

**PENGUKURAN EMISI PARTIKEL ULTRAFINE DARI ASAP
PEMBAKARAN ROKOK KRETEK DENGAN ZAT ADITIF**

SKRIPSI

Oleh:

**ARIF DARMAWAN
0610930007-93**



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

**PENGUKURAN EMISI PARTIKEL ULTRAFINE DARI ASAP
PEMBAKARAN ROKOK KRETEK DENGAN ZAT ADITIF**

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

SKRIPSI

Oleh:

ARIF DARMAWAN

0610930007-93



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGUKURAN EMISI PARTIKEL ULTRAFINE DARI ASAP
PEMBAKARAN ROKOK KRETEK DENGAN ZAT ADITIF**

Oleh:

**ARIF DARMAWAN
0610930007**

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

Pembimbing I

Pembimbing II

Arinto Yudi P.W., M.Sc. Ph.D
NIP 196407021989031001

D. J. Djoko Herry Santjojo, PhD
NIP 196601311990021001

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

Adi Susilo, Ph.D
NIP 196312271991031002

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arif Darmawan

NIM : 0610930007

Jurusan : Fisika

Penulis Tugas Akhir berjudul :

PENGUKURAN EMISI PARTIKEL ULTRAFINE DARI ASAP PEMBAKARAN ROKOK KRETEK DENGAN ZAT ADITIF

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila kemudian 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, April 2013

Yang menyatakan,

Arif Darmawan

NIM 0610930007

ABSTRAK

Partikel *ultrafine* (UFP) dapat muncul secara alami akibat aktivitas manusia seperti pembakaran biomassa dan merokok. Partikel *ultrafine* yang dihasilkan melalui pembakaran rokok dapat masuk jauh ke dalam paru-paru manusia karena ukurannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur faktor emisi dari partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh rokok kretek dan melihat pengaruh penambahan asam amino dan zat aditif pada *divine* kretek terhadap faktor emisi partikel *ultrafine* yang dihasilkan.

Penelitian dilakukan dengan metode *micro-environmental chamber*. Asap hasil pembakaran *divine* kretek dimasukkan dengan pompa penghisap ke dalam *chamber*. Konsentrasi partikel *ultrafine* di dalam *chamber* kemudian diukur menggunakan P-TRAK *Ultrafine Particle Counter*. Konsentrasi total partikel *ultrafine* ini digunakan untuk menentukan nilai faktor emisi *ultrafine* dari satu batang rokok *divine* kretek.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan asam amino dan zat aditif pada *divine* kretek meningkatkan jumlah partikel *ultrafine* yang dihasilkan. Rokok kretek referensi menghasilkan emisi partikel *ultrafine* pada nilai 3.35×10^{10} partikel/batang. Sementara itu, peningkatan jumlah partikel *ultrafine* yang terjadi bervariasi tergantung dari jenis asam amino yang ditambahkan. Peningkatan nilai faktor emisi terbesar didapatkan pada rokok dengan penambahan *asparagine* (77.38 %), diikuti dengan rokok dengan penambahan *phenylalanine* (73.24 %) dan vitamin E (72.05 %).

Kata kunci: partikel *ultrafine*, *divine* kretek, faktor emisi

ABSTRACT

Ultrafine particles (UFP) naturally occur by biomass burning or cigarette smoking. Ultrafine particles generated by cigarette smoking can deeply penetrate into human lung due to their typical dimension. This study was aimed to measured UFP emission factor of cigarette smoke and to investigate the influences of amino acids and chemical substances on the emission factor of ultrafine particles of the divine cigarette smoke.

The micro-environmental chamber method was used in this research. Mainstream smoke from the divine cigarette combustion sucked into the chamber using a smoking machine. The concentration of the smoke was measured by the P-TRAK Ultrafine Particle Counter. The emission factor was calculating by multiplying the total concentration and the debit of the smoke.

The result showed that the addition of the amino acids and other chemical substances to divine cigarette increased the ultrafine particles emission. The UFP emission factor of the reference cigarette was 3.35×10^{10} particle/cigarette. Meanwhile the increasing of the UFP emission factor due to the addition of the scavengers was 77.38 % for asparagines, 73.24 % for phenylalanine and 72.05 % for vitamine E, respectively.

Keyword: ultrafine particles (ufp), divine cigarette, micro-environmental chamber, emission factor

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Berkat rahmat Allah Yang Maha Kuasa, puji dan syukur penulis panjatkan pada-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir berjudul “Pengukuran Emisi Partikel Ultrafine dari Asap Pembakaran Rokok Kretek dengan Zat Aditif”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Fisika di Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Penulis banyak mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga pada kesempatan ini penulis ucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu serta segenap keluarga yang telah memberikan dukungan moral dan finansial selama ini.
2. Drs. Arinto Yudi P. W., M.Sc., Ph. D sebagai pembimbing I atas segala bentuk bimbingan yang beliau berikan selama penyusunan tugas akhir.
3. D. J. Djoko Herry Santjojo, PhD sebagai pembimbing II atas segala bentuk bimbingan yang beliau berikan selama penyusunan tugas akhir, serta bimbingan beliau dalam filosofi hidup.
4. Bapak Adi Susilo, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika yang banyak memberikan teladan baik bagi semua di jurusan Fisika.
5. Bapak dan ibu dosen, staf pengajar, laboran, dan karyawan jurusan Fisika.
6. Istri tercinta Erma Cahyawati Darmawan yang telah memberikan seluruh cinta kasih dan sayangnya.
7. Saudara seperjuangan angkatan 2006 yang telah atau yang masih menempuh menempuh perjuangannya di dalam pendidikan di jurusan Fisika Universitas Brawijaya.

Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan karunia-Nya dan membalas segala amal budi serta kebaikan pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan ini dan semoga

tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan. Penulis juga memohon maaf sebesar-besarnya atas segala bentuk kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Malang, April 2013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	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 <i>Particulate Matter</i> di Udara.....	5
2.2 <i>Ultrafine Particle</i>	6
2.3 Proses Pembakaran.....	7
2.4 Rokok.....	11
2.5 <i>Environmental Tobacco Smoke</i>	13
2.6 Zat Aditif.....	15
2.7 Asam Amino.....	15
2.8 Faktor Emisi.....	17
2.9 Metode Pengukuran Faktor Emisi.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.2.1 Mesin Penghisap.....	19
3.2.2 <i>Environmental Chamber</i>	21
3.2.3 TSI P-TRAK 8525 <i>Ultrafine Particle Counter</i>	22

3.2.4	Kanomax Anemomaster A031 <i>air flow meter</i>	23
3.2.5	Perangkat Lunak (software).....	23
3.2.6	Rokok Divine Kretek.....	23
3.3	Tahapan Penelitian	24
3.4	Pengambilan Data	26
3.5	Pengolahan Data	27
3.5.1	Plotting Data.....	27
3.5.2	Perhitungan Nilai Faktor Emisi	28
3.5.3	Analisa Pengaruh Penambahan Zat Aditif terhadap Faktor Emisi <i>Ultrafine</i>	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Kalibrasi dan Penentuan Kecepatan Hisap <i>Smoking Machine</i>	29
4.2	Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Partikel <i>Ultrafine</i> .	32
4.3	Perhitungan Emisi Partikel <i>Ultrafine</i>	35
4.3.1	Penentuan Konsentrasi <i>Ultrafine</i> Total.....	35
4.3.2	Perhitungan Faktor Emisi Partikel <i>Ultrafine</i>	36
4.5	Pembahasan.....	40
BAB V PENUTUP.....		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....		49
LAMPIRAN		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Distribusi ukuran dan massa partikel di udara.....	6
Gambar 2.2	Segitiga pembakaran.....	8
Gambar 2.3	Fase pre-ignition	9
Gambar 2.4	Fase flaming combustion	9
Gambar 2.5	Fase smoldering	10
Gambar 2.6	Fase glowing.....	11
Gambar 2.7	Dua batang rokok.....	12
Gambar 2.8	Sidestream dan mainstream smoke	13
Gambar 2.9	Struktur dasar asam amino	16
Gambar 2.10	Struktur rantai karbon asam amino	17
Gambar 3.1	Skema <i>smoking machine</i>	20
Gambar 3.2	Skema <i>chamber</i>	21
Gambar 3.3	Prinsip kerja P-TRAK UPC.....	22
Gambar 3.4	Skema tahapan penelitian.....	25
Gambar 3.5	Skema pengambilan data	26
Gambar 3.6	Skema sistem pengukuran	27
Gambar 4.1	Penentuan kecepatan hisap.....	30
Gambar 4.2	Grafik kecepatan hisap pompa.....	31
Gambar 4.3	Grafik kecepatan hisap rata-rata pompa.....	32
Gambar 4.4	Hasil pengukuran partikel <i>ultrafine</i> pada rokok kosong.....	33
Gambar 4.5	Hasil pengukuran partikel <i>ultrafine</i> pada rokok nomor 5	34
Gambar 4.6	Hasil pengukuran partikel <i>ultrafine</i> pada rokok nomor 10	34
Gambar 4.7	Perhitungan luas area grafik	35
Gambar 4.8	Nilai faktor emisi partikel <i>ultrafine divine</i> kretek... ..	39
Gambar 4.9	Perbandingan dan prosentasi kenaikan emisi partikel <i>ultrafine</i> dengan asam amino esensial terhadap referensi.....	42
Gambar 4.10	Perbandingan dan prosentasi kenaikan emisi partikel <i>ultrafine</i> dengan asam amino non-esensial terhadap referensi.....	44
Gambar 4.11	Perbandingan dan prosentasi kenaikan emisi partikel <i>ultrafine</i> dengan zat aditif erhadap referensi.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi partikel menurut diameter <i>aerodynamic</i>	5
Tabel 2.2	Karakteristik partikel dalam asap selama proses <i>ageing</i>	14
Tabel 4.1	Konsentrasi <i>ultrafine</i> dari perhitungan Origin	36
Tabel 4.2	Konsentrasi partikel <i>ultrafine divine</i> kretek.....	37
Tabel 4.3	Faktor emisi partikel <i>ultrafine</i>	38
Tabel 4.4	Faktor emisi partikel <i>ultrafine</i> rokok <i>divine</i> kretek.....	38



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data hasil kalibrasi kecepatan hisap pompa	53
Lampiran 2	Grafik Pengolahan data.....	57
Lampiran 3	Hasil Perhitungan	61
Lampiran 4	Gambar-gambar	65

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Partikel *ultrafine* merupakan fraksi terakhir dan terbesar dari *particulate matter* (PM). *Particulate matter* (PM) adalah partikel yang berada di udara yang dibedakan menurut ukuran diameter aerodinamiknya. Secara umum *particulate matter* dibagi menjadi 3 fraksi, yaitu PM₁₀ yang meliputi partikel dengan diameter kurang dari 10 µm, *fine particle* (PM_{2.5}) untuk partikel dengan diameter kurang dari 2,5 µm, dan *ultrafine particle* yang digunakan untuk menyebut semua partikel yang berukuran kurang dari 0,1 µm (Fierro, 2000). Berbagai penelitian menyebutkan keberadaan PM₁₀ dan PM_{2.5} di dalam tubuh memacu terjadinya asma, kanker paru-paru, kelahiran prematur dan kematian dini, juga *atherosclerosis* (pengerasan pembuluh arteri) yang menyebabkan penyakit jantung (Pope, 2002; Mokdad, 2004). Di lain pihak, kajian-kajian mengenai partikel *ultrafine* lebih difokuskan pada kenyataan bahwa karena jumlahnya yang sangat besar namun memiliki kontribusi massa terkecil daripada jenis partikel lain yang dengan demikian kemungkinan paparan partikel ini terhadap tubuh jauh lebih tinggi dan mempunyai efek yang lebih luas terhadap kesehatan manusia.

Partikel *ultrafine* diyakini menjadi bagian terbesar dari partikel yang diemisikan oleh sistem pembuangan kendaraan bermotor, pembakaran biomassa dan aktivitas merokok. Telah diketahui bahwa ruangan dengan perokok mempunyai jumlah PM₁₀ dan *fine particle* di udara 20-30 µg/m³ lebih banyak dari ruangan tanpa perokok (Ning dkk., 2006). Penelitian-penelitian telah dilakukan memperlihatkan bahwa di dalam asap hasil pembakaran rokok ditemukan berbagai macam partikel dan substansi kimia seperti PAHs (Lee dkk., 2011), *thoracic particulate matter* (PM₁₀) dan *respirable particulate matter* yang terdiri dari PM_{2.5} (Borgerding dan Klus, 2005) disamping berbagai macam substansi kimia seperti ammonia, arsenik ataupun nikotin dan karbon monoksida seperti yang telah banyak diketahui. Penelitian kemudian dilakukan terhadap berbagai merk rokok internasional dan memberikan gambaran yang cukup jelas tentang keberadaan partikel *ultrafine* di dalam asap hasil pembakaran rokok (Nelson dkk., 1998; Shepperd dkk., 2009).

Di samping itu, kebiasaan merokok sudah menjadi semacam kebudayaan yang melekat di masyarakat. Di Indonesia khususnya, konsumsi rokok masih didominasi oleh rokok jenis kretek (mencapai 92% dari total rokok yang beredar), yang juga merupakan produk rokok khas dari Indonesia dengan campuran bunga cengkeh di dalamnya (Gota, 2011). Terlepas dari semua kontroversi dari aktivitas merokok, rokok sendiri saat ini telah mengalami berbagai pengembangan yang begitu luas. Penambahan filter diklaim dapat mengurangi ikut terhisapnya zat-zat yang berbahaya ke dalam tubuh (Adam, 2010). Kemudian penambahan bahan-bahan tertentu juga telah dilakukan untuk mendapatkan cita rasa khusus dari rokok yang ada. Pada perkembangan selanjutnya, beberapa kalangan mencoba untuk memodifikasi rokok baik dari bahan maupun proses pembuatan sehingga dihasilkan sebuah rokok yang disamping mempunyai efek buruk yang kecil pada kesehatan, juga diklaim dapat dimanfaatkan sebagai media terapi pengobatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur emisi partikel *ultrafine* dari rokok kretek yang dalam proses pembuatannya telah ditambahkan berbagai jenis zat aditif, yang digunakan sebagai acuan untuk penelitian berkelanjutan dari rokok kretek yang dimaksud.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana mengukur faktor emisi partikel *ultrafine* dari rokok kretek amatir?
2. Bagaimana pengaruh penambahan zat aditif tertentu terhadap nilai faktor emisi *ultrafine* yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

1. Faktor emisi dihitung berdasarkan jumlah partikel *ultrafine* yang terkandung dalam asap *mainstream* dari pembakaran satu batang rokok.

2. Metode pengukuran yang digunakan adalah metode *micro-environmental chamber*, dengan instrument pengukur TSI P-TRAK *Ultrafine Particle Counter*.
3. Bahan penelitian dikhususkan pada rokok *divine* kretek yang dikembangkan oleh Prof. Dr. Sutiman B. Sumitro.
4. Jenis rokok dibedakan menurut zat aditif, yaitu asam amino dan beberapa bahan kimia tertentu yang ditambahkan ke dalam bahan baku rokok.
5. Tidak membahas secara detail proses pembuatan rokok *divine* kretek.
6. Tidak membahas secara detail reaksi fisika dan kimia yang berlangsung selama proses pembakaran.
7. Tidak menganalisa kandungan zat kimia pada partikel *ultrafine* yang terukur.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan faktor emisi partikel *ultrafine* yang terdapat dalam asap rokok kretek dan mempelajari pengaruh penambahan zat aditif terhadap faktor emisi partikel *ultrafine* dari *divine* kretek.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui faktor emisi partikel *ultrafine* yang dihasilkan dari pembakaran rokok kretek.
2. Mengetahui pengaruh penambahan zat aditif terhadap faktor emisi partikel *ultrafine* yang dihasilkan.
3. Sebagai bahan acuan dan sumber informasi dari akibat konsumsi rokok pada kualitas udara ruangan secara garis besar bagi masyarakat.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Particulate Matter* di Udara

Kata *particulate matter* (PM) mengacu pada campuran partikel zat padat dan cair yang berada atau mengendap pada udara (Wikipedia^c, 2011). Beberapa partikel terjadi secara alami yang berasal dari gunung berapi, kebakaran hutan atau buih air laut. Kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan, pembangkit listrik dan berbagai proses industri juga menghasilkan partikel dalam jumlah yang besar (Dennis dkk., 2002; Ristovski dkk., 2007). Di seluruh dunia, *anthropogenic aerosols* (aerosol yang muncul karena kegiatan manusia) mencapai 10 % dari total aerosol yang berada di atmosfer. Peningkatan jumlah partikel di udara berbahaya bagi kesehatan yang mana dapat menyebabkan penyakit jantung, kelainan fungsi paru-paru juga kanker paru-paru (Wikipedia^c, 2011).

Tabel 2. 1 Klasifikasi partikel menurut diameter *aerodynamic*

Fraction	Size Range
PM ₁₀ (<i>thoracic fraction</i>)	≤ 10 μm
PM _{2.5} (<i>respirable fraction</i>)	≤ 2,5 μm
PM ₁	≤ 1 μm
Ultrafine (UFP)	≤ 0,1 μm

<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>

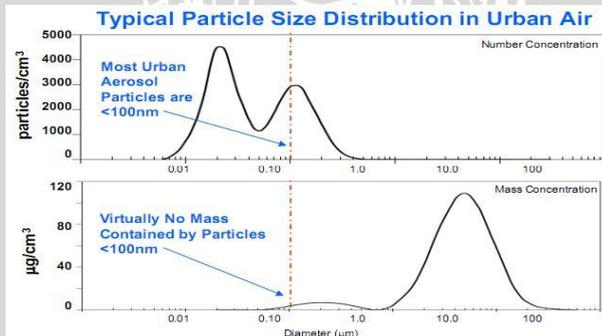
Partikel dikategorikan dalam beberapa fraksi menurut ukurannya. Karena partikel-partikel tersebut seringkali tidak berbentuk sferikal, maka kemudian banyak ditemui berbagai definisi ukuran. Definisi ukuran yang paling sering digunakan adalah diameter *aerodynamic*. PM meliputi berbagai partikel dengan diameter kurang dari 10 nanometer sampai lebih dari 10 mikrometer. Dimensi ini mewakili ukuran dari beberapa molekul sampai dimana partikel tidak lagi dapat terbawa oleh udara (Wikipedia^c, 2011). Notasi PM₁₀ digunakan untuk

mendeskripsikan partikel dengan diameter kurang dari 10 μm dan $\text{PM}_{2.5}$ menunjukkan partikel dengan diameter kurang dari 2,5 μm , sementara segala sesuatu yang berada di bawah 100 nm diklasifikasikan sebagai *ultrafine particles* (UFP) (Brunshidle dkk., 2003).

2.2 Ultrafine Particle

United State Environment Protection Agency (US-EPA) mendefinisikan partikel *ultrafine* (UFPs) sebagai partikel dengan ukuran nano yang berdiameter kurang dari 100 nanometer. Partikel *ultrafine* dapat dengan sengaja diproduksi untuk keperluan yang luas dalam bidang teknologi dan kesehatan. Namun sebagian besar partikel *ultrafine* diemiskan oleh beberapa peralatan seperti toner printer, *vacuum cleaner*, dan merupakan fase partikel dari penyusun utama asap hasil pembakaran tembakau (Wikipedia^e, 2011).

Partikel *ultrafine* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di bidang teknologi dan medis. Dalam bidang medis, beberapa partikel *ultrafine* yang berstruktur dasar silver mempunyai sifat *antimicrobial* sehingga digunakan dalam media penyembuhan luka dan sebagai pelapis instrumen internal untuk mencegah terjadinya infeksi. Dalam bidang teknologi, partikel *ultrafine* berstruktur dasar karbon banyak digunakan sebagai bahan baku berbagai komponen elektronika. Sementara itu, berapa jenis UFPs mempunyai karakteristik yang mirip dengan gas atau cairan sehingga bisa digunakan sebagai bubuk atau pelumas.



Gambar 2. 1 Distribusi ukuran dan massa partikel di udara (Seinfeld dan Pandis, 2006)

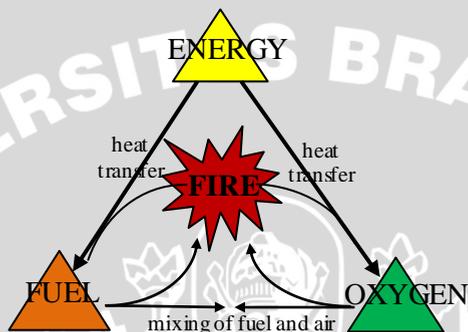
Pada tahun-tahun belakangan ini, para peneliti dan pemerhati kesehatan lingkungan lebih terfokus pada keberadaan partikel *ultrafine* di udara karena besarnya efek yang ditimbulkan. UFPs dapat tetap mengendap di udara selama beberapa hari dan menyebar ribuan kilometer lebih (Hinds, 1999). Dibandingkan dengan partikel yang lebih besar, UFP mempunyai luasan area yang lebih besar dan mampu membawa lebih banyak polutan (Oberdöster, 2001). UFP bisa ditemukan di setiap bagian atmosfer dan mendominasi dari jumlah total partikel di udara perkotaan (Seinfeld dan Pandis, 2006; Yinon, 2010). Meskipun begitu, kontribusi partikel ini terhadap massa total PM di udara sangatlah kecil. Sebagai contoh, massa dari 1 partikel berukuran 10 μm sebanding dengan massa 1 juta partikel berukuran 10 nm. Perbandingan konsentrasi dengan distribusi ukuran dan massa total partikel di udara dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Pernafasan merupakan jalan utama bagi UFPs untuk masuk ke dalam tubuh. Karena ukurannya, UFPs dapat dengan mudah melewati sistem penyaring dalam sistem pernafasan. Sebagian besar UFPs akan menumpuk di paru-paru dan mampu masuk ke bagian terdalam dari paru-paru (Oberdöster, 2001). Dikarenakan kuantitasnya yang sangat besar udara dan kemampuan penetrasi yang tinggi di dalam paru-paru, maka UFPs menjadi perhatian utama di bidang kesehatan pernafasan.

2.3 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah proses yang stabil (*steady state*) dari bentuk khusus oksidasi (Chandler dkk., 1983) dan kebalikan dari proses fotosintesis (Thoha, 2008). Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Pembakaran itu sendiri merupakan interaksi yang kompleks antara proses-proses fisika (dinamika fluida serta perpindahan panas dan massa) dengan proses kimia (termodinamika dan kinetika kimia). Dalam proses pembakaran, energi yang tersimpan dalam biomassa dilepaskan pada saat bahan-bahan seperti daun, rumput atau kayu berkombinasi dengan oksigen membentuk karbondioksida (CO_2), air dan sejumlah substansi lainnya. Dengan kata lain, reaksi ini merupakan reaksi kebalikan dari fotosintesis, dimana CO_2 , air dan energi matahari berkombinasi memproduksi suatu energi kimia simpanan dan oksigen (Thoha, 2008).

Proses pembakaran hanya bisa berlangsung jika terdapat bahan bakar, pengoksidasi (oksigen/udara) dan panas atau energi pengaktivasi (Mayasari, 2010). Tiga elemen dasar yang sering disebut sebagai segitiga api (*fire triangle*) ini diperlukan agar api bisa menyala dan memulai pembakaran. Gambar 2.2 menggambarkan hubungan antara ketiga elemen dasar tersebut.



Gambar 2. 2 Segitiga pembakaran (Mayasari, 2010)

Pembakaran dapat diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran tak sempurna. Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen hanya akan menghasilkan CO_2 , sementara unsur H menghasilkan uap air dan S menghasilkan sulfur dioksida. Sedangkan pembakaran tak sempurna terjadi apabila seluruh C yang dikandung dalam bahan bakar beraksi dengan oksigen dan gas yang dihasilkan tidak seluruhnya CO_2 (Mayasari, 2010).

Proses pembakaran berlangsung dalam fase-fase yang berurutan seperti berikut:

a. Pre-ignition

Dalam tahap *pre-ignition* bahan bakar mulai terpanaskan, terhidrasi serta terjadi penyerapan panas. Pada fase ini mulai terjadi pirolisasi, yaitu pelepasan uap air, CO_2 dan gas-gas yang mudah terbakar (*hydrogen, methane dan methanol*). Dalam proses ini reaksi berubah dari eksotermis menjadi endotermik. Pada saat ini timbul suhu yang mencapai $100\text{ }^\circ\text{C}$ (Ryan dan McMahon, 1976).



Gambar 2. 3 Fase pre-ignition

b. Flaming combustion



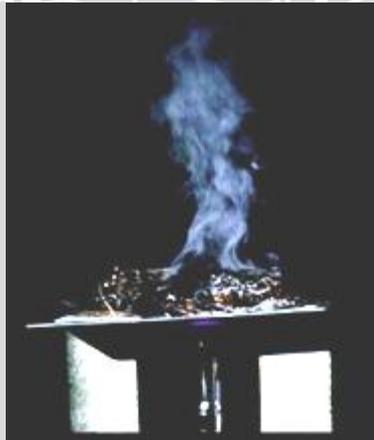
Gambar 2. 4 Fase flaming combustion

Reaksi eksotermik pada fase ini dapat menaikkan suhu menjadi lebih dari $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ryan and McMahon, 1976). Panas yang dihasilkan dari reaksi *flaming* ini mempercepat laju *pyrolysis* dan meningkatkan volume gas yang mudah terbakar dari bahan bakar. Pada fase ini degradasi termal dari molekul-molekul terjadi lebih lengkap dan lebih cepat daripada fase *ignition* dengan melepaskan

banyak energi panas. Temperatur yang dicapai selama fase *flaming* dapat bervariasi bergantung pada jumlah bahan bakar maupun kondisi lingkungan. Temperatur maksimal yang dapat dicapai berkisar 1650 °C, tetapi temperatur rata-rata cenderung pada kisaran 700 °C – 980 °C. Efisiensi pada fase *flaming* relatif lebih tinggi dan melepaskan polutan dalam jumlah yang paling sedikit dibandingkan dengan massa bahan bakar yang terbakar. Produk dominan yang dihasilkan adalah karbon dioksida dan uap air.

c. Smoldering

Fase *flaming* segera diikuti oleh fase *smoldering*. Fase *smoldering* dicirikan dengan dua zona, yaitu zona *pyrolysis* dimana hasil-hasil pembakaran terbentuk, dan zona arang dimana hasil-hasil pembakaran yang tidak tampak dilepaskan. Jumlah partikel yang diemisikan selama fase *smoldering* lebih besar daripada fase *flaming*. Penumpukan *char* (arang) pada permukaan bahan bakar merupakan ciri transisi dari fase *flaming* menuju *smoldering*. Penumpukan arang ini menghalangi pelepasan *volatile gas* yang dihasilkan sehingga pembakaran berkurang. Fase *smoldering* menghasilkan partikel yang lebih kecil dan lebih banyak menghasilkan gas pembakaran tidak sempurna yang merugikan daripada fase *flaming* (DeBano dkk., 1998).



Gambar 2. 5 Fase smoldering

d. *Glowing*

Proses *smoldering* diakhiri dengan fase *glowing*. Pada fase ini sebagian besar dari gas-gas yang mudah menguap hilang dan oksigen mengadakan kontak langsung dengan permukaan bakar yang mengarang. Fase *glowing* terjadi saat tidak lagi terdapat cukup energi untuk menghasilkan asap, tar, *volatile gas*, dan liquid dari bahan bakar. Produk utama yang dihasilkan dari fase ini adalah gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂), sementara suhu pembakaran masih bisa mencapai 600 °C (DeBano dkk., 1998).



Gambar 2. 6 Fase glowing

e. *Extinction*

Fase terakhir dari proses pembakaran adalah saat dimana semua bahan bakar telah dikonsumsi atau apabila panas yang dihasilkan melalui oksidasi baik dalam fase *smoldering* maupun *glowing* tidak cukup menguapkan uap air yang berasal dari bahan bakar. Panas yang diserap oleh bahan bakar yang lembab dan udara yang mengelilinginya mengurangi jumlah panas yang tersedia pada pembakaran sehingga mempercepat padamnya api (DeBano dkk., 1998).

2.4 Rokok

Rokok adalah cacahan daun tembakau yang dibungkus dengan kertas khusus menjadi suatu silinder dengan panjang antara 70-120 mm dan diameter sekitar 10 mm. Rokok dibakar pada salah satu ujungnya dan dibiarkan tetap menyala agar asapnya dapat dihirup pada ujung lainnya (Wikipedia^d, 2011). Sebagian besar rokok modern saat ini

menggunakan filter dan terkadang mempunyai semacam lubang ventilasi. Lubang ventilasi ini dimaksudkan agar asap rokok dapat bercampur dengan udara selama proses menghisap (Borgerding dan Klus, 2005).



Gambar 2. 7 Dua batang rokok (Wikipedia^d, 2011)

Kebiasaan merokok diyakini dimulai oleh suku Indian di Amerika sebagai suatu ritual untuk memuja dewa atau roh. Setelah bangsa Eropa menemukan benua Amerika, kebiasaan merokok ini ikut dan menyebar di kalangan bangsawan Eropa dan akhirnya masuk ke negara-negara Islam melalui pedagang Spanyol yang singgah di Turki pada abad 17 (Wikipedia^d, 2011).

Secara umum rokok dibedakan menjadi beberapa jenis menurut bahan pembungkus, bahan baku, proses pembuatan atau penggunaan filter pada rokok. Berdasarkan pembungkusnya dibedakan menjadi dua yaitu rokok sigaret yang berupa kertas dan cerutu yang pembungkusnya merupakan daun tembakau asli. Berdasarkan bahan bakunya dikenal rokok putih yang isinya hanya daun tembakau dan rokok kretek yang bahan bakunya merupakan campuran daun tembakau dan cengkeh. Prosentase campuran tembakau dan cengkeh juga bahan-bahan tambahan lain (saus) dari setiap merk rokok yang beredar biasanya dirahasiakan dan merupakan resep yang dijaga keasliannya (Wikipedia^d, 2011). Beberapa merk rokok internasional menambahkan gula, coklat dan ekstrak buah pada tembakau untuk membuat rasa dan aroma tertentu pada produk rokoknya (Borgerding dan Klus, 2005).

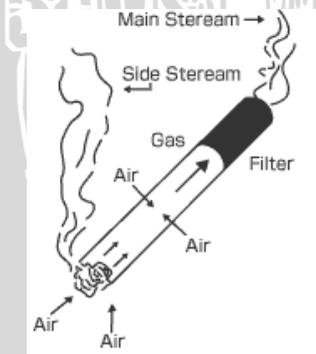
Salah satu jenis rokok yang memasyarakat dan banyak dikonsumsi adalah rokok kretek. Rokok kretek adalah sejenis rokok yang berisi campuran cacahan daun tembakau dan bunga cengkeh kering yang ketika dihisap akan menghasilkan bunyi kretek-kretek (Wikipedia^b,

2011). *Bisnis.com* menyebutkan bahwa sepanjang tahun 2010 total rokok yang dikonsumsi sebesar 248 miliar batang dan dari jumlah tersebut 92 % -nya adalah rokok kretek (Gota, 2011). Kebiasaan merokok, terlepas dari segi kebudayaan diyakini dapat menyebabkan ketergantungan, disamping menyebabkan berbagai jenis kanker, penyakit jantung, penyakit pernafasan, dan berakibat buruk pada kehamilan, baik bagi perokok itu sendiri maupun orang-orang di sekitar perokok yang terkena asapnya.

2.5 Environmental Tobacco Smoke

Environmental Tobacco Smoke (ETS) didefinisikan sebagai campuran dari asap hasil pembakaran rokok dan asap yang dikeluarkan oleh perokok. Karenanya, istilah ETS dapat diklasifikasikan dalam (Pandey dan Kim, 2010):

- 1) *Sidestream Smoke* (SS) yaitu asap yang diemisikan oleh ujung batang rokok yang terbakar selama kegiatan merokok berlangsung; dan
- 2) *Mainstream Smoke* (MS) yaitu kombinasi dari asap yang dihirup dan asap yang dikeluarkan/dihembuskan oleh perokok dari kegiatan merokok. Komposisi dari MS dipengaruhi oleh bagaimana cara perokok menghisap dan menghembuskan asap rokok. Frekuensi hisapan, lama menghisap dan volume hisapan juga akan mempengaruhi karakteristik dari MS yang dihasilkan (Martin, 2011).



Gambar 2. 8 Sidestream dan mainstream smoke

Selama kegiatan merokok, partikel ETS dihasilkan dan bercampur dengan udara ruangan dan mengalami berbagai perubahan kimia dan fisika setiap waktu. Merokok di dalam ruangan dapat meningkatkan jumlah partikel dalam udara secara signifikan. Telah diketahui bahwa ruangan dengan perokok mempunyai jumlah partikel dalam ruang 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lebih banyak dari ruangan tanpa perokok (Ning dkk., 2006).

Asap pembakaran tembakau mengandung partikel-partikel padat ataupun cair di dalam fase gas. Partikel-partikel tersebut dihasilkan melalui proses pembakaran yang kompleks meliputi pirolisis, pirosintesis, distilasi, sublimasi dan kondensasi. Ketika satu batang rokok dinyalakan, temperatur di tengah area pembakaran mencapai 800 °C. Selama periode hisapan, temperatur meningkat menjadi 910-920 °C di zona terluar area pembakaran, yaitu sekitar 0.2-1.0 mm di depan garis bakar kertas. Proses endotermik seperti distilasi dan sublimasi yang terjadi hanya beberapa millimeter dibelakang zona pembakaran merupakan penyebab utama yang membuat temperaturnya 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).

Tabel 2. 2 Karakteristik partikel dalam asap selama proses *aging*

Waktu (mnt)	Konsentrasi partikel (partikel/cm ³)	Diameter rata-rata (μm)
0.0	1 x 10 ¹⁰	0.20
0.1	5 x 10 ⁹	0.25
0.5	2 x 10 ⁹	0.34
1.0	1 x 10 ⁹	0.42
2.0	6 x 10 ⁸	0.51
5.0	3 x 10 ⁸	0.68

Sumber: Lee dan Chen, 1984

Asap yang sangat pekat terbentuk di daerah pirolisis/pirosintesis pada daerah pembakaran, dan selama proses hisapan asap ini mengalir sepanjang batang rokok sebagai *mainstream* smoke. Satu sentimeter kubik asap rokok ini mengandung sekitar 4 x 10⁹ partikel dengan

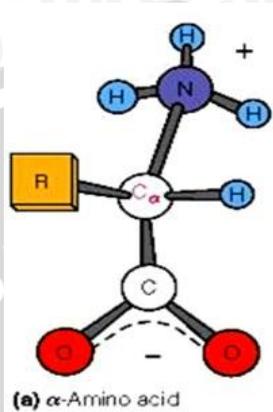
diameter rata-rata sekitar 0.2 μm (Borgerding dan Klus, 2005). Konsentrasi partikel yang tinggi akan menyebabkan proses koagulasi yang tinggi pula selama proses penuaan asap terjadi. Ketika jumlah partikel berkurang, akan terjadi penambahan diameter rata-rata dari partikel. Perkiraan efek penuaan asap terhadap karakteristik partikel berdasarkan teori Lee dan Chen dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Lee dan Chen, 1984).

2.6 Zat Aditif

Menurut Permenkes RI No 329/Menkes/PER/XII/76, zat aditif atau bahan tambahan makanan didefinisikan sebagai bahan yang ditambahkan dan dicampurkan sewaktu pengolahan makanan untuk meningkatkan mutu pada produk makanan yang dihasilkan. Peningkatan mutu yang dimaksud meliputi penampakan, cita rasa, tekstur, flavor dan memperpanjang daya simpan. Selain itu dapat meningkatkan nilai gizi dengan penambahan protein, mineral dan vitamin (Saparinto dan Hidayati, 2006). Divine kretek adalah rokok kretek yang dikembangkan dengan melakukan penambahan beberapa zat aditif di dalam proses produksinya. Penambahan zat aditif ini dimaksudkan untuk mendapatkan manfaat dari tiap jenis zat aditif yang digunakan, yang diharapkan mampu merubah ataupun menambah sifat atau properti dari produk pembakaran yang dihasilkan dari aktivitas merokok. Zat aditif yang ditambahkan dalam proses produksi divine kretek antara lain berbagai jenis asam amino standar dan beberapa bahan kimia lain seperti *caffeine*, *cortisone*, termasuk vitamin E dan B12.

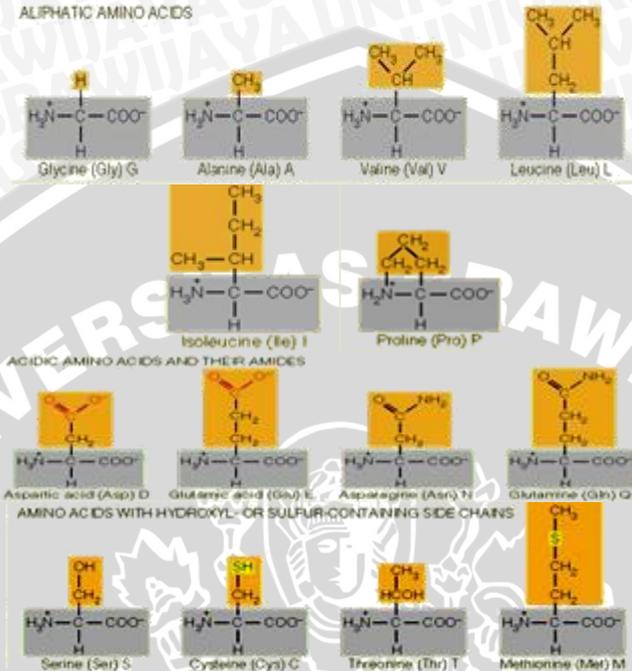
2.7 Asam Amino

Asam amino merupakan senyawa organik yang memiliki gugus fungsional karboksil ($-\text{COOH}$) dan amina ($-\text{NH}_2$) yang terikat pada satu atom karbon (C) yang sama. Secara umum struktur asam amino dicirikan dengan adanya atom C yang mengikat empat gugus; gugus amina (NH_2) yang memberikan sifat basa, karboksil (COOH) yang memberikan sifat asam, atom hydrogen (H) dan satu gugus sisa (R) atau disebut rantai samping yang membedakan satu asam amino dengan asam amino yang lainnya. Berdasarkan rantai samping ini, asam amino umumnya diklasifikasikan menjadi bersifat asam lemah, basa lemah, hidrofilik jika polar dan hidrofobik jika non polar (Wikipedia^a, 2011).



Gambar 2. 9 Struktur dasar asam amino (Wikipedia^a, 2011)

Protein merupakan polimer yang terbentuk dari asam amino sebagai monomernya, yang tersambung melalui ikatan peptida. Pada dasarnya protein tersusun dari 20 macam asam amino yang dikenal sebagai asam amino dasar atau asam amino proteinogenik (Wikipedia^a, 2011). Berdasarkan rantai sampingnya, asam amino dapat dibedakan menjadi bersifat polar dan non-polar yang berkaitan dengan kemampuannya mengikat uap air. Asam amino standar yang berbentuk non-polar adalah *glisine*, *alanine*, *valine*, *leusine*, *isoleusine* dan *proline*. Bentuk non-polar ini mengakibatkan asam amino bersifat hidrofobik dan secara struktural selalu menempati bagian dalam dari suatu protein yang umumnya berinteraksi dengan lipid. Disamping asam amino alifatik di atas, bentuk non-polar juga dimiliki oleh beberapa asam amino aromatik seperti fenilalanin, tirosin dan tritofan. Asam amino aromatik ini dicirikan dengan bentuk khas cincin rantai karbon pada gugus sampingnya. Adapun asam amino yang memiliki bentuk polar antara lain serin, threonin, sistein, metionin, asparagin dan glutamin. Asam amino polar bersifat hidrofilik sehingga mudah mengikat uap air dan secara struktural biasa terdapat di bagian luar dari suatu protein (Anfinsen, 1972).



Gambar 2. 10 Struktur rantai karbon asam amino (Wikipedia^a, 2011)

2.8 Faktor Emisi

Faktor emisi adalah nilai representatif 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 atau lamanya aktivitas yang mengemisikan polutan, misalnya partikel yang diemisikan kilogram per megagram batubara yang dibakar (Haurissa dkk., 2010). Satuan yang disebutkan sebelumnya merujuk pada emisi faktor berbasis massa. Dengan kata lain satuan dari faktor emisi tergantung pada basis pengukurannya. Dalam hal ini misalkan faktor emisi untuk energi yang dihasilkan dari sebuah pembangkit daya satuannya akan berupa gram/megaJoule (Alias dkk., 2007). Sementara itu pengukuran faktor emisi dari suatu kendaraan bermotor akan menghasilkan satuan gram/Km (Morawska dkk., 2008).

Faktor emisi digunakan untuk menentukan estimasi nilai emisi dari berbagai sumber polusi udara. Menurut PP no. 41 tahun 1999, emisi diartikan sebagai zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambient yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar (BPLHD, 2011). Dalam kebanyakan kasus, nilai ini hanyalah rata-rata dari semua data yang ada dengan kualitas yang dapat diterima, dan umumnya dianggap mewakili nilai rata-rata untuk jangka panjang dari semua fasilitas yang bersangkutan (Wiguna, 2010).

2.9 Metode Pengukuran Faktor Emisi

Dalam pengukuran faktor emisi dari pembakaran biomassa skala kecil (misal; pemanas ruangan, aktivitas memasak atau merokok) dikenal tiga metode; *carbon balance* dengan pendekatan kondisi lingkungan nyata (Mitra dkk., 2002; Klepeis dkk., 2007), metode *hood* (Johansson dkk., 2003), dan metode *chamber* (Morawska dkk., 1997; Charles dkk., 2007).

Prinsip dasar metode *chamber* adalah penggunaan suatu ruangan khusus berupa *chamber* kubus dimana udara di dalamnya tercampur (atau diasumsikan tercampur) dengan baik, konsentrasi mula-mula dari polutan yang diukur adalah nol (atau diasumsikan nol), dan sirkulasi udara antara *chamber* dan di luar *chamber* adalah konstan (Mitra dkk., 2002). Pada kondisi ini, konsentrasi polutan $C(t)$ di dalam *chamber* merupakan fungsi dari waktu pembakaran, t , sehingga konsentrasi polutan total di dalam *chamber* dapat diperoleh dari plot data antara $C(t)$ dengan t . Penentuan faktor emisi kemudian dapat diturunkan dari nilai konsentrasi total polutan dan debit udara yang masuk ke *chamber*.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni – Desember 2011 dan dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

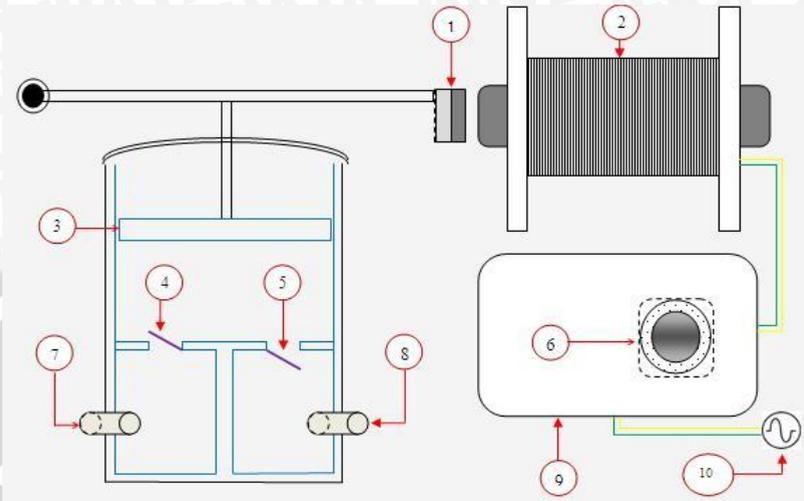
3.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

3.2.1 Mesin Penghisap

Pada penelitian ini dirancang suatu *smoking machine* yang difungsikan untuk menghisap asap hasil pembakaran sebatang rokok dan menyalurkannya ke *environmental chamber*. *Smoking machine* dibuat dari pompa udara akuarium model katup, yang dimodifikasi sedemikian rupa sehingga kecepatan hisapnya dapat diatur. Kecepatan hisap diatur dengan memanipulasi besar tegangan yang masuk ke kumparan magnet listrik yang menggerakkan piston pompa. Komponen-komponen penyusun *smoking machine* yang diperlihatkan pada Gambar 3.1 adalah:

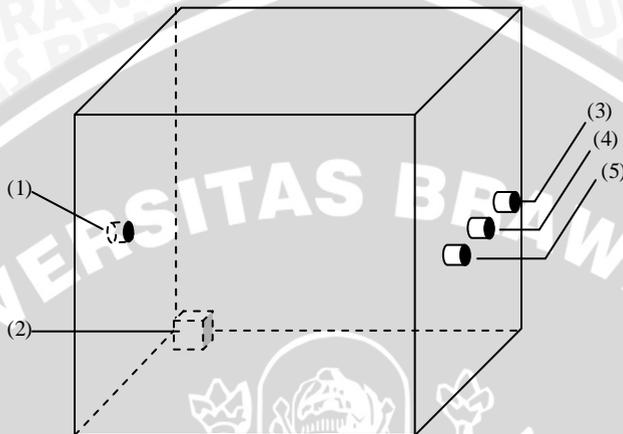
- 1) Magnet permanen yang terhubung dengan piston
- 2) Elektromagnet yang bersama magnet permanen (1) menggerakkan piston pompa
- 3) Piston penghisap
- 4) Katup udara input
- 5) Katup udara output
- 6) Tombol pengatur kecepatan hisap pompa
- 7) Saluran masuk udara/asap
- 8) Saluran keluar udara/asap
- 9) Sistem pengatur tegangan
- 10) Catu daya AC



Gambar 3. 1 Skema *smoking machine*

Udara dihisap ke dalam tabung pompa dengan memanfaatkan prinsip perubahan tekanan udara. Konfigurasi magnet listrik (2) dengan magnet permanen (1) memungkinkan piston pengisap (3) untuk bergerak naik dan turun. Ketika piston bergerak naik, katup (4) terbuka sementara katup (5) tertutup. Hal ini menyebabkan tekanan udara di dalam bilik input menjadi lebih kecil sehingga udara dari luar terhisap melalui saluran masuk (7) dan masuk ke reservoir atas (bilik atas yang berhubungan dengan piston). Ketika piston bergerak turun, katup (4) tertutup sementara katup (5) terbuka. Udara yang ada dalam reservoir tertekan oleh piston dan keluar melalui saluran keluar (8). Kecepatan hisap udara dipengaruhi oleh kecepatan naik-turun piston penghisap. Dengan merubah besar tegangan listrik yang masuk ke magnet listrik, kecepatan gerak piston dapat diatur dan dengan demikian kecepatan hisap *smoking machine* dapat ditentukan.

3.2.2 Environmental Chamber



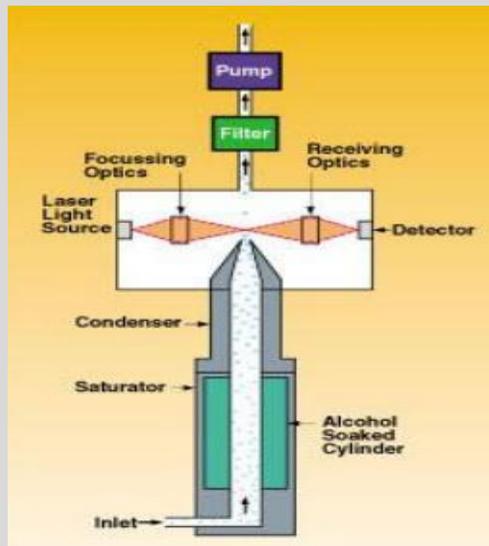
Keterangan: (1). Saluran masuk
(2). Mini fan
(3). Exhaust
(4). UFP instrument duct
(5). Exhaust

Gambar 3. 2 Sistem chamber

Pengukuran jumlah total partikel *ultrafine* dalam asap rokok dilakukan pada suatu kubus akrilik transparan dengan dimensi 0.75 x 0.75 x 0.75 m tanpa ventilasi (Gambar 3.2). Satu kipas listrik kecil ditempatkan di salah satu sudut *chamber* untuk memastikan asap dapat tercampur dengan udara secara homogen. Asap rokok dari *smoking machine* dimasukkan ke dalam *chamber* melalui saluran masuk (1) yang terisolasi dengan baik untuk mencegah kebocoran yang tidak diinginkan. Sisi yang berlawanan dengan saluran masuk memiliki 3 buah saluran yang digunakan untuk menempatkan *probe* dari instrument pengukuran yang dipakai. Saluran yang tidak terpakai dibuat tertutup atau apabila dibutuhkan bisa dibiarkan terbuka sebagai saluran pembuangan.

3.2.3 TSI P-TRAK 8525 *Ultrafine particle counter*

TSI P-TRAK 8525 *particle counter* mampu mencacah partikel-partikel di udara yang berdiameter kurang dari $0.1 \mu\text{m}$ (partikel *ultrafine*) dengan prinsip kondensasi. Partikel dihisap ke dalam UPC menggunakan pompa *built-in*. Saat memasuki instrumen, partikel melewati sebuah tabung saturasi dan bercampur dengan uap alkohol dan kemudian dikondensasikan yang menyebabkan butiran partikel menjadi lebih besar. Butiran partikel ini kemudian dilewatkan pada seberkas sinar laser dan menimbulkan kilasan cahaya yang dapat terdeteksi oleh *photo-detector*.



Gambar 3. 3 Prinsip Kerja P-TRAK UPC

Konsentrasi partikel dalam hal ini ditentukan dengan cara menghitung kilasan cahaya yang diterima oleh *photo-detector*. Kemampuan mendeteksi partikel tunggal dari instrument ini membedakan dengan instrument lain yang sejenis. Sementara instrument lain hanya mampu menghitung konsentrasi *fine-particle* (partikel dengan diameter di atas $1 \mu\text{m}$) dalam satuan mg/m^3 , P-TRAK mampu menghitung konsentrasi partikel *ultrafine* dalam satuan

partikel/cm³. Prinsip kerja dari P-TRAK *ultrafine particle counter* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

3.2.4 Kanomax Anemomaster A031 air flow meter

Anemomaster digunakan untuk mengukur dan mengkalibrasi kecepatan hisap dari pompa *smoking machine*.

3.2.5 Perangkat lunak (*software*)

Perangkat lunak yang diperlukan dalam penelitian ini disesuaikan dengan pengolahan data yang dilakukan adalah Microsoft Office Excel versi 2007 dan Origin 8.1 yang digunakan untuk perhitungan-perhitungan statistik serta analisis matematis nilai emisi partikel *ultrafine*.

3.2.6 Rokok *divine kretek*

Bahan uji dari penelitian adalah 30 jenis rokok kretek yang dikembangkan oleh Prof. Dr. Sutiman B. Sumitro. Rokok kretek ini dibuat dari campuran murni cacahan 80% tembakau dan 20% cengkeh kering yang dipasok dari perkebunan tembakau di Jember, Temanggung dan Madura. *Divine kretek* dibuat dari rokok-rokok ini dengan menambahkan zat aditif yang berupa asam amino dan beberapa bahan kimia tertentu. Sebagai pembanding disertakan pula satu jenis rokok tanpa penambahan zat aditif pada tembakaunya (referensi/rokok kosong). Sebelum pengujian dilaksanakan, batang-batang rokok dibiarkan dalam keadaan terbuka pada suhu ruang selama satu minggu. Batang rokok dibakar dengan *smoking machine* dan asapnya kemudian disalurkan menuju chamber melalui saluran masuk *chamber* (1).

Berikut adalah daftar rokok *divine kretek* yang dibedakan menurut jenis asam amino dan zat aditif yang ditambahkan ke dalam bahan baku rokok:

1. Rokok 0 = Referensi
2. Rokok 1 = *Threonine*
3. Rokok 2 = *Tryptophan*
4. Rokok 3 = *Serine*

5. Rokok 4 = *Valine*
6. Rokok 5 = *Isoleucine*
7. Rokok 6 = *Lysine*
8. Rokok 7 = *Histidine*
9. Rokok 8 = *Arginine*
10. Rokok 9 = *Aspartic acid*
11. Rokok 10 = *Glutamic acid*
12. Rokok 11 = *Glutamin*
13. Rokok 12 = *Proline*
14. Rokok 13 = *Leucine*
15. Rokok 14 = *Asparagine*
16. Rokok 15 = *Alanine*
17. Rokok 16 = *Selenocystein*
18. Rokok 17 = *Vitamin E*
19. Rokok 18 = *Cystein*
20. Rokok 19 = *Phenilalanine*
21. Rokok 20 = *GCG*
22. Rokok 21 = *Lysine, Tryptophan, Glutamic acid*
23. Rokok 22 = *Proline, Alanine, Valine*
24. Rokok 23 = *Serin, Proline, Glysine*
25. Rokok 24 = *B 12*
26. Rokok 25 = *Folic acid*
27. Rokok 26 = *Bovine*
28. Rokok 27 = *Caffeine*
29. Rokok 28 = *Adenosyn*
30. Rokok 30 = *Cortison*

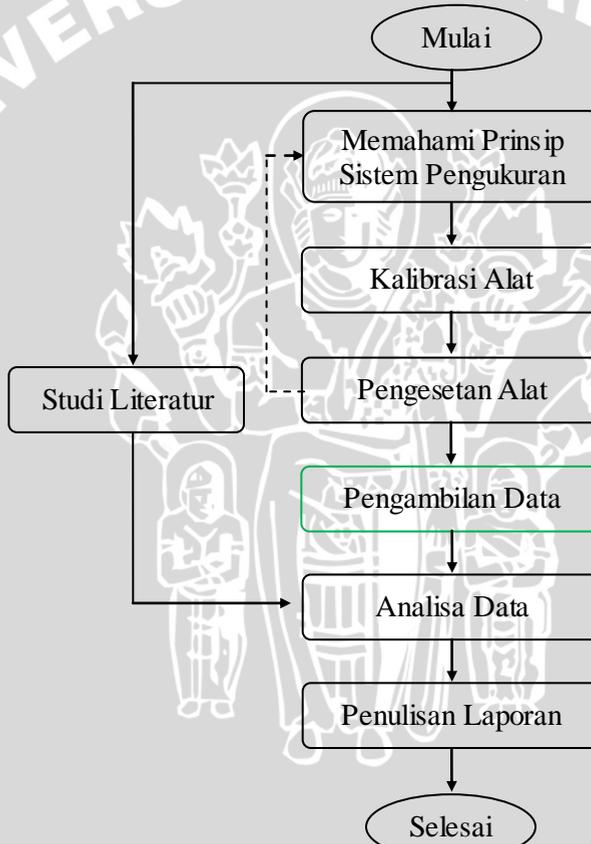
3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk menentukan jumlah partikel *ultrafine* yang diemisikan oleh satu batang rokok *divine* kretek dalam ruangan. Adapun penelitian ini dilaksanakan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut:

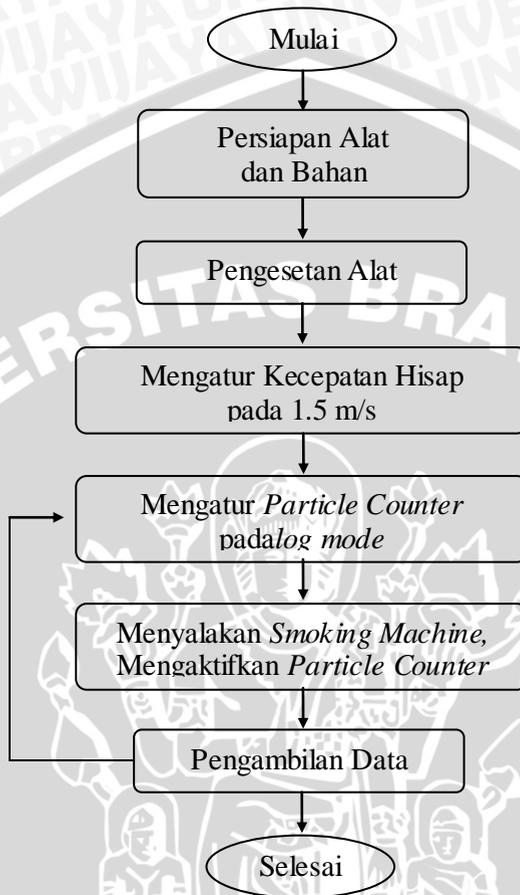
1. Studi literatur terkait dengan materi pencemaran udara, rokok, *Environmental Tobacco Smoke (ETS)*, *particulate matter* yang terdapat dalam udara dan asap rokok, *ultrafine particle*, proses-proses pembakaran biomassa, faktor emisi dan metode-metode pengukurannya

2. Memahami prinsip kerja dari rancangan sistem pengukuran yang akan dipakai
3. Pengujian alat-alat yang dipergunakan dalam sistem pengukuran
4. Pengesetan alat
5. Pengambilan data
6. Analisa data
7. Penulisan laporan.

Diagram alir dari tahapan-tahapan penelitian disajikan dalam Gambar 3.4 di bawah:



Gambar 3. 4 Skema tahapan penelitian



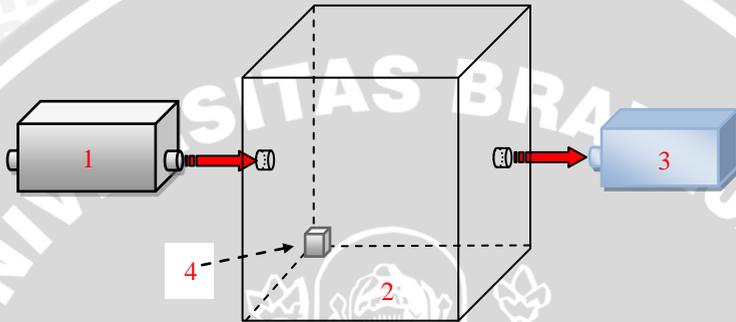
Gambar 3.5 Skema pengambilan data

3.4 Pengambilan Data

Faktor emisi dari rokok *divine* kretek ini ditentukan dengan mengukur konsentrasi partikel *ultrafine* yang terdapat dalam asapnya secara langsung. Dalam pelaksanaannya, satu batang rokok dibakar dan dihisap dengan *smoking machine* dengan kecepatan 1,5 m/s dimana asapnya disalurkan ke dalam chamber pengukuran. Konsentrasi partikel *ultrafine* kemudian diukur dengan *ultrafine particle counter* TSI type 8525. Pengukuran dimulai beberapa detik sebelum rokok dinyalakan,

dan selama pengambilan data, konsentrasi partikel *ultrafine* dicatat setiap 10 detik, sampai jumlah partikel yang terukur mendekati nilai awal saat rokok belum dinyalakan.

Adapun skema keseluruhan dari sistem pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah:



- Keterangan:
- (1). Smoking machine
 - (2). Smoke chamber
 - (3). Ultrafine Particle Counter
 - (4). minifan

Gambar 3. 6 Skema sistem pengukuran

3.5 Pengolahan Data

3.5.1 Plotting Data

Data mentah berupa format *.tkp* yang didownload dari *particle-counter* kemudian di *export* ke dalam format *.txt* agar dapat diolah menggunakan aplikasi Microsoft Excel 2007 ataupun Origin 8.1. Data-data yang ada kemudian ditulis ulang dalam tabel dan diplotkan dalam bentuk grafik hubungan antara waktu sampling (dengan interfal 10 detik) dengan jumlah partikel *ultrafine* (dalam partikel/cc) yang terukur. Berdasarkan grafik yang terbentuk akan dapat ditentukan besar konsentrasi total dari partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh satu batang rokok.

3.5.2 Perhitungan Nilai Faktor Emisi

Untuk menentukan besar emisi dari partikel *ultrafine* digunakan software *Origin 8.1* untuk mengetahui luasan dari grafik antara konsentrasi partikel *ultrafine* terhadap waktu pembakaran. Setelah didapatkan plot dari grafik maka dapat dicari luasan dari konsentrasi partikel *ultrafine* terhadap lama waktu pembakaran dengan analisa integral. Luasan yang diperoleh merupakan konsentrasi total partikel *ultrafine* dalam satuan (partikel.s/cc) yang nilainya dapat langsung diketahui.

Dari hasil konsentrasi total maka dapat ditentukan nilai faktor emisi partikel *ultrafine* dari satu batang rokok melalui persamaan berikut:

$$E_i = (\pi r^2) \cdot v \int_0^t C(t) dt \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana:

- E_f = Faktor Emisi (partikel/batang)
- r = jari-jari pipa hisap $(40 \pm 2.5) \cdot 10^{-4}$ m
- v = Kecepatan hisap $(1.51 \pm 0.14$ m/s)
- $C(t)$ = Konsentrasi partikel (partikel/m³)

3.5.3 Analisa Pengaruh Penambahan Zat Kimia terhadap Faktor Emisi Ultrafine

Studi pengaruh penambahan asam amino dan zat kimia pada rokok kretek terhadap faktor emisi *ultrafine* yang dihasilkan dilakukan dengan metode komparasi, yaitu dengan membandingkan nilai emisi partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh setiap rokok kretek uji dengan rokok kretek referensi. Selisih nilai faktor emisi *ultrafine* dari rokok kretek referensi dengan rokok kretek dengan penambahan zat aditif kemudian diplotkan dalam sebuah grafik sehingga dapat dilihat dengan jelas perubahan yang ada. Studi literatur kemudian dilakukan untuk menganalisa proses yang terjadi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

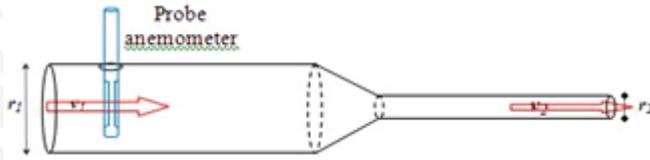
4.1 Kalibrasi dan Penentuan Kecepatan Hisap *Smoking Machine*

Dalam penelitian ini digunakan mesin penghisap asap rokok yang terbuat pompa aquarium yang dimodifikasi sedemikian rupa sehingga kecepatan hisapnya dapat diatur. Sebelumnya telah ditentukan bahwa kecepatan hisap yang akan digunakan adalah 1.5 m/s, dimana dengan kecepatan ini satu batang rokok *divine* kretek dapat terbakar habis dalam waktu kurang dari 10 menit. Kalibrasi dilakukan untuk mengecek stabilitas kecepatan hisap pompa, sehingga perubahan kecepatan yang tidak diinginkan selama pembakaran berlangsung dapat dihindari. Kecepatan hisap diusahakan stabil karena untuk kecepatan yang berbeda akan menghasilkan nilai emisi yang berbeda pula.

Asap rokok bersifat hidrofilik sehingga sangat mudah terkondensasi dan terdeposisi di dalam pompa ataupun pipa penghisap. Karena itu selama penelitian ini mesin penghisap secara berkala diperbaharui dan total telah menggunakan 3 mesin penghisap. Kalibrasi juga dilakukan tiap kali mesin penghisap yang baru akan digunakan.

Penentuan dan kalibrasi kecepatan hisap dilakukan dengan bantuan konsep Kontinuitas fluida ideal. Hal ini diperlukan karena ukuran pipa hisap yang berdiameter sama dengan diameter batang rokok cukup kecil sehingga tidak sesuai dengan *probe* standar anemometer yang digunakan. Karena itu pipa hisap kemudian disambung dengan pipa berdiameter lebih besar sehingga *probe* anemometer bisa masuk seluruhnya. Dengan cara ini pula diharapkan pengaruh sirkulasi udara ruangan terhadap sensor kecepatan dari anemometer dapat diminimalkan.

Dalam penentuan kecepatan hisap pompa, konsep kontinuitas digunakan untuk menghitung seberapa besar kecepatan alir udara pada penampang pipa besar sehingga kecepatan alir udara pada pipa kecil bisa sesuai dengan kecepatan yang diinginkan (1.5 m/s). Skema penentuan kecepatan hisap ditampilkan pada Gambar 4.1.

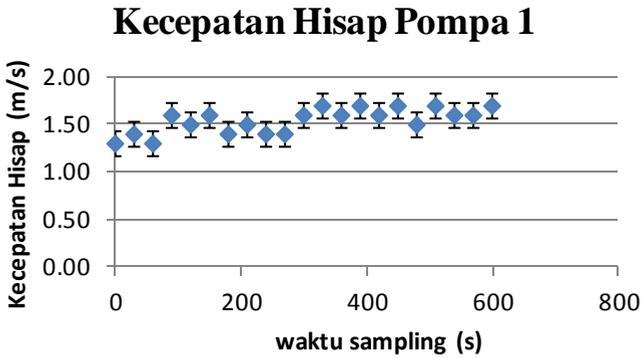


Gambar 4. 1 Penentuan kecepatan hisap

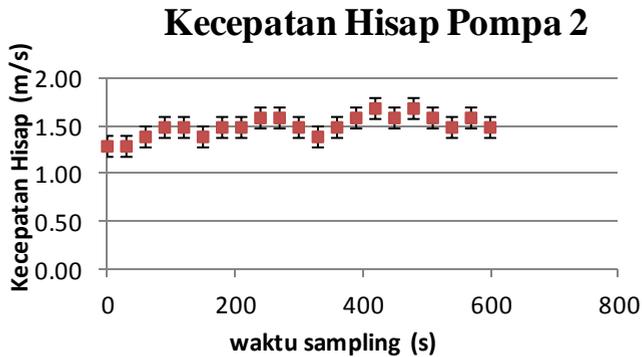
Probe anemometer ditempatkan sedemikian rupa pada pipa besar untuk memperkecil pengaruh sirkulasi udara luar yang dapat mengganggu sensor anemometer. Jari-jari pipa besar (r_1) adalah 0.0125 m sehingga luas penampang pipa A_1 adalah $4.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Sementara itu jari-jari pipa kecil (r_2) adalah 0.004 m sehingga luas penampang pipa A_2 adalah $5.02 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Dengan memanfaatkan persamaan (4.4), untuk memperoleh kecepatan hisap pompa (v_2) sebesar 1.5 m/s maka kecepatan alir udara v_1 harus terukur sebesar:

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \frac{A_2}{A_1} \cdot v_2 \\
 &= \frac{5.02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{4.91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \cdot 1.5 \text{ m/s} \\
 &= 0.153 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

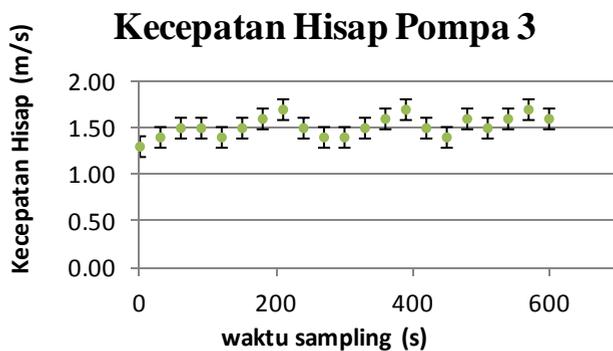
Kalibrasi dilakukan kemudian untuk melihat kestabilan kecepatan hisap pompa selama pembakaran rokok berlangsung. Perubahan kecepatan hisap yang signifikan akan mempengaruhi nilai emisi yang dihasilkan. Kalibrasi dilakukan dengan memonitor kecepatan hisap pompa selama 10 menit, dengan pengambilan sampling data setiap 30 detik. Dengan melihat hasil plotting data yang diperoleh dapat diketahui kestabilan pompa yang dipakai. Berikut diberikan plotting data hasil kalibrasi kecepatan hisap dari 3 buah pompa yang dipakai selama penelitian, yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 dan kecepatan rata-rata dari 3 buah pompa penghisap yang diperlihatkan pada Gambar 4.3.



(a)



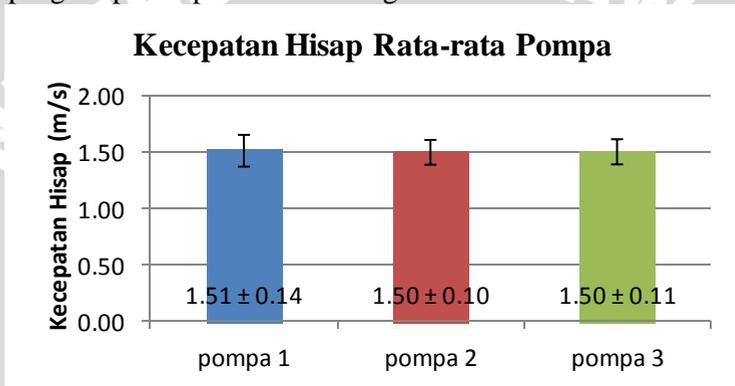
(b)



(c)

Gambar 4. 2 Grafik kecepatan hisap pompa

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa pompa memerlukan waktu lebih kurang 2 menit untuk mencapai kecepatan hisap rata-rata 1.5 m/s yang diinginkan. Kecepatan hisap awal saat pompa dinyalakan selalu berada pada kisaran 1.3 m/s dan kemudian berangsur-angsur naik dan kemudian berfluktuasi di sekitar kecepatan 1.5 m/s. Hal ini lebih diakibatkan oleh karakteristik dari pompa itu sendiri dan dari ketiga pompa yang dikalibrasi menunjukkan sifat yang sama. Namun karena fluktuasi yang terjadi kecil maka dapat dikatakan bahwa kecepatan pompa penghisap cukup stabil untuk digunakan.

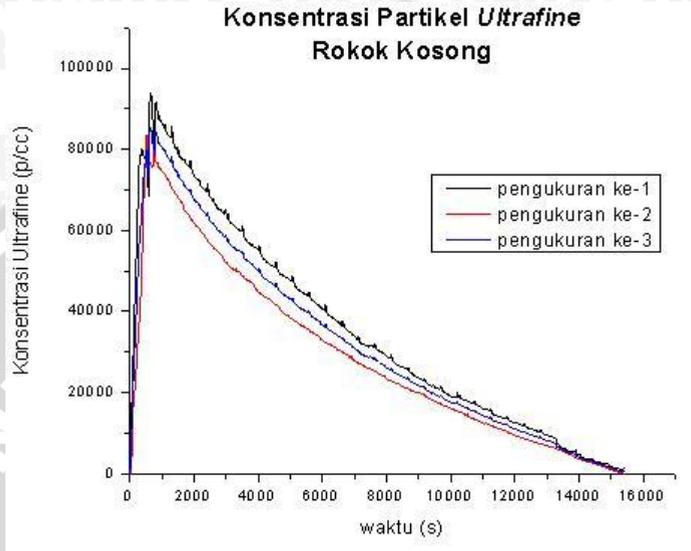


Gambar 4. 3 Grafik kecepatan hisap rata-rata pompa

Gambar 4.3 memperlihatkan kecepatan hisap rata-rata ketiga pompa yang dikalibrasi secara berurutan pada nilai 1.51 ± 0.14 m/s; 1.50 ± 0.10 m/s; dan 1.50 ± 0.11 m/s, menunjukkan bahwa penggunaan pompa baru tidak merubah kecepatan hisap yang dihasilkan.

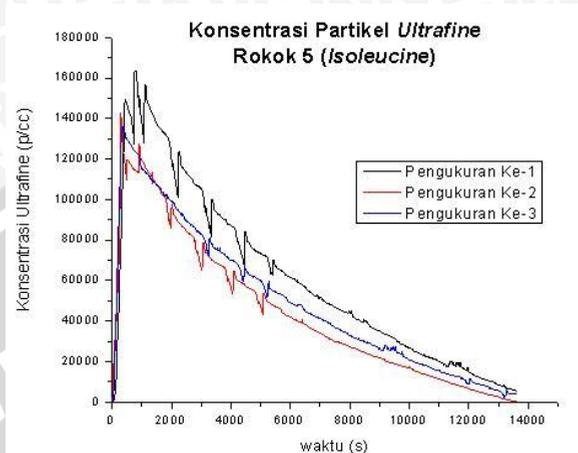
4.2 Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Partikel *Ultrafine*

Hasil pengukuran partikel *ultrafine* yang terkandung di dalam asap hasil pembakaran rokok *divine* kretek dapat didownload langsung dari *particle counter* yang digunakan. Data yang dihasilkan berupa nilai partikel *ultrafine* tiap cm^3 volume udara yang tercatat setiap 10 detik. Data-data untuk setiap jenis rokok ini selanjutnya dapat diplotkan dalam bentuk grafik untuk menentukan total partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh sebatang rokok *divine* kretek, melalui metode kuadratur numerik.

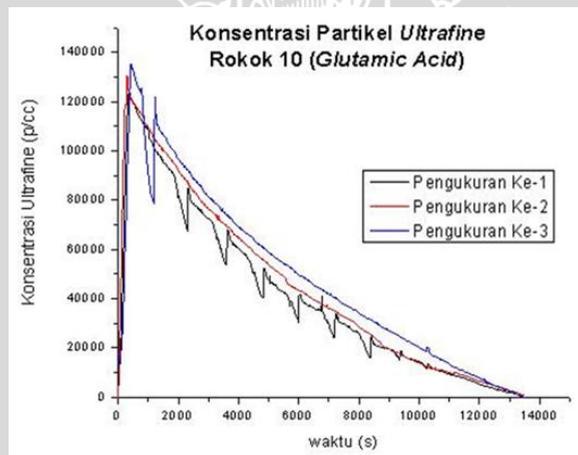


Gambar 4. 4 Hasil pengukuran partikel *ultrafine* pada rokok kosong

Gambar 4.4 memperlihatkan plotting data hasil pengukuran partikel *ultrafine* dari rokok kretek tanpa tambahan zat aditif. Pengukuran diulang sebanyak 3 kali untuk memperkuat validitas dari data yang diperoleh. Dari Gambar 4.4 terlihat pola dari kurva yang dihasilkan dari 3 kali pengukuran dan menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Dari kurva pula dapat terlihat bagaimana konsentrasi partikel *ultrafine* meningkat secara signifikan dan mencapai puncaknya pada sekitar menit ke-6 sampai ke-10 dimana proses pembakaran rokok terjadi pada 10 menit awal ini, dan berangsur turun lagi. Konsentrasi partikel *ultrafine* di dalam *chamber* akan mendekati kondisi semula lagi setelah kurang lebih 4-5 jam. Pola kurva ini juga didapatkan pada pengukuran partikel *ultrafine* dari rokok nomor 5 (*isoleucine*) dan nomor 10 (*glutamic acid*) yang terlihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4. 5 Hasil pengukuran partikel *ultrafine* rokok nomor 5



Gambar 4. 6 Hasil pengukuran partikel *ultrafine* rokok nomor 10

Dari grafik yang ditampilkan dapat terlihat 2 pola kurva yang berbeda. Beberapa grafik dari hasil pengukuran yang dilakukan memperlihatkan pola kurva bergerigi, yang menunjukkan pada waktu-waktu tertentu konsentrasi partikel yang terukur oleh alat mengalami penurunan yang cukup besar. Namun konsentrasi ini akan kembali ke posisi normal selang beberapa waktu kemudian, dan hal ini menunjukkan bahwa penurunan itu lebih disebabkan karena udara berpartikel di dalam *chamber* belum tercampur secara sempurna ataupun karena terjadi

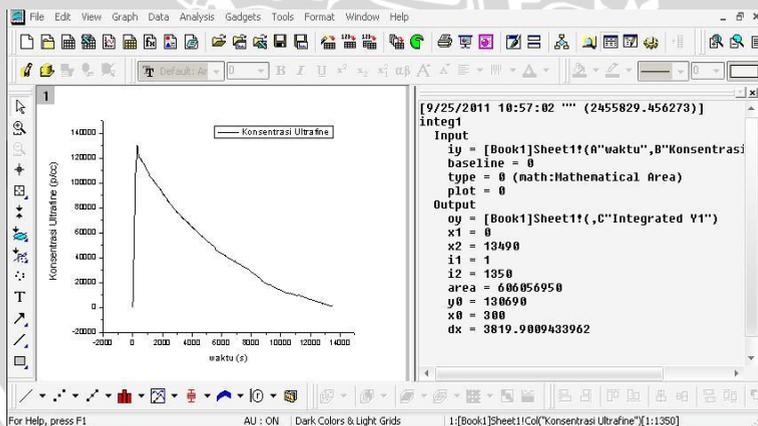
gangguan atau perubahan kondisi pada *chamber*. Getaran atau perpindahan posisi yang terjadi pada *chamber* akan mengakibatkan udara di dalam *chamber* bergolak untuk sementara sehingga mempengaruhi jumlah partikel yang masuk ke dalam *particle counter*.

4.3 Perhitungan Emisi Partikel *Ultrafine*

4.3.1 Penentuan Konsentrasi Total *Ultrafine*

Konsentrasi total dari partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh sebatang rokok *divine* yang dibakar dihitung berdasarkan luas area grafik yang dihasilkan sebelumnya. Konsentrasi total partikel *ultrafine* ini selanjutnya dipergunakan untuk menentukan nilai faktor emisi yang dihasilkan oleh *divine* kretek. Pembahasan selanjutnya tergantung dari nilai-nilai faktor emisi yang dihasilkan oleh setiap batang rokok ini.

Perhitungan luas area grafik dapat dilakukan dengan metode integrasi numerik (kuadratur numerik). Metode ini digunakan untuk mengintegrasikan fungsi-fungsi analitis data. Integrasi biasanya digunakan untuk menyatakan solusi persamaan diferensial atau evaluasi integral tak tentu. Istilah kuadratur digunakan dalam proses penentuan luas atau isi. Sedangkan istilah integral adalah representasi luas atau isi dari fungsi-fungsi analitis dan tabel data.



Gambar 4. 7 Perhitungan luas area grafik dengan *Origin 8.1*

Dalam penelitian ini, perhitungan luas area grafik konsentrasi partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh *divine* kretek dilakukan dengan bantuan software Origin 8.1. Dengan software ini nilai luasan area grafik yang menunjukkan jumlah total konsentrasi partikel *ultrafine* dari *divine* kretek selama pengukuran berlangsung dapat diketahui. Contoh perhitungan luas area menggunakan software Origin 8.1 dapat dilihat pada Gambar 4.7, yang merupakan grafik dari pengukuran rokok nomor 10.

Tabel 4. 1 Konsentrasi total *ultrafine* dari perhitungan Origin

No.	Scavengers	Konsentrasi Ultrafine ($\times 10^4$ partikel/cc)
0	Kosong	$2,88 \pm 0,32$
5	<i>Isoleucine</i>	$5,13 \pm 0,85$
10	<i>Glutamic acid</i>	$4,46 \pm 0,36$

Tabel 4.1 memperlihatkan hasil perhitungan konsentrasi total *ultrafine* dari rokok kosong serta *divine* kretek nomor 5 (*isoleucine*) dan nomor 10 (*glutamic acid*). Nilai keseluruhan dari konsentrasi total *ultrafine* hasil pengukuran untuk tiap jenis *divine* kretek dapat dilihat dalam lampiran.

4.3.2 Perhitungan Faktor Emisi Partikel *Ultrafine*

Dalam penelitian ini, penentuan faktor emisi partikel *ultrafine* dari rokok *divine* kretek dilakukan dengan menggunakan metode *chamber*. Metode ini menggunakan instrument pengukuran yang bersifat *real-time* sehingga akan bisa didapatkan plot $C(t)$ yang diperlukan untuk perhitungan selanjutnya. Faktor emisi partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh satu batang *divine* kretek didapatkan melalui persamaan:

$$E_f = A \cdot v \int_0^t C_t \cdot dt \dots \dots \dots (4.6)$$

Dimana:

- E_f = Faktor emisi (partikel/batang)
- A = Luas penampang pipa ($(5.02 \pm 0.625) \times 10^{-5} \text{ m}^2$)
- v = Kecepatan hisap pompa ($1.51 \pm 0.141 \text{ m/s}$)
- $C(t)$ = Konsentrasi total partikel (partikel/ m^3)

Dalam perumusan ini, perkalian luas penampang pipa penghisap A dengan kecepatan hisap pompa v merupakan debit asap hasil pembakaran *divine* kretek yang nilainya konstan. Dengan begitu nilai faktor emisi yang dihasilkan akan tergantung hanya pada nilai konsentrasi total partikel *ultrafine* yang telah dihitung sebelumnya. Tabel 4.2 menunjukkan nilai konsentrasi partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh *divine* kretek yang diuji.

Tabel 4. 2 Konsentrasi partikel *ultrafine* dari *divine* kretek

No.	Jenis Rokok	Konsentrasi <i>Ultrafine</i> ($\times 10^6$ partikel/m ³)
0	Kosong	28881
1	<i>Threonin</i>	37595
2	<i>Tryptophan</i>	51779
3	<i>Serine</i>	45414
4	<i>Valine</i>	55757
5	<i>Isoleucine</i>	51395
6	<i>Lysine</i>	32805
7	<i>Histidine</i>	42288
8	<i>Arginine</i>	44050
9	<i>Aspartic acid</i>	42683
10	<i>Glutamic acid</i>	44613
11	<i>Glutamin</i>	73260
12	<i>Proline</i>	69634
13	<i>Leucine</i>	71494
14	<i>Asparagine</i>	105953
15	<i>Alanine</i>	48756
16	<i>Selenocystein</i>	56678
17	Vit. E	74155
18	<i>Cystein</i>	71653
19	<i>Phenilalanine</i>	79513
20	GCG	45842
21	<i>Ls + Thr + Glut</i>	44034
22	<i>Pl + Al + Val</i>	64709

No.	Jenis Rokok	Konsentrasi <i>Ultrafine</i> ($\times 10^6$ partikel/m ³)
23	<i>Se + Pl + Gli</i>	57635
24	B 12	64764
25	<i>Folic acid</i>	67733
26	<i>Bovine</i>	55379
27	<i>Caffein</i>	70504
28	<i>Adenosyn</i>	71208
30	<i>Cortison</i>	62718

Berikut diberikan hasil perhitungan faktor emisi partikel *ultrafine* dari rokok kosong serta *divine* kretek nomor 5 (*Isoleucine*) dan 10 (*glutamic acid*) pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Faktor emisi partikel *ultrafine*

Nomor	Isi	Faktor emisi (partikel/btg)	SD
0	Kosong	3.35×10^{10}	1.04×10^{10}
5	<i>Isoleucine</i>	5.25×10^{10}	1.94×10^{10}
10	<i>Glutamic acid</i>	4.57×10^{10}	1.34×10^{10}

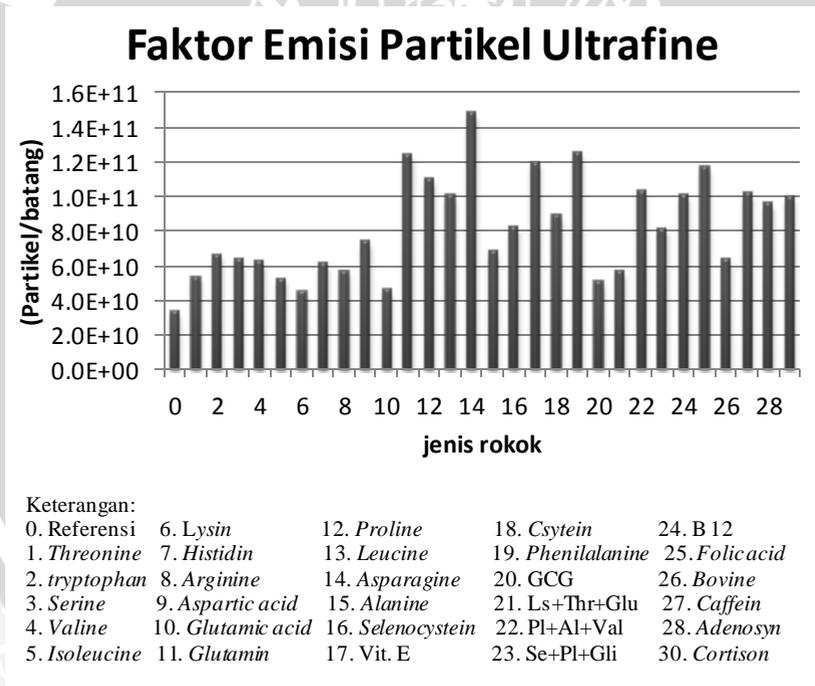
Dengan memasukkan nilai konsentrasi total partikel *ultrafine* dari ketiga puluh jenis rokok yang diteliti maka didapatkan nilai faktor emisi *ultrafine* perbatang rokok yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Faktor emisi partikel *ultrafine* rokok *divine* kretek

No.	Isi	Faktor Emisi ($\times 10^{10}$ pt/btg)	No.	Isi	Faktor Emisi ($\times 10^{10}$ pt/btg)
0	Kosong	3.35	15	<i>Alanine</i>	6.80
1	<i>Threonine</i>	5.36	16	Ur	8.23
2	<i>Tryptophan</i>	6.63	17	Vit. E	11.98
3	<i>Serine</i>	6.35	18	<i>Cystein</i>	8.91
4	<i>Valine</i>	6.23	19	Pa	12.51
5	<i>Isoleucine</i>	5.25	20	GCG	5.10
6	<i>Lysine</i>	4.47	21	Ls + Thr + Glut	5.69
7	<i>Histidine</i>	6.13	22	Pl + Val + Ala	10.34

No.	Isi	Faktor Emisi ($\times 10^{10}$ pt/btg)	No.	Isi	Faktor Emisi ($\times 10^{10}$ pt/btg)
8	Arginin	5.66	23	Se + Pl + Gly	8.15
9	Aspartic acid	7.42	24	B 12	10.09
10	Glutamic acid	4.57	25	Folic acid	11.67
11	Glutamin	12.44	26	Bovine	6.39
12	Proline	11.00	27	Caffein	10.14
13	Leucine	10.09	28	Adenosyn	9.61
14	Asparagin	14.81	30	Cortison	9.99

Nilai-nilai faktor emisi pada Tabel 4.4 di atas akan lebih mudah dianalisa bila dalam bentuk diagram batang. Diagram batang faktor emisi partikel *ultrafine* dari ketiga puluh jenis *divine* kretek dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Nilai faktor emisi partikel *ultrafine divine* kretek

4.4 Pembahasan

Berdasarkan bahan baku utamanya, aktifitas merokok dapat dikategorikan sebagai suatu pembakaran biomassa. Biomassa merupakan material organik yang berasal dari tumbuhan yang menyimpan energi dari matahari melalui proses fotosintesis dalam bentuk ikatan karbon, hidrogen dan molekul oksigen. Pembakaran sendiri dapat berlangsung jika ketiga unsur utama yang diperlukan dalam pembakaran, yaitu bahan bakar, oksigen dan energi pemicu dapat terpenuhi. Dengan kata lain, bahan baku yang berbeda akan menghasilkan kualitas dan hasil pembakaran yang berbeda pula.

Rokok kretek dibuat dari campuran daun tembakau dan bunga cengkeh kering dengan proporsi tertentu. Sebagaimana biomassa lainnya, dengan begitu pembakaran rokok kretek merupakan proses yang melibatkan berbagai komponen terutama bahan-bahan polimer seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, gula atau hidrokarbon yang terkandung dalam bahan baku rokok. Berbagai bahan polimer ini menentukan jenis maupun kuantitas partikel yang dihasilkan atau diemisikan selama proses pembakaran berlangsung.

Proses pembakaran akan menyebabkan pemecahan polimer-polimer dari bahan bakar (biomassa) menjadi berbagai monomer pembentuknya yang dapat mempunyai sifat yang berbeda dari sebelumnya. Selulosa yang merupakan bagian terbesar dari penyusun jaringan tumbuhan, pada saat fase *flaming* dari proses pembakaran akan terpecah dalam bentuk monomer-monomer *D-glucose*. Hemiselulosa yang juga merupakan polimer yang tersusun dari 100-200 monomer, akan terurai kembali selama proses pembakaran. Selulosa, hemiselulosa dan lignin memegang peranan penting dalam produksi emisi dari pembakaran biomassa.

Bahan-bahan penyusun biomassa akan menentukan jenis emisi yang dihasilkan melalui proses pembakarannya. *World Health Organization* (WHO) membagi jenis-jenis emisi ini dalam beberapa kelas yaitu; *particulate matter*, *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), karbon monoksida (CO), aldehida, asam organik, *semi-volatile* dan *volatile organic compounds* (S/VOCs), *nitrogen and sulphur-based compounds*, partikel in-organik dan radikal bebas.

Particulate matter yang diemisikan dari pembakaran biomassa, dalam hal ini pada aktivitas merokok terdiri dari berbagai ukuran.

Namun diyakini bahwa partikel berukuran nano (partikel *ultrafine*) mempunyai jumlah yang jauh lebih besar daripada partikel-partikel yang lain. Partikel *ultrafine* ini dari satu sisi bisa menjadi permasalahan yang serius bagi manusia karena disamping jumlahnya di udara yang besar, kemampuan penetrasi partikel ini ke dalam tubuh menjadi lebih tinggi dikarenakan ukurannya yang begitu kecil (<100 nm).

Di sisi lain, kemampuan penetrasi partikel *ultrafine* ke dalam tubuh dapat dimanfaatkan di bidang kesehatan. Teknologi nano memungkinkan perubahan sifat dan kuantitas dari partikel *ultrafine* yang diemisikan dari pembakaran biomassa. *Divine* kretek merupakan penerapan teknologi nano pada rokok kretek dengan tujuan merubah sifat merugikan dari partikel-partikel yang diemisikan sehingga menjadi lebih bermanfaat.

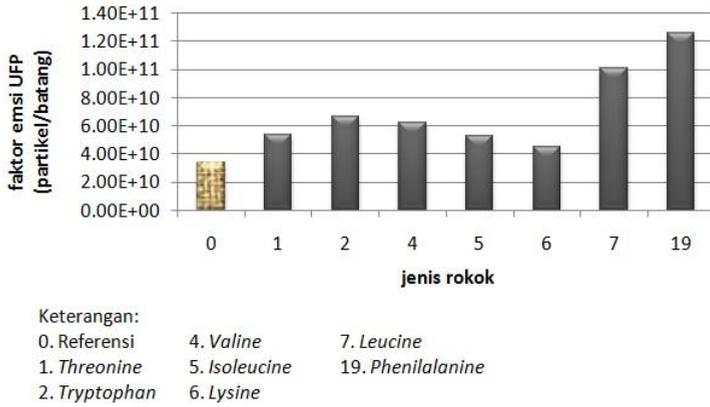
Tujuan perlakuan *divine* pada rokok kretek yang pertama adalah memanfaatkan partikel *ultrafine* yang diemisikan menjadi suatu *scavenger* (perangkap) radikal bebas di dalam tubuh. Dengan kemampuan penetrasi partikel *ultrafine* yang tinggi ke dalam tubuh, cara ini bisa menjadi salah satu alternatif metode terapi kesehatan. Metode terapi kesehatan ini masih dalam tahap penelitian untuk membuktikan kebenarannya.

Tujuan kedua dari perlakuan *divine* pada rokok kretek adalah untuk meningkatkan jumlah partikel *ultrafine* yang diemisikan melalui proses pembakarannya, yang mana dengan jumlah partikel yang lebih besar, metode pengobatan yang dilakukan diharapkan akan menjadi lebih efektif. Penelitian ini dilakukan untuk melihat apakah tujuan kedua ini tercapai.

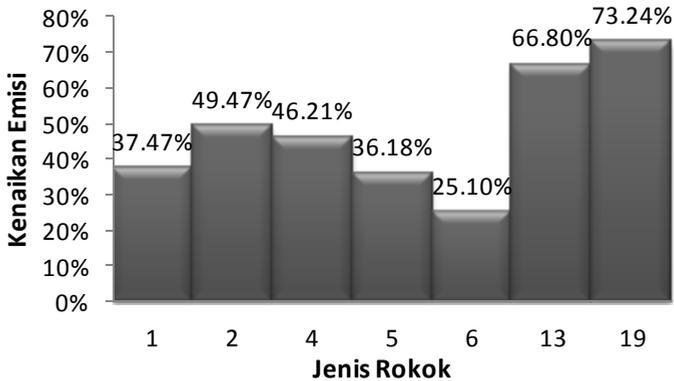
Divine kretek dibuat dengan menambahkan asam amino pada rokok kretek dengan pertimbangan tertentu, yang disesuaikan dengan penggunaan *divine* kretek itu dalam pengobatan nantinya. Asam amino merupakan senyawa organik yang memiliki gugus fungsional karboksil (-COOH) yang memberikan sifat asam dan amina (-NH₂) yang memberikan sifat basa, yang terikat pada satu atom karbon (C) yang sama. Secara umum struktur asam amino dicirikan dengan adanya atom C yang mengikat empat gugus; gugus amina (NH₂), karboksil (COOH), atom hydrogen (H) dan satu gugus sisa (R) atau disebut rantai samping yang membedakan satu asam amino dengan asam amino yang lainnya. Rantai samping inilah yang menyebabkan perbedaan sifat dari asam

amino, yang umumnya diklasifikasikan menjadi bersifat asam lemah, basa lemah, hidrofilik jika polar dan hidrofobik jika non polar.

Asam amino esensial



(a)



Ket:

1. Threonine	4. Valine	6. Lysine	19. Phenilalanine
2. Tryptophan	5. Isoleucine	13. Leucine	

(b)

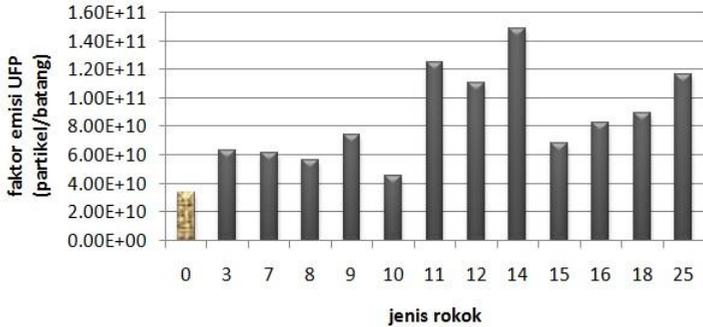
Gambar 4. 9 Perbandingan dan prosentasi kenaikan emisi *ultrafine* pada rokok dengan asam amino esensial terhadap referensi

Dalam *divine* kretek, asam amino inilah yang membedakan antara ketigapuluh jenis rokok yang diuji. Perbedaan bahan baku dalam pembakaran biomassa akan menghasilkan tingkat emisi partikel yang berbeda pula. Berikut hasil perhitungan faktor emisi partikel *ultrafine* dari *divine* kretek yang dibedakan menurut jenis kandungan asam amino dan bahan aditif lain yang ditambahkan ke dalam tembakau.

Gambar 4.9 memperlihatkan perbandingan emisi partikel *ultrafine* yang dihasilkan selama pembakaran rokok dengan tambahan asam amino esensial dan menunjukkan prosentase kenaikan emisi partikel yang terjadi terhadap rokok referensi. Dari bagan terlihat bahwa rokok dengan tambahan asam amino *phenilalanin* menghasilkan/mengemisikan partikel *ultrafine* 73.24 % lebih banyak daripada rokok referensi, dan merupakan rokok dengan emisi *ultrafine* terbesar dibanding rokok dengan tambahan asam amino esensial lainnya. *Phenilalanine* merupakan asam amino esensial yang berarti harus diperoleh dari luar karena tubuh tidak mampu memproduksinya. Di dalam tubuh *phenilalanin* dibutuhkan untuk memproduksi *norepinephrine*, suatu hormon yang bersifat *analgesic* dan anti *depressant*. Sifat ini digunakan secara khusus pada kasus-kasus *chronic pain*, *parkinson disease*, *vitiligo*, dan *depression*. Dalam terapi *divine* kretek, rokok dengan tambahan asam amino *phenilalanine* digunakan sebagai *starter* di dalam proses terapi.

Gambar 4.10 memperlihatkan perbandingan dan prosentasi kenaikan emisi partikel *ultrafine* dari rokok dengan tambahan asam amino non-esensial terhadap rokok referensi. Penambahan *asparagine* pada rokok ini meningkatkan emisi *ultrafine* sebesar 77.38 % dan merupakan nilai emisi terbesar dari rokok-rokok dengan tambahan asam amino golongan non-esensial. *Asparagines* adalah satu-satunya asam amino non-esensial yang di dalam tubuh berperan dalam sintesis protein. Selain itu *asparagines* memegang peranan penting di dalam metabolisme ammonia, yang merupakan racun bagi tubuh manusia. Di dalam proses terapi *divine* kretek rokok dengan tambahan asam amino *asparagines* digunakan sebagai penangkap radikal NO, dan segala sesuatu yang berkaitan dengan masalah peredaran darah.

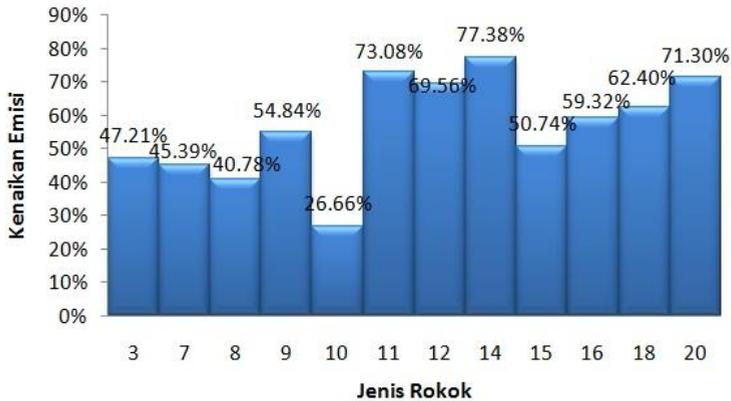
Asam amino non-essential



Keterangan:

- | | | | |
|--------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 0. Referensi | 9. Asparic acid | 14. Asparagine | 25. Folic acid |
| 3. Serine | 10. Glutamic acid | 15. Alanine | |
| 7. Hisidine | 11. Glutamin | 16. Selenocystein | |
| 8. Arginine | 12. Prolin | 18. Cystein | |

(a)



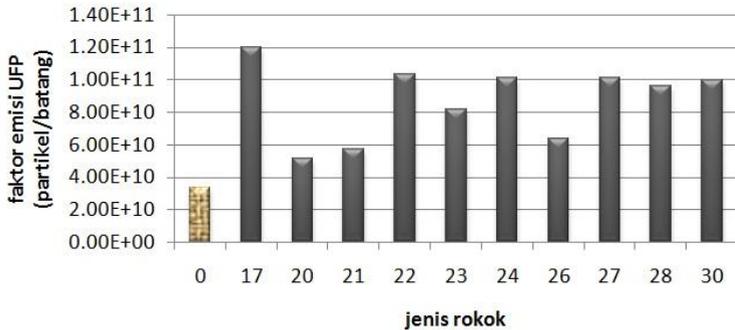
Ket:

- | | | | |
|-------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 3. Serine | 9. Glutamic acid | 12. Proline | 16. Selenocystein |
| 7. Hisidine | 10. Glutamic acid | 14. Asparagine | 18. Cystein |
| 8. Arginine | 11. Glutamin | 15. Alanine | 20. Folic acid |

(b)

Gambar 4. 10 Perbandingan dan prosentasi kenaikan emisi *ultrafine* pada rokok dengan asam amino non-essential terhadap referensi

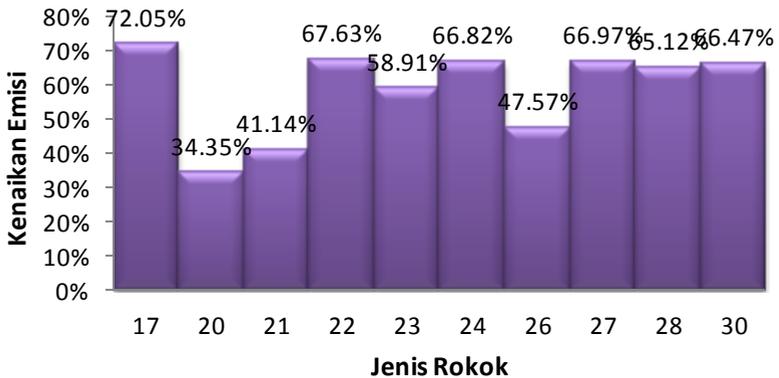
Zat aditif tambahan



Keterangan:

0. Referensi	21. Ls+Pl+Gli	24. B12	28. Adenosyn
17. Vitamin E	22. Pl+Al+Val	26. Bovine	30. Cortyson
21. GCG	23. Se+Pl+Gli	27. Caffein	

(a)



Ket:

17. Vit. E	22. Pl+Al+Val	26. Bovine	30. Cortison
20. GCG	23. Se+Pl+Gli	27. Caffein	
21. Ls+Pl+Gli	24. B 12	28. Adenosyn	

(b)

Gambar 4. 11 Perbandingan dan prosentasi kenaikan emisi *ultrafine* pada rokok dengan zat aditif terhadap referensi

Selain asam amino *divine* kretek menggunakan zat aditif lain seperti *caffeine*, *cortisone*, vitamin E dan beberapa jenis lainnya. Gambar 4.11

memperlihatkan perbandingan serta prosentasi kenaikan emisi partikel *ultrafine* dari penambahan zat-zat kimia tersebut terhadap rokok referensi. Dalam hal ini rokok dengan tambahan vitamin E mengemisikan partikel *ultrafine* 72.05 % lebih banyak daripada rokok referensi. Vitamin E dikenal luas karena fungsinya sebagai antioksidan bagi tubuh, peningkat daya tahan tubuh dan kesehatan kulit. Dalam melaksanakan fungsinya sebagai antioksidan, vitamin E bekerja dengan cara mencari, bereaksi dan merusak rantai reaksi dari radikal bebas. Dalam reaksi tersebut, vitamin E sendiri harus berubah menjadi radikal. Namun radikal ini akan segera beregenerasi menjadi vitamin aktif melalui proses biokimia yang melibatkan senyawa lain (Youngson, 2005). Partikulasi vitamin E menjadi radikal ini bisa dilakukan melalui proses *divine*.

Proses pembakaran pada rokok kretek terjadi pada fase *flaming* yang langsung diikuti oleh fase *smoldering*. Energi panas yang dihasilkan pada fase *flaming* mampu menguapkan kandungan air pada biomassa bahan baku rokok kretek dan memecah polimer-polimer seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin menjadi monomer-monomer penyusunnya. Ketika temperatur pembakaran mendekati 300° C, polimer mengalami fragmentasi-fragmentasi dan oksidasi menuju pembentukan arang. Pemecahan polimer terjadi pada temperatur di atas 300° C ketika melalui fase *bond-splitting*, dimana misalnya selulosa terpecah menjadi monomer-monomernya seperti *levoglucosan* dan *furanoise isomers*. *Levoglucosan* ini di udara berbentuk partikel *ultrafine* (Wardoyo, 2007). Pada temperatur ini pula lignin terpecah menjadi monomer-monomernya yaitu *coumaryl*, *vanillyl*, dan *syringyl*. Penambahan asam amino dan bahan aditif (*scavengers*) lain mampu menjadi katalis pada proses pembakaran sehingga proses pemecahan polimer menjadi lebih efektif, yang secara langsung hal ini berarti meningkatkan jumlah partikel *ultrafine* yang diemisikan. Selain itu, reaksi kimia yang terjadi antara partikel *ultrafine* dengan asam amino dan *scavengers* dimungkinkan mampu mempengaruhi bahkan mengubah sifat merugikan dari *ultrafine* menjadi lebih bermanfaat.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah bahwa emisi partikel *ultrafine* yang dihasilkan oleh pembakaran rokok kretek dipengaruhi oleh jenis bahan baku rokok kretek yang bersangkutan. Rata-rata faktor emisi partikel *ultrafine* dari rokok kretek adalah 3.35×10^{10} partikel/batang. Perlakuan *divine* pada rokok kretek dengan menambahkan zat aditif berupa asam amino dan bahan kimia pada rokok kretek terbukti meningkatkan nilai faktor emisi *ultrafine* dari rokok kretek tersebut.

Peningkatan emisi *ultrafine* bervariasi bergantung pada jenis asam amino dan bahan kimia yang ditambahkan, yang berkisar antara $\pm 25\%$ sampai dengan $\pm 77\%$. Dari kategori asam amino esensial peningkatan 73.24% produksi partikel *ultrafine* terukur pada penambahan *phenylalanine* pada bahan baku kretek. Sementara itu, penambahan asam amino non-esensial *asparagine* meningkatkan produksi partikel *ultrafine* sebesar 77.38% . Sedangkan penambahan vitamin E meningkatkan produksi *ultrafine* sebesar 72.05% .

5.2 Saran

Penelitian ini menggunakan metode *chamber* yang telah dipergunakan pada penelitian-penelitian yang sebelumnya. Saran yang diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya adalah penyempurnaan dari instrumen maupun sistem *chamber* yang digunakan sehingga faktor-faktor koreksi yang muncul selama pengukuran dapat diminimalkan. Penyempurnaan ini meliputi perbaikan pada sistem *chamber* seperti penempatan dan efektifitas *mini-fan* untuk mendapatkan udara di dalam *chamber* yang homogen serta menghilangkan perubahan posisi *chamber* yang tidak diperlukan. Penyempurnaan dari *smoking machine* juga diperlukan sehingga dapat menyerupai mekanisme merokok yang sebenarnya.

Dari data yang didapatkan dari pengukuran, tidak ditemukan hubungan khusus antara struktur panjang rantai karbon asam amino ataupun bahan kimia yang ditambahkan pada rokok dengan peningkatan

jumlah emisi partikel *ultrafine* yang terjadi. Maka diperlukan analisa pengaruh panjang rantai karbon asam amino terhadap emisi partikel *ultrafine* dalam penelitian selanjutnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Adam, T., McAughey, J., dkk. (2010). Influence of filter ventilation on the chemical composition of cigarette mainstream smoke. *Analytica Chimica Acta* 657: 36-44.
- Alias, M., Z. Hamzah dan L. S. Kenn. 2007. PM₁₀ and Total Suspended Particulates (TSP) Measurements in Various Power Stations. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 11(1): 255-261.
- Anfinsen, C. B. 1972. *Advances in Protein Chemistry*. Academic Press. New York.
- Borgerding, M. dan H. Klus. 2005. Analysis of Complex mixtures - Cigarette Smoke. *Experimental and Toxicologic Pathology* 57: 43-73.
- BPLHD. (2011). PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 41 TAHUN 1999 TENTANG PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA. Akses tanggal 23 Mei, 2011, dari http://bplhd.jakarta.go.id/PERATURAN/PP/1999/PP_NO_41_T_H_1999.htm.
- Brunshidle, T. P., B. Konowalchuk, I. Nabeel dan J. E. Sullivan. (2003, 24 Juni 2007). A Review of the Measurement, Emission, Particle Characteristics and Potential Human Health Impacts of Ultrafine Particles: Characterization of Ultrafine Particles. Akses tanggal 10 Mei, 2011, dari <http://web.archive.org/web/20070624021138/http://enhs.umn.edu/5103/particles/character.html>.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomsd, L. Traubaud dan D. Williams. 1983. *Fire in Forestry*. John Wiley and Sons. Canada.
- Charles, S. M., S. A. Batterman dan C. Jia. 2007. Composition and emissions of VOCs in main- and side-stream smoke of research cigarettes. *Atmospheric Environment*. 41: 5371 - 5384.
- DeBano, L. F., D. G. Neary dan P. F. Folliot. 1998. *Fire's Effects on Ecosystem*. John Wiley and Sons. USA.
- Dennis, A., M. Frasser, S. Anderson dan D. Allen. 2002. Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas. *Atmospheric Environment*. 36(23): 3779-3792.

- Fierro, M. 2000. Particulate Matter.
- Gota, D. R. (2011, 29 Juni 2011). Regulasi tembakau tekan pabrik rokok kecil. Akses tanggal 29 Juni, 2011, dari <http://bisnis.com/29237-regulasi-tembakau-tekan-pabrik-rokok-kecil.htm>.
- Haurissa, A. M., M. G. Insani, P. P. Sari, Q. Pidriansy dan S. Krisyanti. (2010, 28 Februari 2010). Faktor Emisi. Akses tanggal 5 Mei, 2011, dari http://ultrawomen.files.wordpress.com/2010/08/Faktor_Emisi.html.
- Hinds, W. C. 1999. Aerosol Technolgy: Behavioral and Measurements of Airborne Particles. 2nd ed., Willey Interscience. New York.
- Johansson, L. S., C. Tullin, B. Leckner dan P. Sjovall. 2003. particle emission from biomass combistion in small combustor. *Biomass & Bioenergy*. 25: 435 - 446.
- Klepeis, N. E., W. R. Ott dan P. Switzer. 2007. Real-time measurement of outdoor tobacco smoke particles. Stanford, USA, Stanford University.
- Lee, H. L., D. P. H. Hsieh dan L. A. Li. 2011. Polycyclic Aromatic Hydrocarbos in Cigarette Sidestream Smoke Particulates from a Taiwanese Brand and Their Carcinogenic Relevance. *Chemosphere*. 82: 477-482.
- Lee, K. W. dan H. Chen. 1984. Coagulation Rate of Polydisperse Particles. *Aerosol Sci Technol*. 3: 327-349.
- Martin, T. (2011, 6 Januari 2009). Mainstream Smoke. Akses tanggal 10 Mei, 2011, dari <http://quitsmoking.about.com/cs/secondhandsmoke/g/mainstreamsmoke.htm>.
- Mayasari, C. 2010. Studi Analisis Karakteristik Emisi Gas Karbonmonoksida (CO) dari Hasil Pembakaran Biomassa. *Jurusan Fisika Fakultas MIPA Malang, Universitas Brawijaya*.
- Mitra, A. P., L. Morawska, C. Sharma dan J. Zhang. 2002. Methodologies for characterisation of combustion sources and for quantification of their emission. *Chemosphere*. 49: 903 - 922.
- Mokdad, A. H. 2004. Actual Causes of Death in the United States, 2000. *J. Amer. Med. Assoc*. 291(10): 1238-1245.

- Morawska, L., M. Jamriska dan N. D. Bofingger. 1997. Size Characteristic and Ageing of the Environmental Tobacco Smoke. *The Science of Total Environment*. 196: 43-45.
- Morawska, L., Z. D. Ristovski, E. R. Jayaratne, D. U. Keogh dan X. Ling. 2008. Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions. characteristics, ambient processing and implications on human exposure. *Atmospheric Environment*. 42: 8113-8138.
- Nelson, P. R., F. W. Conrad, S. P. Kelly dan K. C. Maiolo. 1998. Composition of Environmental Tobacco Smoke (ETS) from International Cigarettes. *Environment International*. 24(3): 251-257.
- Ning, Z., C. S. Cheung, J. Fu, M. A. Liu dan M. A. Schnell. 2006. Experimental Study of Environmental Tobacco Smoke Particles Under Actual Indoor Environment. *Science of the Total environment*. 367: 822-830.
- Oberdöster, G. 2001. Pulmonary Effect of Inhaled Ultrafine Particles. *Int Arch Occup Environ Health* 74: 1-8.
- Pandey, S. K. dan K. H. Kim. 2010. A Review of Environmental Tobacco Smoke and its Determinaton in Air. *Trends in Analytical Chemistry*. 29(8): 804-819.
- Pope, A. C. 2002. Cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine partikel air pollution. *J. Amer. Med. Assoc*. 287(9): 1132-1141.
- Ristovski, Z. D., A. Y. P. Wardoyo, L. Morawska, M. Jamriska dan G. Johnson. 2007. Biomass Burning Influence Particles Characteristic in Northern Territory Australia Based on Airborne Measurement, International Laboratory for Air Quality and Health Queensland University if Technology (ILAQH).
- Ryan, P. W. dan C. K. McMahon. 1976. Some Chemical and Physical Characteristics of Emissions from Forest Fires. *Proceeding of The 69th Annual Meeting of The Air Pollution Control Association*. 76: 2-3.
- Saparinto, C. dan D. Hidayati, 2006. Bahan Tambahan Makanan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

- Seinfeld, J. H. dan S. N. Pandis. 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change*. Willey Interscience. New York.
- Shepperd, C. J., A. C. Eldridge dan D. C. Mariner. 2009. A study to estimate and correlate cigarette smoke exposure in smokers in Germany as determined by filter analysis and biomarkers of exposure. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 55: 97-109.
- Thoha, A. S. 2008. Keterkaitan Iklim Mikro dengan Perilaku Api Pada Kebakaran Hutan. *Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara*.
- Wardoyo, A. Y. P. 2007. Biomass Burning: Particle Emission, Characteristics, and Airborne Measurements. *School of Physical and Chemical Sciences*. Queensland, Queensland University of Technology.
- Wiguna, A. (2010, Maret 2010). Faktor Emisi (garis besar). Akses tanggal 10 Mei, 2011, dari <http://pencemaranudara.wordpress.com/faktor-emisi-garis-besar.html>.
- Wikipedia. (2011, 10 November 2011). Amino Acid. Akses tanggal 12 November 2011, dari <http://en.wikipedia.org/wiki/aminoacid>.
- Wikipedia^a. (2011, 5 April 2011). Kretek. Akses tanggal 20 April, 2011, dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Kretek>.
- Wikipedia^b. (2011, 10 Mei 2011). Particulates. Akses tanggal 10 Mei, 2011, dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>.
- Wikipedia^c. (2011, 15 April 2011). Rokok. Akses tanggal 15 April, 2011, dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Rokok>.
- Wikipedia^d. (2011, 11 April 2011). Ultrafine Partikel. Akses tanggal 20 April, 2011, dari <http://en.wikipedia.org/wiki/partikelultrafine>.
- Yinon, L. 2010. Ultrafine particle emission: Comparison of waste-to-energy with coal- and biomass-fired power plants. *Earth and Environmental Engineering*. Columbia, University Columbia. S2.
- Youngson, R. 2005. Antioksidan, Manfaat Vitamin C dan E bagi Kesehatan. Arcan. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil kalibrasi kecepatan hisap pompa

A. Tabel kecepatan hisap pompa

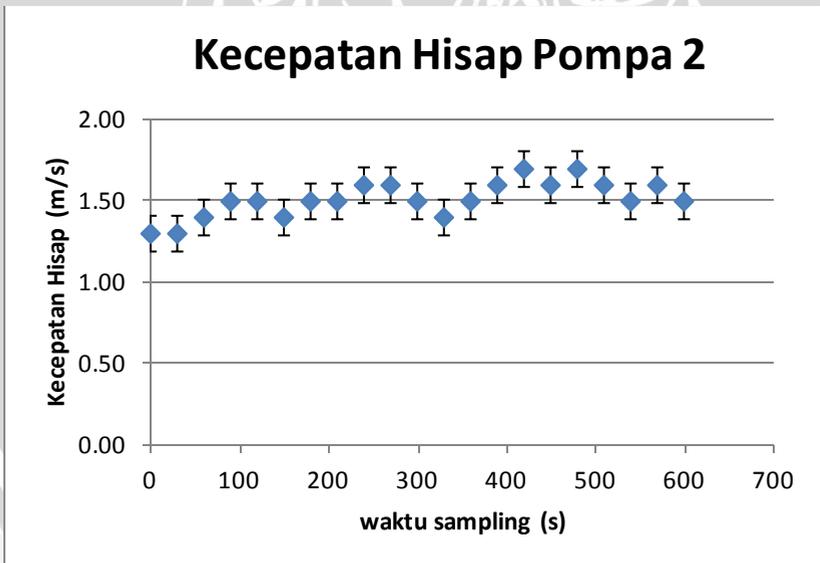
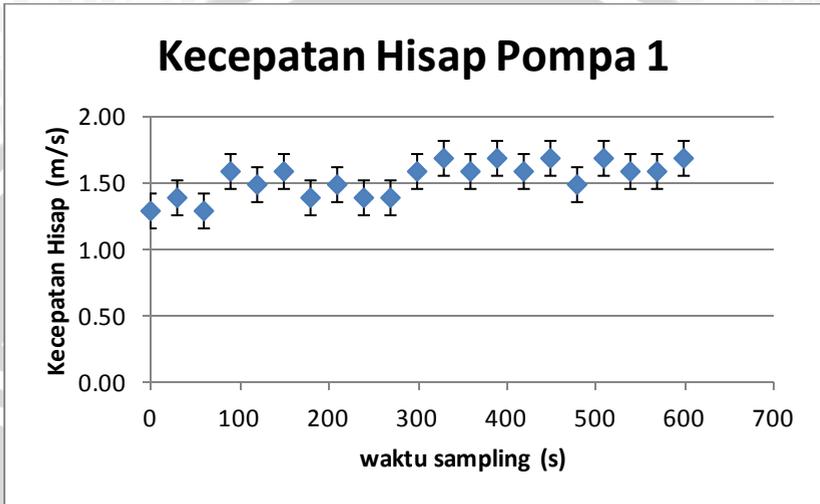
1. Kecepatan hisap pipa 1

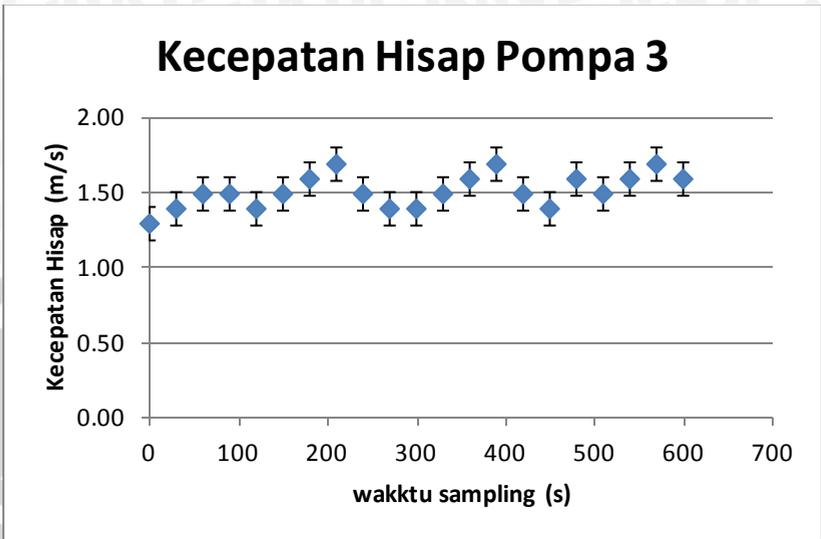
No.	Waktu Sampling (s)	Kecepatan Hisap (m/s)		
		Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
1	0	0.13	0.13	0.13
2	30	0.14	0.13	0.14
3	60	0.13	0.14	0.15
4	90	0.16	0.15	0.15
5	120	0.15	0.15	0.14
6	150	0.16	0.14	0.15
7	180	0.14	0.15	0.16
8	210	0.15	0.15	0.17
9	240	0.14	0.16	0.15
10	270	0.14	0.16	0.14
11	300	0.13	0.15	0.14
12	330	0.17	0.14	0.15
13	360	0.16	0.15	0.16
14	390	0.17	0.16	0.17
15	420	0.16	0.17	0.15
16	450	0.17	0.16	0.14
17	480	0.15	0.17	0.16
18	510	0.17	0.16	0.15
19	540	0.16	0.15	0.16
20	570	0.16	0.16	0.17
21	600	0.17	0.15	0.16

2. Kecepatan hisap pipa 2

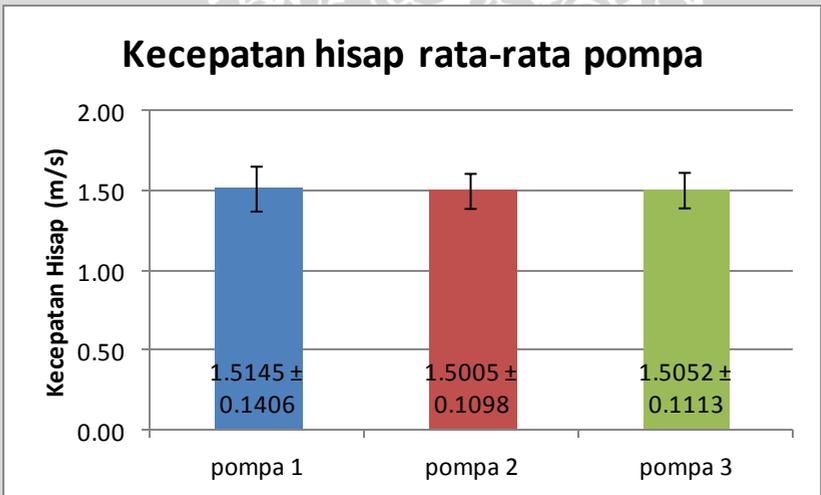
No.	waktu sampling (s)	Kecepatan hisap (m/s)		
		pompa 1	pompa 2	pompa 3
1	0	1.28804	1.288144	1.288144
2	30	1.38712	1.288144	1.387232
3	60	1.28804	1.387232	1.48632
4	90	1.58528	1.48632	1.48632
5	120	1.4862	1.48632	1.387232
6	150	1.58528	1.387232	1.48632
7	180	1.38712	1.48632	1.585408
8	210	1.4862	1.48632	1.684496
9	240	1.38712	1.585408	1.48632
10	270	1.38712	1.585408	1.387232
11	300	1.58528	1.48632	1.387232
12	330	1.68436	1.387232	1.48632
13	360	1.58528	1.48632	1.585408
14	390	1.68436	1.585408	1.684496
15	420	1.58528	1.684496	1.48632
16	450	1.68436	1.585408	1.387232
17	480	1.4862	1.684496	1.585408
18	510	1.68436	1.585408	1.48632
19	540	1.58528	1.48632	1.585408
20	570	1.58528	1.585408	1.684496
21	600	1.68436	1.48632	1.585408

B. Grafik kecepatan hisap pompa



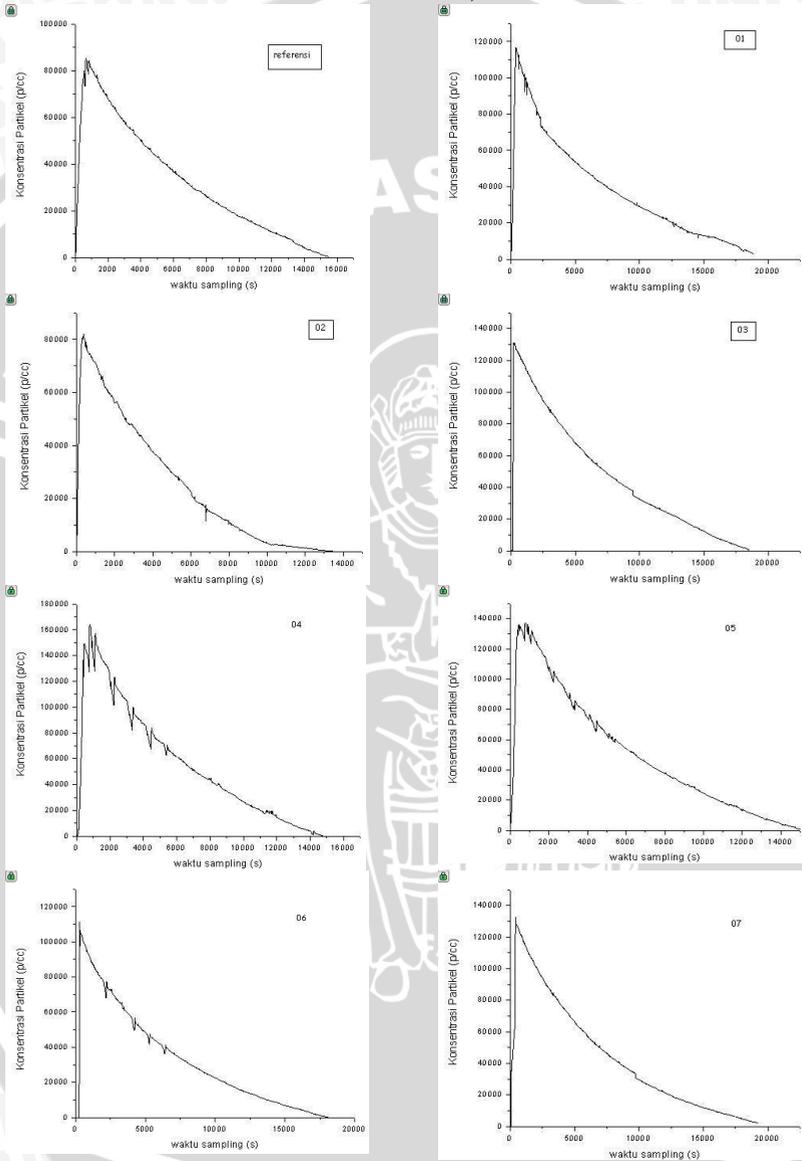


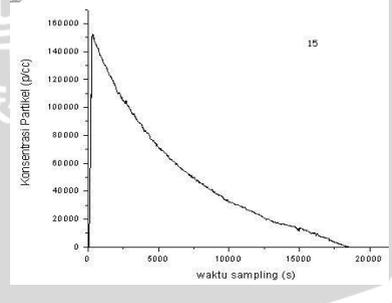
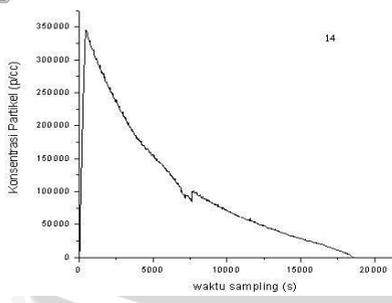
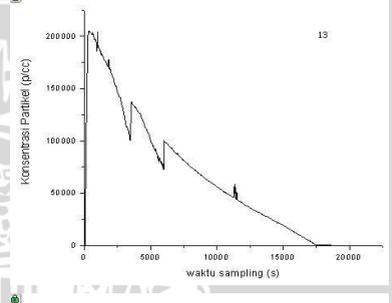
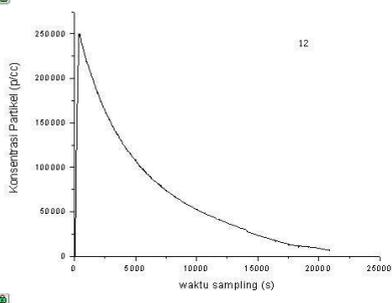
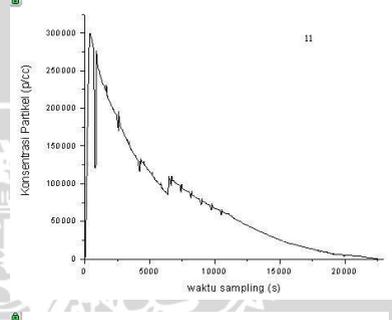
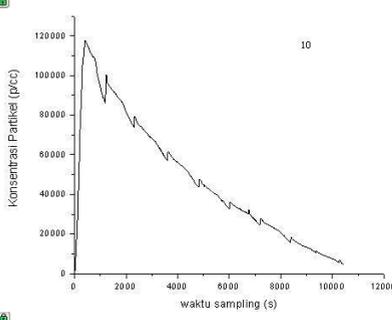
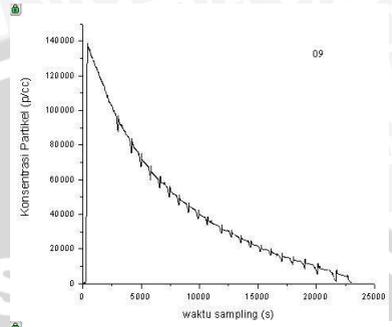
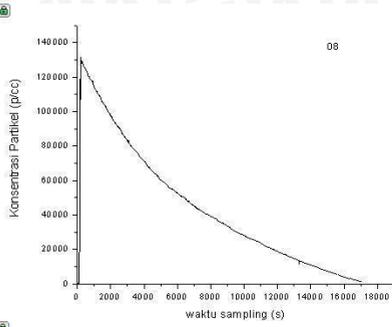
C. Perbandingan kecepatan hisap rata-rata pompa

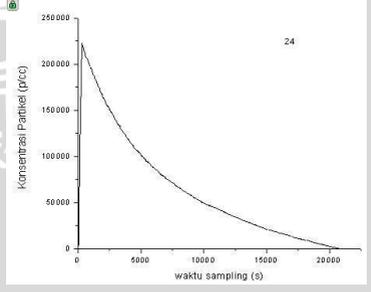
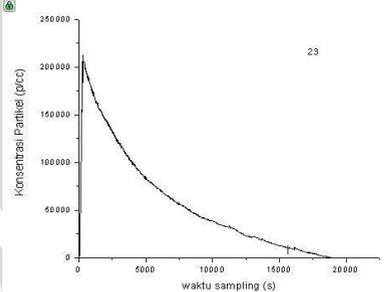
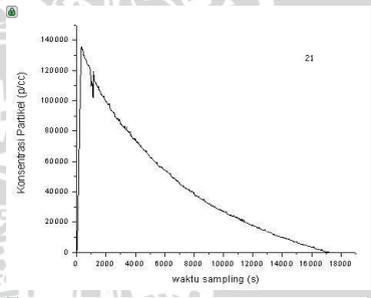
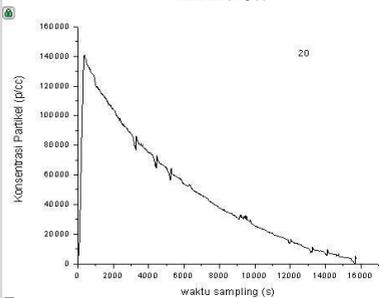
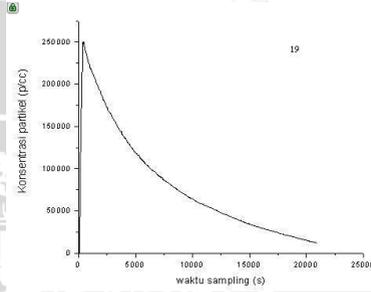
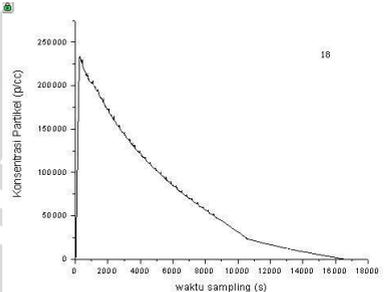
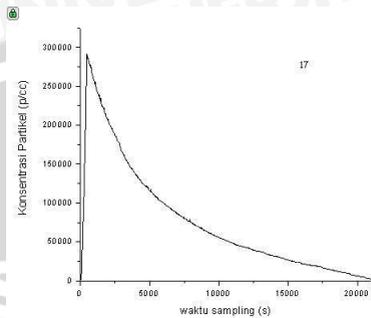
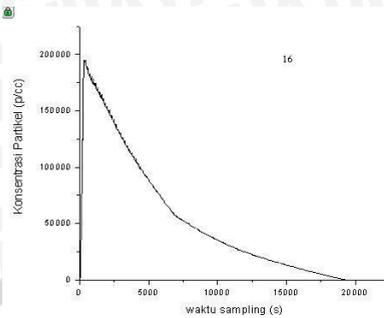


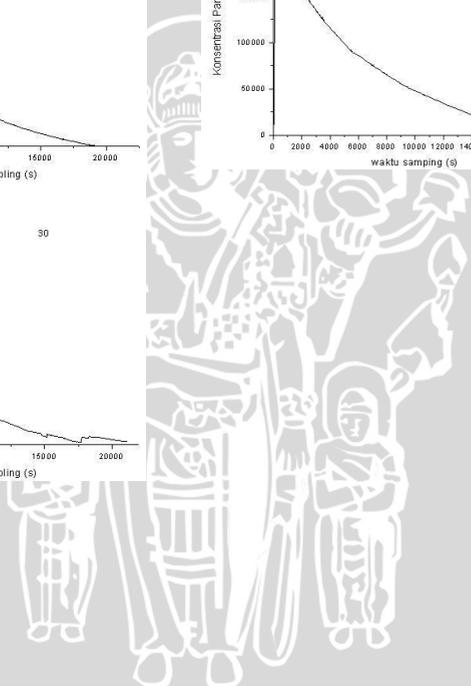
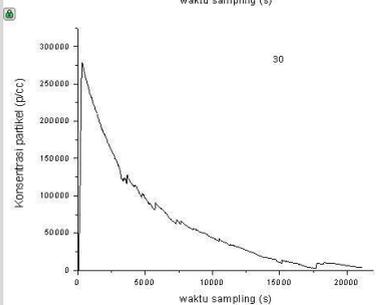
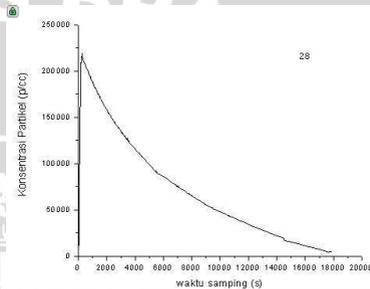
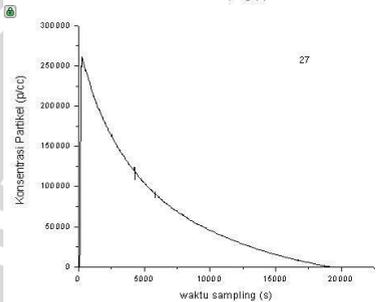
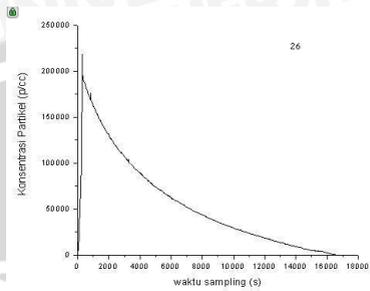
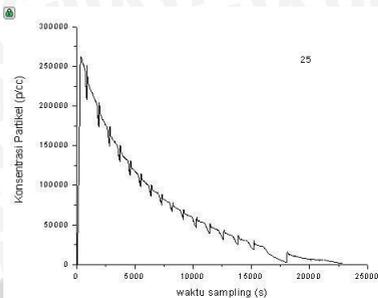
Lampiran 2 Grafik Pengolahan Data

- Plot data hasil pengukuran partikel *ultrafine* (berdasarkan urutan nomor rokok *divine* kretek)









Lampiran 3 Hasil Perhitungan

A. Konsentrasi total partikel *ultrafine* dalam *chamber*

No	Jenis Rokok	Luas area (pt/s.cc)	Δt (s)	Konsentrasi Ultrafine (pt/cc)
0	Kosong	444474850	15390	28881
1	<i>Threonin</i>	710916050	18910	37595
2	<i>Tryptophan</i>	879727680	16990	51779
3	<i>Serine</i>	841979700	18540	45414
4	<i>Valine</i>	826313500	14820	55757
5	<i>Isoleucine</i>	696553490	14180	49122
6	<i>Lysine</i>	593438600	18090	32805
7	<i>Histidine</i>	814037550	19250	42288
8	<i>Arginine</i>	750614300	17040	44050
9	<i>Aspartic acid</i>	984266650	23060	42683
10	<i>Glutamic acid</i>	606056950	13490	44926
11	<i>Glutamin</i>	1651272200	22540	73260
12	<i>Proline</i>	1460215450	20970	69634
13	<i>Leucine</i>	1339086550	18730	71494
14	<i>Asparagine</i>	1965435200	18550	105953
15	<i>Alanine</i>	902472000	18510	48756
16	<i>Selenocystein</i>	1092742750	19280	56678
17	Vit. E	1590634550	21450	74155
18	<i>Cystein</i>	1182277450	16500	71653
19	<i>Phenilalanine</i>	1661026500	20890	79513
20	GCG	677085700	14770	45842
21	Ls + Thr + Glut	755176300	17150	44034
22	Pl + Al + Val	1373124950	21220	64709
23	Se + Pl + Gli	1081809050	18770	57635
24	B 12	1339968800	20690	64764
25	<i>Folic acid</i>	1549049300	22870	67733

No	Jenis Rokok	Luas area (pt/s.cc)	Δt (s)	Konsentrasi Ultrafine (pt/cc)
0	Kosong	444474850	15390	28881
1	<i>Threonin</i>	710916050	18910	37595
2	<i>Tryptophan</i>	879727680	16990	51779
3	<i>Serine</i>	841979700	18540	45414
26	<i>Bovine</i>	847852300	15310	55379
27	<i>Caffein</i>	1345930300	19090	70504
28	<i>Adenosyn</i>	1274623150	17900	71208
30	<i>Cortison</i>	1325848800	21140	62718

B. Perhitungan emisi partikel *ultrafine divine* kretek

No	Jenis Rokok	Luas area grafik (partikel.s/cc)	Emisi Ultrafine (partikel/batang)
0	Kosong	444474850	33495624696
1	<i>Threonin</i>	710916050	53574633528
2	<i>Tryptophan</i>	879727680	66296277965
3	<i>Serine</i>	841979700	63451590192
4	<i>Valine</i>	826313500	62270985360
5	<i>Isoleucine</i>	696553490	52492271006
6	<i>Lysine</i>	593438600	44721532896
7	<i>Histidine</i>	814037550	61345869768
8	<i>Arginine</i>	750614300	56566293648
9	<i>Aspartic acid</i>	984266650	74174334744
10	<i>Glutamic acid</i>	606056950	45672451752
11	<i>Glutamin</i>	1651272200	1.2444E+11
12	<i>Proline</i>	1460215450	1.10042E+11
13	<i>Leucine</i>	1339086550	1.00914E+11
14	<i>Asparagine</i>	1965435200	1.48115E+11
15	<i>Alanine</i>	902472000	68010289920
16	<i>Selenocystein</i>	1092742750	82349093640

17	Vit. E	1590634550	1.1987E+11
18	<i>Cystein</i>	1182277450	89096428632
19	<i>Phenilalanine</i>	1661026500	1.25175E+11
20	GCG	677085700	51025178352
21	LS + Thr + Glut	755176300	56910085968
22	PI + AI + Val	1373124950	1.03479E+11
23	Se + PI + Gli	1081809050	81525130008
24	B 12	1339968800	1.0098E+11
25	<i>Folic acid</i>	1549049300	1.16736E+11
26	<i>Bovine</i>	847852300	63894149328
27	<i>Caffein</i>	1345930300	1.01429E+11
28	<i>Adenosyn</i>	1274623150	96055600584
30	<i>Cortison</i>	1325848800	99915965568

C. Prosentasi kenaikan faktor emisi *ultrafine*

No	Jenis	Faktor Emisi (pt/cc)	Δ	Kenaikan Emisi (%)
0	Kosong	3.35E+10	-	-
1	<i>Threonin</i>	5.36E+10	2.01E+10	37.48
2	<i>Tryptophan</i>	6.63E+10	3.28E+10	49.48
3	<i>Serine</i>	6.35E+10	3.00E+10	47.21
4	<i>Valine</i>	6.23E+10	2.88E+10	46.21
5	<i>Isoleucine</i>	5.25E+10	1.90E+10	36.19
6	<i>Lysine</i>	4.47E+10	1.12E+10	25.10
7	<i>Histidine</i>	6.13E+10	2.79E+10	45.40
8	<i>Arginine</i>	5.66E+10	2.31E+10	40.79
9	<i>Aspartic acid</i>	7.42E+10	4.07E+10	54.84
10	<i>Glutamic acid</i>	4.57E+10	1.22E+10	26.66
11	<i>Glutamin</i>	1.24E+11	9.09E+10	73.08
12	<i>Proline</i>	1.10E+11	7.65E+10	69.56
13	<i>Leucine</i>	1.01E+11	6.74E+10	66.81

No	Jenis	Faktor Emisi (pt/cc)	Δ	Kenaikan Emisi (%)
14	<i>Asparagine</i>	1.48E+11	1.15E+11	77.39
15	<i>Alanine</i>	6.80E+10	3.45E+10	50.75
16	<i>Selenocystein</i>	8.23E+10	4.89E+10	59.32
17	Vit. E	1.20E+11	8.64E+10	72.06
18	<i>Cystein</i>	8.91E+10	5.56E+10	62.41
19	<i>Phenilalanine</i>	1.25E+11	9.17E+10	73.24
20	GCG	5.10E+10	1.75E+10	34.35
21	Ls + Thr + Glut	5.69E+10	2.34E+10	41.14
22	Pl + Al + Val	1.03E+11	7.00E+10	67.63
23	Se + Pl + Gli	8.15E+10	4.80E+10	58.91
24	B 12	1.01E+11	6.75E+10	66.83
25	<i>Folic acid</i>	1.17E+11	8.32E+10	71.31
26	<i>Bovine</i>	6.39E+10	3.04E+10	47.58
27	<i>Caffein</i>	1.01E+11	6.79E+10	66.98
28	<i>Adenosyn</i>	9.61E+10	6.26E+10	65.13
30	<i>Cortison</i>	9.99E+10	6.64E+10	66.48

Lampiran 4 Gambar-gambar

Gambar alat percobaan



(a) TSI *Ultrafine Particle Counter* (UPC) P-track



(b) *Anemomaster* Kanomax



(c) Pompa Hisap Rokok dan *Environmental Chamber*

Gambar pengambilan data



(a) Kalibrasi kecepatan pompa penghisap



(b) Distribusi asap pada *chamber*

Skema alat pompa hisap

