan Rokok C. Untuk emisi yang dihasilkan apabila menggunakan filter serabut kelapa dengan densitas paling kecil yaitu $0,199 \text{ gr/cm}^3$, prosentasenya dianggap 100% sehingga dapat diketahui penurunan emisi partikel ultrafine apabila menggunakan filter yang terbuat dari serabut kelapa dengan beberapa variasi densitas. Prosentase penurunan emisi partikel ultrafine per batang rokok dalam bentuk persen untuk rokok A, B dan C dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Prosentase penurunan faktor emisi partikel ultrafine Rokok A, B dan C

4.2 Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa emisi partikel ultrafine yang dihasilkan per batang rokok untuk setiap perbedaan densitas filter yang terbuat dari serabut kelapa. Konsentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan merupakan jumlah partikel yang terkandung

dalam asap *mainstream* rokok. Kosentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.2. Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa kosentrasi partikel ultrafine berbeda untuk setiap perbedaan densitas filter. Semakin besar densitas filter yang digunakan maka akan semakin kecil kosentrasi partikel ultrafine yang dihasilkan.

Total kosnetrasi partikel ultrafine mempengaruhi faktor emisi yang dihasilkan asap *mainstream* rokok. Faktor emisi ini merupakan jumlah partikel ultrafine yang dihasilkan per batang rokok yang dihasilkan. Gambar 4.4 menunjukkan emisi partikel yang dihasilkan dari rokok dengan menggunakan filter dari yang terbuat serabut kelapa. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa terjadi penurunan faktor emisi partikel ultrafine untuk rokok dengan menggunakan yang dibuat dari serabut kelapa dengan beberapa macam densitas filter. Faktor emisi yang dihasilkan apabila menggunakan filter dari serabut kelapa dengan densitas yang kecil besar dari pada faktor emisi yang dihasilkan apabila filter yang digunakan filter yang terbuat dari serabut kelapa dengan densitas yang besar. Faktor emisi partikel ultrafine menurun seiring dengan besarnya densitas filter yang digunakan. Hal ini karena semakin besar densitas filter yang digunakan maka akan semakin padat filternya. Apabila filter yang digunakan semakin padat, maka emisi partikel ultrafine yang ada dalam asap *mainstream* rokok juga akan banyak yang disaring oleh filter itu sehingga faktor emisi yang dihasilkan rendah. Penurunan ini terjadi karena penggunaan filter yang berbeda dan densitas filter yang berbeda pula.

Penurunan faktor emisi partikel ultrafine berbeda untuk tiga jenis rokok filter yang digunakan. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi secara eksponensial yang tentunya memiliki nilai regresi. Nilai regresi dari ketiga rokok ini hampir sama yaitu mendekati satu. Jika nilai regresi mendekati 1 maka model regresi yang dihasilkan semakin baik. Sehingga untuk pengukuran ini, ketiga rokok memiliki regresi yang baik. Dengan demikian dapat dikatakan pula bahwa ketiga jenis rokok memiliki trend penurunan faktor emisi yang hampir sama.

Prosentase penurunan faktor emisi partikel ultrafine asap *mainstream* rokok dapat dilihat pada Gambar 4.5. dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar densitas filter yang digunakna maka semin besar pula penurunan faktor emisi partikel ultrafine yang terjadi. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa semakin besar massa filter

yang digunakan maka semakin kecil faktor emisi partikel ultrafine yang dihasilkan karena semakin besar desintasnya maka filternya akan semakin padat. Apabila filter yang digunakan semakin padat, maka kandungan partikel ultrafine asap *mainstream* rokok juga akan banyak diserap oleh filter sehingga faktor emisi partikel ultrafine asap *mainstream* rokok yang dihasilkan juga berkurang.

Emisi yang dihasilkan oleh asap rokok dapat berupa partikel maupun gas. Emisi yang dihasilkan antara lain PAH, VOC, Radikal bebas, dan lainnya. Setiap rokok memiliki komposisi penyusun yang berbeda-beda sesuai dengan mereknya. Tembakau yang digunakan dan saus yang digunakan dalam rokok berbeda untuk setiap merek rokok. Pada penelitian ini digunakan 3 sampel rokok yang sudah beredar dipasaran. Dari ketiga sampel ini tidak diketahui secara pasti tembakau dan saus jenis apa yang digunakan karena di dalam kemasan rokok tidak dijelaskan. Perbedaan penurunan emisi partikel ultrafine asap *mainstream* dari ketiga rokok ini kemungkinan juga disebabkan perbedaan komposisi rokok.

Penggunaan filter rokok yang terbuat dari serabut kelapa dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menggantikan filter rokok yang terbuat dari gabus. Menurut Dey dkk (2010) sebagian besar rokok yang ada di pasar dunia merupakan rokok dengan filter selulosa asetat yang meskipun tidak bisa menyerap sebagian besar racun yang ada di dalam asap *mainstream* rokok, tetapi dia sangat efektif mengurangi sedikit kandungan tar yang ada dalam asap rokok. Kandungan selulosa yang ada dalam serabut kelapa sebesar 43,44 % (Amelia, 2009) sehingga memungkinkan filter dari serabut kelapa dapat mengurangi jumlah partikel ultrafine dari asap *mainstream* rokok.

Partikel ultrafine (diameter *aerodynamic* $\leq 0,1 \mu\text{m}$), dapat dengan mudah masuk ke daerah alveolus dalam paru-paru dan dalam jumlah yang sangat banyak dapat berpotensi negatif terhadap kesehatan (Brinkman dkk., 2010). Karena ukurannya yang kecil, partikel berukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ ini akan melayang-layang selama beberapa waktu di udara dan terhirup tanpa mampu disaring oleh bulu-bulu halus hidung dan selanjutnya diteruskan ke organ-organ pernafasan bagian dalam dan akhirnya mengendap di permukaan paru-paru. Endapan ini akan menyebabkan flek yang secara kronis akan menimbulkan bronchitis, asma dan kanker paru-paru (Mediastika, 2002). Salah satu sumber dari partikel ultrafine adalah asap *mainstream* rokok. Apabila faktor emisi

partikel ultrafine yang dihasilkan asap *mainstream* rokok berkurang maka efek buruk yang ditimbulkan terhadap kesehatan juga akan berkurang. Faktor emisi partikel ultrafine asap *mainstream* rokok dapat berkurang apabila densitas filter rokok yang terbuat dari serabut kelapa semakin besar.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{ Halaman ini sengaja dikosongkan }



BAB 1V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pengunaan filter rokok yang terbuat dari sabut kelapa dengan beberapa perbedaan densitas filter akan menghasilkan faktor emisi partikel ultrafine yang berbeda. Faktor emisi partikel ultrafine asap *mainstream* rokok berkurang seiring dengan besarnya densitas filter yang digunakan. Penurunan faktor emisi partikel ultrafine dengan densitas filter antara $0,199 \text{ gr/cm}^3$ sampai dengan densitas $0,398 \text{ gr/cm}^3$ adalah antara 10% sampai dengan 90%. Faktor emisi partikel ultrafine asap *mainstream* rokok yang dihasilkan berbanding terbalik dengan densitas filter dari serabut kelapa yang digunakan. Semakin besar densitas filter yang digunakan maka akan semakin padat filternya sehinggasemakin banyak partikel ultrafine yang dapat disaring. Apabila jumlah partikel ultrafine yang dihasilkan berkurang maka faktor emisinya akan semakin kecil.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat diteliti kandungan kimia apa saja yang ada di dalam serabut kelapa sehingga dapat mengurangi faktor emisi yang dihasilkan oleh asap *mainstream* rokok yang dilewatkan pada filter yang terbuat dari sabut kelapa.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

{ Halaman ini sengaja dikosongkan }



DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, S. 2009. Pengaruh Perendaman Panas dan Dingin Sabut Kelapa terhadap Kualitas Papan Partikel Yang Dihasilkannya. 47. Akses 14 September, 2012 dari <http://repository.ipb.ac.id>
- Anonimus. 2013 . Teori Penentuan Kadar Air Bahan. Akses 10 Januari 2013 dari <http://www.google.co.id/TeoripenentuanA>
- Baker, R. R. 2006. Smoke Generation Inside a Burning Cigarette. *Progress in Energy and Combustion Science* 32: 373 – 385.
- Bentoelgroup. (2012). Rokok. Akses 14 Desember 2012 dari <http://www.bentoelgroup.com/group/sites>
- Bernhard, D. C. M., A. Backovic dan G. 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.*
- Borgerding, M. dan H. Klus. 2005. Analysis of complex mixtures – Cigarette smoke. *Experimental and Toxicologic Pathology* 57 (2005): 43–73.
- BPLHD. (2011). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Akses 23 Mei 2011 dari http://bplhd.jakarta.go.id/PERATURAN/PP/1999/PP_N_O_41_TH_1999.htm.
- Brinkman, M. C., S. M. Gordon dan P. A. Richter. 2010. Does Smoking Menthol Cigarettes Result in Higher Exposures to Ultrafine Particles? *Centers for Disease Control and Prevention.*
- Burns, D. M. 1991. Cigarettes and cigarette smoking. *Clin. Chest Med.* 12. *Chest Med*: 12631–642.
- Castro, D., K. Slezakova, C. D. Matos, M. C. A. Ferraz, S. Morais dan M. C. Pereira. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in gas and particulate phases of indoor environments influenced by tobacco smoke: Levels, phase distributions, and health risks. *Atmospheric Environment*: 43.
- Daher, N. R. S., E. Jaroudi, H. Sheheitli, M. A. R. E. Sepetdjian, N. Saliba dan S. Alan. 2009. Comparison of carcinogen, carbon monoxide, and ultrafine particle emissions from narghile waterpipe and cigarette smoking: Sidestream smoke

- measurements and assessment of second-hand smoke emission factors.
- Dey, N., A. Das, A. Ghosh dan I. B. Chatterjee. 2010. Activated charcoal filter effectively reduces p-benzosemiquinone from the mainstream cigarette smoke and prevents emphysema. *J. Biosci* 35(2): 217–230.
- Diaz, S. D. 1997. The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the McAuley et al. 306 *induction of allergic airway disease, Allergy*,. 52: 52–56.
- Djuhartata, T. 2003. Research on Tobacco in Indonesia: An Annotated Bibliography and Review of Research on Use, Health Effects. Economics, and Control Effort. *Economics of Tobacco Control - HNP World Bank's Discussion Paper*. 10.
- Ellermann, T. dan A. Massling. 2010. Measurement of ultrafine particles at the apron of Copenhagen Airport, Kastrop - in relation to work environment. Akses 14 September 2012, dari <http://www.projektcleanair.dk/M%C3%A5lingerCPH/documents/Partiklerengelsk.pdf>
- Environmental Protection Agency. Indoor Air Facts No. 4 (revised) Sick Building Syndrome (SBS). Diakses Tanggal 14 Desember 2012 dari <http://www.epa.gov/iaq/pubs/sbs.html>
- Fierro, M. 2000. Particulate Matter. 1-11.
- Fitria, L., R. A. Wulandari, E. Hermawati dan D. Susanna. 2011. Kualitas Udara dalam Ruang Perpustakaan Universitas "X" Ditinjau dari Kualitas Biologi, Fisik dan Kimiawi. *Makara Kesehatan*. 12: 77-83.
- Ghio, A. J., C. Kim dan R. B. Devlin. 2000. Concentrated ambient air particles induce mild pulmonary inflammation in healthy human volunteers. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 162: 981–988.
- Gindo, A. dan H. Budi. 2012. Pengukuran Partikel Udara Ambien (TSP, PM10, PM2,5) di Sekitar Calon Lokasi PLTN Semenanjung Lemahabang. *Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN*.
- Harman. (2012). Makalah Polusi Sektor Transportasi sebagai Produsen Utama Bahan Polutan di Lingkungan Perkotaan. Akses 14 Desember 2012 dari <http://harmanatsoroako.files.wordpress.com/polusi-udara>.
- Lee, H. L., P. H. Dennis, Hsieh. dan L. A. Li. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in cigarette sidestream smoke particulates from a

- Taiwanese brand and their carcinogenic relevance. *Chemosphere* 82: 477–482.
- Lodovici, M., V. Akpan, S. Caldini, B. Akanju dan P. Dolara. 2007. DNA solution in cigarette filters reduces polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) levels in mainstream tobacco smoke. *Food and Chemical Toxicology* 45: 1752–1756.
- Mediastika, C. E. 2002. Memanfaatkan tanaman untuk mengurangi polusi partikulate matter ke dalam bangunan. *Dimensi Teknik Arsitektur*. 30: 159-166.
- Pandev, S. K. 2010. A review of environmental tobacco smoke and its determination in air. *Trends in Analytical Chemistry* 29: 8.
- Pappas, R. S., G. M. P, L. Zhang, C. H. Watson, D. C. Paschal dan D. L. Ashley. 2005. Cadmium, lead, and thallium in mainstream tobacco smoke particulate. *Food and Chemical Toxicology*. 44: 714-723.
- Prayitno, B., S. Suliyanto dan Wahyuningsih. 2011. Pemantauan Distribusi Partikulat dan Radioaktivitas Alpha di Udara Instalasi Elemen Bakar Eksperimental Tahun 2010. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN, Serpong.
- Purkis, S. W., M. Meger dan C. M. Derek. 2009. A Review of the UK Methodology Used for Monitoring Cigarette Smoke Yields, Aspects of Analytical Data Variability and Their Impact on Current and Future ss. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 56: 365–373.
- Resosudarsono, B. P. 2012. Dampak Kebijakan Memperbaiki Kualitas Udara pada Pendapatan Masyarakat di Indonesia. *Akses 14 September 2012* dari http://people.anu.edu.au/budy.resosudarmo/1996to2000/PRI_SMA4_99.pdf.
- Shodiq, M. 2011. Pengaruh Kecepatan Hisap Pada Faktor Emisi Partikel Ultrafine Asap Rokok. Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang.
- Slezakova. 2008. Influence Of Tobacco Smoke On The Elemental Composition Of Indoor Particles Of Different Sizes. *Mc Graw Hill. USA*.
- Tian, B. Z., P. Chen, J. Chen dan L. Bai. 2009. Blocking and filtering effect of Bombyx mori silkworm silk fiber filter tips against

- mainstream smoke of cigarettes. *Materials and Design* 30: 2289–2294.
- TSI. 1999. P-Track Ultrafine Particle Counter. Akses 14 Desember 2012, dari www.tsi.com
- Tyas, S. I. S. 2000. Studi netralisasi limbah serbuk sabut kelapa (Cocopeat) sebagai media tanam. Akses 14 September 2012 dari <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/22700>.
- Wijayanti, H. N. 2009. Hubungan Tingkat Pengetahuan tentang Merokok dengan Perilaku Merokok pada Mahasiswa Keperawatan Politeknik Kesehatan Depkes Semarang. Semarang: Politeknik Kesehatan Depkes Semarang.
- Wikipedia. 2012. Rokok. Akses 14 September, 2012, dari <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Rokok>
- Wilson, C. L. dan J. A. Bodnar. 2008. Assessment of dioxin and dioxin-like compounds in mainstream smoke from selected US cigarette brands and reference cigarettes. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 1721–1733.

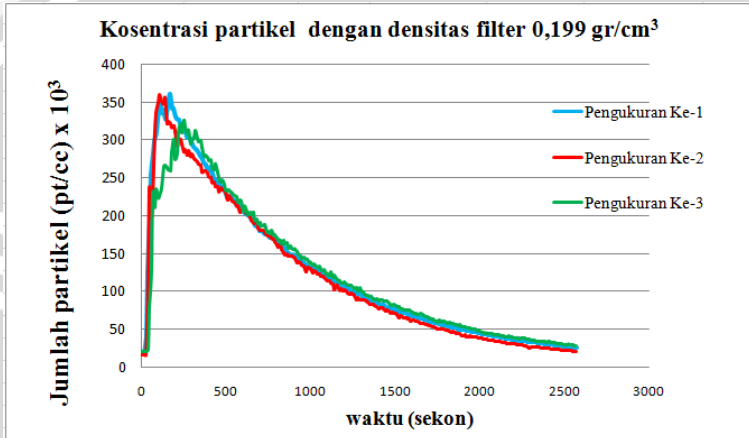


LAMPIRAN

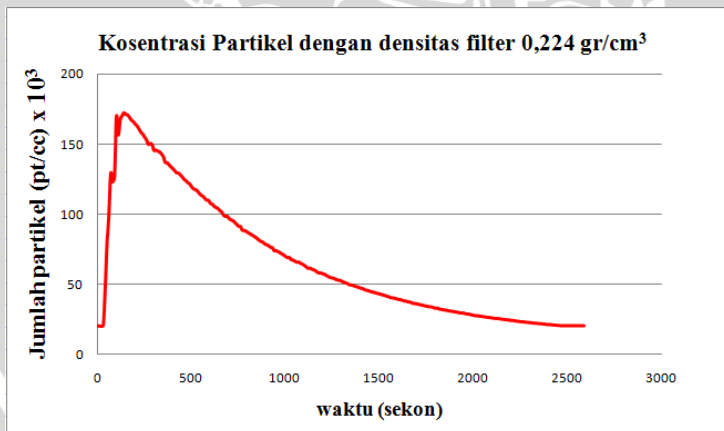
Lampiran 1: Grafik Kosentrasi Partikel Ultrafine

Grafik perbandingan jumlah partikel ultrafine asap *mainstream* rokok untuk beberapa penggunaan massa filter dari sabut kelapa yang berbeda.

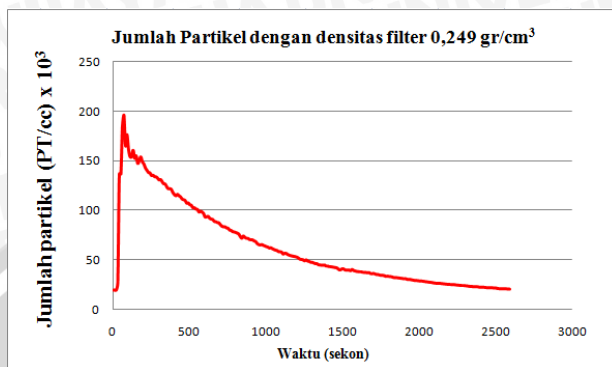
A. Rokok A



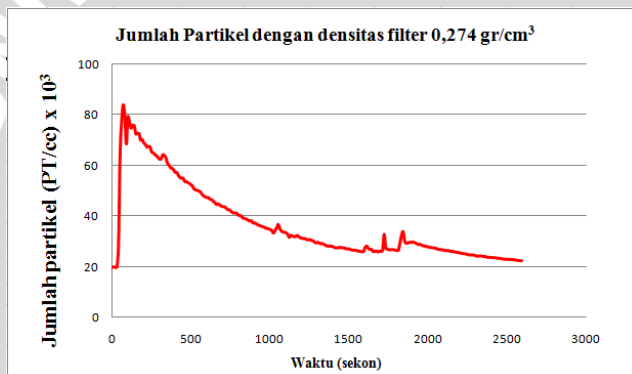
(a) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,2 gram



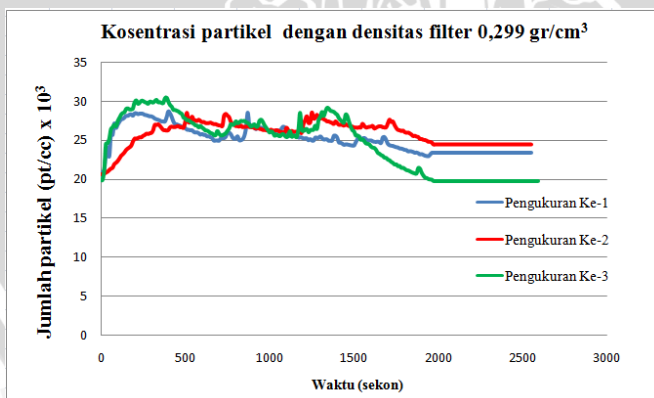
(b) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,225 gram



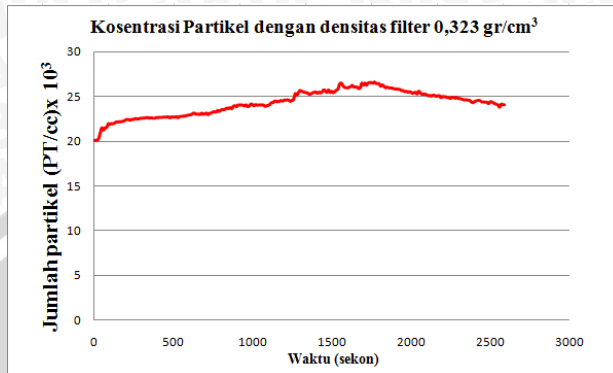
(c) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,25 gram



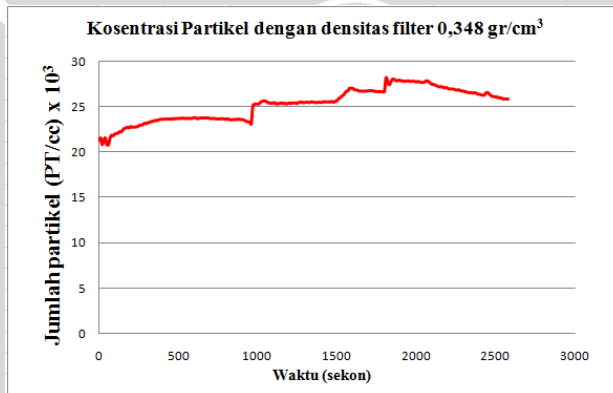
(d) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,275 gram



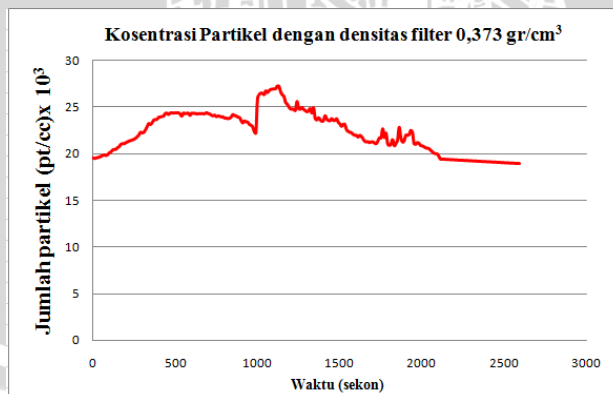
(e) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,3 gram



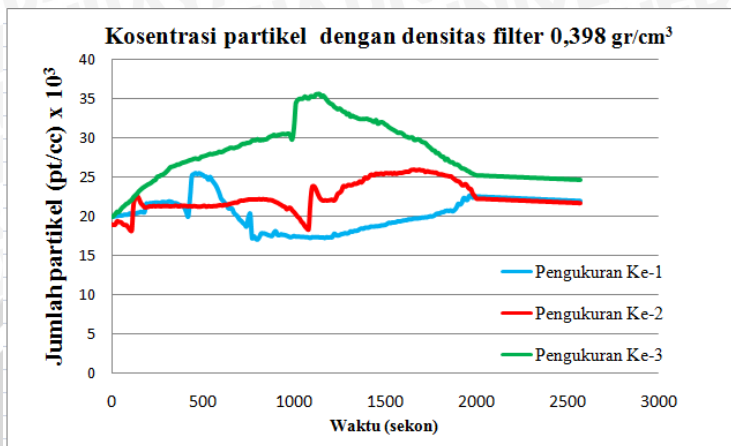
(f) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,325 gram



(g) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,35 gram

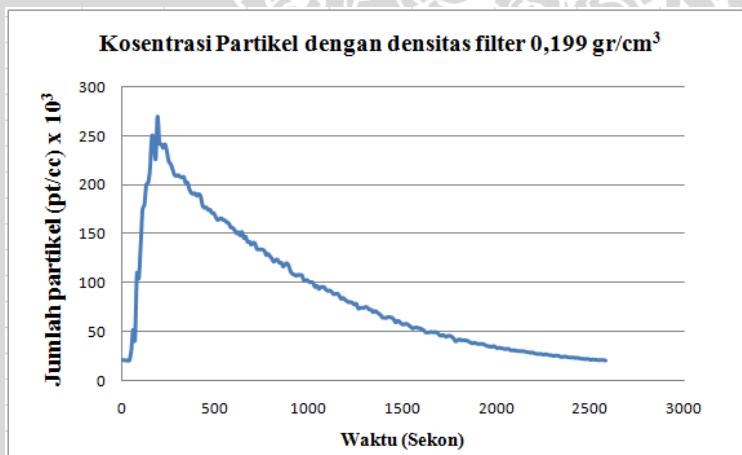


(h) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,375 gram

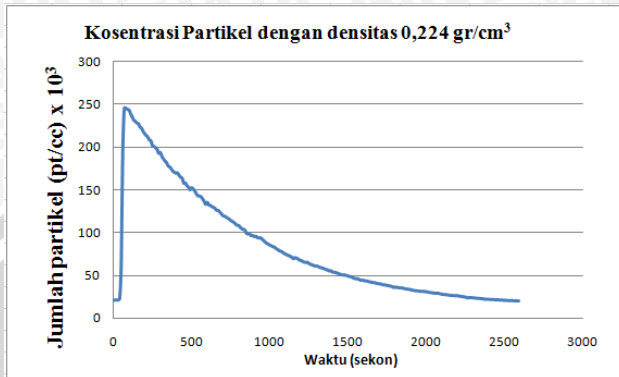


(i) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok A dengan filter 0,4 gram

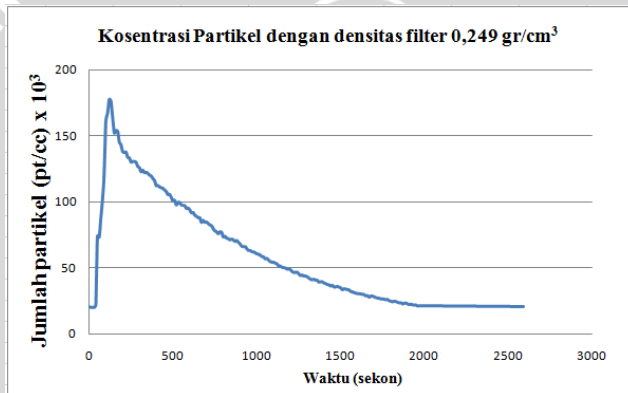
B. Rokok B



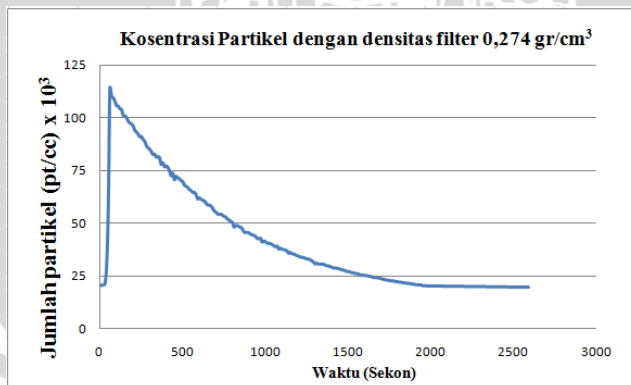
(a) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,2 gram



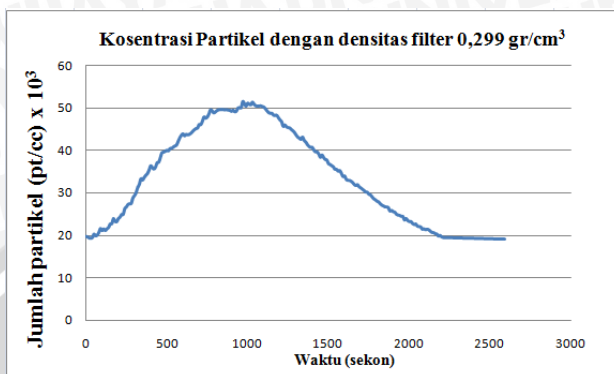
(b) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,225 gram



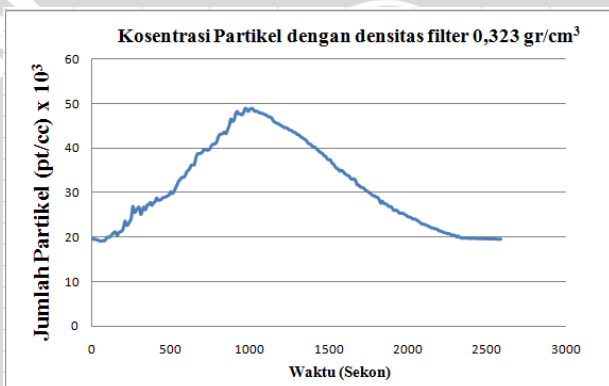
(c) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,25 gram



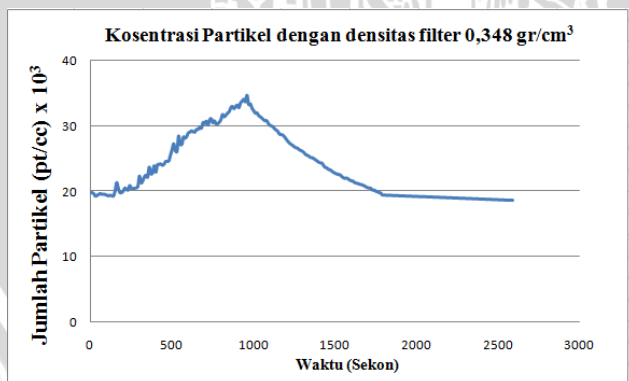
(d) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,275 gram



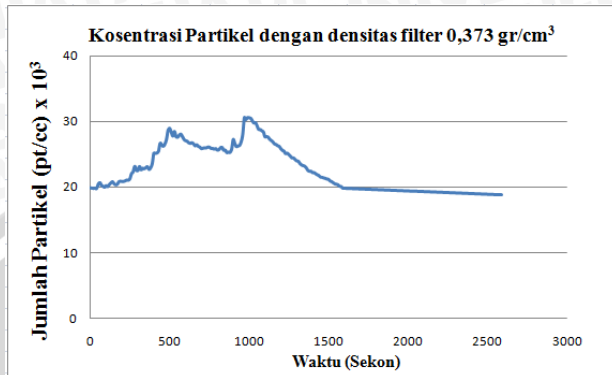
(e) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,3 gram



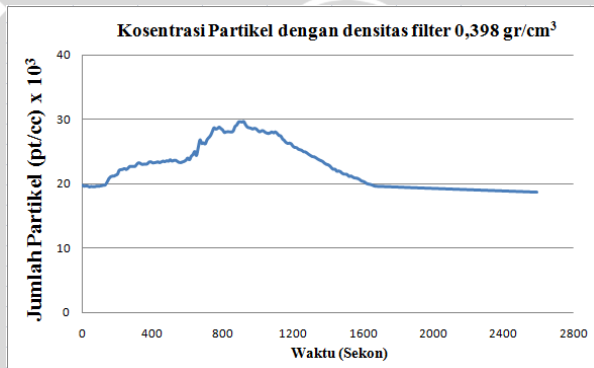
(f) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,325 gram



(g) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,35 gram

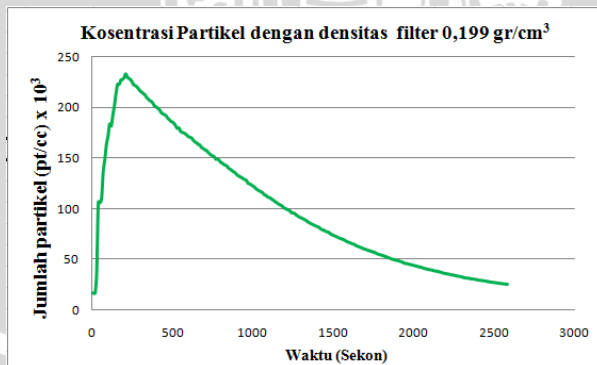


(h) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,375 gram

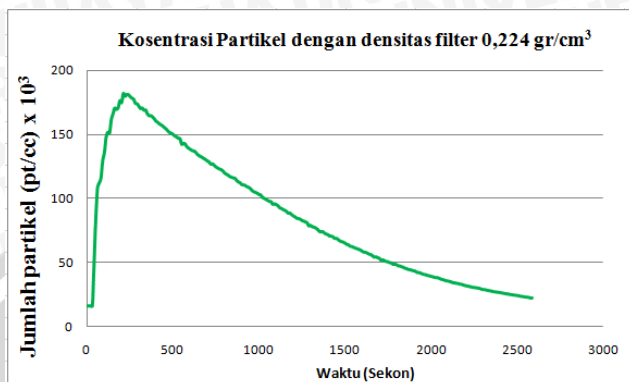


(i) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok B dengan filter 0,4 gram

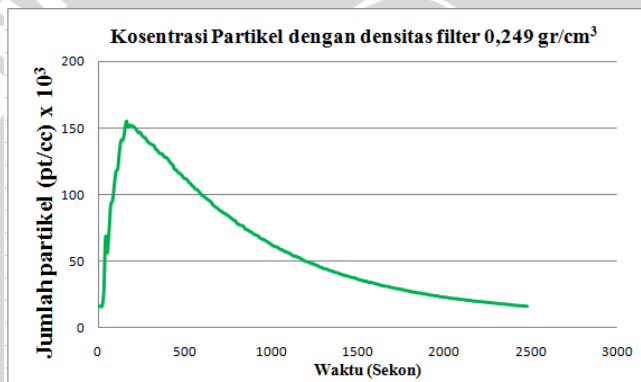
C. Rokok C



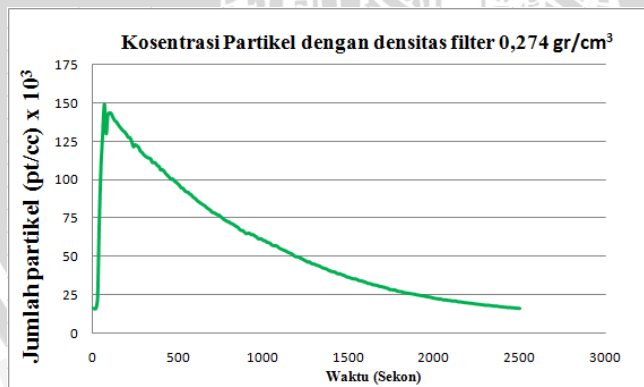
(a) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,2 gram



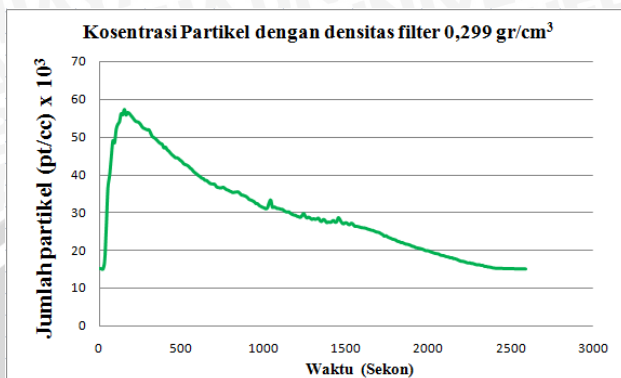
(b) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,225 gram



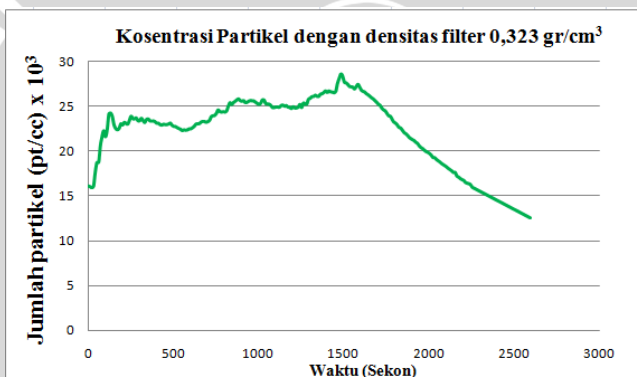
(c) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,25 gram



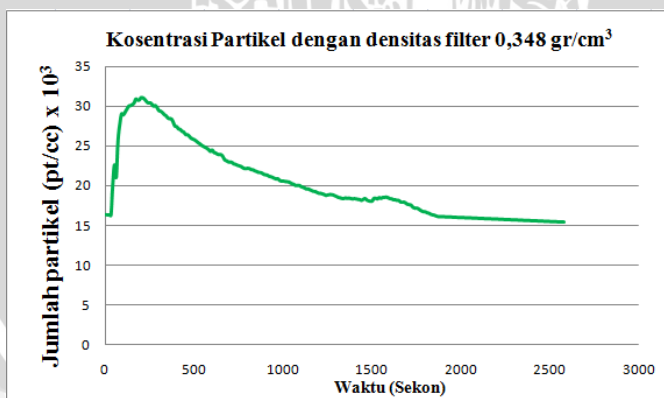
(d) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,275 gram



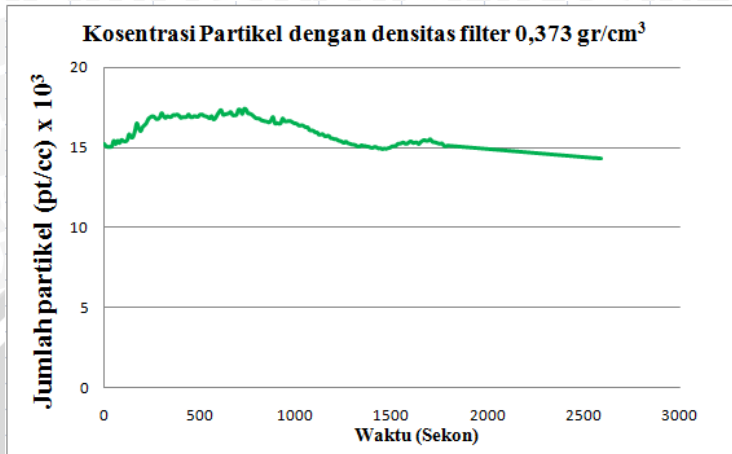
(e) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,3 gram



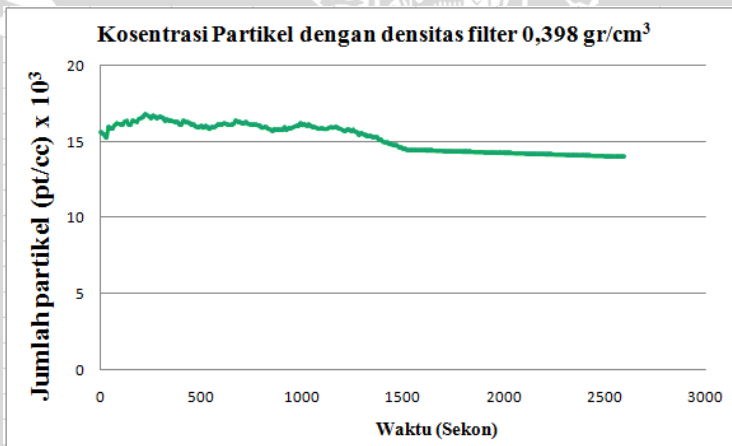
(f) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,325 gram



(g) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,35 gram



(h) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,375 gram



(i) Grafik jumlah partikel ultrafine rokok C dengan filter 0,4 gram

Lampiran II:

a) Data Hasil Pengukuran Kadar Air Serabut Kelapa

Massa (gram)	Kadar Air (%)
0,2	6,30
0,225	7,36
0,25	7,12
0,275	6,92
0,3	6,58
0,325	6,78
0,35	7,30
0,375	7,10
0,4	7,08
Rata -Rata	6,95

Nilai deviasi untuk pengukuran kecepatan kadar air serabut kelapa:

$$\Delta \text{Kadar air} = 0,12 \%$$

Sehingga nilai kadar air beserta ralatnya yaitu:

$$\text{Kadar air} = (6,95 \pm 0,12) \%$$

b) Data Hasil Pengukuran Kecepatan Pompa

Time(s)	Kec(m/s)
300	7,37
600	7,03
900	7,06
1200	7,43
1500	7,27
1800	7,17
2100	7,20
2400	7,17
2700	7,19
3000	7,13
Rata-rata	7,202

Nilai deviasi untuk pengukuran kecepatan pompa:

$$\Delta v = 0,12 \text{ m/s}$$

Sehingga nilai v ralatnya:

$$v = (7,20 \pm 0,12) \text{ m/s}$$

c) Data Hasil Pengukuran Diameter Pompa

Pengukuran ke-	d (cm)
1	0,76
2	0,77
3	0,79
4	0,75
5	0,74
6	0,75
7	0,74
8	0,78
9	0,71
10	0,72
Rata-rata	0,751

Nilai Deviasi untuk pengukuran diameter pompa:

$$\Delta d = 0,0251 \text{ cm}$$

Dengan rumus 3.6, diketahui luas penampang pompa beserta ralatnya yaitu:

$$A = (1,39 \pm 0,01) \text{ cm}^2$$

Lampiran III: Perhitungan Kesalahan Relatif (Kr)

Untuk pengukuran yang dilakukan sebanyak 3 kali yaitu untuk untuk tiga buah sampel yaitu Rokok A. Faktor emisi juga dipengaruhi oleh luas penampang pompa dan kecepatan hisap pompa, maka nilai Kr nya juga dipengaruhi oleh kesalahan pengukuran dari luas penampang dan kecepatan pompa.

❖ Kr untuk pengukuran kadar air serabut kelapa

$$\begin{aligned} Kr &= \frac{\Delta \text{ kadar air}}{\text{ kadar air rata-rata}} \times 100\% \\ &= \frac{0,12 \%}{6,95 \%} \times 100 \% \\ &= 1,67 \% \end{aligned}$$

- ❖ Kr untuk pengukuran kecepatan pompa

$$\begin{aligned}\text{Kr } V &= \frac{\Delta V}{V} \times 100 \% \\ &= \frac{0,12}{7,202} \times 100 \% \\ &= 1,67 \%\end{aligned}$$

- ❖ Kr untuk pengukuran diameter pompa

$$\begin{aligned}\text{Kr } d &= \frac{\Delta d}{d} \times 100 \% \\ &= \frac{0,0251}{0,751} \times 100 \% \\ &= 3,34 \%\end{aligned}$$

- ❖ Kr untuk pengukuran luas penampang pompa

$$\begin{aligned}\text{Kr } A &= \frac{\Delta A}{A} \times 100 \% \\ &= \frac{9,44 \times 10^{-3}}{1,39} \times 100 \% \\ &= 0,68 \%\end{aligned}$$

- ❖ Kr untuk pengukuran jumlah total partikel

$$\text{I} \rightarrow \text{Kr } C_{\text{II}} = \frac{\Delta A}{A} \times 100 \% = \frac{2,9 \times 10^6}{3,21 \times 10^8} \times 100 \% = 0,90 \%$$

$$\text{II} \rightarrow \text{Kr } C_{\text{III}} = \frac{\Delta A}{A} \times 100 \% = \frac{1,65 \times 10^6}{6,31 \times 10^7} \times 100 \% = 2,62 \%$$

$$\text{III} \rightarrow \text{Kr } C_{\text{IV}} = \frac{\Delta A}{A} \times 100 \% = \frac{3,14 \times 10^6}{4,42 \times 10^7} \times 100 \% = 7,09 \%$$

b) Tabel Kr untuk pengukuran total emisi partikel

Pengukuran ke-	Kr A	Kr V	Kr C	Kr Ef
I	0,68%	1,67%	0,90%	3,25 %
II	0,68%	1,67%	2,62%	4,97 %
III	0,68%	1,67%	7,09%	9,44%

Lampiran IV :Tabel Faktor Emisi UFP (Jumlah partikel/batang rokok)

Jenis Rokok			Faktor Emisi
Massa Filter		Densitas Filter	
Rokok A	0,2	0,199	$1,02 \times 10^{11}$
	0,225	0,224	$5,60 \times 10^{10}$
	0,25	0,249	$4,92 \times 10^{10}$
	0,275	0,274	$3,20 \times 10^{10}$
	0,3	0,299	$1,99 \times 10^{10}$
	0,325	0,323	$2,12 \times 10^{10}$
	0,35	0,348	$2,15 \times 10^{10}$
	0,375	0,373	$1,81 \times 10^{10}$
	0,4	0,398	$1,00 \times 10^{10}$
Rokok B	0,2	0,199	$7,38 \times 10^{10}$
	0,225	0,224	$6,65 \times 10^{10}$
	0,25	0,249	$4,35 \times 10^{10}$
	0,275	0,274	$3,04 \times 10^{10}$
	0,3	0,299	$2,52 \times 10^{10}$
	0,325	0,323	$2,46 \times 10^{10}$
	0,35	0,348	$1,46 \times 10^{10}$
	0,375	0,373	$1,28 \times 10^{10}$
	0,4	0,398	$1,21 \times 10^{10}$

Rokok C	0,2	0,199	$8,82 \times 10^{10}$
	0,225	0,224	$7,25 \times 10^{10}$
	0,25	0,249	$4,81 \times 10^{10}$
	0,275	0,274	$4,53 \times 10^{10}$
	0,3	0,299	$2,41 \times 10^{10}$
	0,325	0,323	$1,67 \times 10^{10}$
	0,35	0,348	$1,21 \times 10^{10}$
	0,375	0,373	$0,92 \times 10^{10}$
	0,4	0,398	$0,87 \times 10^{10}$

Lampiran V: Tabel prosentase penurunan partikel ultrafine

1. Rokok A

Jenis Filter		Faktor Emisi	Prosentase (%)
Filter dari serabut kelapa dengan densitas tertentu	0,199	$1,02 \times 10^{11}$	-
	0,224	$5,60 \times 10^{10}$	45
	0,249	$4,92 \times 10^{10}$	52
	0,274	$3,20 \times 10^{10}$	69
	0,299	$1,99 \times 10^{10}$	81
	0,323	$2,12 \times 10^{10}$	79
	0,348	$2,15 \times 10^{10}$	79
	0,373	$1,81 \times 10^{10}$	86
	0,398	$1,00 \times 10^{10}$	90

2. Rokok

Jenis Filter		Faktor Emisi	Prosentase (%)
Filter dari serabut kelapa dengan densitas tertentu	0,199	$7,38 \times 10^{10}$	-
	0,224	$6,65 \times 10^{10}$	10
	0,249	$4,35 \times 10^{10}$	41
	0,274	$3,04 \times 10^{10}$	59
	0,299	$2,52 \times 10^{10}$	66
	0,323	$2,46 \times 10^{10}$	67
	0,348	$1,46 \times 10^{10}$	80
	0,373	$1,28 \times 10^{10}$	83
	0,398	$1,21 \times 10^{10}$	84

3. Rokok C

Jenis Filter		Faktor Emisi	Prosentase (%)
Filter dari serabut kelapa dengan densitas tertentu	0,199	$8,82 \times 10^{10}$	-
	0,224	$7,25 \times 10^{10}$	18
	0,249	$4,81 \times 10^{10}$	45
	0,274	$4,53 \times 10^{10}$	49
	0,299	$2,41 \times 10^{10}$	73
	0,323	$1,67 \times 10^{10}$	81
	0,348	$1,21 \times 10^{10}$	86
	0,373	$0,92 \times 10^{10}$	90
	0,398	$0,87 \times 10^{10}$	90