



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN *THERMAL PRECIPITATOR*
PLAT VERTIKAL SEBAGAI *SMOKE COLLECTOR***

SKRIPSI

**NICOLAUS CEASAREAN TRI PRANOWO PUTRO
0606073386**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN *THERMAL PRECIPITATOR*
PLAT VERTIKAL SEBAGAI *SMOKE COLLECTOR***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

**NICOLAUS CEASAREAN TRI PRANOWO PUTRO
0606073386**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Nicolaus Ceasarean Tri Pranowo Putro

NPM : 0606073386

Tanda Tangan :



Tanggal : 29 Juni 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Nicolaus Ceasarean Tri Pranowo Putro
NPM : 0606073386
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengembangan *Thermal Precipitator* Plat Vertikal
Sebagai *Smoke Collector*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, MEng

(.....)

Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T.

(.....)

Penguji : Dr – Ing Ir. Nasruddin, M.Eng

(.....)

Penguji : Dr. Agus Pamitran, S.T., M.Sc.

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2010

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

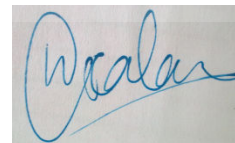
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Imansyah Ibnu Hakim, MEng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran atas diskusi, ide – ide, dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (3) Para sahabat saya yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Tuhan YME berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 29 Juni 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nicolaus Ceasarean Tri Pranowo Putro
NPM : 0606073386
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengembangan Thermal Precipitator Plat Vertikal Sebagai Smoke Collector ,beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 29 Juni 2010

Yang menyatakan



(Nicolaus Ceasarean Tri Pranowo Putro)

ABSTRAK

Nama : Nicolaus Ceasarean Tri Pranowo Putro
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengembangan *Thermal Precipitator* Plat Vertikal sebagai *Smoke Collector*

Pencemaran udara di lingkungan kehidupan manusia telah mencapai angka yang memperhatikan. Salah satu penyebab pencemaran terbesar adalah *aerosol smoke*. Di dalam penelitian ini digunakan *aerosol smoke* jenis asap rokok dengan diameter partikel $0.01\mu\text{m} - 1\mu\text{m}$. Metode penyaringan yang paling cocok untuk partikel asap rokok adalah menggunakan alat *thermal precipitator*.

Dalam penelitian ini dibangun sebuah alat *thermal precipitator* plat vertikal, yang merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, untuk mendepositkan partikel – partikel asap rokok yang melewatinya dengan memanfaatkan gaya *thermophoretic*. Gaya *thermophoretic* adalah gaya pada partikel yang disebabkan oleh adanya gradient temperatur, dimana partikel akan bergerak ke daerah yang memiliki temperature lebih rendah.

Dari hasil eksperimen dapat dibuktikan bahwa alat *thermal precipitator* plat vertikal ini dapat digunakan sebagai *smoke dust collector*. Hal ini dibuktikan dengan pengukuran kadar asap menggunakan gas sensor.

Kata kunci :

Asap rokok, *thermal precipitator* plat vertikal, *thermophoretic*

ABSTRACT

Name : Nicolaus Ceasarean Tri Pranowo Putro
Study Program : Mechanical engineering
Title : Development of Vertical Thermal Precipitator as a Smoke Collector

Air pollution in people neighborhood has crossed the limit. One of the biggest causes of air pollution is aerosol smoke. The kind of aerosol smoke that is used in this study is $0.01\mu\text{m} - 1\mu\text{m}$ tobacco smoke. Filtering method which is suitable for tobacco smoke will be thermal precipitation.

In this research build a vertical thermal precipitator, which is developed from previous research, for depositing the particles that exist in the smoke of cigarette by using thermoporetic force. Thermophoretic force is force which is given to the particles which suspended in a fluid if there is difference in the fluid's temperature that will cause the particles to move to the region with lower temperature.

From the experiment and analysis, we can make a conclusion that vertical thermal precipitator can be used as smoke collector. This can be seen by doing an observation by measuring the smoke density which can be deposited by vertical thermal precipitator by using gas sensor.

Key words :

Tobacco smoke, vertical thermal precipitator, thermophoretic

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
NOMENCLATURE	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metode Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Definisi Pencemaran Udara	6
2.2 Zat-zat Pencemar Udara	7
2.3 Efek Negatif Pencemaran Udara	9
2.4 Aerosol	13
2.5 Gaya-gaya yang Bekerja pada Suatu Partikel	17
2.6 Pengukuran kualitas udara	23
2.7 Pengukuran temperatur	27
BAB III METODE PENGUJIAN	30
3.1 Penelitian	30
3.2 Metode pengukuran kadar asap.....	31
3.3 Metode pengukuran temperatur.....	32
3.4 Skema alat	33
3.5 Peralatan uji	34
3.6 Spesifikasi alat.....	36
3.7 Boundary condition	39
3.8 Setting alat thermal precipitator	40
3.9 Teknik pengujian.....	42
BAB IV Analisa hasil pengujian	43
4.1 Pembahasan	43
4.2 Analisa Data	53
BAB V KESIMPULAN	53
5.1 Kesimpulan	54
Daftar Pustaka	55
Lampiran	56

DAFTAR GAMBAR

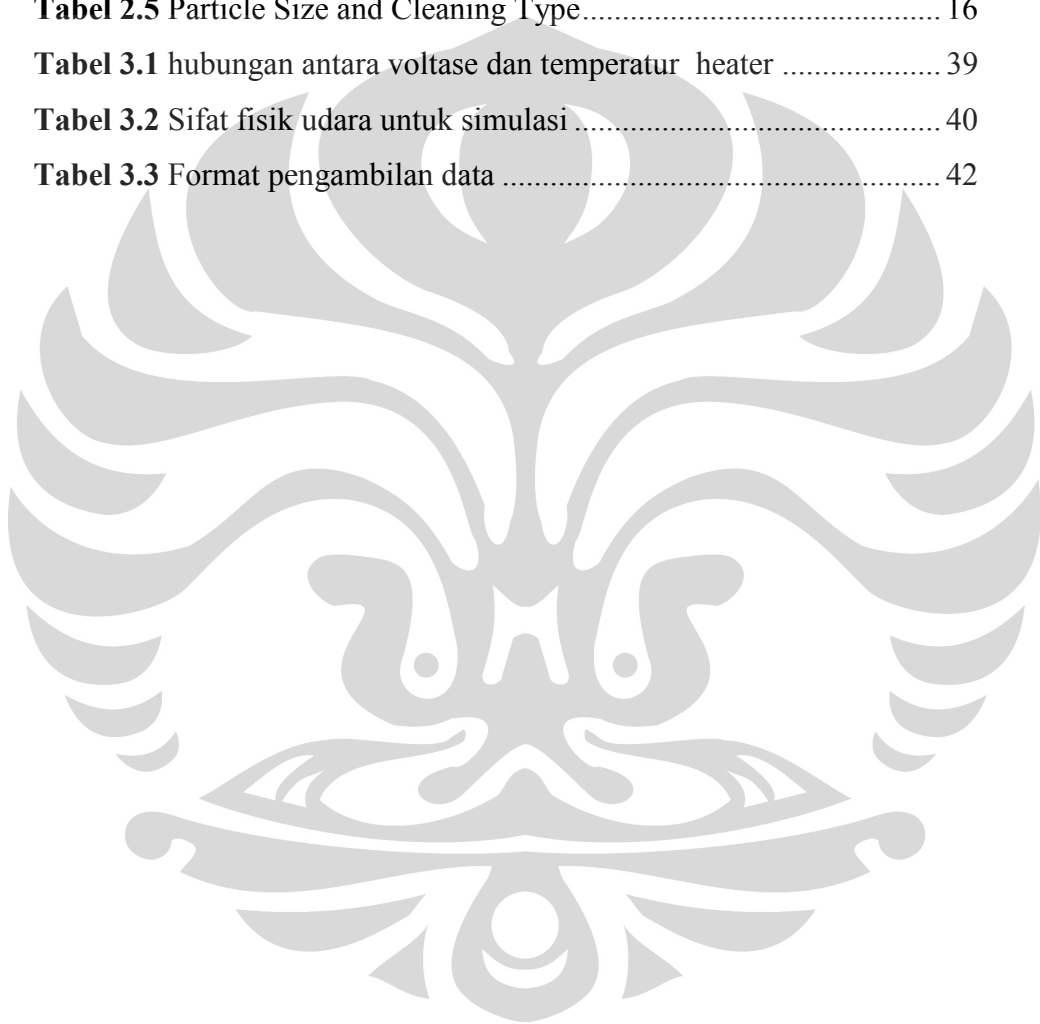
Gambar 1.1 Pencemaran udara yang disebabkan oleh gas buang kendaraan bermotor	1
Gambar 1.2 Kandungan bahan kimia dalam sebatang rokok	2
Gambar 2.1 Kandungan gas yang terdapat dalam asap rokok	14
Gambar 2.2 Gaya Thermophoresis yang melewati pelat horizontal	18
Gambar 2.3 Gaya Thermophoresis yang melewati pelat vertikal	18
Gambar 2.4 Gaya angkat Saffman pada partikel	24
Gambar 2.5 Pergerakan partikel pada umumnya	22
Gambar 2.6 Cara kerja particle counter	23
Gambar 2.7 High Volume Air Sampler	24
Gambar 2.8 Sensor gas Figaro 2600	25
Gambar 2.9 ilustrasi penyerapan oksigen oleh sensor	26
Gambar 2.10 ilustrasi ketika terdeteksi adanya gas	27
Gambar 2.11 Thermometer non-contact Raytek MT	28
Gambar 2.12 Rangkaian termokopel	29
Gambar 3.1 Posisi tiap section alat uji	30
Gambar 3.2 grafik R_s/R_o vs gas concentration	31
Gambar 3.3 ADAM 1408	32
Gambar 3.4 Skema pemasangan sensor pada alat	33
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara R_{gas}/R_{air} Vs gas concentration ..	43
Gambar 4.2 hubungan antara ppm Vs waktu	44
Gambar 4.3 Trendline ppm VS Waktu (sekon)	45
Gambar 4.4 Grafik untuk $T^* 0$	46
Gambar 4.5 Grafik untuk $T^* 0.48$	46
Gambar 4.6 Grafik untuk $T^* 0.83$	47
Gambar 4.7 Grafik untuk $T^* 1.3$	47
Gambar 4.8 Grafik untuk $T^* 1.7$	48
Gambar 4.9 Grafik untuk $T^* 2.2$	48
Gambar 4.10 Grafik untuk $T^* 2.6$	49

Gambar 4.11 Aliran asap pada outlet <i>test section</i>	49
Gambar 4.12 Partikel asap terdeposit yang menunjukkan ketidakrataan distribusi asap.....	50
Gambar 4.13 Distribusi temperatur untuk $T^* 0.48$	50
Gambar 4.14 Distribusi temperatur untuk $T^* 0.83$	51
Gambar 4.15 Distribusi temperatur untuk $T^* 1.3$	50
Gambar 4.16 Distribusi temperatur untuk $T^* 1.7$	52



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	10
Tabel 2.2 Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang	12
Tabel 2.3 Spesifikasi Smoke	14
Tabel 2.4 Particle size ranges and definitions for aerosol	15
Tabel 2.5 Particle Size and Cleaning Type.....	16
Tabel 3.1 hubungan antara voltase dan temperatur heater	39
Tabel 3.2 Sifat fisik udara untuk simulasi	40
Tabel 3.3 Format pengambilan data	42



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Characteristics Particulate Matter	55
Lampiran 2 Tobacco Chemistry	56
Lampiran 3 TGS 2600 data sheet	57
Lampiran 4 Data hasil pengujian	58
Lampiran 5 Foto – foto	59



NOMENCLATURE

R = jari-jari partikel

μ = viskositas gas dinamik

ν = viskositas gas kinematik

T_0 = temperatur rata-rata gas pada lingkungan partikel

∇T = gradient temperature

k_g = konduktivitas thermal gas

k_p = konduktivitas thermal partikel

d = diameter partikel

ρ_d = massa jenis partikel

g = tetapan gravitasi

g = percepatan gravitasi [m^2/s]

ΔT = perbedaan temperatur gas antara plat dan lingkungan [K]

x = panjang plat [m]

μ = viskositas dinamik gas pada suhu T_{abs} [kg/m.s]

u = kecepatan fluida [m/s]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

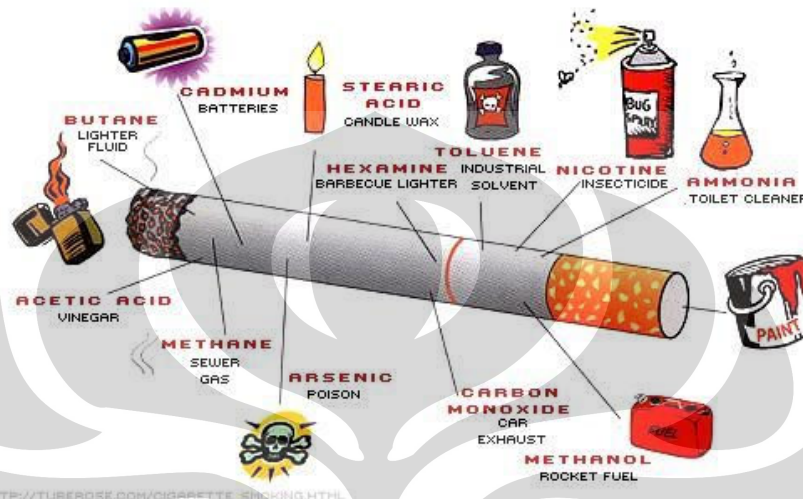
Pencemaran lingkungan sudah menjadi suatu masalah yang wajar bagi kehidupan manusia terutama mereka yang hidup di kota besar. Aktifitas kota besar yang begitu sibuk menyebabkan naiknya tingkat pencemaran udara. Gas buang kendaraan bermotor menjadi penyebab utama pencemaran udara di Jakarta selain penyebab lain seperti kegiatan industri, rumah tangga, dan kegiatan manusia lainnya. Menurut Budi Haryanto, Kepala Pusat Penelitian Kesehatan Universitas Indonesia, kadar CO dan PM di jalan-jalan raya terutama pada pagi hari dan sore hari khususnya pada jam-jam sibuk sudah melebihi kadar ambang batasnya (2005) . Selain penyebab yang disebabkan oleh manusia, penyebab pencemaran udara juga disebabkan oleh penyebab alam seperti aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, dan nitrifikasi dan denitrifikasi biologi.



Gambar 1.1 Pencemaran udara yang disebabkan oleh gas buang kendaraan bermotor

Banyaknya jumlah perokok juga turut andil dalam meningkatkan pencemaran udara. Rokok sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia, baik yang menghisap rokok (perokok aktif) maupun orang di sekitarnya (perokok pasif). Asap yang ditimbulkan oleh sebatang rokok yang menyala ada dua macam; **Asap Utama** (*mainstream*) adalah asap rokok yang terhisap

langsung masuk ke paru-paru perokok lalu di hembuskan kembali. **Asap Sampingan** (*sidestream*) adalah asap rokok yang dihasilkan oleh ujung rokok yang terbakar. Dari beberapa penelitian didapatkan bahwa kadar nikotin dalam asap rokok *sidestream* 4-6 kali lebih banyak dari pada asap rokok *mainstream* (Susanna, D.et al. 1993).



Gambar 1.2 Kandungan bahan kimia dalam sebatang rokok

Salah satu zat yang terkandung dalam sebatang rokok yang sedang menyala adalah karbon monoksida. Dalam sebatang rokok yang menyala terkandung gas CO sebesar 90 ppm bahkan lebih. Ambang batas aman untuk gas CO yaitu 10 ppm.

Pada tanggal 6 Mei 2010 telah disahkan Pergub No. 88/2010 tentang larangan merokok di dalam gedung. Ini merupakan bukti keseriusan pemerintah dalam mengurangi pencemaran udara akibat asap rokok. Selain itu masih diperlukan peran serta dari pihak – pihak lain untuk ikut mengurangi pencemaran udara akibat asap rokok.

Dalam perancangan tugas akhir ini akan dibangun sebuah alat yang dapat membantu pengendalian dan mengurangi pencemaran udara. Alat ini berfungsi sebagai *dust smoke collector* dengan memanfaatkan prinsip gaya thermophoretic, alat ini bernama *thermal precipitator*. Secara garis besar, gaya thermophoretic adalah gaya pada partikel yang disebabkan oleh gradien temperatur di lingkungan sekitar partikel tersebut dan menyebabkan partikel bergerak dari area bertemperatur tinggi ke area bertemperatur rendah. [Cipolla, J.et al. 2001]

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

- Melakukan karakterisasi *Thermal precipitator* plat vertikal untuk *smoke dust collector* yang memanfaatkan prinsip gaya *thermophoretic*.

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian tugas akhir ini dibatasi permasalahannya mengenai karakterisasi *thermal precipitator* plat vertikal yang digunakan untuk proses penyaringan smoke aerosol berukuran $0,01 \mu\text{m} \leq d_p \leq 1 \mu\text{m}$.

1.4 METODE PENELITIAN

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, metode penelitian yang digunakan antara lain :

Studi literatur

Mempelajari materi-materi tentang thermophoresis yang didapat dari buku, journal dan artikel.

Desain alat

Setelah mendapatkan informasi yang cukup dan mempunyai gambaran mengenai alat yang telah dibuat terdahulu, maka terlebih dahulu merancang modifikasi beberapa bagian *thermal precipitator* plat vertikal itu.

Fabrikasi

Pembuatan alat diawali dengan proses fabrikasi, yaitu meliputi modifikasi beberapa bagian alat yg sudah ada, pembuatan sistem pendingin untuk test section, pembuatan smoke generator, serta pembuatan control panel untuk keseluruhan sistem.

Assembly

Proses *assembly* dilakukan setelah *part-part* selesai difabrikasi. Merupakan proses perakitan semua part pada rangka sehingga terbentuk suatu alat uji plat vertikal yang dapat bekerja dengan baik.

Preliminary Test

Pada proses *preliminary test*, dilakukan beberapa pengujian awal terhadap alat tersebut, diantaranya pengujian *smoke generator*, pengujian kebocoran asap pada alat uji dan box penampungan. Pengujian kebocoran air pada sistem pendingin test section.

Eksperimen

Tahap ini merupakan proses inti dalam pengambilan data. Setelah alat dipastikan dapat dipakai, maka segera dilakukan percobaan untuk membuktikan fenomena thermophoresis. Beberapa percobaan dilakukan untuk mendapatkan data yang valid dan bisa digunakan sebagai dasar analisa.

Karakterisasi

Untuk mengetahui jumlah partikel yang dapat didepositkan oleh alat ini maka perlu dilakukan pengujian menggunakan suatu alat ukur khusus. Dalam hal ini digunakan tujuh buah sensor untuk mengukur konsentrasi asap di udara. Sensor ini ditempatkan di inlet test section, di lima titik sepanjang test section, dan di outlet test section sehingga dapat diketahui perubahan jumlah partikel di setiap titik di setiap perubahan gradien temperatur. Sensor ini dihubungkan dengan microcontroller yang berfungsi untuk merubah signal dari sensor untuk ditampilkan di LCD.

Pengolahan Data

Data diambil dengan melakukan eksperimen. Data yang didapatkan antara lain perbedaan jumlah partikel sebelum dan sesudah test section. Variabel yang diubah-ubah dalam eksperimen ini adalah perbedaan temperatur antara dua plat. Setiap pengujian sebanyak 5 kali pengulangan data agar didapatkan hasil yang valid.

I.5 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang deskripsi tugas akhir secara umum, yang meliputi latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Berisi tentang teori-teori umum sebagai dasar dalam pembuatan tugas akhir ini meliputi teori tentang pencemaran udara, teori aerosol, teori gaya-gaya yang bekerja pada suatu partikel.

BAB III SISTEM PENGUJIAN

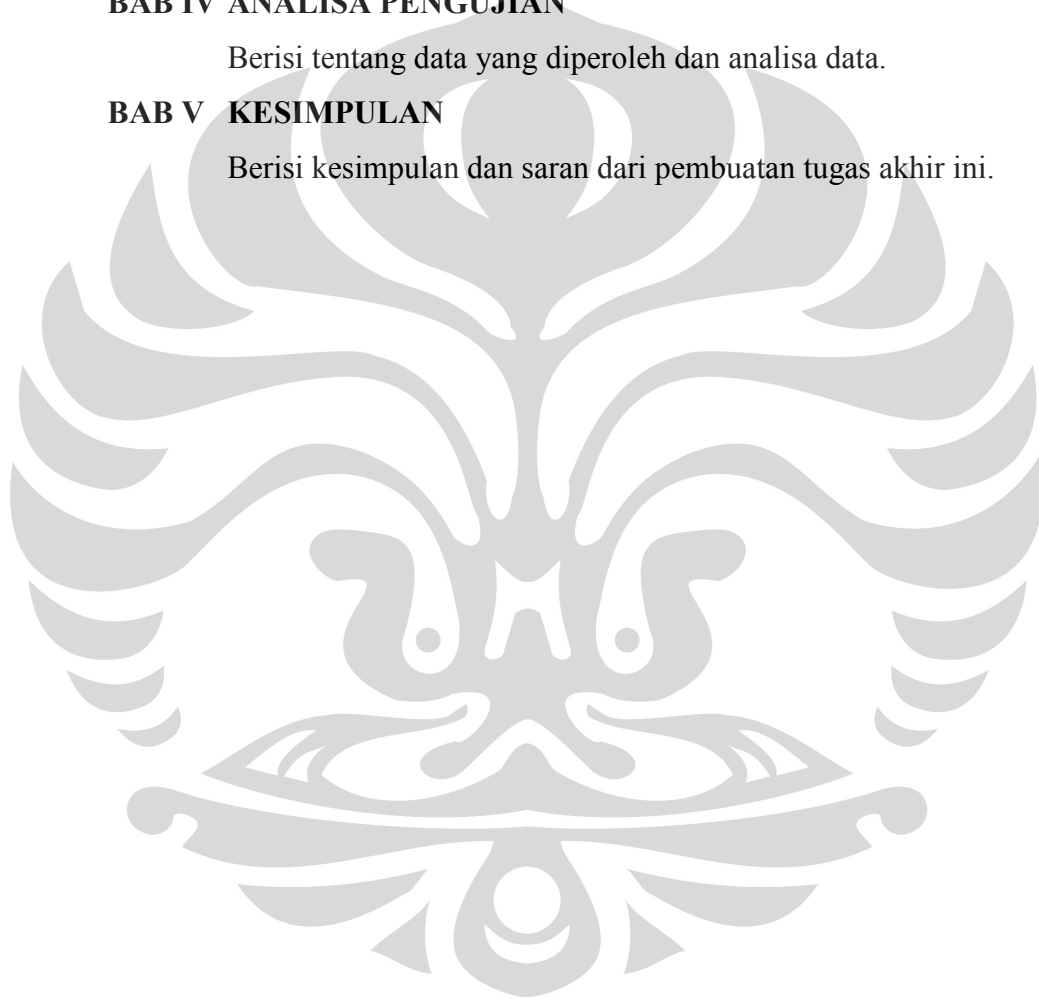
Berisi tentang *boundary condition*, peralatan yang digunakan, setting alat thermal precipitator, dan teknik pengujian.

BAB IV ANALISA PENGUJIAN

Berisi tentang data yang diperoleh dan analisa data.

BAB V KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dan saran dari pembuatan tugas akhir ini.



BAB 2

DASAR TEORI

2.1 DEFINISI PENCEMARAN UDARA

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri serta berkurangnya lahan hijau kualitas udara telah mengalami perubahan. Udara yang dulunya segar, kini kering dan kotor. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara.

Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam udara dan atau berubahnya tatanan (komposisi) udara oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (KEPMEN KLH No. 02/Men-KLH/I/1988) (Farida 2004). Sumber polutan alam meliputi aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, badai debu dan radiasi zat radioaktif dari alam seperti radon. Sumber polutan yang berasal dari aktivitas manusia yaitu dari kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil pada tempat tak bergerak (fuel combustion in stationary sources), kegiatan militer (seperti senjata nuklir, gas beracun, dan misil), proses industri dan lain-lain. Ada pula yang berasal dari aktivitas manusia dalam ruangan seperti merokok, penggunaan kompor, menyalakan peralatan elektronik, dan lain-lain.

Polusi dari asap rokok juga mempunyai andil yang besar dalam pencemaran udara di dalam ruangan. Untuk itu diperlukan peran serta pemerintah, pengusaha dan masyarakat untuk dapat menyelesaikan permasalahan pencemaran udara yang terjadi.

2.2 ZAT-ZAT PENCEMAR (POLUTAN) UDARA

2.2.1 Emisi Karbon Monoksida (CO)

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 70% pencemaran udara di Indonesia disebabkan karena emisi kendaraan bermotor. Karbon monoksida (CO) dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin pembakaran dalam. Karbon monoksida adalah gas yang memiliki titik didih -192°C , tidak larut dalam air dan beratnya 96,5% dari berat udara (Setiajid 2009). Gas ini tidak berwarna tidak berbau dan tidak berasa tetapi sangat beracun. Reaksi-reaksi yang menghasilkan gas karbon monoksida antara lain:

- Pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar atau senyawa senyawa karbon lainnya: $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
- Reaksi antara gas karbon dioksida dengan karbon dalam proses industri yang terjadi dalam tanur: $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$
- Penguraian gas karbon dioksida pada suhu tinggi: $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$

2.2.2 Nitrogen Oksida (NOx)

Gas-gas Nitrogen oksida yang ada di udara adalah Nitrogen monoksida NO, dan Nitrogen dioksida NO₂ termasuk bahan pencemar udara. Gas Nitrogen monoksida tidak berwarna, tidak berbau, tetapi gas nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam dan menyebabkan orang menjadi lemas.

Secara teoritis ada 3 teori yang mengemukakan terbentuknya NO_x, yaitu:

1. Thermal NO_x (Extended Zeldovich Mechanism)

Proses ini disebabkan gas nitrogen yang beroksidasi pada suhu tinggi pada ruang bakar ($>1800\text{K}$). Thermal NO_x ini didominasi oleh emisi NO (NO_x = NO + NO₂).

2. Prompt NO_x

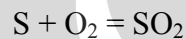
Formasi NO_x ini akan terbentuk cepat pada zona pembakaran.

3. Fuel NO_x

NO_x formasi ini terbentuk karena kandungan N dalam bahan bakar.

2.2.3 SO_x (Sulfur Oxide : SO₂, SO₃)

Emisi SO_x terbentuk dari fungsi kandungan sulfur dalam bahan bakar, selain itu kandungan sulfur dalam pelumas, juga menjadi penyebab terbentuknya SO_x emisi. Struktur sulfur terbentuk pada ikatan aromatic dan alkyl. Dalam proses pembakaran sulfur dioxide dan sulfur trioxide terbentuk dari reaksi:



2.2.4 Emisi HydroCarbon (HC)

Pada mesin, emisi Hidrokarbon (HC) terbentuk dari bermacam-macam sumber. Tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas silinder adalah salah satu penyebab munculnya emisi HC. Emisi HC pada bahan bakar HFO yang biasa digunakan pada mesin-mesin diesel besar akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan mesin diesel yang berbahan bakar Diesel Oil (DO). Emisi HC ini berbentuk gas metan (CH₄). Jenis emisi ini dapat menyebabkan leukemia dan kanker.

2.2.5 Suspended Partikulat Matter (SPM)

Partikulat debu melayang (Suspended Particulate Matter/SPM) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbesar di udara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari < 1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap

kesehatan, partikel debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara.

2.2.6 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida adalah gas atmosferik yang terdiri dari dua atom oksigen dan satu atom karbon. Karbon dioksida adalah bagian dari atmosfer bumi, merupakan gas yang kita keluarkan pada saat bernafas dan digunakan oleh tanaman untuk fotosintesis. Namun sumber utama peningkatan konsentrasi gas CO₂ ini adalah dari penggunaan bahan bakar fosil. Masalah utama dari peningkatan konsentrasi CO₂ adalah perubahan iklim. Gas ini menyebabkan efek rumah kaca yang menyebabkan suhu bumi menjadi meningkat.

2.2.7 Timbal (Pb)

Kendaraan bermotor menyumbang hampir 100% timbal, 13-44% suspended particulate matter (SPM), 71-89% hidrokarbon, 34-73% NO_x, dan hampir seluruh karbon monoksida (CO) ke udara Jakarta. Timbal adalah logam yang sangat toksik dan menyebabkan berbagai dampak kesehatan terutama pada anak-anak kecil. Timbal dapat menyebabkan kerusakan sistem syaraf dan masalah pencernaan, sedangkan berbagai bahan kimia yang mengandung timbal dapat menyebabkan kanker.

2.3 EFEK NEGATIF PENCEMARAN UDARA

Tabel 2.1 menjelaskan tentang pengaruh pencemaran udara terhadap makhluk hidup. Rentang nilai menunjukkan batasan kategori daerah sesuai tingkat kesehatan untuk dihuni oleh manusia. Karbon monoksida, nitrogen, ozon, sulfur dioksida dan partikulat matter adalah beberapa parameter polusi udara yang dominan dihasilkan oleh sumber pencemar.

Tabel 2.1. Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Kategori	Rentang	Karbon monoksida (CO)	Nitrogen (NO ₂)	Ozon (O ₃)	Sulfur dioksida (SO ₂)	Partikulat
Baik	0-50	Tidak ada efek	Sedikit berbau	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO ₂ (Selama 4 Jam)	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O ₃ (Selama 4 Jam)	Tidak ada efek
Sedang	51 - 100	Perubahan kimia darah tapi tidak terdeteksi	Berbau	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak Sehat	101 - 199	Peningkatan pada kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung	Bau dan kehilangan warna. Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma	Penurunan kemampuan pada atlit yang berlatih keras	Bau, Meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu di mana-mana
Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatnya kardiovaskular pada orang bukan	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit	Olah raga ringan mengakibatkan pengaruh	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit

		perokok yang berpenyakit Jantung, dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	asma dan bronchitis	parnafasan pada pasien yang berpenyaklt paru-paru kronis	asma dan bronchitis	asma dan bronchitis
Berbahaya	300 - lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar				

Sumber: Bapedal



Tabel 2.2 Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang

Pencemar	Sumber	Keterangan
Karbon monoksida (CO)	Buangan kendaraan bermotor; beberapa proses industri	Standar kesehatan: 10 mg/m ³ (9 ppm)
Sulfur dioksida (SO ₂)	Panas dan fasilitas pembangkit listrik	Standar kesehatan: 80 ug/m ³ (0.03 ppm)
Partikulat Matter	Buangan kendaraan bermotor; beberapa proses industri	Standar kesehatan: 50 ug/m ³ selama 1 tahun; 150 ug/m ³
Nitrogen dioksida (NO ₂)	Buangan kendaraan bermotor; panas dan fasilitas	Standar kesehatan: 100 pg/m ³ (0.05 ppm) selama 1 jam
Ozon (O ₃)	Terbentuk di atmosfer	Standar kesehatan: 235 ug/m ³ (0.12 ppm) selama 1 jam

Sumber: Bapedal

Tabel 2.2 memperlihatkan sumber emisi dan standar kesehatan yang ditetapkan oleh pemerintah melalui keputusan Bapedal. BPLHD Propinsi DKI Jakarta pun mencatat bahwa adanya penurunan yang signifikan jumlah hari dalam kategori baik untuk dihirup dari tahun ke tahun sangat mengkhawatirkan. Dimana pada tahun 2000 kategori udara yang baik sekitar 32% (117 hari dalam satu tahun) dan di tahun 2003 turun menjadi hanya 6.85% (25 hari dalam satu tahun). Hal ini menandakan Indonesia sudah seharusnya memperketat peraturan tentang pengurangan emisi baik sektor industri maupun sektor transportasi darat/laut. Selain itu tentunya penemuan-penemuan teknologi baru pengurangan emisi dilanjutkan dengan pengaplikasiannya di masyarakat menjadi suatu prioritas utama bagi pengendalian polusi udara di Indonesia.

2.4 AEROSOL

Aerosol merupakan partikel dari zat padat atau cair yang tersuspensi dalam gas. Partikel-partikel yang berasal dari beragam jenis karakteristik kimiawi akan membentuk jenis-jenis aerosol sebagai:

- a. *Dust*
- b. *Smoke*
- c. *Fume*
- d. *Mist*
- e. *Fog*
- f. *Smog*
- g. *Cloud Droplets*

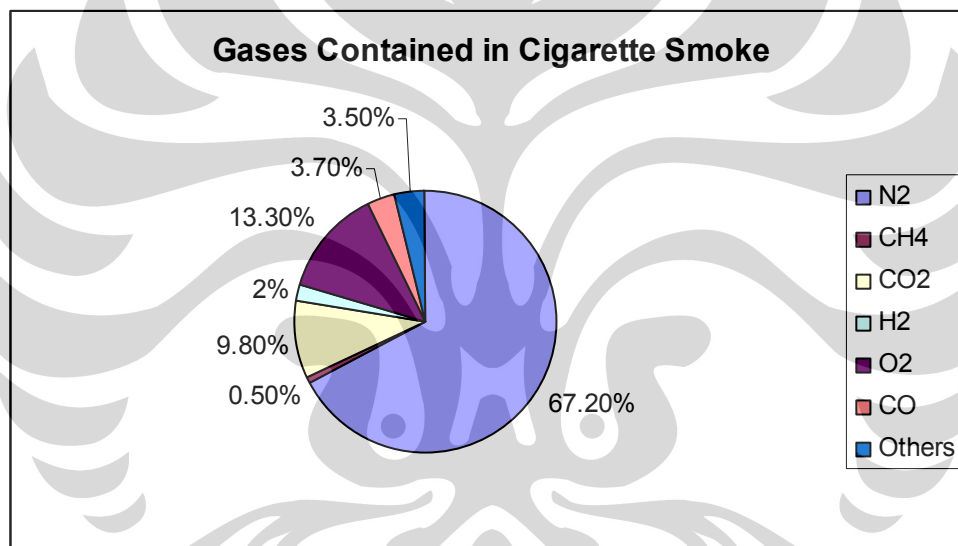
Thermal precipitator ini menggunakan smoke yang merupakan bagian dari aerosol sebagai sampel ujinya. Smoke adalah partikel-partikel dengan geometri bola yang dihasilkan dari proses pembakaran. Tobacco smoke yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter partikel yang kecil yaitu yaitu $0,01 \mu\text{m} \leq d_p \leq 1 \mu\text{m}$.

Pada penelitian ini, aerosol / partikel yang akan digunakan adalah tobacco smoke (asap rokok). Dasar pemilihan smoke ini karena aerosol ini mudah didapatkan dan mudah digunakan. Serta seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 untuk diameter partikel $0,01 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$ metoda pembersihan yang cocok adalah dengan menggunakan thermal precipitation.

Adapun spesifikasi dari partikel uji sebagai berikut :

Tabel 2.3 Spesifikasi Smoke

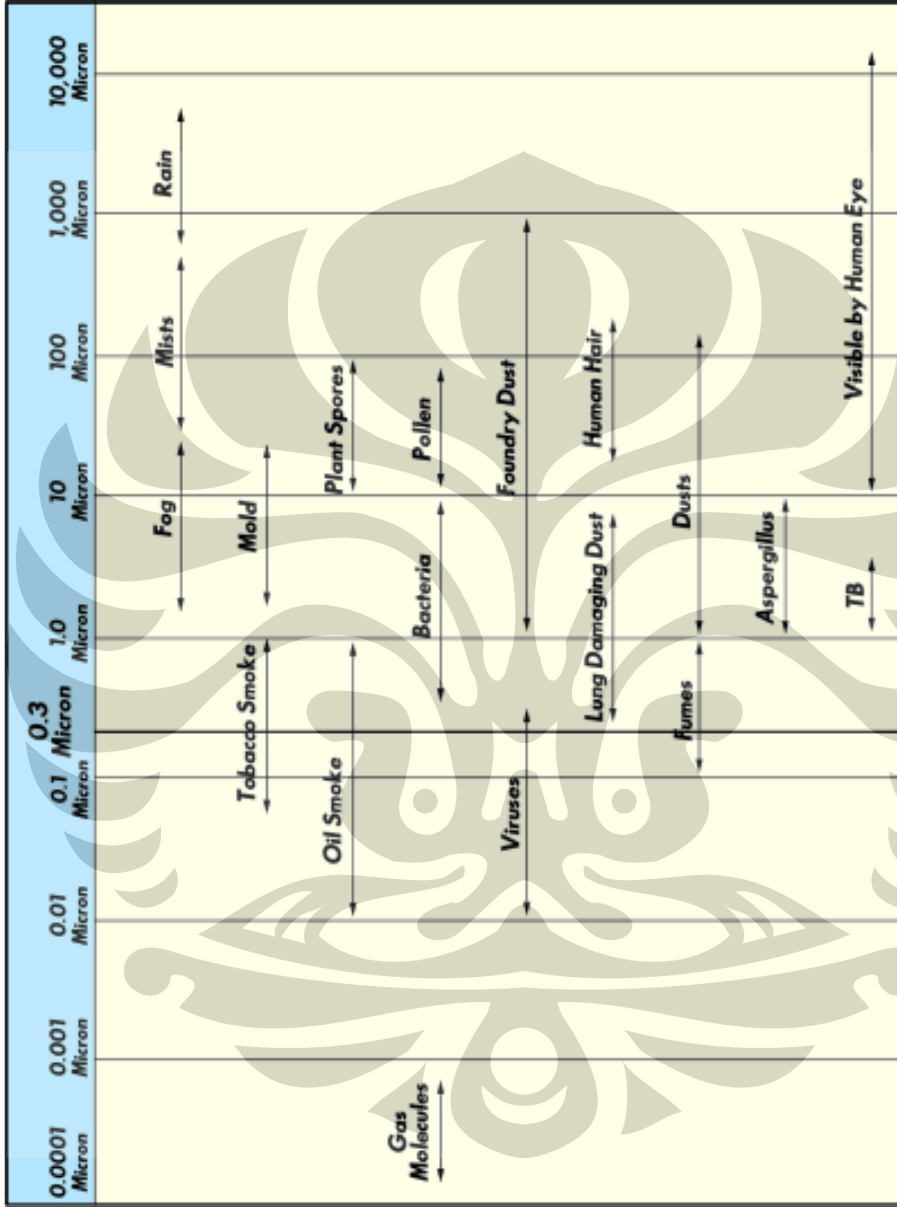
No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jenis Aerosol	Smoke	
2	Nama Aerosol	Tobacco Smoke	
3	Diameter partikel	0,01 ~ 1	Mm
4	Density	1,1	g/cm ³
5	Molecular mass	162,23	g/mol
6	Boiling point	247	°C



Gambar 2.1. Kandungan gas yang terdapat dalam asap rokok

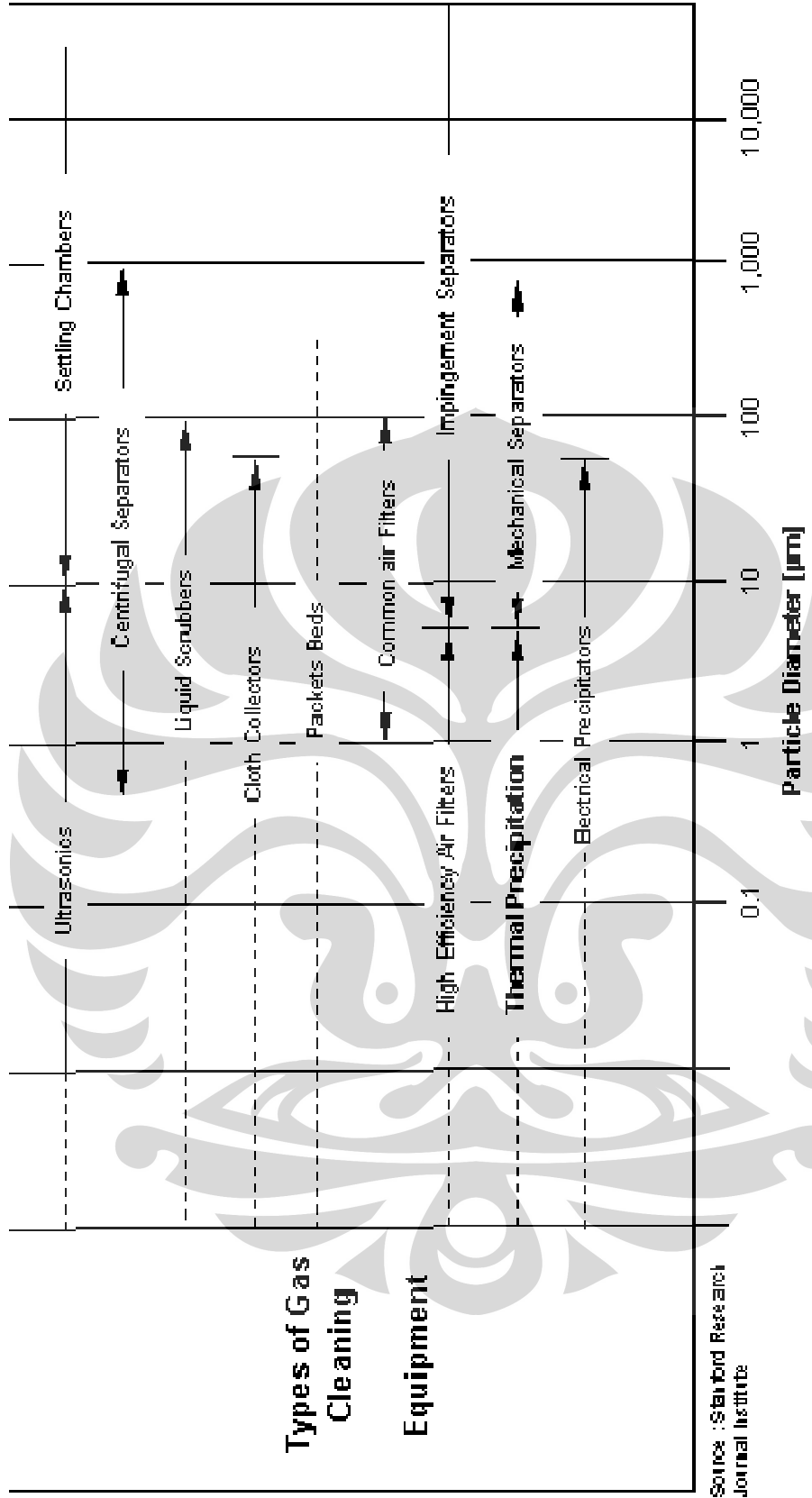
(sumber : www.workaci.com)

Tabel 2.4. Particle size ranges and definitions for aerosol



Sumber : www.abatement.com

Tabel 2.5. Particle Size and Cleaning Type



Source : Stanford Research Journal Institute

(number : Stanford Research Institute Journal, 1961)

2.5 GAYA-GAYA YANG BEKERJA PADA SUATU PARTIKEL

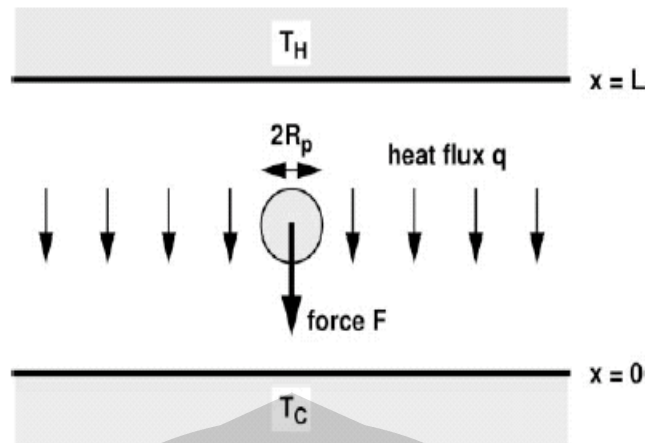
Semua benda bergerak karena adanya pengaruh dari lingkungan sekitar, dengan tidak mengabaikan momentum benda itu sendiri. Demikian juga dengan partikel debu, smoke ataupun asap rokok. Setiap partikel yang bergerak pada suatu media mendapatkan gaya-gaya dari luar yang menyebabkan partikel tersebut bergerak, antara lain disebabkan oleh :

2.5.1 Gaya Thermophoretic (Thermophoretic Force)

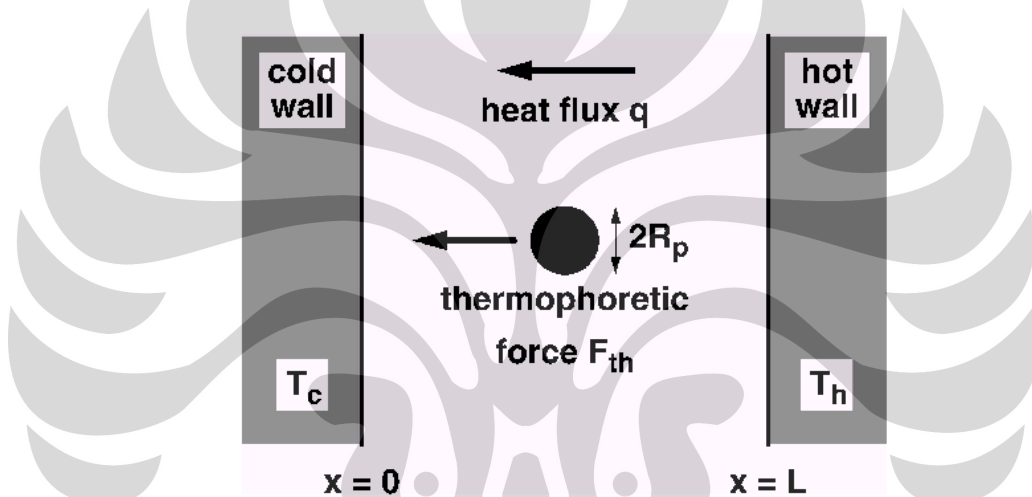
Thermophoresis adalah fenomena pergerakan partikel dalam suatu aliran fluida yang tersebar pada suatu sistem yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur dalam sistem tersebut. Partikel bergerak dari zona temperatur panas menuju zona temperatur rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya transfer momentum dari lingkungan sekitar ke partikel melalui media panas. Pergerakan partikel dalam sistem itu bergerak menuju daerah-daerah yang memiliki temperatur lebih rendah. Jika terdapat gradien temperatur di dalam suatu volume udara maka partikel cenderung akan bergerak ke daerah yang lebih dingin (Cippola, 2002). Perbedaan temperatur akan menyebabkan terbentuknya perbedaan momentum pada partikel yang menempati region di dalam sistem volume kontrol.

Lingkungan sekitar partikel diasumsikan dalam kondisi diam tanpa adanya gerakan udara dan tidak ada gaya-gaya lain yang bekerja pada partikel.

Gaya thermophoresis memiliki aplikasi dalam berbagai bidang diantaranya untuk aerosol thermal precipitator, pembuatan serat optik, pembersihan gas, safety pada reaktor nuklir, proses pembuatan semiconductor dan perlindungan permukaan benda dari deposisi partikel.



Gambar 2.2. Gaya Thermophoretic yang melewati pelat horisontal



Gambar 2.3. Gaya Thermophoretic yang melewati pelat vertikal

Ada beberapa teori yang telah dibangun untuk menggambarkan gaya thermophoresis, dan persamaan dari Talbot et al merupakan salah satu yang terbaik.

$$F_{th} = - \frac{9\pi\mu v R \nabla T}{T_0} \left(\frac{k_g}{k_p + 2k_g} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan R adalah jari-jari partikel, μ adalah viskositas gas dinamik, v adalah viskositas gas kinematik, T_0 adalah temperature rata-rata gas pada lingkungan partikel, ∇T adalah gradient temperatur, k_g adalah konduktivitas thermal gas, dan k_p adalah konduktivitas thermal partikel. (Chuenn – Jin Tsai. 1994)

2.5.2 Gaya gravitasi

Gaya gravitasi adalah gaya yang timbul akibat gaya tarik gravitasi bumi. Gaya gravitasi dipengaruhi oleh diameter partikel, gaya gravitasinya adalah:

$$W = \frac{\pi d^3}{6} \rho_d g \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

d = diameter partikel

ρ_d = massa jenis partikel

g = tetapan gravitasi

2.5.3 Gaya Elektrophoresis

Gaya elektrophoresis terjadi karena adanya perbedaan muatan antar partikel. Gaya ini terjadi pada suatu partikel jika partikel tersebut berada pada suatu medan listrik yang memiliki beda tegangan sebesar $E = 10^4$ V, dan nilai tegangan dalamnya 220 Volt.

2.5.4 Gaya Apung (*Buoyancy Force*)

Gaya apung adalah gaya dorong ke atas yang disebabkan karena tekanan fluida sehingga menyebabkan objek tersebut mengapung. Jika suatu objek memiliki massa jenis lebih kecil dari massa jenis fluida, maka objek tersebut akan mengapung.

Pengaruh bouyancy force pada suatu partikel dalam suatu fluida dapat diketahui dari cara perpindahan panas yang dialami fluida tersebut. Perpindahan panas yang dialami oleh fluida terjadi secara konveksi, dan konveksi ini dapat dibedakan lagi menjadi konveksi alamiah atau konveksi paksa. Bouyancy force hanya muncul pada konveksi yang terjadi secara alamiah. Untuk menentukan jenis konveksi yang terjadi dapat ditentukan dari perbandingan nilai Grasshoff dan nilai Rayleigh kuadrat fluida tersebut.

$$\frac{Gr}{Re^2} \ll 1 \text{ Konveksi alamiah diabaikan}$$

$\frac{Gr}{Re^2} \sim 1$ Konveksi alamiah dan konveksi paksa dipertimbangkan

$\frac{Gr}{Re^2} \gg 1$ Konveksi paksa diabaikan

Dari perbandingan diatas maka, gaya bouyancy dapat diabaikan jika perbandingan nilainya lebih besar dari 1 (satu).

Sedangkan rumus untuk menentukan nilai Grasshoff dan Reynold pada suatu plat lurus adalah:

$$* \text{ Nilai Grasshoff } \rightarrow Gr = \frac{\rho^2 g \beta \Delta T x^3}{\mu^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

g = percepatan gravitasi [m^2/s]

ΔT = perbedaan temperatur gas antara plat dan lingkungan [K]

x = panjang plat [m]

μ = viskositas dinamik gas pada suhu T_{abs} [kg/m.s]

dan β adalah koefisien ekspansi termal gas, dimana untuk gas ideal

nilainya = $\frac{1}{T_{abs}}$, sehingga persamaannya menjadi:

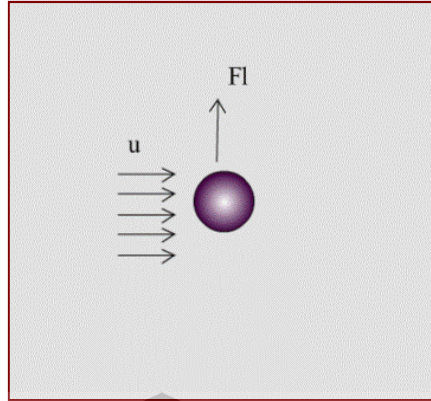
$$Gr = \frac{g \Delta T L^3}{T_{abs} \nu^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$* \text{ Nilai Reynolds } \rightarrow Re = \frac{\rho u x}{\mu}$$

u = kecepatan fluida [m/s]

2.5.5 Gaya angkat Saffman (*Saffman Lift Force*)

Adalah gaya angkat pada suatu partikel yang disebabkan oleh adanya gesekan antara partikel dengan aliran fluida.



Gambar 2.4. Gaya angkat Saffman pada partikel



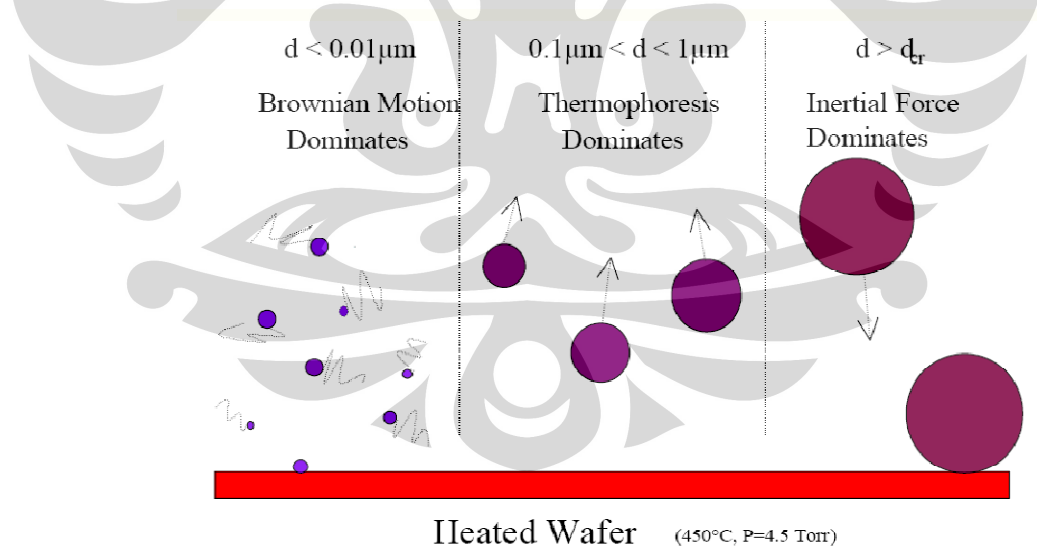
2.5.6 Gerak Brown (*Brownian Motion*)

Gerak ini terjadi pada partikel yang berukuran submikron. Gerakan ini terjadi karena efek momentum antar partikel.

Pergerakan Brownian adalah pergerakan acak (random) dari suatu partikel solid yang tersuspensi dalam suatu fluida. Pergerakan Brownian tersebut disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan gaya yang dihasilkan dari pergerakan partikel-partikel fluida yang berukuran jauh lebih kecil dari partikel solid dan menumbuk partikel solid secara berulang-ulang.

Dikarenakan dimensi partikel fluida yang sangat kecil, untuk dapat menghasilkan pergerakan Brownian maka dimensi partikel solid juga sangat kecil. Pergerakan Brownian berlaku untuk partikel sub-mikron dalam aliran laminar. Pada aliran turbulen, pergerakan Brownian tidak berlaku.

Untuk mengetahui efektivitas dari gerak brownian, gaya thermophoresis dan momen inersia terhadap pergerakan partikel, berikut perbandingannya:



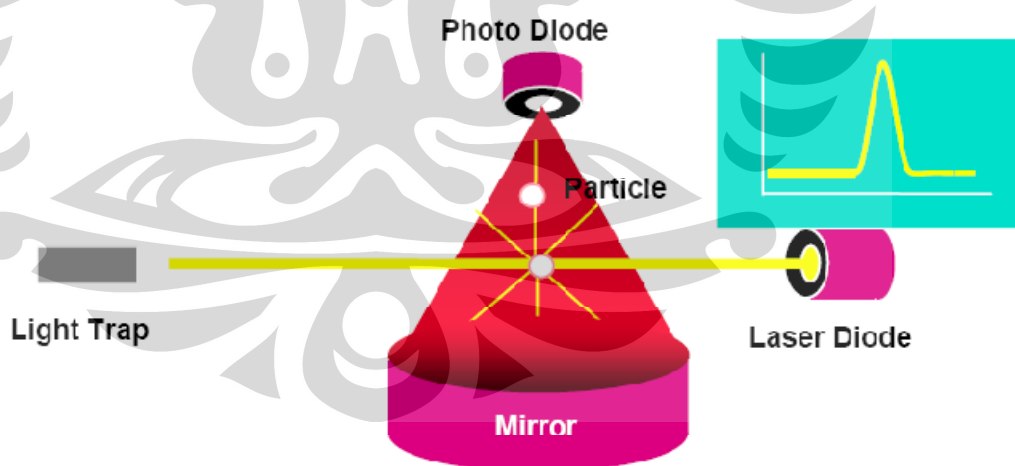
Gambar 2.5 Pergerakan partikel pada umumnya

2.6 PENGUKURAN KUALITAS UDARA

Pengukuran kualitas udara bertujuan untuk mengetahui konsentrasi zat pencemar yang ada di udara ambient. Hal ini penting dilakukan agar bisa dibandingkan dengan ambang batas yang diizinkan. Apabila melebihi dari ambang batas tersebut maka harus dilakukan tindakan lebih lanjut untuk mengurangi pencemaran itu agar tidak menimbulkan efek yang merugikan. Ada beberapa teknik untuk melakukan pengukuran kualitas udara yaitu :

2.6.1 Aerosol Particle counter

Alat ini digunakan untuk mengetahui kualitas udara dengan cara menghitung jumlah partikel di udara yg mempunyai diameter partikel tertentu. Informasi ini berguna untuk mengetahui jumlah polutan yang ada di dalam suatu ruangan atau udara sekitar. Alat ini biasa digunakan untuk mengetahui tingkat kebersihan udara di cleanroom. Cleanroom biasa digunakan dalam industri pembuatan semikonduktor, farmasi, bioteknologi, dan lain-lain.

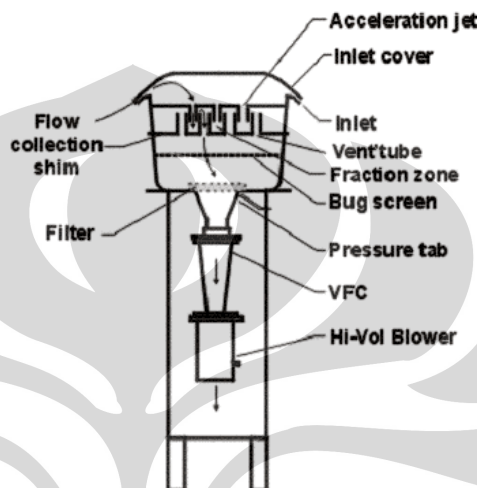


Gambar 2.6 Cara kerja particle counter

2.6.2 High Volume Air Sampler

Metode ini digunakan untuk melakukan pengukuran total suspended particulate matter yang ada di udara ambient, yaitu partikulat

dengan diameter kurang dari 100 μm . prinsip kerja alat ini yaitu dengan menghisap udara yang akan diuji dengan flowrate 40-60 cfm, udara tersebut dilewatkan melalui sebuah filter khusus yang memiliki porositas kurang dari 0,3 μm . Lalu partikulat yang tertahan di permukaan filter ditimbang secara gravimetrik, sedangkan volume udara dihitung berdasarkan waktu sampling dan flowrate.



Gambar 2.7 High Volume Air Sampler

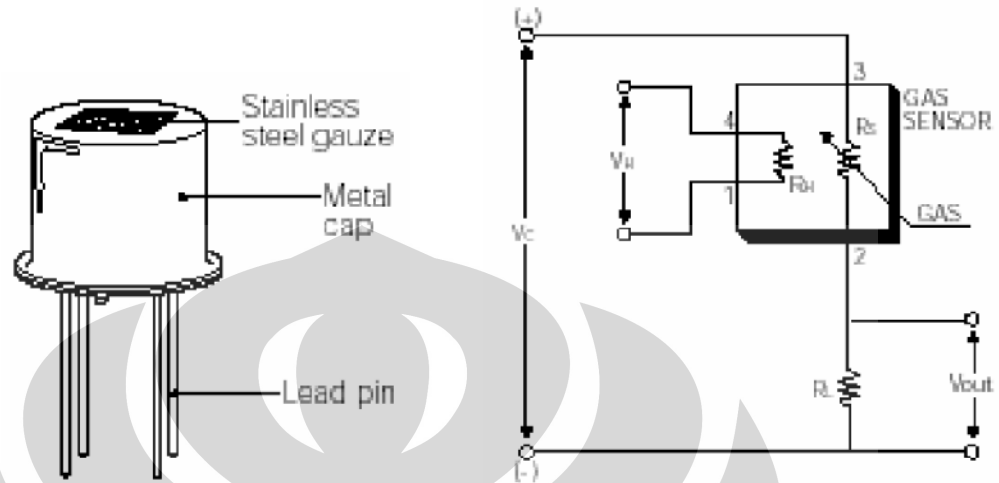
2.6.3 Non-dispersive infrared sensor

Non-dispersive infrared sensor (NDIR) sensor cukup sering digunakan dalam prosen analisa gas. Metode ini sering digunakan untuk mengukur kadar CO₂ dan H₂O di udara. pengukuran ini berdasarkan kemampuan gas CO menyerap sinar infra merah pada panjang 4,6 μm . Banyaknya intensitas sinar yang diserap sebanding dengan konsentrasi CO di udara. Analyzer ini terdiri dari sumber cahaya inframerah, tabung sampel dan reference, detektor dan rekorder.

2.6.4 Gas sensor

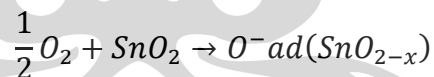
Sensor ini biasa digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas sensor ini bisa diaplikasikan sebagai alarm dan juga bisa untuk mengukur konsentrasi gas tergantung rangkaian microcontroller yang digunakan. Dalam penelitian ini proses pengukuran kadar asap menggunakan metoda ini. Sensor ini mempunyai nilai resistansi R_s yang akan berubah bila

terkena gas dan juga mempunyai sebuah pemanas (heater) yang digunakan untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar.

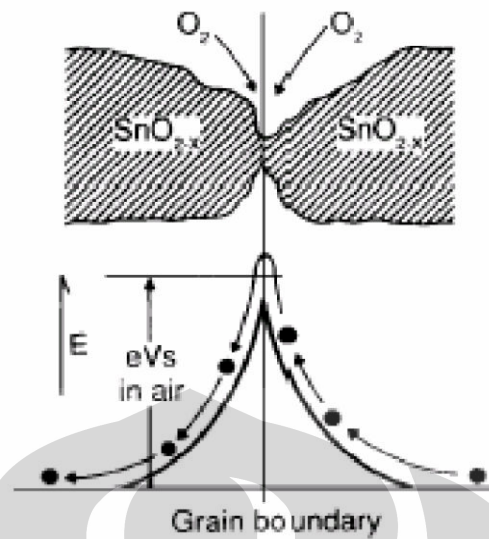


Gambar 2.8 Sensor gas Figaro 2600 (Sumber : Figaro TGS 2600)

Output tegangan pada hambatan R_L (V_{out}) digunakan sebagai masukan pada mikroprosesor. Bahan detektor gas dari sensor adalah metal oksida, khususnya senyawa SnO_2 . Ketika kristal metal oksida (SnO_2) dihangatkan pada temperatur tertentu, oksigen akan diserap pada permukaan kristal dan oksigen akan bermuatan negatif, proses penyerapan oksigen oleh sensor dapat dilihat dari persamaan kimia berikut

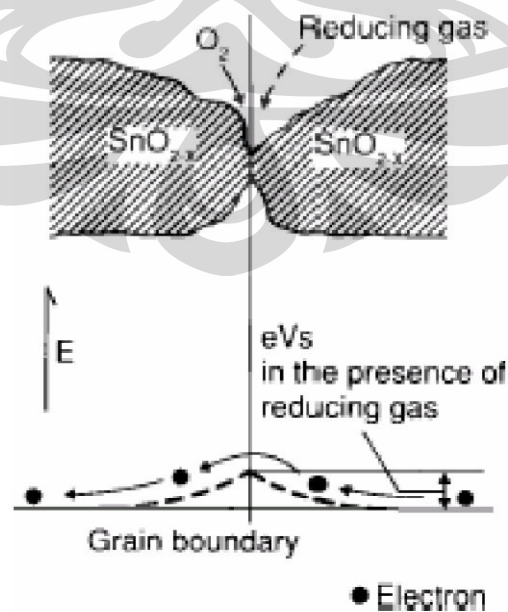
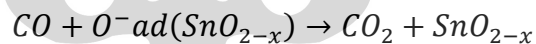


Hal ini disebabkan karena permukaan kristal mendonorkan elektron pada oksigen yang terdapat pada lapisan luar, sehingga oksigen akan bermuatan negatif dan muatan positif akan terbentuk pada permukaan luar kristal. Tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran electron



Gambar 2.9 Ilustrasi penyerapan oksigen oleh sensor (Sumber : Figaro TGS 2600)

Di dalam sensor, arus elektrik mengalir melewati daerah sambungan (grain boundary) dari kristal SnO₂. Pada daerah sambungan, penyerapan oksigen mencegah muatan untuk bergerak bebas. Jika konsentrasi gas menurun, proses deoksidasi akan terjadi, rapat permukaan dari muatan negatif oksigen akan berkurang, dan mengakibatkan menurunnya ketinggian penghalang dari daerah sambungan, misal terdapat adanya gas CO yang terdeteksi maka persamaan kimianya sebagai berikut



Gambar 2.10 Ilustrasi ketika terdeteksi adanya gas (Sumber : Figaro TGS 2600)

2.7 PENGUKURAN TEMPERATUR

Untuk mengetahui nilai suatu temperatur dibutuhkan suatu metode pengukuran temperatur yang akurat. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur temperatur pada plat stainless, antara lain pengukuran temperatur menggunakan thermometer non-contact dan menggunakan termokopel.

2.7.1 Thermometer Non-contact

Termometer infra merah menawarkan kemampuan untuk mendeteksi temperatur secara optik selama objek diamati, radiasi energi sinar infra merah diukur, dan disajikan sebagai suhu. Alat ini menawarkan metode pengukuran suhu yang cepat dan akurat dengan objek dari kejauhan dan tanpa disentuh. Situasi ideal dimana objek bergerak cepat, jauh letaknya, sangat panas, berada di lingkungan yang bahaya, dan/atau adanya kebutuhan menghindari kontaminasi objek (seperti makanan/alat medis/obat-obatan/produk atau test, dll.).

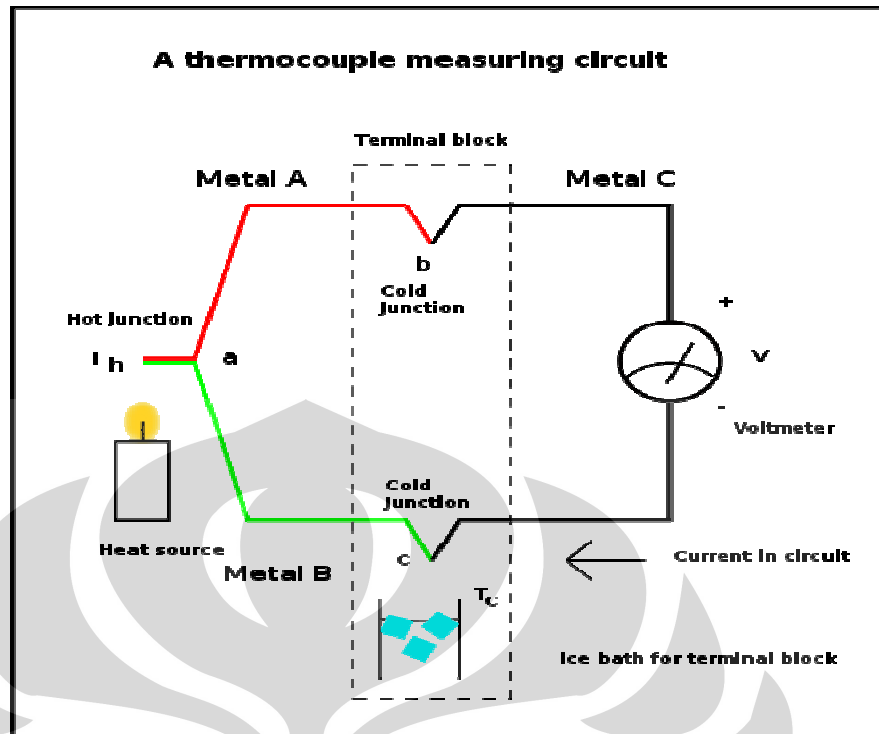
Termometers infra merah mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (biasanya infra merah) yang dipancarkan objek. Dengan mengetahui jumlah energi infra merah yang dipancarkan oleh objek dan emisinya, temperatur objek dapat dibedakan.



Gambar 2.11 Thermometer non-contact Raytek MT

2.7.2 Termokopel

Suatu termokopel bekerja atas dasar prinsip fenomena dari Seebeck (pada tahun 1821), yaitu : bila suatu rangkaian yang terdiri dari dua buah logam yang tidak sejenis dan bila temperatur pada sambungan-sambungan dari kedua kawat tersebut tidak sama, maka akan ada gaya listrik (electromotive force = emf) (Raldi, 2003).



Gambar 2.12 Rangkaian termokopel (Sumber : Wikipedia)

Karakter yang harus dimiliki oleh termokopel yang baik ialah sebagai berikut:

1. Gaya gerak listrik yang dihasilkan relatif besar, sehingga mudah diukur dengan kesalahan kecil.
2. Hubungan tegangan-temperatur selinier mungkin.
3. Tahan terhadap oksidasi dan korosi.
4. Mudah kalibrasinya.
5. Mempunyai stabilitas yang baik, baik terhadap waktu maupun keadaan sekeliling.
6. Logamnya harus dapat dibuat secara uniform
7. Titik leleh logam tinggi

BAB 3 METODE PENGUJIAN

3.1 Penelitian

Untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini maka dilakukan percobaan untuk mengukur kadar asap yang dapat didepositkan menggunakan alat *thermal precipitator* plat vertikal ini. Percobaan yang dilakukan adalah mengukur kadar asap pada setiap titik yaitu ; inlet, lima titik sepanjang *test section*, dan outlet dengan perbedaan temperatur antara plat panas dan plat dingin yang berbeda-beda. Perbedaan temperatur antara plat panas dan plat dingin yang diuji yaitu 0° , $\Delta T=10^\circ$ ($T^*=0.48$), $\Delta T=20^\circ$ ($T^*=0.83$), $\Delta T=30^\circ$ ($T^*=1.3$), $\Delta T=40^\circ$ ($T^*=1.7$), $\Delta T=50^\circ$ ($T^*=2.2$), $\Delta T=60^\circ$ ($T^*=2.6$). Percobaan hanya dilakukan sampai ΔT 60° dikarenakan keterbatasan alat yang tidak tahan terhadap temperatur tinggi. Perbedaan temperatur ditulis dalam bentuk T astrik (T^*), dengan persamaan $T^* = \frac{T_{hot}-T_{cold}}{T_{cold}}$. Sebab setiap nilai delta T memiliki nilai T^* berbeda.



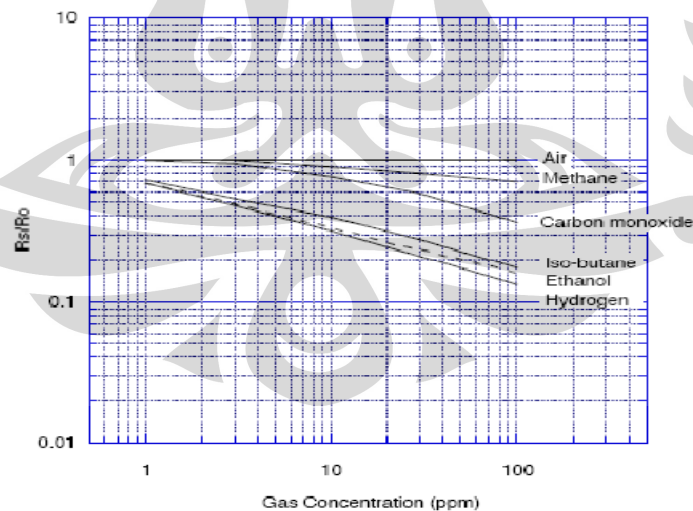
Gambar 3.1 Posisi tiap section alat uji

3.2 Metode pengukuran kadar asap

Metode pengukuran kadar asap yang digunakan pada percobaan ini adalah menggunakan gas sensor. Metode ini merupakan metode yang paling cocok untuk diaplikasikan dalam pengukuran kadar asap rokok. Gas sensor merupakan suatu alat yang bisa diaplikasikan untuk mengukur kadar asap. Karena alat ini mempunyai sensitivitas yang cukup tinggi apabila terdapat kandungan asap di udara. Sensor yang digunakan yaitu Figaro TGS 2600 sensor ini di desain untuk mendeteksi indoor air pollutant seperti polusi dari asap rokok. Sensor ini akan memiliki hambatan yang berubah-ubah sesuai dengan kadar gas yang dideteksinya. Semakin tinggi kadar gas maka hambatan yang ada di dalam sensor tersebut akan menurun.

Sensor gas Figaro TGS 2600 ini diimplementasikan pada sebuah miniplant berbasis mikrokontroler. Hasil dari monitoring kadar asap dapat diketahui secara cepat. Mikrokontroler menerima sinyal berupa voltase dari sensor. Voltase diproses di dalam alat ini dan ditampilkan oleh LCD dalam bentuk Rgas/Rudara.

Nilai Rgas/Rudara yang terbaca diubah ke dalam ppm, berdasarkan grafik pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik R_s/R_o vs gas concentration

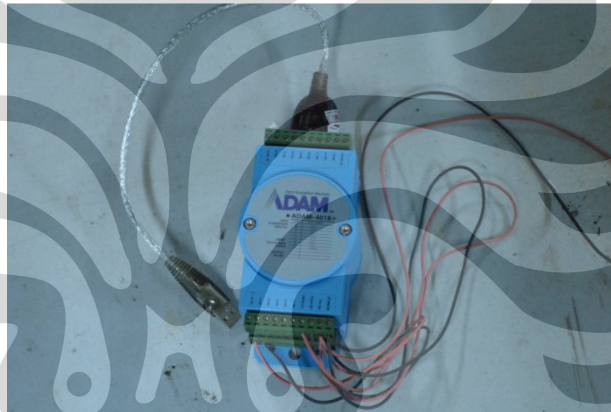
(sumber : TGS 2600 data sheet)

Pada gambar 3.2 dapat dilihat bahwa semakin kecil hambatan pada sensor maka itu menunjukkan bahwa kadar asap yang ada di udara juga semakin tinggi.

3.3 Metode pengukuran temperatur

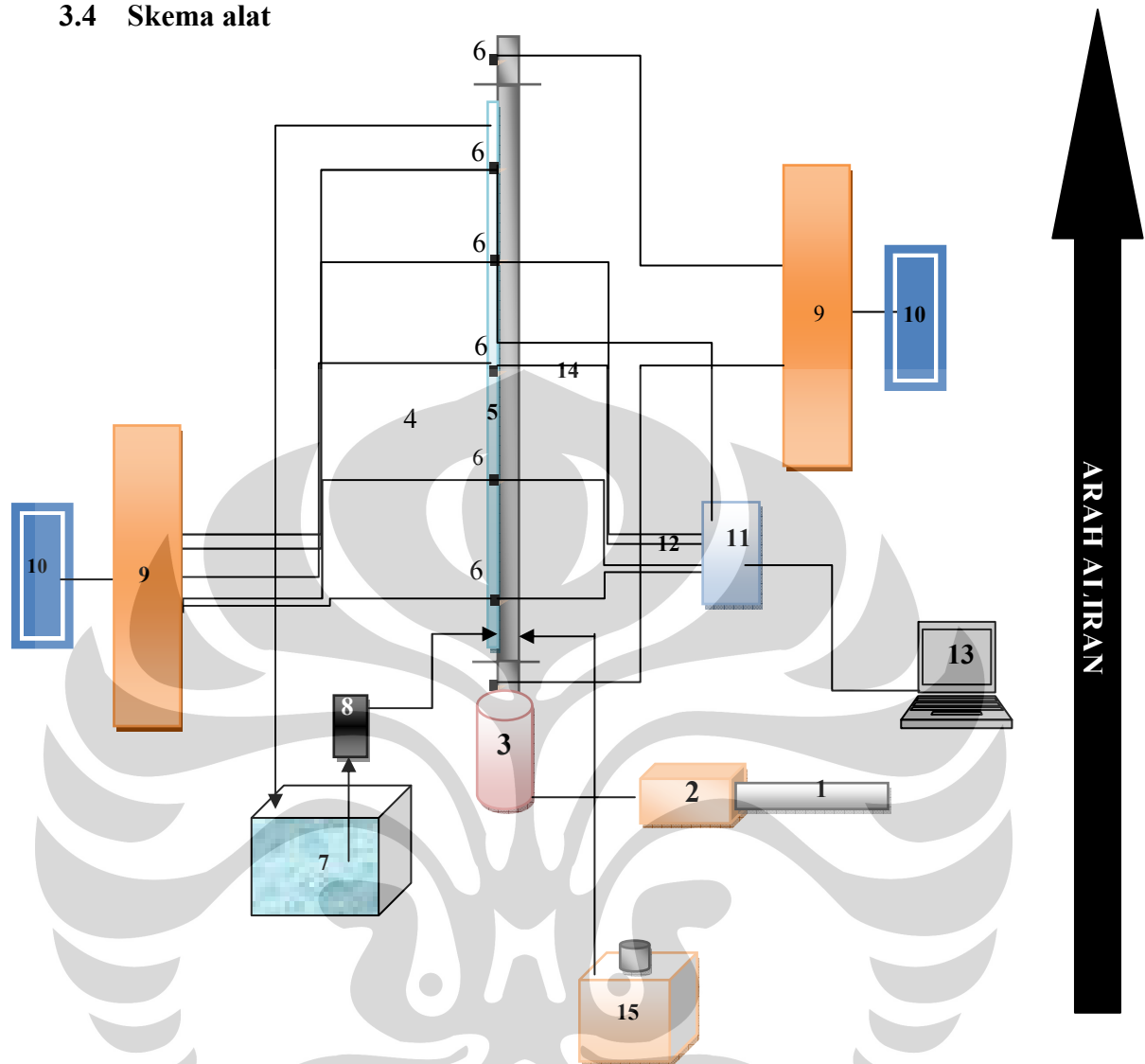
Untuk mendapatkan nilai perbedaan temperatur yang diinginkan pada kedua plat, kita memerlukan metode pengukuran yang akurat. Untuk mengukur temperatur pada plat panas digunakan *thermometer non-contact* Raytek MT. Cara pengukurannya yaitu dengan menembakan sinar laser pada permukaan plat di beberapa titik kemudian nilai yang didapat dirata-ratakan.

Untuk mengukur temperatur pada plat dingin digunakan termokopel dengan ADAM 1408 sebagai DAQ nya. Termokopel ditempel dengan cara disolder pada permukaan bagian dalam (yang menghadap plat panas). Dengan metode ini kita dapat memantau perubahan temperatur pada plat dingin akibat konveksi bebas dari plat panas.



Gambar 3.3 ADAM 1408

3.4 Skema alat



No.	Komponen	No.	Komponen	No.	Komponen
1	Smoke source	6	Sensor Figaro TGS 2600	11	ADAM 4018
2	Smoke generator	7	Bak penampung air	12	Termokopel
3	Penampung asap	8	Pompa air	13	Laptop
4	Test section	9	Mikrokontroler	14	Heater
5	Cooling water	10	LCD	15	Voltage regulator

Gambar 3.4 Skema pemasangan sensor pada alat

Dalam percobaan ini ingin dilihat perubahan kadar asap di setiap section setiap kenaikan nilai ΔT . Oleh karena itu pada di setiap section, yaitu inlet, 5 titik sepanjang test section, dan outlet dipasang gas sensor.

Termokopel dipasang berhimpit dengan gas sensor agar dapat diketahui dengan tepat temperatur di sekitar area pengambilan data.

Untuk menjaga temperatur plat dingin agar serendah mungkin, maka digunakan alat pendinginan berupa kotak akrilik yang dialiri air bersirkulasi.

3.5 Peralatan Uji

Agar alat thermal precipitator ini dapat bekerja dengan baik maka keseluruhan bagian dari sistem-sistem yang ada harus bekerja dengan baik.

Alat ini terdiri dari 4 sistem utama yaitu :

1. sistem input
2. sistem proses
3. sistem pendingin
4. sistem untuk pengambilan data

3.5.1 Sistem input

Sistem ini berfungsi untuk menghasilkan asap dan mengalirkannya ke dalam test section. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen yaitu :

1. Smoke Generator

Alat ini mempunyai dua fungsi yaitu untuk menghisap rokok dan memasukan asapnya ke dalam test section. Alat ini merupakan modifikasi dari alat pembuat gelembung pada aquarium. Bagian suction digunakan untuk menghisap rokok, dan bagian blow off meniupkan asap ke test section.

2. Botol penampung asap

Alat ini berfungsi untuk menampung asap sementara yang kemudian langsung dialirkan ke test section. Alat ini berdiameter 350 mm dan memiliki volume 250 ml.

3.Smoke / partikel

Smoke yang diambil adalah asap rokok yang dimasukkan melalui inlet. Asap rokok ini dihasilkan secara kontinyu selama percobaan. Untuk memproduksi asap selama percobaan, 3 batang rokok disatukan sehingga tidak terdapat delay saat pergantian rokok.

3.5.2 Sistem Proses

Gaya thermophoresis terjadi pada sistem proses ini. Sistem proses ini terdiri dari :

1. Plat Stainless

Plat ini digunakan sebagai area pengujian. Plat yang digunakan terdiri dari dua plat, plat sisi panas dan plat sisi dingin. Bahan ini dipilih karena mampu menghantarkan panas cukup baik dengan harga yang relatif murah dan mudah untuk dibentuk.

2. Heater

Heater yang digunakan untuk plat panas adalah *heater* plat, karena distribusi panasnya paling baik dan merata untuk permukaan plat yang rata. Untuk mendapatkan perbedaan temperatur yang diinginkan maka temperatur heater dapat diubah sesuai keinginan. Pengaturan temperatur pada heater dapat dilakukan dengan cara mengubah voltase pada *voltage regulator*.

3.5.3 Sistem Pendingin

Sistem ini berfungsi untuk menjaga bagian plat dingin agar berada pada temperatur yang konstan. Hal ini dikarenakan jarak antara plat panas dan plat dingin yang sangat dekat sehingga akan terjadi konveksi dari plat panas. Sistem ini menggunakan air sebagai media pendinginnya.

1. Box Penampung Air

Box ini berukuran 18 x 18 x 20 cm, dengan menggunakan bahan dari *acrylic*. Fungsinya untuk menampung air yang digunakan untuk pendinginan test section.

2. Alat Penukar Panas

Alat penukar panas ini berbentuk kotak dengan dimensi 25 x 7.5 x 2.5 cm dan memiliki bagian inlet dan outlet. Jenis pendinginan yang dilakukan adalah konveksi paksa. Air yang ditampung pada box penampung dipompakan ke bagian inlet. Air akan mengalami kontak langsung dengan plat dingin dan akan keluar melalui outlet dan kembali ke box penampung air.

3.Pompa

Pompa berfungsi untuk menyirkulasikan air pendingin. Pompa ini memindahkan air dari bak penampung air menuju alat pemindah kalor dan kembali lagi ke bak penampung air.

3.5.4 Sistem Pengambilan Data

Sistem pengambilan data digunakan untuk mengukur kadar asap di setiap section. Sistem ini terdiri dari :

1.Sensor gas

Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi kadar asap rokok yang ada di udara dimana hambatan di dalam sensor akan berubah sesuai kadar asap rokok yang ada.

2.*Microcontroller*

Microcontroller berfungsi untuk menerima sinyal yang diberikan oleh sensor lalu memproses dan menampilkan hasilnya di LCD.

3.6 Spesifikasi alat

Untuk memperjelas mengenai peralatan yang dipakai, berikut merupakan spesifikasi dari alat-alat yang digunakan.

3.6.1 Botol penampung asap

- *Dimension = d x h = 350 x 750 mm*
- *Volume = 250 ml*
- *Specification = 1 outlet + 1 inlet.*

3.6.2 Acrylic Box (penampung air)

- *Dimension = 180 x 180 x 200 mm*
- *Volume = 4896 cm³*
- *Thickness = 10 mm*

3.6.3 Acrylic Box (penukar panas)

- *Dimension = 250 x 75 x 25 mm*
- *Thickness = 3 mm*
- *Specification = 1 outlet + 1 inlet.*

3.6.3 Smoke Generator

- *Merk = Aquila*

3.6.4 Pompa

- *Merk = mercury*
- *Type = Submersible Pump*
- *Power = 10 W*
- *Flow rate = 700 liter/jam*
- *Head = 0,9 meter*

3.6.5 Voltage Regulator

- *Merk = OKI*
- *Model = TDGC-2000*
- *Input = 220VAC 50/60 Hz*
- *Output = 0~250 V*
- *Capacity = 2000VA*

3.6.6 Heater

- *Type = Plate Heater*
- *Size = 60 x 60 x 15 mm*
- *Input = 24 VAC 2000A*
- *Temperature = max \pm 300°C*

3.6.7 Test Section

- *Overall Dimension = 1000 x 130 x 90 mm*
- *Material = Stainless Steel Plate 1.2mm thickness*
- *Gap between plate = 5 mm*
- *Volume test section = 250 cm³*

3.6.8 Non-contact Thermometer

- *Merk = Raytek MiniTemp*
- *Model = MT4*
- *Measurement Method = Infrared*
- *Temp. Range = -18~275°C*

3.6.9 DAQ

- *Merk = Advantech*
- *Model = ADAM 1408*
- *Channel = 8 channel*

3.6.10 Termokopel

Tipe = K

Material = Chromel / alumel

Range temperature = -200°C s/d 1300°C

3.6.9 Gas sensor

- Merk = *figaro*
- Model = *TGS 2600*
- Detection Range = $0 \sim 30 \text{ ppm of } H_2$
- Voltage = $5.0 \pm 0.2 \text{ V DC/AC}$
- Sensor Resistsnce = $10k \sim 90k\Omega \text{ in air}$

3.7 BOUNDARY CONDITION

Dalam percobaan ini terdapat batas-batas kondisi yang perlu ditentukan. Tabel 3.1 menunjukkan sifat fisik udara yang digunakan dalam percobaan (27OC (300 K) di atas permukaan laut).

Tabel 3.1 Sifat fisik udara untuk simulasi

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Massa jenis	ρ	1.183	Kg/m ³
2	Suhu udara	T	300	K
3	Viskositas	μ	1.853e-05	N.s/m ²
4	Konduktivitas Thermal	k	0.02614	W/m.K
5	Koefisien Tekanan	Cp	1003	J/kg.K

Sumber : *Essential Eng Information & Data, Mc Graw-Hill, 1991*

3.7.1 Partikel *Smoke*

Dalam penelitian ini menggunakan partikel smoke (tobacco smoke), karena partikel jenis aerosol ini cukup banyak dan mudah untuk didapatkan. Adapun spesifikasi dari partikel uji sebagai berikut :

Tabel 3.2 spesifikasi partikel uji

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jenis Aerosol	Smoke	
2	Nama Aerosol	Tobacco Smoke	
3	Diameter partikel	0,01 ~ 1	μm
4	Density	1,1	g/cm^3
5	Molecular mass	162,23	g/mol
6	Boiling point	247	$^{\circ}\text{C}$

3.7.2 Intensitas Smoke

Dalam penelitian ini asap rokok dialirkan ke dalam test section secara kontinyu. Hal ini bertujuan agar didapatkan asap yang mengalir terus menerus selama percobaan. Untuk mencegah adanya delay dalam penyediaan asap, maka beberapa batang rokok disambung sehingga rokok dapat bertahan lama.

3.8 SETTING ALAT *THERMAL PRECIPITATOR*

Sebelum memulai percobaan perlu dilakukan pengecekan terhadap kesiapan alat uji.

3.8.1 Pemasangan / *assembly unit*

Proses ini merupakan awal dari pembuatan alat thermal precipitator. Sistem input, sistem pendingin yang sudah jadi dipasangkan pada rangka, demikian juga dengan test section dan heater merupakan satu kesatuan dalam suatu rangkaian.

3.8.2 Pemasangan perlengkapan

Perlengkapan yang digunakan untuk *thermal precipitator* antara lain :

- a. *Smoke generator*
- b. Pompa air

- c. Gas sensor
- d. Termokopel dan DAQ
- e. *Voltage Regulator* dan Heater

Setelah semua bagian terpasang dengan baik, maka perlu dilakukan pengecekan ulang untuk memastikan semua sambungan ataupun perlengkapan elektronik terhubung dengan baik.

Langkah-langkah pengujian meliputi :

1. Menyalakan sumber listrik dan memastikan semua bisa berfungsi dengan baik.
2. Nyalakan pompa air untuk mendinginkan test section.
3. Menyiapkan sensor gas, dan memasangnya pada tiap *section*.
4. Menyiapkan DAQ dan melakukan pengaturan pada komputer untuk pembacaan
5. Setting temperatur heater dengan mengatur tegangan pada voltage regulator. Atur berapa temperatur yang diinginkan dengan memutar tuas, terdapat beberapa nilai voltage dengan rentang 25 – 250 V dan nilai tiap skala adalah 5 V. Pengaturan temperatur dilakukan secara bertahap dengan memutar tiap 10 skala sampai didapatkan temperatur yang diinginkan. Kenaikan temperatur ini dilakukan bertahap agar material plat maupun kaca yang berada di sampingnya tidak mendapatkan perubahan temperatur secara mendadak, dikhawatirkan bisa menyebabkan kaca pecah. Perbedaan temperatur antara plat atas dan plat bawah yang diinginkan adalah sebesar 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°
6. Masukkan asap rokok (smoke) melalui inlet valve pada botol penampung, dengan cara menyalakan rokok dan memasangnya pada bagian suction *smoke generator*. Kemudian biarkan asap mengalir melewati *test section* selama percobaan berlangsung.
7. Data diambil setiap 30 detik. Data yang diambil adalah kadar asap dan temperatur pada plat dingin.

3.9 Teknik pengujian

Pengujian dilakukan secara bertahap. Diawali dengan pengambilan data pada kondisi tidak ada perbedaan panas antara dua plat ($\Delta T=0$). Dan dilanjutkan dengan $\Delta T=10$ ($T^*=0.48$), $\Delta T=20$ ($T^*=0.83$), $\Delta T=30$ ($T^*=1.3$), $\Delta T=40$ ($T^*=1.7$), $\Delta T=50$ ($T^*=2.2$), $\Delta T=60$ ($T^*=2.6$) Untuk setiap gradien temperatur diambil datanya untuk mengetahui nilai kadar asap yang dapat terdepositkan. Format pengambilan data adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Format pengambilan data

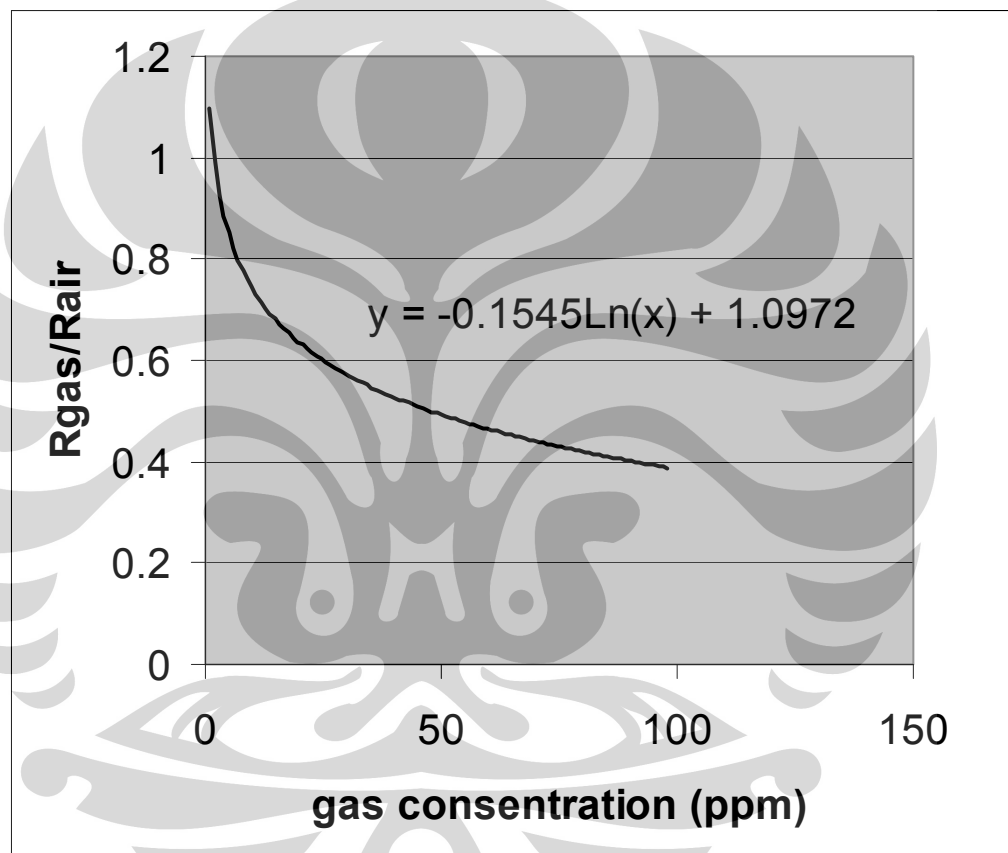
Percobaan ke - n			
Jenis rokok : rokok putih			
T* =			
Menit	Second	Rgas/Rair	ppm
1	30		
	60		
2	90		
	120		
3	150		
	180		
4	210		
	240		
5	270		
	300		
6	330		
	360		
7	390		
	420		
8	450		
	480		
9	510		
	540		
10	570		
	600		
11	630		
	660		
12	690		
	720		
13	750		
	780		
14	810		
	840		
15	870		
	900		

BAB 4

ANALISA HASIL PENGUJIAN

4.1 PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari percobaan merupakan rata-rata hasil dari beberapa percobaan yang dilakukan. Data yang diperoleh masih dalam bentuk Rgas/Rudara. Untuk mengkonversi nilai Rgas/Rudara menjadi ppm, digunakan persamaan pada trendline yang terdapat di gambar 4.1.

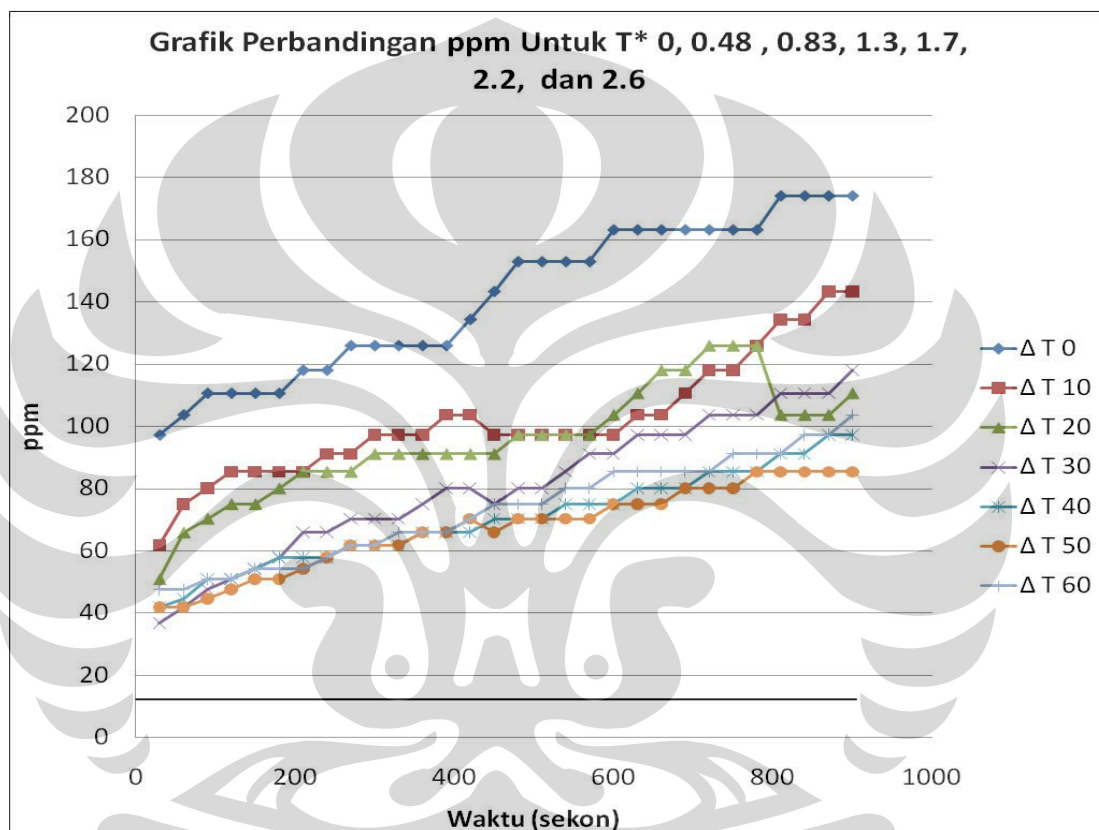


Gambar 4.1 Grafik hubungan antara R_{gas}/R_{air} Vs gas concentration

Rgas/Rudara adalah rasio dari resistansi yang diterima sensor dengan Rgas adalah resistansi sensor terhadap gas yang diukur pada konsentrasi tertentu. Rudara adalah resistansi sensor di udara segar.

Dalam gambar 4.1 dapat kita simpulkan bahwa nilai Rgas/Rudara berbanding terbalik dengan ppm. Semakin tinggi nilai Rgas/Rudara semakin rendah nilai ppm, semakin bersih pula udara yang terukur.

Gambar 4.2 menunjukkan data hasil percobaan.

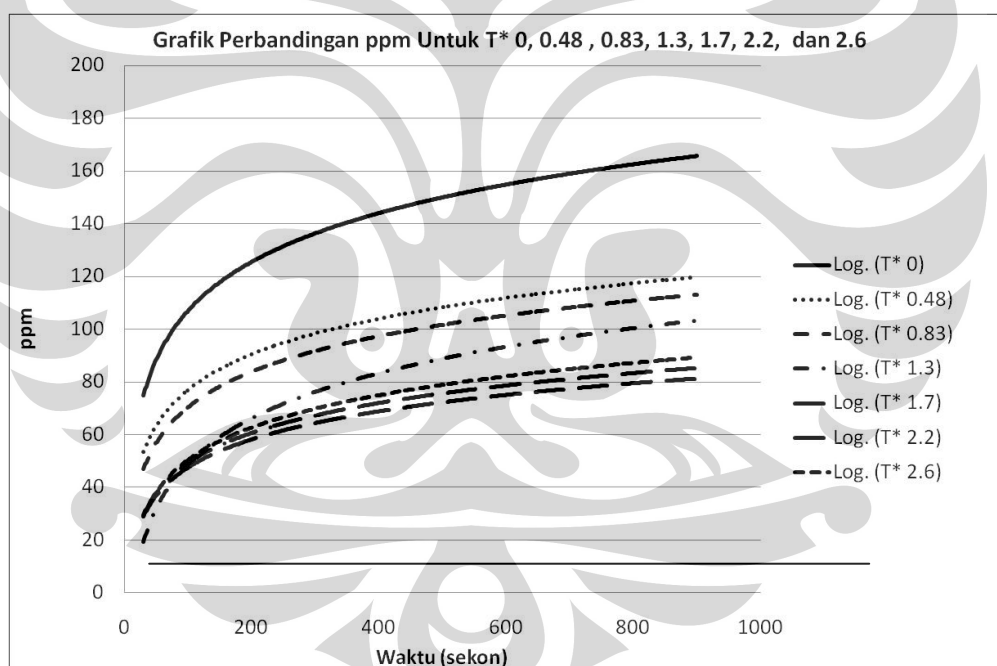


Gambar 4.2 Grafik ppm VS Waktu (sekon)

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar perbedaan temperatur pada kedua pelat, maka kadar konsentrasi asap rokok juga semakin menurun. Hal ini membuktikan bahwa gaya thermophoresis terjadi pada suatu media yang terdapat perbedaan temperatur, besarnya gaya thermophoresis yang dihasilkan sebanding dengan perbedaan temperatur yang terjadi. Semakin besar perbedaan temperatur maka semakin besar pula gaya thermorhoresis yang bekerja pada partikel. Tiap garis pada grafik mewakili temperatur yang berbeda-beda pada test section.

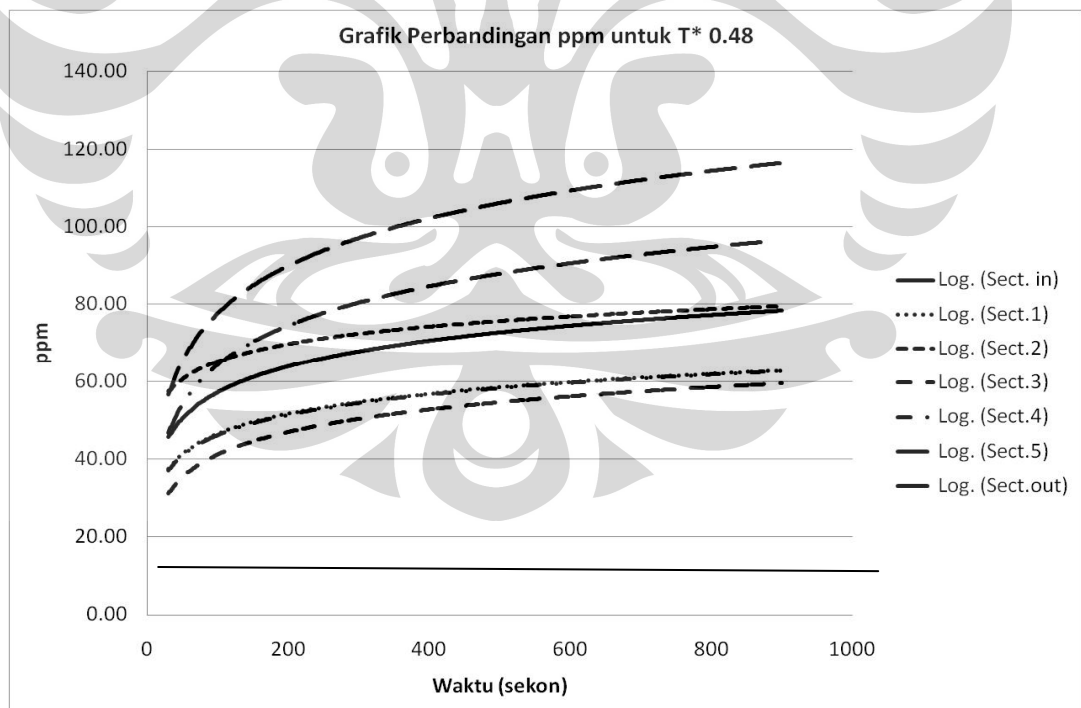
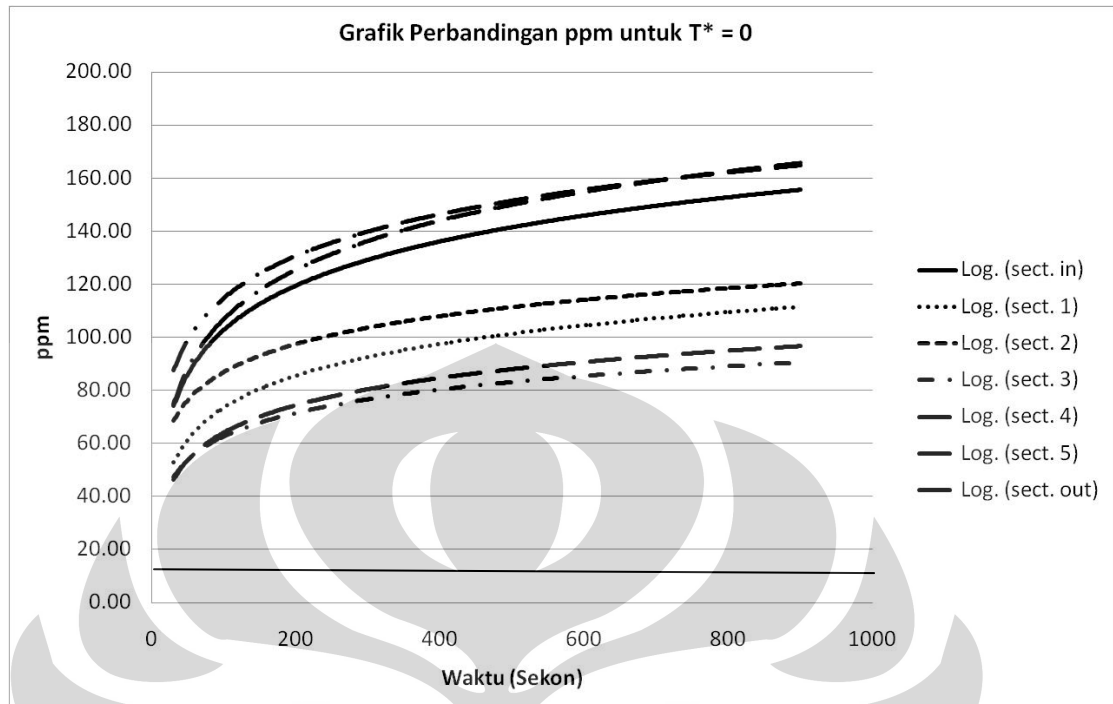
Namun jika kita perhatikan bentuk grafik menanjak, nilai ppm semakin naik seiring bertambahnya waktu. Kenaikan nilai ppm berarti terjadi kenaikan kepekatan asap. Hal ini terjadi karena metode pengadaan asap yang kontinyu. Asap rokok dihasilkan dari 3 batang rokok yang disatukan agar memperoleh supply asap yang terus menerus selama percobaan. Tetapi *smoke generator* mengalami kesulitan saat menghisap asap rokok dalam keadaan batang rokok masih panjang. Sehingga asap yang dihasilkan sedikit. Hal ini dapat kita lihat dari nilai awal ppm pada grafik. Ketika batang rokok memendek, *smoke generator* mulai dapat menghisap asap lebih mudah sehingga asap yang dihasilkan lebih banyak. Hal ini dapat dilihat dari nilai akhir ppm pada grafik.

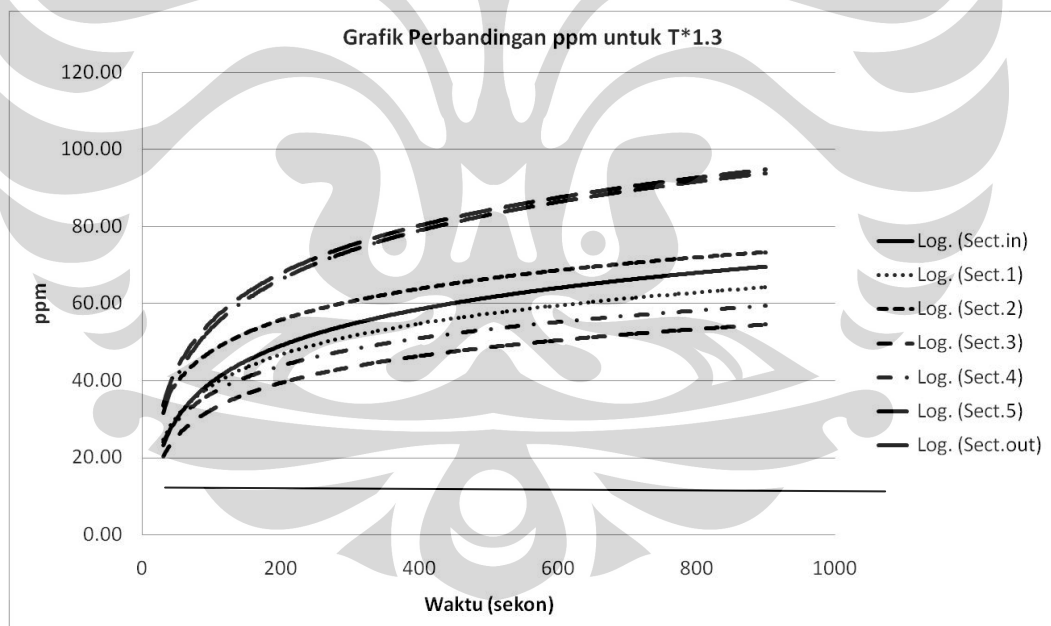
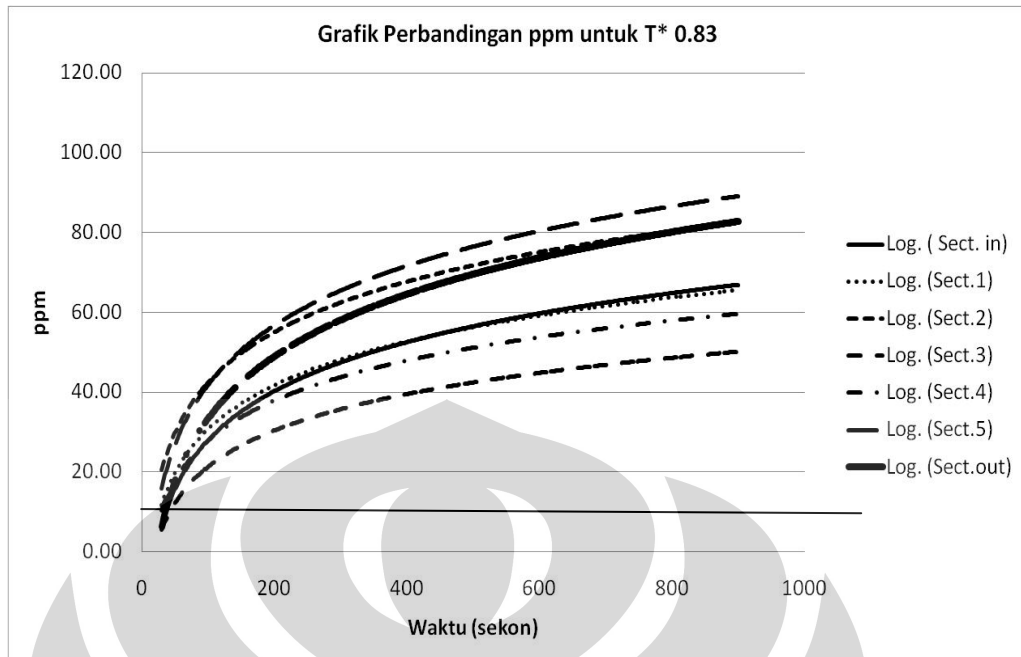
Untuk mempermudah pembacaan grafik, gambar 4.3 menunjukkan trendline dari data percobaan

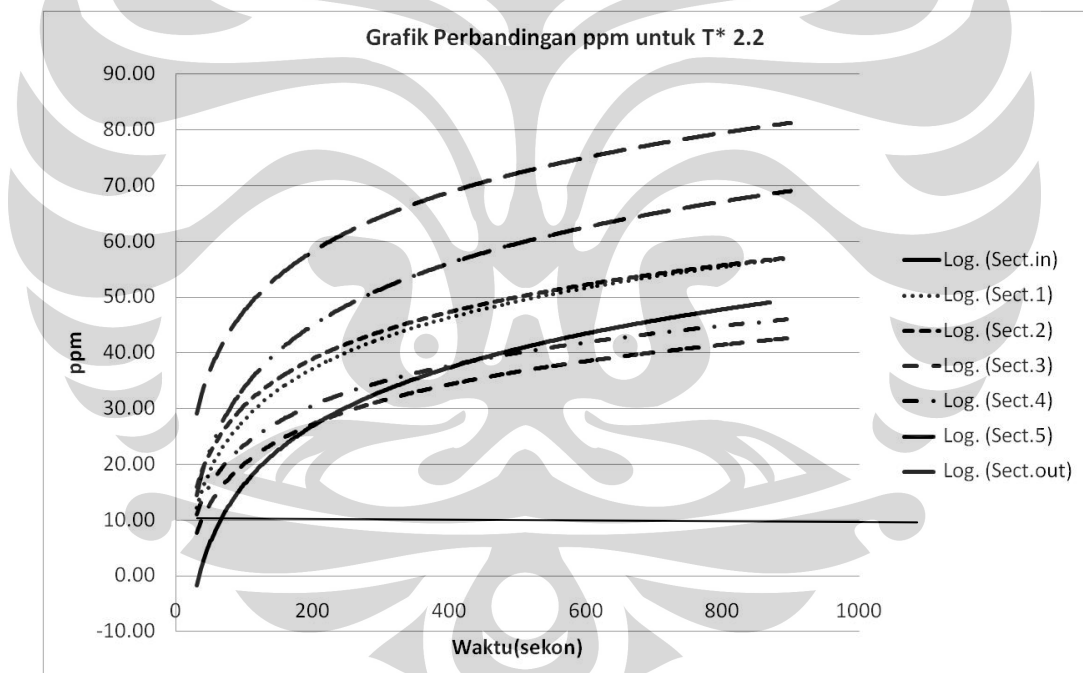
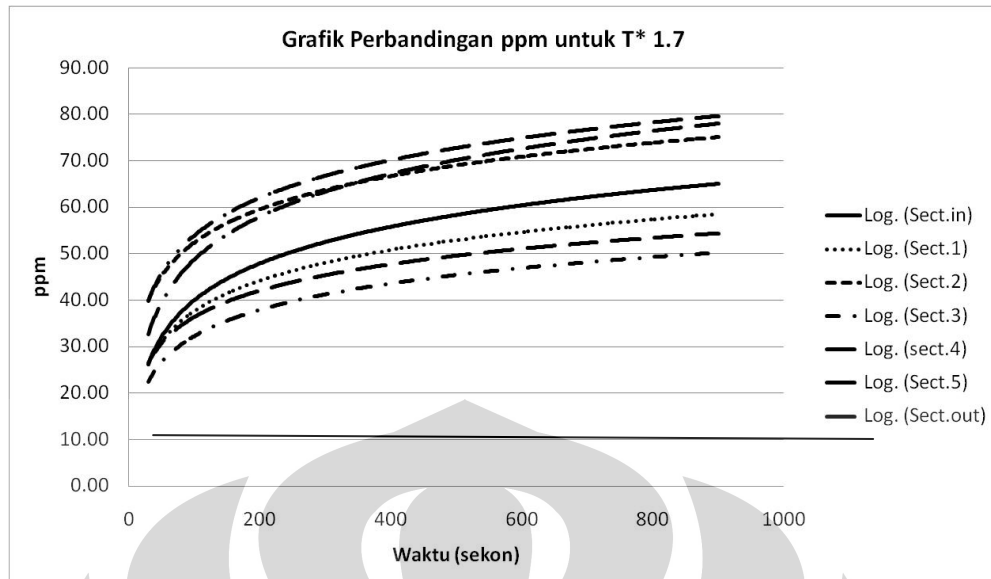


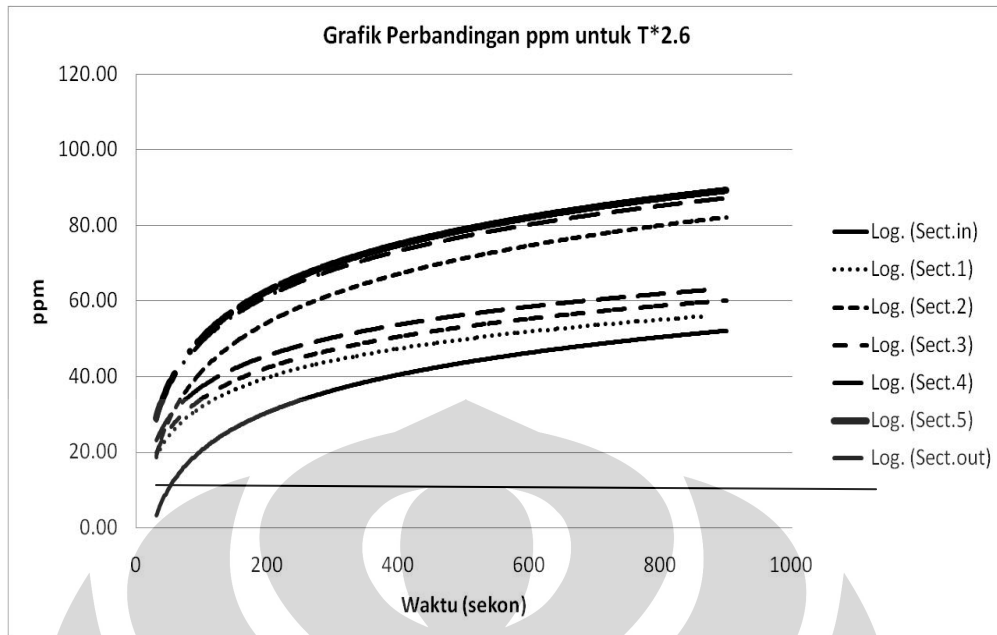
Gambar 4.3 Trendline ppm VS Waktu (sekon)

Data percobaan lainnya menurut masing – masing nilai T astrik.









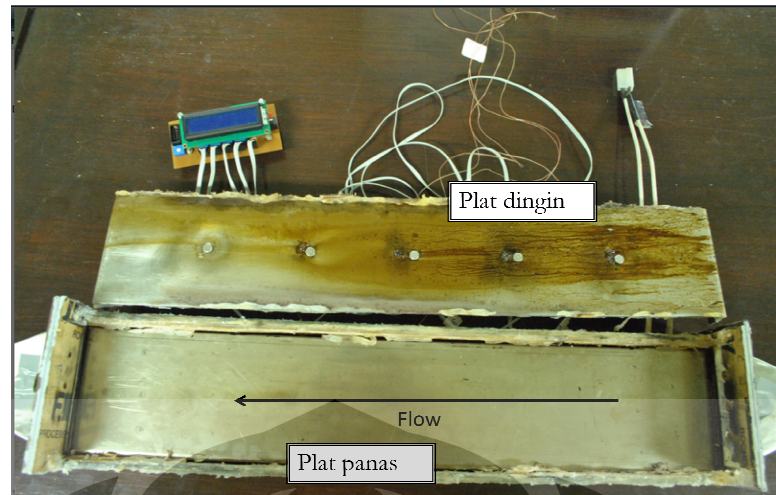
Gambar 4.10 Grafik untuk T* 2.6

Distribusi asap rokok ternyata tidak merata untuk semua sensor sepanjang *test section*. Hal ini menyebabkan terjadi ketidakakuratan pembacaan kadar asap oleh sensor. Sehingga menghasilkan data yang kurang akurat.

Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4 sampai gambar 4.10, bahwa nilai section 1 sampai section 5 terjadi ketidak-konsisten-an. Selain dari grafik, dapat distribusi asap yang tidak merata dapat kita lihat dari gambar 4.11

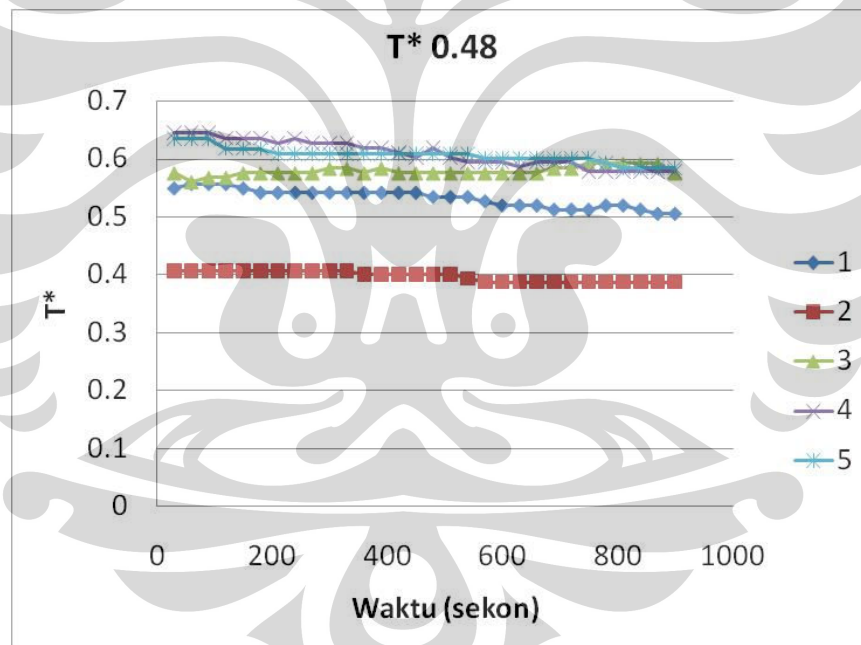


Gambar 4.11 Aliran asap pada outlet *test section*

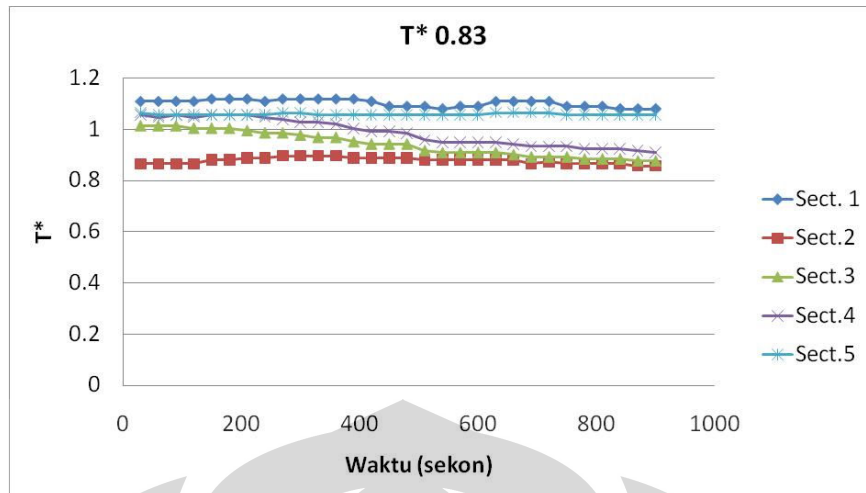


Gambar 4.12 Partikel asap terdeposit yang menunjukkan ketidakrataan distribusi asap

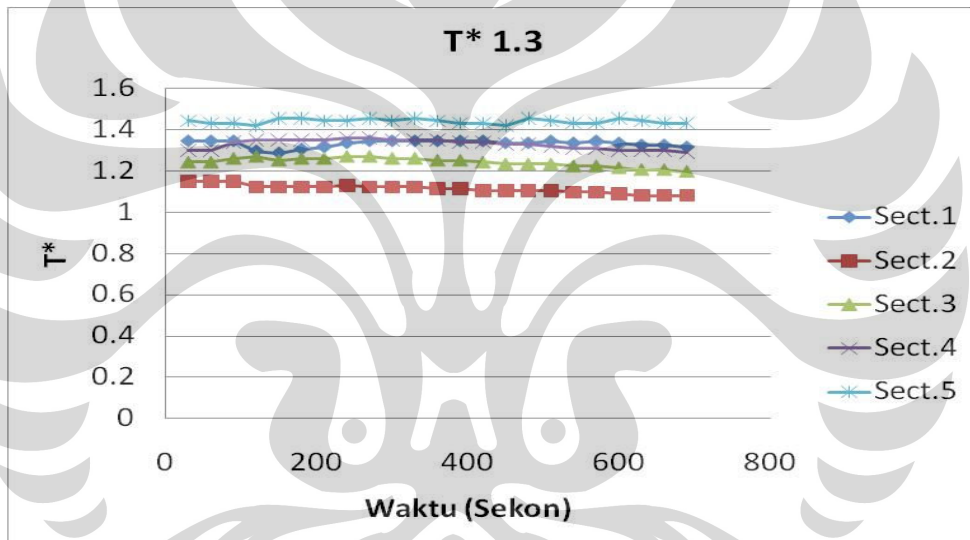
Gambar 4.13 menampilkan distribusi temperatur pada plat di setiap section



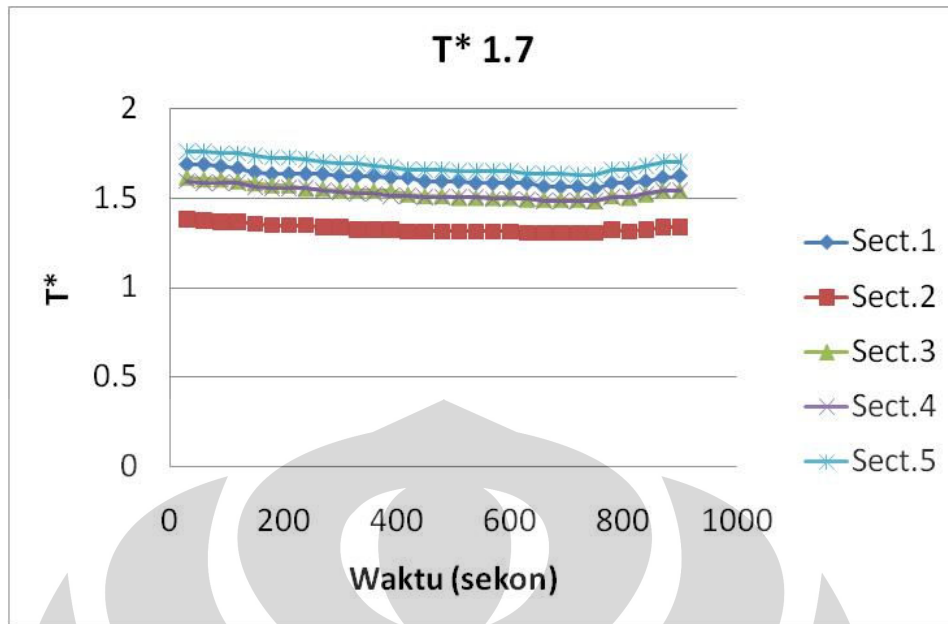
Gambar 4.13 Distribusi temperatur untuk $T^* 0.48$



Gambar 4.14 Distribusi temperatur untuk T* 0.83



Gambar 4.15 Distribusi temperatur untuk T* 1.3



Gambar 4.16 Distribusi temperatur untuk T* 1.7

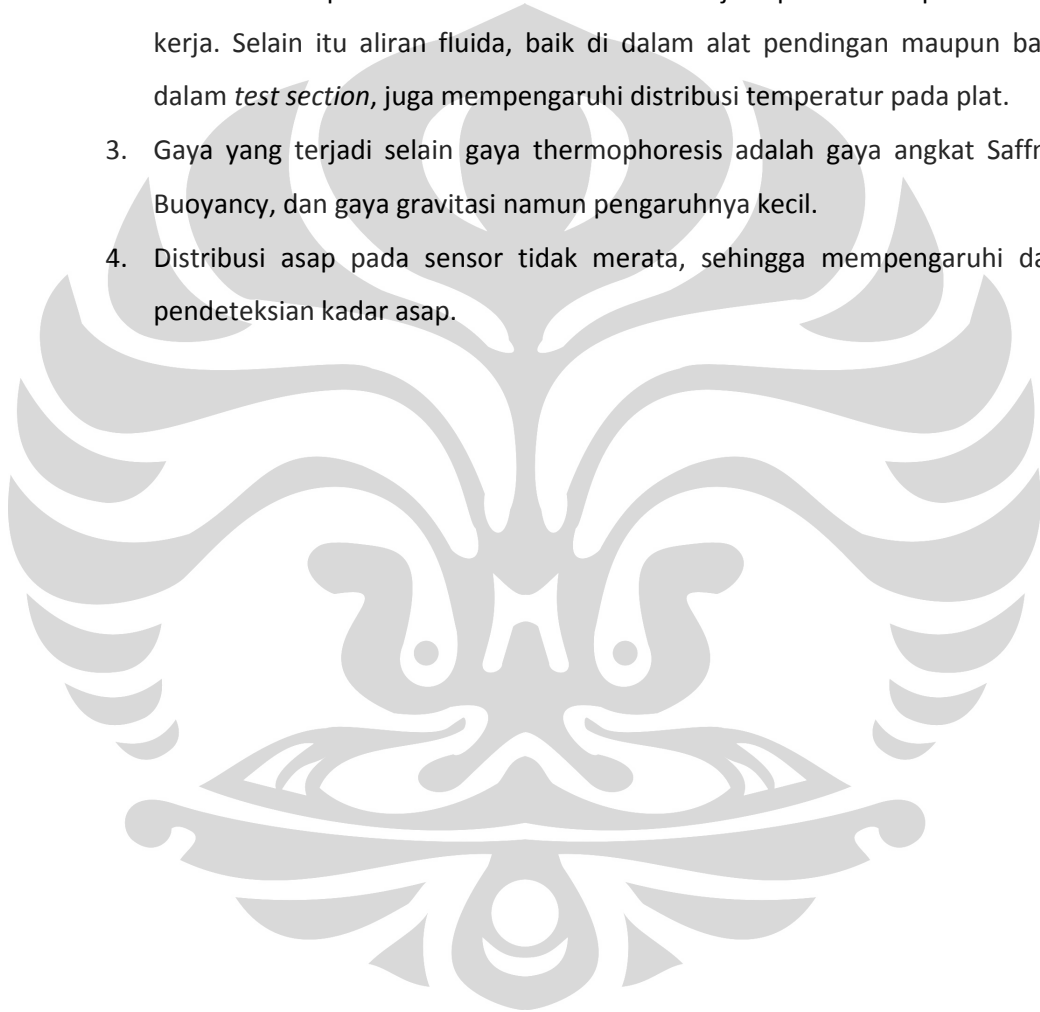
Gambar 4.13 sampai dengan gambar 4.16 menunjukkan distribusi temperatur pada setiap section dan pada T astrik tertentu. Kita dapat melihat bahwa distribusi temperatur di setiap section tidak merata. Hal ini dapat disebabkan karena kerja alat yang sudah kurang baik mengingat percobaan ini sudah dikembangkan sampai 3 kali. Selain itu adanya aliran fluida pun dapat mempengaruhi distribusi temperatur, baik aliran fluida berupa gas di dalam test section maupun aliran fluida berupa air di cooling water. Hal ini dapat mempengaruhi efisiensi kerja thermal precipitator, sehingga kedepannya perlu diadakan perbaikan dan pengembangan.

Selain gaya thermophoresis, gaya lain yang terjadi pada percobaan ini adalah gaya angkat Saffman, tetapi pengaruhnya sangat kecil. Gaya Saffman terjadi karena ada gesekan antara partikel smoke dengan aliran fluida. Gaya gravitasi sebenarnya juga terjadi, tetapi pengaruh terhadap pergerakan partikel sangat kecil sebab ukurannya yang kecil, yaitu sekitar $0.08 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$. Gaya Buoyancy pengaruhnya juga sangat kecil, karena tidak terlalu mempengaruhi jarak tempuh partikel.

4.2 ANALISA DATA

Dari pembahasan data dapat dibuat analisa sebagai berikut

1. Kepekatan asap yang masuk ke dalam *test section* dipengaruhi oleh panjang batang rokok dan daya hisap *smoke generator*. Semakin pendek batang rokok, semakin mudah *smoke generator* menghisap asap. Akibatnya semakin pekat pula asap yang mengalir.
2. Distribusi temperatur tidak merata sebab terjadi penurunan performa alat kerja. Selain itu aliran fluida, baik di dalam alat pendingin maupun bagian dalam *test section*, juga mempengaruhi distribusi temperatur pada plat.
3. Gaya yang terjadi selain gaya thermophoresis adalah gaya angkat Saffman, Buoyancy, dan gaya gravitasi namun pengaruhnya kecil.
4. Distribusi asap pada sensor tidak merata, sehingga mempengaruhi dalam pendeteksian kadar asap.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari analisa data dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar perbedaan temperatur, semakin banyak partikel asap yang dapat didepositkan di plat dingin.
2. Secara visual gaya thermophoresis dapat dibuktikan, tetapi secara data distribusi asap tidak merata sehingga gas sensor tidak mendeteksi asap dengan baik.
3. *Thermal precipitator* plat vertikal dapat digunakan sebagai *smoke collector*, namun perlu dilakukan penelitian kembali dengan pengembangan dari penelitian sebelumnya.

5.2 SARAN

Saran yang perlu disampaikan antara lain :

1. Untuk memudahkan pembersihan *test section*, maka pada bagian *test section* perlu didesain ulang agar mudah di buka tutup.
2. Posisi sensor perlu diperhatikan agar dapat mendeteksi distribusi asap yang tidak rata.

DAFTAR PUSTAKA

- Artono Koestoer, Raldi. *Pengukuran Teknik*. Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Depok. 2003.
- Cipolla, John., Ahmed Busnaina and Nicol McGruer., *The Transport of Contaminants in Thin Film Deposition Processes*. Northeastern University, 2001.
- Farida. *Pencemaran Udara dan Permasalahannya*. Makalah Pribadi Pengantar ke Falsafah Sains. Institut Pertanian Bogor
- Holman, J. P., *Experimental Methods for Engineers*, 7th edition, McGraw Hill, New York.2001.
- I.H., Imansyah dkk. *Simulation of Thermophoretic Force in Horizontal Plate Dust Collector*. Jurnal Teknologi. Edisi No 2 Tahun XXII Juni 2008. 100-107 ISSN 0215-1685
- Parameter Pencemar Udara Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan.2005
- Pohan, Nurhasmawaty. *Pencemaran Udara*. Program Studi Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara. 2004
- Ramadhana, Abidzar.*Karakterisasi Thermal Precipitator Sebagai Smoke Collector Berbasis Thermophoretic Force*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, 2008.
- Riesto., *Rancang Bangun Thermal Precipitator Sebagai Smoke Collector Berbasis Thermophoretic Force*, Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, 2007.
- Susanna, D et al., *Penentuan Kadar Nikotin Dalam Asap Rokok*, Jurnal Ilmiah Makara, Vol.7 No.2 Desember 2003 Seri Kesehatan
- X. Wu, E. Sacher, dan M. Meunier. *Thermophoretic Control of Submicron-sized Particulate Recontamination*. J. Adhesion. (2001). Vol. 75, pp. 341 -350
- Yang Ruichang, Liu Ruolei, Zhou Tao, Zhao Lei. *Kinematic Characteristics and Thermophoretic Deposition of Inhalable Particles in Turbulent Duct Flow**. Chinese Journal of Chemical Engineering, 16(2) 192—197 (2008)
- <http://geo.ugm.ac.id/archives/69> diakses tanggal 22 Mei 2010
- <http://www.figarosensor.com/products/2600pdf.pdf> diakses tanggal 2 Juni 2010
- http://www.wikipedia.com/air_polution/ diakses tanggal 3 Juni 2010

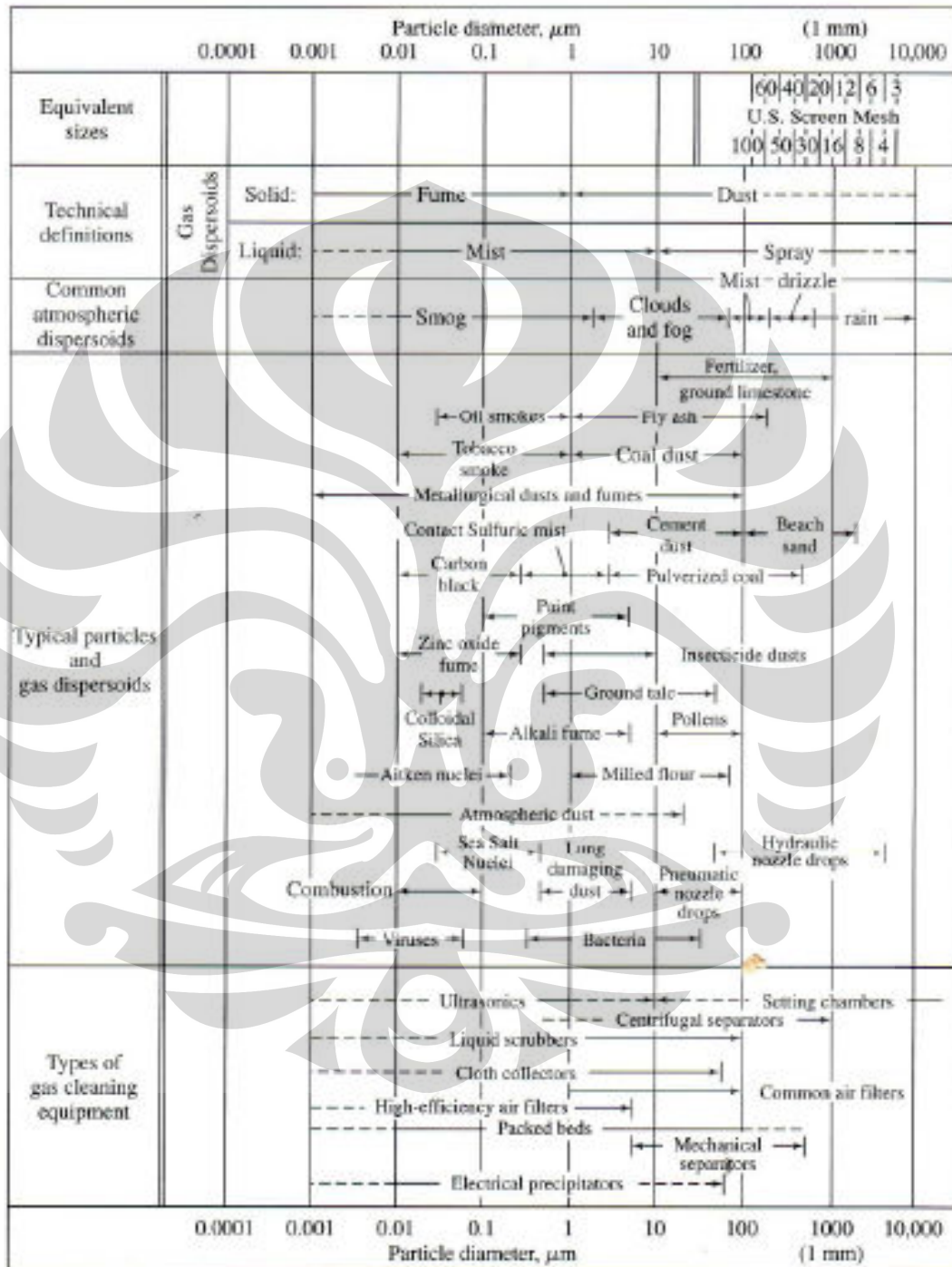
<http://www.antarajatim.com/lihat/berita/18640/lihat/kategori/88/lihat/kategori/14/TNIPolri> diakses tanggal 16 Juni 2010

<http://sophia.dagdigdug.com/archives/95> diakses tanggal 16 juni 2010



Lampiran 1

Characteristics Particulate Matter

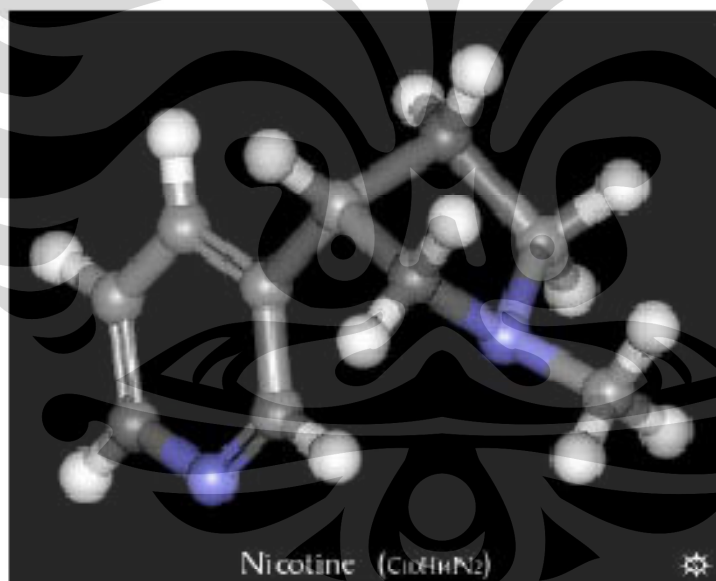


Lampiran 2

Tobacco Chemistry

by Erowid

NAME :	Nicotine
CHEMICAL NAME :	(S)-3-(1-Methyl-2-pyrrolidinyl)pyridine
ALTERNATE CHEMICAL NAMES :	1-methyl-2-(3-pyridyl)pyrrolidine; β -pyridyl-alpha-N-methylpyrrolidine
ALTERNATE CHEMICAL NAMES :	Habitrol; Nicabate; Nicoderm; Nicolan; Nicopatch; Nicotell TTS; Nicotinell; Tabazur.
CHEMICAL FORMULA	C ₁₀ H ₁₄ N ₂
MOLECULAR WEIGHT	162.23
BOILING POINT ⁷⁴⁵	247° C
BOILING POINT ¹⁷	123-125° C
LD50	(mice) .3 mg/kg iv; 9.5 mg/kg i.p.; 230 mg/kg oral
<u>From the Merck Index 12th Edition</u>	



Nicotine Material Safety Data Sheets (various)

Lampiran 3

TGS 2600 - for the detection of Air Contaminants

Features:

- * Low power consumption
- * High sensitivity to gaseous air contaminants
- * Long life and low cost
- * Uses simple electrical circuit
- * Small size

Applications:

- * Air cleaners
- * Ventilation control
- * Air quality monitors

The sensing element is comprised of a metal oxide semiconductor layer formed on an alumina substrate of a sensing chip together with an integrated heater. In the presence of a detectable gas, the sensor's conductivity increases depending on the gas concentration in the air. A simple electrical circuit can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to the gas concentration.

The TGS 2600 has high sensitivity to low concentrations of gaseous air contaminants such as hydrogen and carbon monoxide which exist in cigarette smoke. The sensor can detect hydrogen at a level of several ppm. Figaro also offers a microprocessor (FIC02667) which contains special software for handling the sensor's signal for appliance control applications.

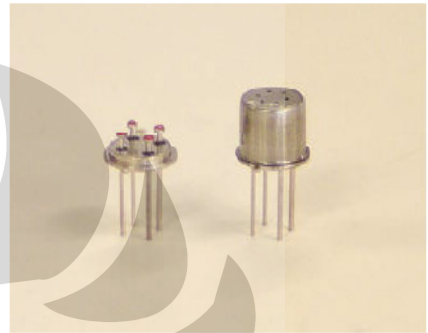
Due to miniaturization of the sensing chip, TGS 2600 requires a heater current of only 42mA and the device is housed in a standard TO-5 package.

The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (R_s/R_0) which is defined as follows:

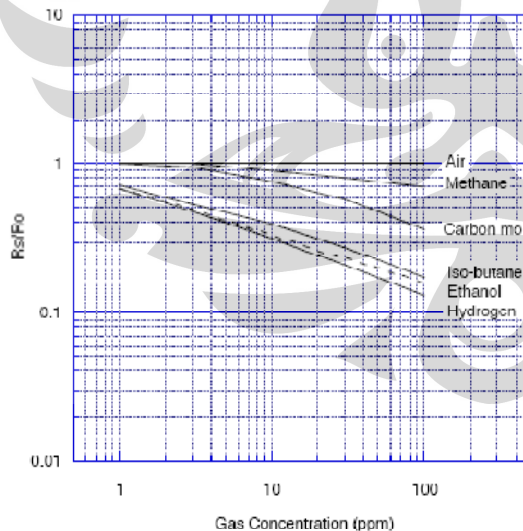
- R_s = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
- R_0 = Sensor resistance in fresh air

The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y axis is indicated as sensor resistance ratio (R_s/R_0), defined as follows:

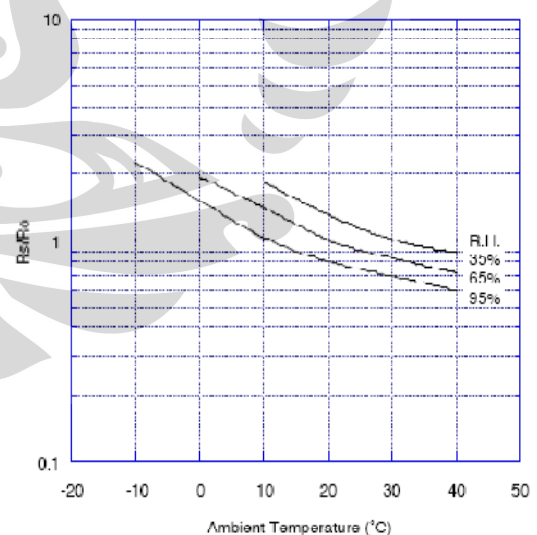
- R_s = Sensor resistance in fresh air at various temperatures/humidities
- R_0 = Sensor resistance in fresh air at 20°C and 65% R.H.



Sensitivity Characteristics:



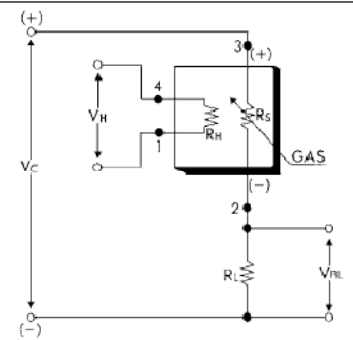
Temperature/Humidity Dependency:



Basic Measuring Circuit:

The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). The heater voltage (V_H) is applied to the integrated heater in order to maintain the sensing element at a specific temperature which is optimal for sensing. Circuit voltage (V_C) is applied to allow measurement of voltage (V_{out}) across a load resistor (R_L) which is connected in series with the sensor. DC voltage is required for the circuit

voltage since the sensor has a polarity. A common power supply circuit can be used for both V_C and V_H to fulfill the sensor's electrical requirements. The value of the load resistor (R_L) should be chosen to optimize the alarm threshold value, keeping power consumption (P_s) of the semiconductor below a limit of 15mW. Power consumption (P_s) will be highest when the value of R_s is equal to R_L on exposure to gas.

**Specifications:**

Model number		TGS 2600-B00	
Sensing element type		D1	
Standard package		TO-5 metal can	
Target gases		Air contaminants	
Typical detection range		1 ~ 30 ppm of H ₂	
Standard circuit conditions	Heater voltage	V_H	5.0±0.2V DC/AC
	Circuit voltage	V_C	5.0±0.2V DC $P_s \leq 15mW$
	Load resistance	R_L	Variable 0.45kΩ min.
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	approx. 83Ω at room temp. (typical)
	Heater current	I_H	42±4mA
	Heater power consumption	P_H	210mW $V_H=5.0V$ DC
	Sensor resistance	R_S	10k~90kΩ in air
	Sensitivity (change ratio of R_S)		0.3~0.6 $\frac{R_S(10ppm \text{ of } H_2)}{R_S(\text{air})}$
Standard test conditions	Test gas conditions	normal air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	$V_C = 5.0 \pm 0.01V$ DC $V_H = 5.0 \pm 0.05V$ DC	
	Conditioning period before test	7 days	

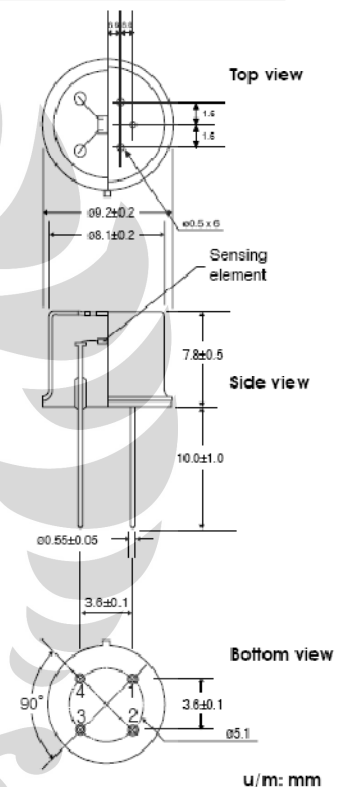
The value of power consumption (P_s) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_s = \frac{(V_C - V_{out})^2}{R_s}$$

Sensor resistance (R_s) is calculated with a measured value of V_{out} by using the following formula:

$$R_s = \frac{V_C \times R_L}{V_{out}} - R_L$$

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc. All sensor characteristics shown in this brochure represent typical characteristics. Actual characteristics vary from sensor to sensor. The only characteristics warranted are those in the Specification table above.

Structure and Dimensions:**Pin connection:**

- 1: Heater
- 2: Sensor electrode (-)
- 3: Sensor electrode (+)
- 4: Heater

FIGARO USA, INC.

121 S. Wilke Rd. Suite 300
Arlington Heights, IL 60005

Phone: (847)-832-1701

Fax: (847)-832-1705

e-mail: figarousa@figarosensor.com

Lampiran 4
Data Hasil Pengujian

Jenis rokok : rokok putih
T* 0

Menit	Second	gas/Rair i	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	
1	30	0.62	21.95	0.59	26.65	0.58	28.43	0.61	23.42	0.61	23.42	0.61	23.42	0.53	39.30	0.56	32.36			
	60	0.62	21.95	0.59	26.65	0.58	28.43	0.61	23.42	0.61	23.42	0.61	23.42	0.54	36.84	0.57	30.33			
	90	0.62	21.95	0.59	26.65	0.57	30.33	0.61	23.42	0.61	23.42	0.61	23.42	0.54	36.84	0.57	30.33			
2	120	0.62	21.95	0.59	26.65	0.57	30.33	0.61	23.42	0.61	23.42	0.61	23.42	0.54	36.84	0.57	30.33			
	150	0.61	23.42	0.58	28.43	0.57	30.33	0.61	23.42	0.61	23.42	0.61	23.42	0.53	39.30	0.57	30.33			
	180	0.6	24.98	0.58	28.43	0.56	32.36	0.6	24.98	0.6	24.98	0.6	24.98	0.53	39.30	0.57	30.33			
3	210	0.59	26.65	0.57	30.33	0.55	34.53	0.6	24.98	0.59	26.65	0.58	28.43	0.52	41.93	0.56	32.36			
	240	0.58	28.43	0.56	32.36	0.54	36.84	0.59	26.65	0.58	28.43	0.57	30.33	0.51	44.73	0.55	34.53			
	270	0.57	30.33	0.55	34.53	0.53	39.30	0.58	28.43	0.57	30.33	0.57	30.33	0.5	47.72	0.54	36.84			
4	300	0.56	32.36	0.55	34.53	0.52	41.93	0.58	28.43	0.57	30.33	0.56	32.36	0.5	47.72	0.53	39.30			
	330	0.56	32.36	0.55	34.53	0.52	41.93	0.57	30.33	0.56	32.36	0.56	32.36	0.49	50.91	0.53	39.30			
	360	0.56	32.36	0.55	34.53	0.52	41.93	0.57	30.33	0.56	32.36	0.56	32.36	0.49	50.91	0.53	39.30			
5	390	0.55	34.53	0.54	36.84	0.51	44.73	0.57	30.33	0.56	32.36	0.56	32.36	0.49	50.91	0.53	39.30			
	420	0.54	36.84	0.53	39.30	0.51	44.73	0.56	32.36	0.55	34.53	0.55	34.53	0.49	50.91	0.52	41.93			
	450	0.53	39.30	0.53	39.30	0.5	47.72	0.55	34.53	0.54	36.84	0.54	36.84	0.48	54.32	0.51	44.73			
6	480	0.53	39.30	0.52	41.93	0.49	50.91	0.55	34.53	0.54	36.84	0.54	36.84	0.47	57.95	0.51	44.73			
	510	0.52	41.93	0.52	41.93	0.49	50.91	0.54	36.84	0.54	36.84	0.54	36.84	0.47	57.95	0.5	47.72			
	540	0.51	44.73	0.51	44.73	0.48	54.32	0.53	39.30	0.52	41.93	0.52	41.93	0.46	61.82	0.5	47.72			
7	570	0.5	47.72	0.5	47.72	0.47	57.95	0.53	39.30	0.52	41.93	0.52	41.93	0.45	65.96	0.49	50.91			
	600	0.49	50.91	0.5	47.72	0.47	57.95	0.52	41.93	0.51	44.73	0.51	44.73	0.45	65.96	0.48	54.32			
	630	0.49	50.91	0.49	50.91	0.46	61.82	0.52	41.93	0.51	44.73	0.51	44.73	0.44	70.37	0.47	57.95			
8	660	0.49	50.91	0.49	50.91	0.46	61.82	0.51	44.73	0.51	44.73	0.51	44.73	0.44	70.37	0.47	57.95			
	690	0.49	50.91	0.49	50.91	0.46	61.82	0.51	44.73	0.51	44.73	0.51	44.73	0.44	70.37	0.47	57.95			
	720	0.48	54.32	0.49	50.91	0.46	61.82	0.51	44.73	0.51	44.73	0.51	44.73	0.43	75.07	0.47	57.95			
9	750	0.48	54.32	0.49	50.91	0.46	61.82	0.51	44.73	0.51	44.73	0.51	44.73	0.43	75.07	0.47	57.95			
	780	0.48	54.32	0.48	54.32	0.45	65.96	0.51	44.73	0.51	44.73	0.51	44.73	0.43	75.07	0.47	57.95			
	810	0.47	57.95	0.48	54.32	0.45	65.96	0.5	47.72	0.49	50.91	0.49	50.91	0.43	75.07	0.46	61.82			
10	840	0.47	57.95	0.47	57.95	0.44	70.37	0.5	47.72	0.49	50.91	0.49	50.91	0.42	80.09	0.45	65.96			
	870	0.47	57.95	0.47	57.95	0.44	70.37	0.5	47.72	0.49	50.91	0.49	50.91	0.42	80.09	0.45	65.96			
	900	0.46	61.82	0.47	57.95	0.44	70.37	0.49	50.91	0.48	54.32	0.48	54.32	0.42	80.09	0.45	65.96			

Jenis rokok : rokok putih

T* 0.48

Menit	Second	gas/Rair t	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair o	ppm
1	30	0.51	44.73	0.54	36.84	0.47	57.95	0.58	28.43	0.54	36.84	0.49	50.91	0.51	44.73
	60	0.49	50.91	0.52	41.93	0.45	65.96	0.56	32.36	0.52	41.93	0.46	61.82	0.49	50.91
2	90	0.47	57.95	0.5	47.72	0.46	61.82	0.51	44.73	0.51	44.73	0.42	80.09	0.45	65.96
	120	0.46	61.82	0.5	47.72	0.45	65.96	0.51	44.73	0.5	47.72	0.41	85.45	0.44	70.37
3	150	0.45	65.96	0.49	50.91	0.45	65.96	0.5	47.72	0.49	50.91	0.4	91.16	0.43	75.07
	180	0.45	65.96	0.48	54.32	0.44	70.37	0.49	50.91	0.49	50.91	0.39	97.26	0.42	80.09
4	210	0.45	65.96	0.48	54.32	0.44	70.37	0.49	50.91	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
	240	0.45	65.96	0.48	54.32	0.44	70.37	0.49	50.91	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
5	270	0.45	65.96	0.48	54.32	0.44	70.37	0.5	47.72	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
	300	0.45	65.96	0.49	50.91	0.44	70.37	0.5	47.72	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
6	330	0.45	65.96	0.48	54.32	0.44	70.37	0.49	50.91	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
	360	0.45	65.96	0.48	54.32	0.44	70.37	0.49	50.91	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
7	390	0.45	65.96	0.48	54.32	0.43	75.07	0.49	50.91	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
	420	0.44	70.37	0.48	54.32	0.43	75.07	0.49	50.91	0.48	54.32	0.39	97.26	0.42	80.09
8	450	0.44	70.37	0.47	57.95	0.43	75.07	0.49	50.91	0.47	57.95	0.38	103.76	0.41	85.45
	480	0.44	70.37	0.47	57.95	0.43	75.07	0.49	50.91	0.47	57.95	0.38	103.76	0.41	85.45
9	510	0.44	70.37	0.47	57.95	0.43	75.07	0.48	54.32	0.47	57.95	0.38	103.76	0.41	85.45
	540	0.44	70.37	0.47	57.95	0.43	75.07	0.48	54.32	0.47	57.95	0.38	103.76	0.41	85.45
10	570	0.43	75.07	0.47	57.95	0.42	80.09	0.48	54.32	0.47	57.95	0.38	103.76	0.41	85.45
	600	0.43	75.07	0.47	57.95	0.42	80.09	0.48	54.32	0.47	57.95	0.38	103.76	0.41	85.45
11	630	0.43	75.07	0.47	57.95	0.42	80.09	0.48	54.32	0.47	57.95	0.38	103.76	0.41	85.45
	660	0.43	75.07	0.46	61.82	0.42	80.09	0.47	57.95	0.46	61.82	0.37	110.70	0.4	91.16
12	690	0.43	75.07	0.46	61.82	0.42	80.09	0.47	57.95	0.46	61.82	0.37	110.70	0.4	91.16
	720	0.44	70.37	0.47	57.95	0.42	80.09	0.47	57.95	0.46	61.82	0.37	110.70	0.4	91.16
13	750	0.43	75.07	0.46	61.82	0.42	80.09	0.46	61.82	0.45	65.96	0.37	110.70	0.39	97.26
	780	0.43	75.07	0.46	61.82	0.43	75.07	0.46	61.82	0.46	61.82	0.36	118.10	0.39	97.26
14	810	0.42	80.09	0.46	61.82	0.43	75.07	0.47	57.95	0.47	57.95	0.36	118.10	0.39	97.26
	840	0.42	80.09	0.45	65.96	0.44	70.37	0.47	57.95	0.46	61.82	0.36	118.10	0.38	103.76
15	870	0.41	85.45	0.45	65.96	0.42	80.09	0.47	57.95	0.46	61.82	0.36	118.10	0.38	103.76
	900	0.41	85.45	0.45	65.96	0.41	85.45	0.46	61.82	0.45	65.96	0.35	126.00	0.38	103.76

Jenis rokok : rokok putih

T* 0.83

Menit	Second	gas/Rair t	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	
1	30	0.48	54.32	0.53	39.30	0.4	91.16	0.58	28.43	0.54	36.84	0.49	50.91	0.49	50.91	0.49	50.91	0.49	50.91	50.91
	60	0.46	61.82	0.51	44.73	0.42	80.09	0.56	32.36	0.52	41.93	0.45	65.96	0.46	65.96	0.46	65.96	0.46	65.96	61.82
2	90	0.45	65.96	0.5	47.72	0.41	85.45	0.55	34.53	0.51	44.73	0.44	70.37	0.45	70.37	0.45	70.37	0.45	70.37	65.96
	120	0.46	61.82	0.5	47.72	0.41	85.45	0.55	34.53	0.51	44.73	0.43	75.07	0.44	75.07	0.44	75.07	0.44	75.07	70.37
3	150	0.45	65.96	0.49	50.91	0.41	85.45	0.54	36.84	0.5	47.72	0.43	75.07	0.44	75.07	0.44	75.07	0.44	75.07	70.37
	180	0.44	70.37	0.48	54.32	0.4	91.16	0.53	39.30	0.49	50.91	0.42	80.09	0.43	80.09	0.43	80.09	0.43	80.09	75.07
4	210	0.44	70.37	0.48	54.32	0.4	91.16	0.53	39.30	0.49	50.91	0.42	80.09	0.43	80.09	0.43	80.09	0.43	80.09	80.09
	240	0.43	75.07	0.47	57.95	0.39	97.26	0.52	41.93	0.49	50.91	0.41	85.45	0.42	85.45	0.42	85.45	0.42	85.45	75.07
5	270	0.43	75.07	0.47	57.95	0.39	97.26	0.52	41.93	0.48	54.32	0.41	85.45	0.43	85.45	0.43	85.45	0.43	85.45	80.09
	300	0.42	80.09	0.46	61.82	0.39	97.26	0.52	41.93	0.48	54.32	0.4	91.16	0.42	91.16	0.42	91.16	0.42	91.16	85.45
6	330	0.42	80.09	0.46	61.82	0.38	103.76	0.51	44.73	0.48	54.32	0.4	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	85.45
	360	0.42	80.09	0.46	61.82	0.38	103.76	0.51	44.73	0.47	57.95	0.4	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	85.45
7	390	0.42	80.09	0.46	61.82	0.38	103.76	0.51	44.73	0.47	57.95	0.4	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	85.45
	420	0.42	80.09	0.46	61.82	0.38	103.76	0.51	44.73	0.47	57.95	0.4	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	85.45
8	450	0.42	80.09	0.46	61.82	0.38	103.76	0.51	44.73	0.47	57.95	0.4	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	0.41	91.16	85.45
	480	0.41	85.45	0.45	65.96	0.37	110.70	0.5	47.72	0.47	57.95	0.39	97.26	0.4	97.26	0.4	97.26	0.4	97.26	91.16
9	510	0.41	85.45	0.45	65.96	0.37	110.70	0.5	47.72	0.47	57.95	0.39	97.26	0.4	97.26	0.4	97.26	0.4	97.26	91.16
	540	0.41	85.45	0.45	65.96	0.37	110.70	0.5	47.72	0.46	61.82	0.39	97.26	0.39	97.26	0.39	97.26	0.39	97.26	97.26
10	570	0.41	85.45	0.45	65.96	0.37	110.70	0.5	47.72	0.46	61.82	0.39	97.26	0.39	97.26	0.39	97.26	0.39	97.26	97.26
	600	0.4	91.16	0.44	70.37	0.36	118.10	0.49	50.91	0.46	61.82	0.38	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	97.26
11	630	0.39	97.26	0.44	70.37	0.35	126.00	0.49	50.91	0.45	65.96	0.37	110.70	0.38	110.70	0.38	110.70	0.38	110.70	103.76
	660	0.39	97.26	0.43	75.07	0.35	126.00	0.49	50.91	0.44	70.37	0.36	118.10	0.38	118.10	0.38	118.10	0.38	118.10	103.76
12	690	0.38	103.76	0.42	80.09	0.35	126.00	0.49	50.91	0.44	70.37	0.36	118.10	0.37	118.10	0.37	118.10	0.37	118.10	110.70
	720	0.37	110.70	0.41	85.45	0.35	126.00	0.47	57.95	0.43	75.07	0.35	126.00	0.36	126.00	0.36	126.00	0.36	126.00	118.10
13	750	0.37	110.70	0.41	85.45	0.37	110.70	0.46	61.82	0.43	75.07	0.35	126.00	0.35	126.00	0.35	126.00	0.35	126.00	126.00
	780	0.42	80.09	0.42	80.09	0.37	110.70	0.46	61.82	0.43	75.07	0.35	126.00	0.35	126.00	0.35	126.00	0.35	126.00	126.00
14	810	0.39	97.26	0.44	70.37	0.37	110.70	0.5	47.72	0.45	65.96	0.38	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	97.26
	840	0.4	91.16	0.44	70.37	0.37	110.70	0.49	50.91	0.45	65.96	0.38	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	97.26
15	870	0.42	80.09	0.45	65.96	0.37	110.70	0.5	47.72	0.46	61.82	0.38	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	0.39	103.76	97.26
	900	0.36	118.10	0.42	80.09	0.35	126.00	0.47	57.95	0.44	70.37	0.37	110.70	0.37	110.70	0.37	110.70	0.37	110.70	110.70

Jenis rokok : rokok putih

T*1.3

Menit	Second	gas/Rair t	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair o	ppm
1	30	0.56	32.36	0.56	32.36	0.54	36.84	0.59	26.65	0.57	30.33	0.51	44.73	0.52	41.93
	60	0.55	34.53	0.55	34.53	0.53	39.30	0.58	28.43	0.56	32.36	0.5	47.72	0.5	47.72
2	90	0.54	36.84	0.55	34.53	0.53	39.30	0.57	30.33	0.55	34.53	0.49	50.91	0.5	47.72
	120	0.53	39.30	0.53	39.30	0.5	47.72	0.56	32.36	0.54	36.84	0.48	54.32	0.49	50.91
3	150	0.51	44.73	0.52	41.93	0.49	50.91	0.55	34.53	0.53	39.30	0.46	61.82	0.47	57.95
	180	0.51	44.73	0.51	44.73	0.47	57.95	0.54	36.84	0.52	41.93	0.45	65.96	0.46	61.82
4	210	0.5	47.72	0.51	44.73	0.47	57.95	0.53	39.30	0.52	41.93	0.45	65.96	0.45	65.96
	240	0.49	50.91	0.5	47.72	0.45	65.96	0.52	41.93	0.51	44.73	0.44	70.37	0.44	70.37
5	270	0.48	54.32	0.49	50.91	0.45	65.96	0.52	41.93	0.5	47.72	0.44	70.37	0.44	70.37
	300	0.48	54.32	0.49	50.91	0.46	61.82	0.52	41.93	0.5	47.72	0.43	75.07	0.43	75.07
6	330	0.48	54.32	0.49	50.91	0.46	61.82	0.51	44.73	0.5	47.72	0.43	75.07	0.43	75.07
	360	0.48	54.32	0.49	50.91	0.46	61.82	0.52	41.93	0.5	47.72	0.43	75.07	0.43	75.07
7	390	0.49	50.91	0.49	50.91	0.46	61.82	0.52	41.93	0.5	47.72	0.43	75.07	0.43	75.07
	420	0.49	50.91	0.49	50.91	0.46	61.82	0.52	41.93	0.5	47.72	0.43	75.07	0.44	70.37
8	450	0.48	54.32	0.49	50.91	0.46	61.82	0.51	44.73	0.5	47.72	0.43	75.07	0.43	75.07
	480	0.47	57.95	0.48	54.32	0.45	65.96	0.5	47.72	0.49	50.91	0.42	80.09	0.42	80.09
9	510	0.46	61.82	0.47	57.95	0.46	61.82	0.5	47.72	0.48	54.32	0.41	85.45	0.42	80.09
	540	0.46	61.82	0.47	57.95	0.45	65.96	0.49	50.91	0.48	54.32	0.41	85.45	0.41	85.45
10	570	0.45	65.96	0.46	61.82	0.44	70.37	0.49	50.91	0.48	54.32	0.41	85.45	0.41	85.45
	600	0.45	65.96	0.46	61.82	0.44	70.37	0.49	50.91	0.47	57.95	0.4	91.16	0.4	91.16
11	630	0.45	65.96	0.46	61.82	0.45	65.96	0.49	50.91	0.47	57.95	0.4	91.16	0.4	91.16
	660	0.45	65.96	0.46	61.82	0.44	70.37	0.48	54.32	0.47	57.95	0.4	91.16	0.4	91.16
12	690	0.45	65.96	0.46	61.82	0.44	70.37	0.49	50.91	0.47	57.95	0.4	91.16	0.4	91.16
	720	0.45	65.96	0.46	61.82	0.44	70.37	0.48	54.32	0.47	57.95	0.4	91.16	0.4	91.16
13	750	0.45	65.96	0.46	61.82	0.44	70.37	0.48	54.32	0.47	57.95	0.4	91.16	0.4	91.16
	780	0.44	70.37	0.46	61.82	0.44	70.37	0.48	54.32	0.47	57.95	0.4	91.16	0.4	91.16
14	810	0.44	70.37	0.45	65.96	0.44	70.37	0.48	54.32	0.47	57.95	0.39	97.26	0.4	91.16
	840	0.44	70.37	0.45	65.96	0.43	75.07	0.48	54.32	0.46	61.82	0.39	97.26	0.39	97.26
15	870	0.43	75.07	0.45	65.96	0.43	75.07	0.47	57.95	0.46	61.82	0.39	97.26	0.39	97.26
	900	0.42	80.09	0.44	70.37	0.43	75.07	0.47	57.95	0.46	61.82	0.38	103.76	0.39	97.26

Jenis rokok : rokok putih

T* 1.7

Menit	Second	gas/Rair t	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair o	ppm
1	30	0.55	34.53	0.56	47.72	0.58	28.43	0.56	32.36	0.5	47.72	0.52	41.93	0.52	41.93
	60	0.54	36.84	0.55	47.72	0.57	30.33	0.55	34.53	0.49	50.91	0.51	44.73	0.51	44.73
2	90	0.54	36.84	0.54	54.32	0.57	30.33	0.54	36.84	0.48	54.32	0.5	47.72	0.5	47.72
	120	0.52	41.93	0.53	54.32	0.55	34.53	0.54	36.84	0.48	54.32	0.49	50.91	0.48	50.91
3	150	0.51	44.73	0.52	57.95	0.55	34.53	0.53	39.30	0.47	57.95	0.48	54.32	0.48	54.32
	180	0.5	47.72	0.52	57.95	0.54	36.84	0.53	39.30	0.47	57.95	0.48	54.32	0.48	54.32
4	210	0.5	47.72	0.51	57.95	0.54	36.84	0.52	41.93	0.47	57.95	0.47	57.95	0.47	57.95
	240	0.5	47.72	0.51	57.95	0.54	36.84	0.52	41.93	0.47	57.95	0.47	57.95	0.47	57.95
5	270	0.5	47.72	0.51	57.95	0.53	39.30	0.52	41.93	0.47	57.95	0.46	61.82	0.46	61.82
	300	0.5	47.72	0.51	57.95	0.53	39.30	0.52	41.93	0.47	57.95	0.46	61.82	0.46	61.82
6	330	0.49	50.91	0.51	61.82	0.53	39.30	0.51	44.73	0.46	61.82	0.46	61.82	0.46	61.82
	360	0.49	50.91	0.5	61.82	0.53	39.30	0.51	44.73	0.46	61.82	0.46	61.82	0.46	61.82
7	390	0.49	50.91	0.5	61.82	0.53	39.30	0.51	44.73	0.46	61.82	0.46	61.82	0.46	61.82
	420	0.48	54.32	0.5	61.82	0.52	41.93	0.51	44.73	0.46	61.82	0.46	61.82	0.46	61.82
8	450	0.48	54.32	0.5	61.82	0.52	41.93	0.51	44.73	0.46	61.82	0.46	61.82	0.46	61.82
	480	0.48	54.32	0.49	65.96	0.52	41.93	0.5	47.72	0.45	70.37	0.45	65.96	0.45	65.96
9	510	0.47	57.95	0.49	70.37	0.51	44.73	0.5	47.72	0.44	70.37	0.45	65.96	0.45	65.96
	540	0.48	54.32	0.49	70.37	0.51	44.73	0.5	47.72	0.44	70.37	0.44	70.37	0.44	70.37
10	570	0.48	54.32	0.49	70.37	0.51	44.73	0.5	47.72	0.44	70.37	0.45	65.96	0.45	65.96
	600	0.48	54.32	0.49	70.37	0.51	44.73	0.5	47.72	0.44	70.37	0.45	65.96	0.45	65.96
11	630	0.46	61.82	0.48	70.37	0.5	47.72	0.49	50.91	0.43	75.07	0.44	70.37	0.44	70.37
	660	0.46	61.82	0.47	70.37	0.5	47.72	0.48	54.32	0.43	75.07	0.43	75.07	0.43	75.07
12	690	0.45	65.96	0.47	75.07	0.49	50.91	0.48	54.32	0.42	80.09	0.42	80.09	0.42	80.09
	720	0.45	65.96	0.47	75.07	0.49	50.91	0.48	54.32	0.42	80.09	0.42	80.09	0.42	80.09
13	750	0.45	65.96	0.46	75.07	0.49	50.91	0.48	54.32	0.42	80.09	0.42	80.09	0.42	80.09
	780	0.45	65.96	0.46	75.07	0.49	50.91	0.47	57.95	0.42	80.09	0.42	80.09	0.42	80.09
14	810	0.44	70.37	0.46	80.09	0.49	50.91	0.47	57.95	0.41	85.45	0.42	80.09	0.42	80.09
	840	0.44	70.37	0.46	80.09	0.48	54.32	0.47	57.95	0.41	85.45	0.41	85.45	0.41	85.45
15	870	0.44	70.37	0.46	80.09	0.48	54.32	0.47	57.95	0.41	85.45	0.41	85.45	0.41	85.45
	900	0.44	70.37	0.46	80.09	0.48	54.32	0.47	57.95	0.41	85.45	0.41	85.45	0.41	85.45

Jenis rokok : rokok putih

T* 2.2

Menit	Second	gas/Rair t	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair o	ppm
1	30	0.7	13.08	0.61	23.42	0.59	26.65	0.66	16.94	0.64	19.28	0.52	41.93	0.58	28.43
	60	0.69	13.95	0.61	23.42	0.6	24.98	0.67	15.88	0.64	19.28	0.52	41.93	0.58	28.43
2	90	0.67	15.88	0.6	24.98	0.58	28.43	0.65	18.07	0.63	20.57	0.51	44.73	0.57	30.33
	120	0.65	18.07	0.59	26.65	0.57	30.33	0.64	19.28	0.61	23.42	0.5	47.72	0.56	32.36
3	150	0.64	19.28	0.57	30.33	0.56	32.36	0.63	20.57	0.6	24.98	0.49	50.91	0.54	36.84
	180	0.63	20.57	0.56	32.36	0.55	34.53	0.61	23.42	0.59	26.65	0.49	50.91	0.53	39.30
4	210	0.62	21.95	0.55	34.53	0.54	36.84	0.6	24.98	0.58	28.43	0.48	54.32	0.53	39.30
	240	0.6	24.98	0.54	36.84	0.53	39.30	0.59	26.65	0.57	30.33	0.47	57.95	0.51	44.73
5	270	0.59	26.65	0.53	39.30	0.52	41.93	0.58	28.43	0.56	32.36	0.46	61.82	0.5	47.72
	300	0.59	26.65	0.53	39.30	0.52	41.93	0.57	30.33	0.55	34.53	0.46	61.82	0.5	47.72
6	330	0.59	26.65	0.52	41.93	0.52	41.93	0.57	30.33	0.55	34.53	0.46	61.82	0.49	50.91
	360	0.58	28.43	0.52	41.93	0.51	44.73	0.56	32.36	0.55	34.53	0.45	65.96	0.49	50.91
7	390	0.57	30.33	0.51	44.73	0.51	44.73	0.56	32.36	0.54	36.84	0.45	65.96	0.48	54.32
	420	0.57	30.33	0.51	44.73	0.51	44.73	0.55	34.53	0.54	36.84	0.44	70.37	0.48	54.32
8	450	0.55	34.53	0.5	47.72	0.5	47.72	0.54	36.84	0.53	39.30	0.45	65.96	0.48	54.32
	480	0.54	36.84	0.5	47.72	0.5	47.72	0.55	34.53	0.53	39.30	0.44	70.37	0.47	57.95
9	510	0.53	39.30	0.5	47.72	0.5	47.72	0.55	34.53	0.53	39.30	0.44	70.37	0.47	57.95
	540	0.52	41.93	0.5	47.72	0.5	47.72	0.54	36.84	0.53	39.30	0.44	70.37	0.47	57.95
10	570	0.52	41.93	0.49	50.91	0.49	50.91	0.54	36.84	0.53	39.30	0.44	70.37	0.46	61.82
	600	0.51	44.73	0.49	50.91	0.49	50.91	0.54	36.84	0.52	41.93	0.43	75.07	0.46	61.82
11	630	0.5	47.72	0.48	54.32	0.48	54.32	0.53	39.30	0.52	41.93	0.43	75.07	0.45	65.96
	660	0.5	47.72	0.48	54.32	0.48	54.32	0.53	39.30	0.51	44.73	0.43	75.07	0.45	65.96
12	690	0.49	50.91	0.48	54.32	0.48	54.32	0.52	41.93	0.51	44.73	0.42	80.09	0.45	65.96
	720	0.49	50.91	0.47	57.95	0.48	54.32	0.52	41.93	0.51	44.73	0.42	80.09	0.44	70.37
13	750	0.48	54.32	0.47	57.95	0.47	57.95	0.52	41.93	0.51	44.73	0.42	80.09	0.44	70.37
	780	0.48	54.32	0.47	57.95	0.47	57.95	0.51	44.73	0.5	47.72	0.41	85.45	0.44	70.37
14	810	0.48	54.32	0.47	57.95	0.47	57.95	0.51	44.73	0.5	47.72	0.41	85.45	0.44	70.37
	840	0.48	54.32	0.47	57.95	0.46	61.82	0.51	44.73	0.5	47.72	0.41	85.45	0.44	70.37
15	870	0.48	54.32	0.47	57.95	0.46	61.82	0.51	44.73	0.5	47.72	0.41	85.45	0.44	70.37
	900	0.48	54.32	0.46	61.82	0.46	61.82	0.51	44.73	0.5	47.72	0.41	85.45	0.43	75.07

Jenis rokok : rokok putih

T* 2.6

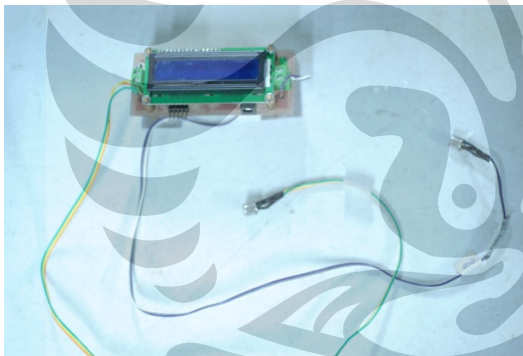
Menit	Second	gas/Rair t	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair	ppm	gas/Rair o	ppm
1	30	0.64	19.28	0.57	30.33	0.53	39.30	0.56	32.36	0.55	34.53	0.5	47.72	0.5	47.72
	60	0.63	20.57	0.57	30.33	0.52	41.93	0.56	32.36	0.54	36.84	0.5	47.72	0.5	47.72
2	90	0.62	21.95	0.56	32.36	0.52	41.93	0.55	34.53	0.54	36.84	0.49	50.91	0.49	50.91
	120	0.62	21.95	0.56	32.36	0.51	44.73	0.55	34.53	0.53	39.30	0.49	50.91	0.49	50.91
3	150	0.62	21.95	0.56	32.36	0.51	44.73	0.55	34.53	0.53	39.30	0.48	54.32	0.49	50.91
	180	0.61	23.42	0.55	34.53	0.51	44.73	0.54	36.84	0.53	39.30	0.48	54.32	0.49	50.91
4	210	0.61	23.42	0.55	34.53	0.5	47.72	0.54	36.84	0.53	39.30	0.48	54.32	0.48	54.32
	240	0.6	24.98	0.54	36.84	0.5	47.72	0.53	39.30	0.52	41.93	0.47	57.95	0.48	54.32
5	270	0.58	28.43	0.53	39.30	0.49	50.91	0.52	41.93	0.51	44.73	0.46	61.82	0.47	57.95
	300	0.57	30.33	0.53	39.30	0.48	54.32	0.52	41.93	0.51	44.73	0.46	61.82	0.46	61.82
6	330	0.57	30.33	0.52	41.93	0.48	54.32	0.51	44.73	0.5	47.72	0.45	65.96	0.46	61.82
	360	0.56	32.36	0.52	41.93	0.48	54.32	0.51	44.73	0.5	47.72	0.45	65.96	0.46	61.82
7	390	0.56	32.36	0.52	41.93	0.47	57.95	0.51	44.73	0.5	47.72	0.45	65.96	0.45	65.96
	420	0.54	36.84	0.51	44.73	0.46	61.82	0.5	47.72	0.49	50.91	0.44	70.37	0.44	70.37
8	450	0.53	39.30	0.5	47.72	0.45	65.96	0.49	50.91	0.48	54.32	0.43	75.07	0.43	75.07
	480	0.53	39.30	0.5	47.72	0.45	65.96	0.49	50.91	0.48	54.32	0.43	75.07	0.43	75.07
9	510	0.52	41.93	0.49	50.91	0.45	65.96	0.49	50.91	0.48	54.32	0.43	75.07	0.43	75.07
	540	0.51	44.73	0.49	50.91	0.44	70.37	0.48	54.32	0.47	57.95	0.42	80.09	0.43	75.07
10	570	0.5	47.72	0.48	54.32	0.43	75.07	0.47	57.95	0.47	57.95	0.42	80.09	0.42	80.09
	600	0.5	47.72	0.48	54.32	0.43	75.07	0.47	57.95	0.46	61.82	0.41	85.45	0.42	80.09
11	630	0.5	47.72	0.48	54.32	0.43	75.07	0.47	57.95	0.46	61.82	0.41	85.45	0.41	85.45
	660	0.5	47.72	0.48	54.32	0.43	75.07	0.47	57.95	0.46	61.82	0.41	85.45	0.42	80.09
12	690	0.5	47.72	0.48	54.32	0.43	75.07	0.47	57.95	0.46	61.82	0.41	85.45	0.41	85.45
	720	0.49	50.91	0.48	54.32	0.42	80.09	0.47	57.95	0.46	61.82	0.41	85.45	0.41	85.45
13	750	0.48	54.32	0.47	57.95	0.41	85.45	0.46	61.82	0.45	65.96	0.4	91.16	0.41	85.45
	780	0.48	54.32	0.47	57.95	0.41	85.45	0.46	61.82	0.45	65.96	0.4	91.16	0.4	91.16
14	810	0.48	54.32	0.47	57.95	0.41	85.45	0.46	61.82	0.45	65.96	0.4	91.16	0.4	91.16
	840	0.47	57.95	0.46	61.82	0.4	91.16	0.46	61.82	0.45	65.96	0.39	97.26	0.4	91.16
15	870	0.46	61.82	0.46	61.82	0.39	97.26	0.45	65.96	0.44	70.37	0.39	97.26	0.39	97.26
	900	0.45	65.96	0.45	65.96	0.38	103.76	0.45	65.96	0.44	70.37	0.38	103.76	0.38	103.76

Lampiran 5

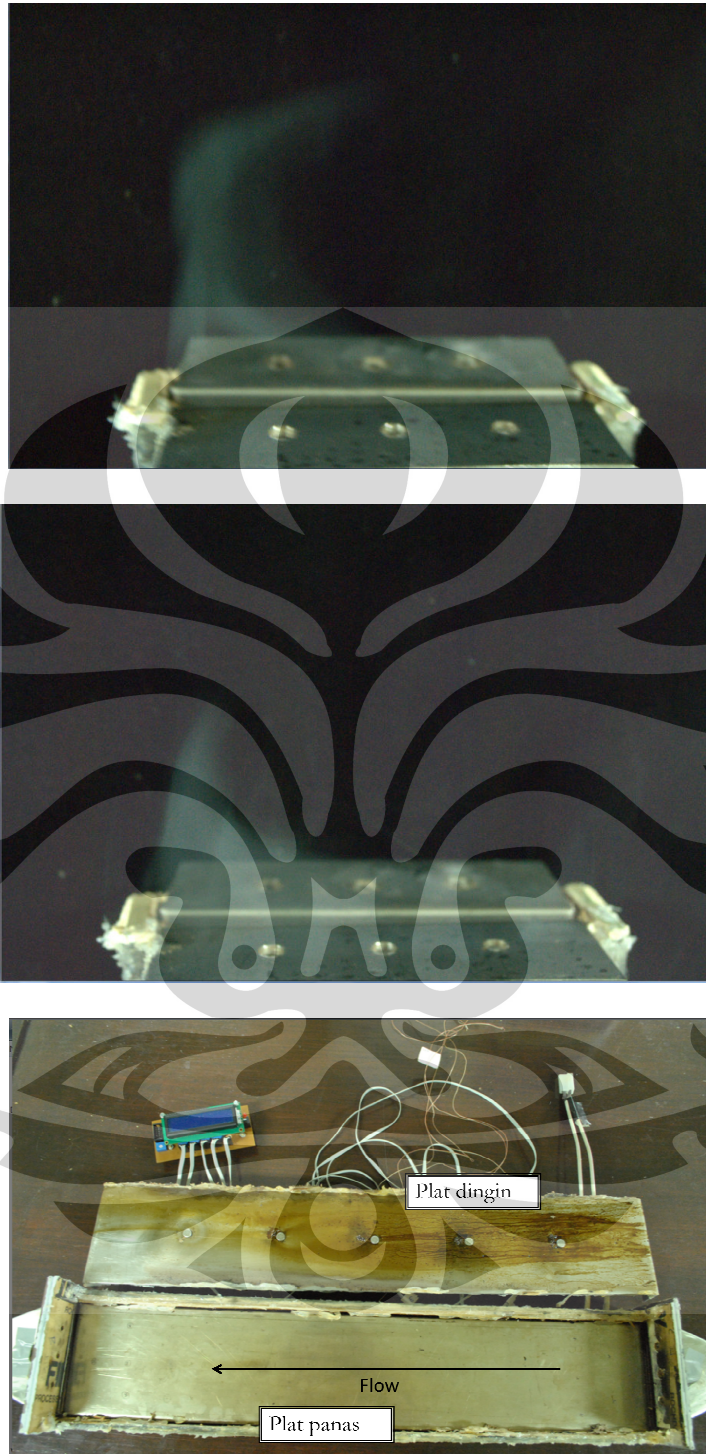
Foto-Foto



Partikel yang dapat terdeposisi



Rangkaian gas sensor



Gambar di atas membuktikan distribusi asap tidak merata