



UNIVERSITAS INDONESIA

**REDESAIN DAN MANUFAKTUR *THERMAL PRECIPITATOR*
SEBAGAI *SMOKE COLLECTOR* BERBASIS
*THERMOPHORETIC FORCE***

SKRIPSI

MOKHAMAD DYANS LAZUARDY

NPM : 0606042084

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**REDESAIN DAN MANUFAKTUR *THERMAL PRECIPITATOR*
SEBAGAI *SMOKE COLLECTOR* BERBASIS
*THERMOPHORETIC FORCE***

SKRIPSI

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

MOKHAMAD DYANS LAZUARDY

NPM : 0606042084

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

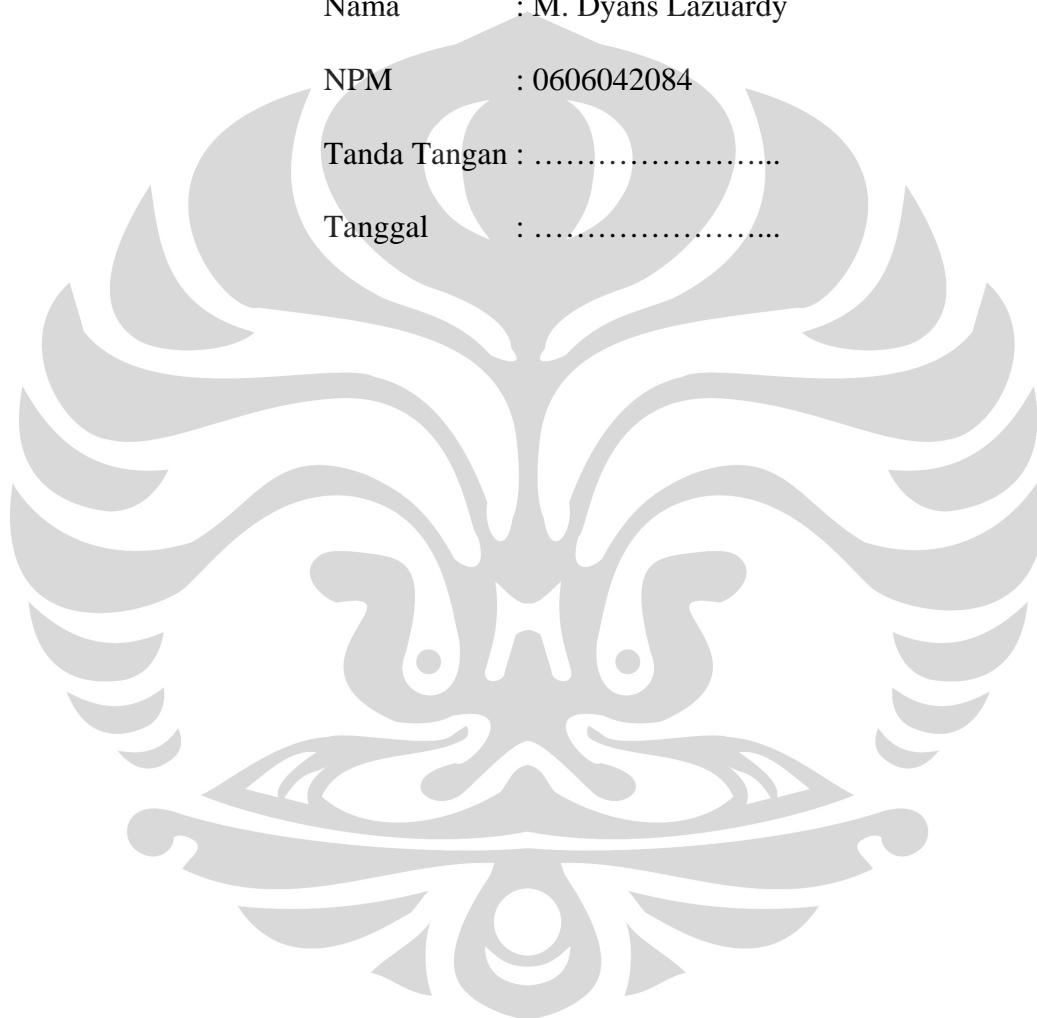
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : M. Dyans Lazuardy

NPM : 0606042084

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : M. Dyans Lazuardy
NPM : 0606042084
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Redesain dan Manufaktur *Thermal Precipitator*
Sebagai *Smoke Collector* Berbasis *Thermophoretic Force*

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. Danardono Agus S. DEA. (.....)
Penguji : Ir. Yulianto S. Nugroho MSc. PhD (.....)
Penguji : Dr. Ir. Engkos Ahmad Kosasih MT. (.....)

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, 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 untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (3) kepada para sahabat saya yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 5 Januari 2009

Penulis

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

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

Nama : M. Dyans Lazuardy

NPM : 060602084

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 : **Redesain dan Manufaktur *Thermal Precipitator* Sebagai *Smoke Collector* Berbasis *Thermophoretic Force***, 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 : 5 Januari 2009

Yang menyatakan

(M. Dyans Lazuardy)

ABSTRAK

Nama : M. Dyans Lazuardy
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : REDESAIN DAN MANUFAKTUR *THERMAL PRECIPITATOR*
SEBAGAI *SMOKE COLLECTOR* BERBASIS
THERMOPHORETIC FORCE

Salah satu unsur yang sangat penting untuk mempertahankan kehidupan umat manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan adalah udara, namun seiring dengan berkembangnya kehidupan manusia maka semakin banyak pencemaran yang dihasilkannya, salah satu hasil pencemaran yang umum terjadi dalam masyarakat adalah polutan dari asap rokok. Partikel dari asap rokok tersebut dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan pada manusia..

Salah satu cara untuk mengurangi pencemaran udara akibat asap rokok adalah dengan mendepositkan partikel-partikel dari asap rokok tersebut sehingga kebersihan udara sekitar dapat tetap terjaga.

Oleh karena itu dibuatlah suatu alat uji untuk mendepositkan partikel-partikel tersebut dengan menggunakan gaya thermophoresis dan metoda untuk mengukur jumlah partikel-partikel tersebut. Gaya thermophoresis adalah gaya yang terjadi pada partikel yang disebabkan adanya gradien temperatur. Alat uji ini dinamakan *thermal precipitator* dimana partikel asap rokok yang melewati alat ini akan tersaring sehingga pencemaran udara yang diakibatkan oleh asap rokok ini dapat teratasi.

Kata kunci:
thermophoresis, asap rokok, thermal precipitator.

ABSTRACT

Name : M. Dyans Lazuardy
Study Program: Mechanical engineering
Title : REDESIGN AND MANUFACTURE OF THERMAL
PRECIPITATOR AS A SMOKE COLLECTOR BASED ON
THERMOPHORETIC FORCE

One of most important element to maintain a life from humans, animals and plants is an air, but within time, human life has change a lot and created more pollution, one of the pollution that is happening among the society is the pollutant from tobacco smoke. The particles from the smoke could cause so much distraction on human health.

In order to reduce air pollution caused by tobacco smoke, the particles from the tobacco smoke should be deposited so then the surround air quality can be keep clean and healthy.

Therefore, it needs to be built a device to deposits the particles using a thermophoretic force and method to measure it. Thermophoretic force is a force that applied on a particle because of a temperature gradient. This device called Thermal Precipitator where the particles from tobaccos smoke when passing through this device will be filtered so the pollution can be handled.

Key words:
thermophoretic, tobacco smoke, thermal precipitator

DAFTAR ISI

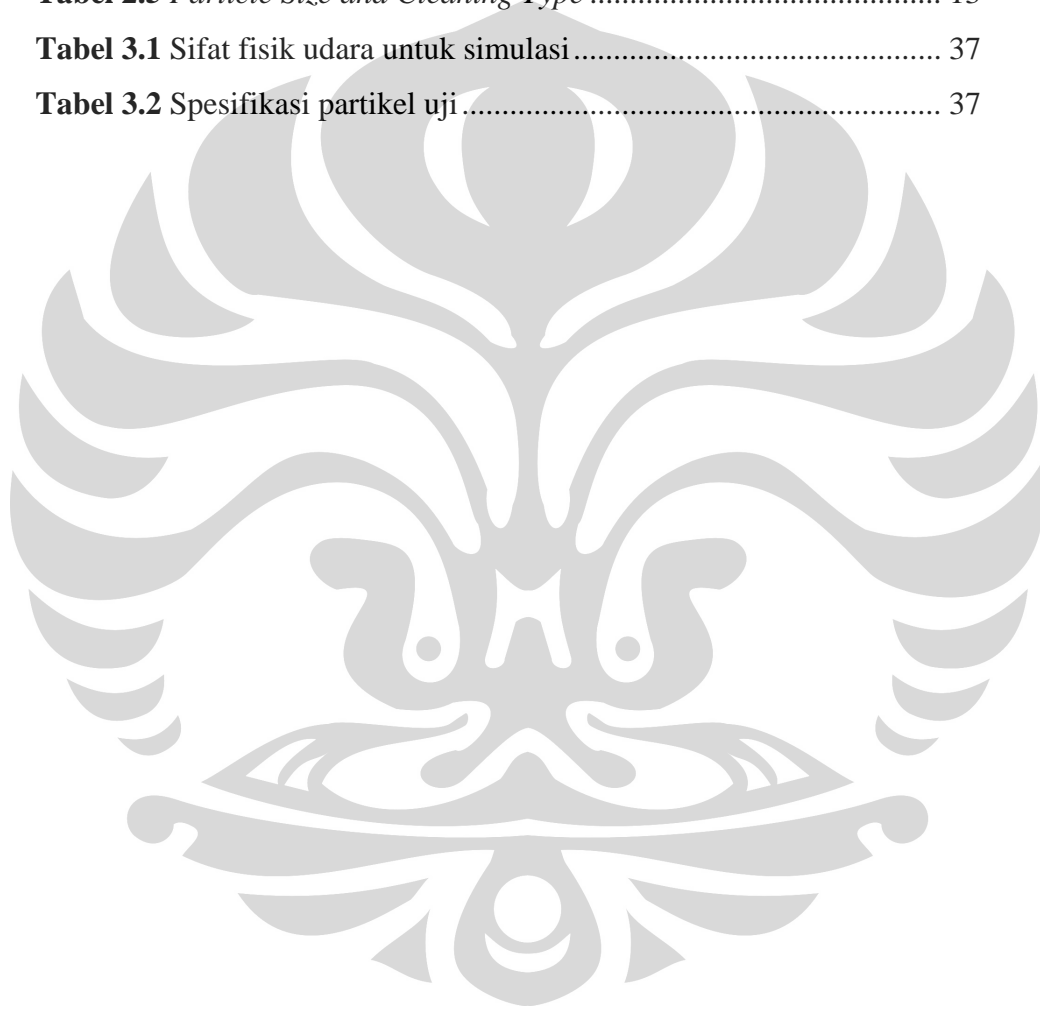
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	2
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metode Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Definisi Pencemaran Udara	4
2.2 Zat-zat Pencemar Udara	4
2.3 Efek Negatif Pencemaran Udara	8
2.4 Aerosol	10
2.5 Gaya-gaya yang Bekerja pada Suatu Partikel	14
2.6 Pengukuran kualitas udara	21
BAB III PERANCANGAN ALAT	26
3.1 Metodologi Perancangan	26
3.2 Desain Alat	29
3.3 Spesifikasi Alat	35
3.4 Kondisi Batas (<i>Boundary Condition</i>)	37
BAB IV PROSEDUR PENGOPERASIAN DAN PERAWATAN	39
4.1 Pengoperasian Alat	39
4.2 Kalibrasi Sensor	42
4.3 Perawatan Alat	44
BAB V KESIMPULAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
Daftar Pustaka	47
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kandungan gas yang terdapat dalam asap rokok.....	11
Gambar 2.2 Gaya Thermophoresis yang melewati pelat horizontal	15
Gambar 2.3 Gaya Thermophoresis yang melewati pelat vertikal	15
Gambar 2.4 Gaya angkat Saffman pada partikel	19
Gambar 2.5 Pergerakan partikel pada umumnya	20
Gambar 2.6 Cara kerja particle counter	21
Gambar 2.7 High Volume Air Sampler	22
Gambar 2.8 Non-dispersive infrared sensor	23
Gambar 2.9 Sensor gas Figaro 2600	23
Gambar 2.10 Ilustrasi penyerapan oksigen oleh sensor	24
Gambar 2.11 Ilustrasi ketika terdeteksi adanya gas	25
Gambar 3.1 Redesain Thermal Precipitator	29
Gambar 3.2 Draft Skema Redesain <i>Thermal Precipitator</i>	30
Gambar 3.3 Sistem pendinginan.....	33
Gambar 3.4 Sensor TGS 2600.....	33
Gambar 3.5 Diplay LCD beserta <i>Microcontroller</i>	34
Gambar 3.6 Perbandingan antara R_s/R_o dan konsentrasi gas (ppm)	34
Gambar 4.1 Skema pemasangan Alat.....	39
Gambar 4.2 Pemasangan pada Alat <i>Thermal Precipitator</i>	40
Gambar 4.3 Dudukan Rokok pada <i>aquarium air pump</i>	41
Gambar 4.4 Sirkulasi pendinginan pelat.	41
Gambar 4.5 Tahapan konversi satuan ppm.	43
Gambar 4.6 Box Penampung Asap.	44
Gambar 4.7 Test Section.	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	8
Tabel 2.2 Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang	9
Tabel 2.3 Spesifikasi Smoke	10
Tabel 2.4 <i>Particle size ranges and definitions for aerosol</i>	12
Tabel 2.5 <i>Particle Size and Cleaning Type</i>	13
Tabel 3.1 Sifat fisik udara untuk simulasi	37
Tabel 3.2 Spesifikasi partikel uji	37



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Characteristics Particulate Matter	48
Lampiran 2 Tobacco Chemistry	49
Lampiran 3 TGS 2600 data sheet	50
Lampiran 4 Skema microcontroller.....	52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Tugas akhir ini dilakukan untuk melakukan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Riesto dan Ziz Rachmat Destiyanto. [Riesto, et al . 2008]. Dimana pada penelitian tersebut tentang thermal precipitator sebagai smoke collector berbasis thermophoretic force terdapat beberapa keterbatasan kemampuan alat . Diharapkan dengan tugas akhir ini dapat memperbaiki kinerja alat ini. Apabila dalam penelitian sebelumnya dilakukan observasi secara visual mengenai pengaruh gaya thermophoretic terhadap asap rokok menggunakan alat thermal precipitator. Maka pada penelitian kali ini dilakukan redesain dan manufaktur dengan metode yang berbeda dari thermal precipitator tersebut.

Bahaya asap rokok bagi manusia sangatlah jelas, mulai dari kerusakan paru-paru sampai pada gangguan janin pada ibu hamil, pada balita dan anak-anak dengan terhirup asap rokok ini dapat mengganggu pertumbuhan serta perkembangan diri mereka. Dari beberapa penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa kadar nikotin dalam asap rokok sidestream (yg dilepas ke udara) 4-6 kali lebih banyak dari pada asap rokok mainstream (yang dihisap oleh perokok). [Susanna, D.et al. 1993]. Ini menunjukkan bahwa perokok pasif lebih berbahaya dibandingkan perokok aktif.

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 mengambang pada suatu aliran udara 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 :

- Redesain dan manufaktur alat *Thermal Precipitator* untuk *smoke dust collector* dengan menggunakan prinsip gaya *Thermophoretic*.

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian tugas akhir ini dibatasi permasalahannya mengenai redesain dan manufaktur pada *thermal precipitator* dengan menitik beratkan metode pengukuran jumlah partikel saat proses penyaringan *smoke aerosol* berukuran $0,01 \mu m \leq d_p \leq 1 \mu m$.

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-buku, jurnal dan artikel-artikel.

Desain alat

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

Fabrikasi

Pembuatan alat diawali dengan proses fabrikasi, yaitu meliputi modifikasi beberapa bagian alat yang 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 *thermal precipitator*.

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, serta pengujian kebocoran air pada sistem pendingin *test section*.

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 PERANCANGAN ALAT

Berisi tentang metodologi perancangan, desain alat uji, spesifikasi alat, dan boundary condition.

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 II

DASAR TEORI

2.1 DEFINISI PENCEMARAN UDARA

Pada intinya pengertian pencemaran udara adalah masuknya, atau tercampurnya, unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan, gangguan pada kesehatan manusia serta secara umum menurunkan kualitas udara di lingkungan. Polusi udara sendiri dapat terjadi di dalam dan di luar ruangan (*indoor* dan *outdoor*). Sumber polusi udara dapat berasal dari alam dan aktivitas manusia. 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*), pembuangan sampah padat, proses industri dan lain-lain. Ada pula yang berasal dari aktivitas manusia dalam ruangan seperti merokok, penggunaan kompor, mesin pengganda kertas, dan lain-lain.

Semakin sedikitnya lahan hijau juga menyebabkan buruknya kualitas udara yang ada pada lingkungan tersebut. Ditambah lagi dengan semakin banyaknya kendaraan bermotor dan industri-industri yang mengeluarkan polusi yang dapat mencemari lingkungan. 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 UDARA

2.2.1 Emisi Karbon Monoksida (CO)

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 60% pencemaran udara di Jakarta disebabkan karena benda bergerak atau transportasi umum yang berbahan bakar solar. Karbon monoksida (CO) dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin

pembakaran dalam. Gas ini tidak berwarna tidak berbau dan tidak berasa. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin. Percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar dapat meminimalkan emisi CO. Karbon monoksida apabila bercampur dengan hemoglobin dalam darah dapat mengurangi aliran oksigen ke seluruh bagian tubuh, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada otak dan juga dapat menyebabkan kerusakan serius pada jantung.

2.2.2 Nitrogen Oksida (NO_x)

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 (>1800K). 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.

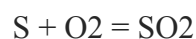
3. Fuel NO_x

NO_x formasi ini terbentuk karena kandungan N dalam bahan bakar.

Kira-kira 90% dari emisi NO_x adalah disebabkan proses thermal NO_x, dan tercatat bahwa dengan penggunaan HFO (Heavy Fuel Oil), bahan bakar yang biasa digunakan di kapal, menyumbangkan emisi NO_x sebesar 20-30%. Nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi dengan atmosfer zat ini membentuk partikel-partikel nitrat yang amat halus yang dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Selain itu zat oksida ini jika bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan zat hidrokarbon lain akan membentuk ozon rendah atau smog kabut berwarna coklat kemerahan yang menyelimuti sebagian besar kota di dunia.

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:



Kandungan SO₃ dalam SO_x sangat kecil sekali yaitu sekitar 1-5%. Gas yang berbau tajam tapi tidak berwarna ini dapat menimbulkan serangan asma, gas ini pun jika bereaksi di atmosfer akan membentuk zat asam. Badan WHO PBB menyatakan bahwa pada tahun 1987 jumlah sulfur dioksida di udara telah mencapai ambang batas yang ditetapkan oleh WHO.

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 Partikulat Matter (PM)

Partikel debu dalam emisi gas buang terdiri dari bermacam-macam komponen. Bukan hanya berbentuk padatan tapi juga berbentuk cairan yang mengendap dalam partikel debu. Pada proses pembakaran debu terbentuk dari pemecahan unsur hidrokarbon dan proses oksidasi setelahnya. Dalam debu tersebut terkandung debu sendiri dan beberapa

kandungan metal oksida. Dalam proses ekspansi selanjutnya di atmosfer, kandungan metal dan debu tersebut membentuk partikulat. Beberapa unsur kandungan partikulat adalah karbon, SOF (Soluble Organic Fraction), debu, SO₄, dan H₂O. Sebagian benda partikulat keluar dari cerobong pabrik sebagai asap hitam tebal, tetapi yang paling berbahaya adalah butiran-butiran halus sehingga dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Diketahui juga bahwa di beberapa kota besar di dunia perubahan menjadi partikel sulfat di atmosfer banyak disebabkan karena proses oksida oleh molekul sulfur.

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 Ozone (O₃)

Ozon termasuk kedalam pencemar sekunder yang terbentuk di atmosfer dari reaksi fotokimia NO_x dan HC. Ozon bersifat oksidator kuat, karena itu pencemaran oleh ozon troposferik dapat menyebabkan dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia. Emisi gas buang berupa NO_x adalah senyawa-senyawa pemicu pembentukan ozon. kombinasi NO_x-O₃ dapat menyebabkan penurunan fungsi paru-paru. Selain menyebabkan dampak yang merugikan pada kesehatan manusia, pencemar ozon dapat menyebabkan kerugian ekonomi akibat ausnya bahan atau material (tekstil, karet, kayu, logam, cat, dlsb), penurunan hasil pertanian dan kerusakan ekosistem seperti berkurangnya keanekaragaman hayati.

2.2.8 Timbal (Pb)

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. Dari pantauan lain diketahui bahwa dari beberapa kota yang diketahui masuk dalam kategori tidak sehat berdasarkan ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) adalah Jakarta (26 titik), Semarang (1 titik), Surabaya (3 titik), Bandung (1 titik), Medan (6 titik), Pontianak (16 titik), Palangkaraya (4 titik), dan Pekanbaru (14 titik).

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
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 atlet yang berlatih keras	Bau, Meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu di mana-mana

Kategori	Rentang	Karbon monoksida (CO)	Nitrogen (NO ₂)	Ozon (O ₃)	Sulfur dioksida (SO ₂)	Partikulat
Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatnya kardiovaskular pada orang bukan perokok yang berpenyakit Jantung, dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronchitis	Olah raga ringan mengakibatkan pengaruh pamafasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit 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*

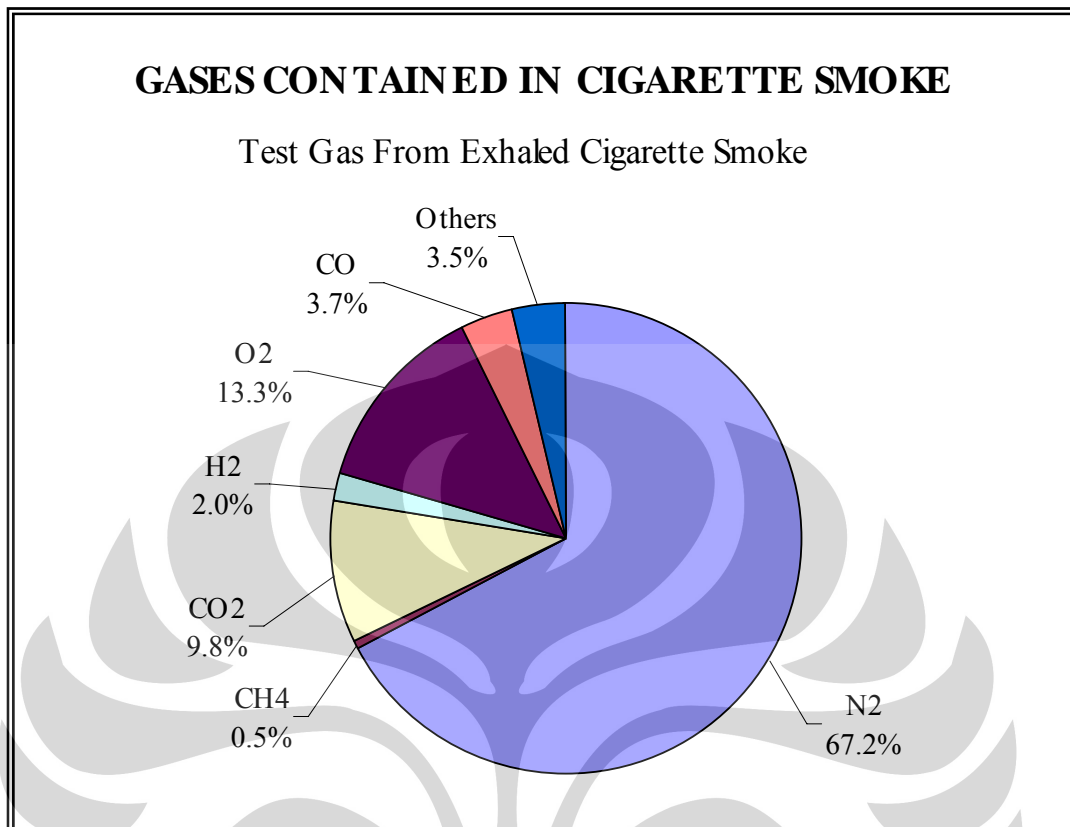
Secara khusus pembuatan thermal precipitator ini menggunakan smoke yang merupakan bagian dari aerosol tersebut. *Smoke* adalah partikel-partikel dengan geometri bola yang dihasilkan dari proses pembakaran. *Tobacco smoke* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter partikel yang kecil yaitu yaitu $0,01 \mu m \leq d_p \leq 1 \mu m$.

Pada penelitian ini, aerosol / partikel yang akan digunakan adalah smoke (asap rokok). Dasar pemilihan smoke ini karena merupakan salah satu pencemar udara dan mudah digunakan, serta dapat mewakili kondisi polusi udara di Indonesia.

Adapun spesifikasi dari partikel uji sebagai berikut :

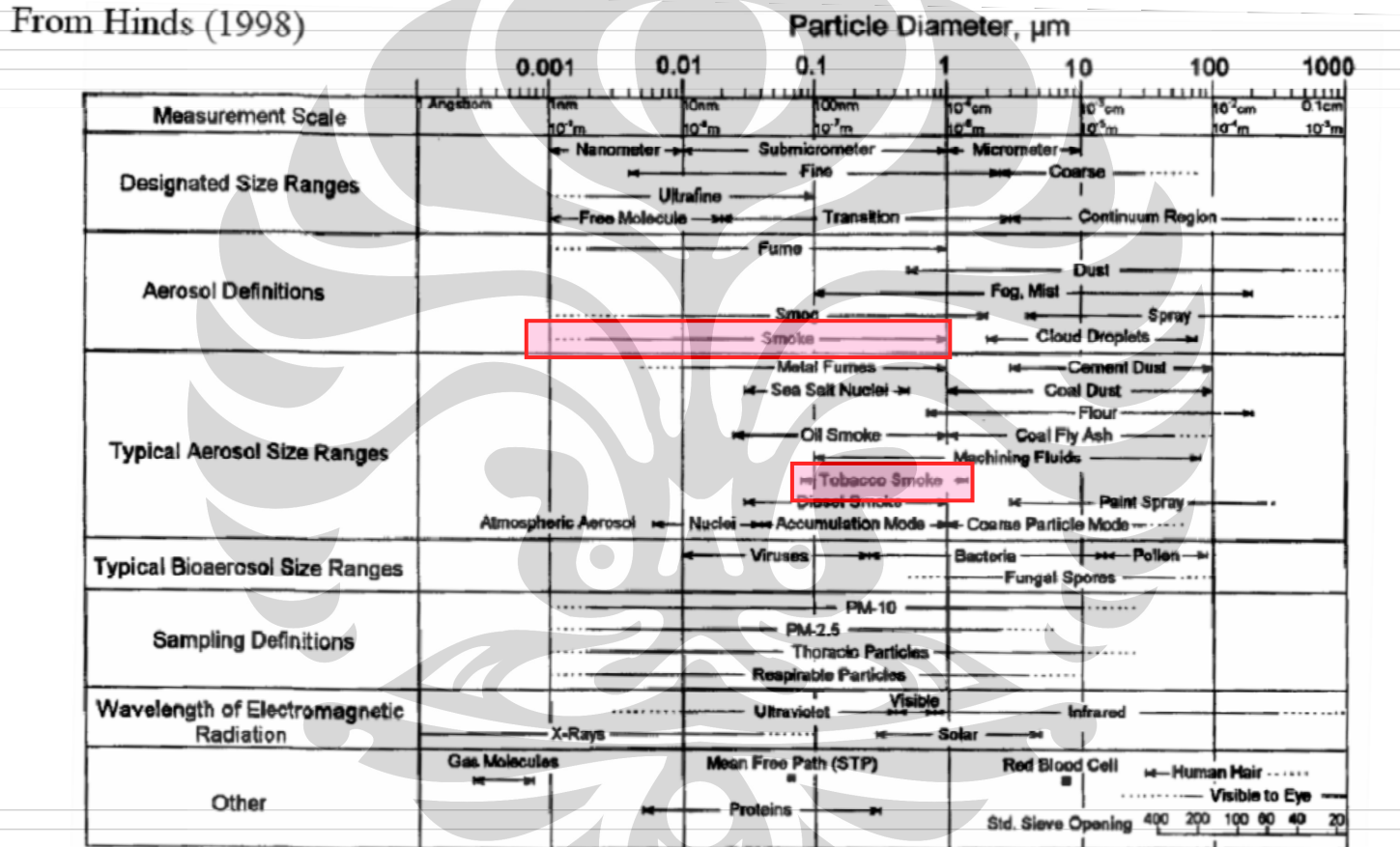
Tabel 2.3 Spesifikasi Smoke

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



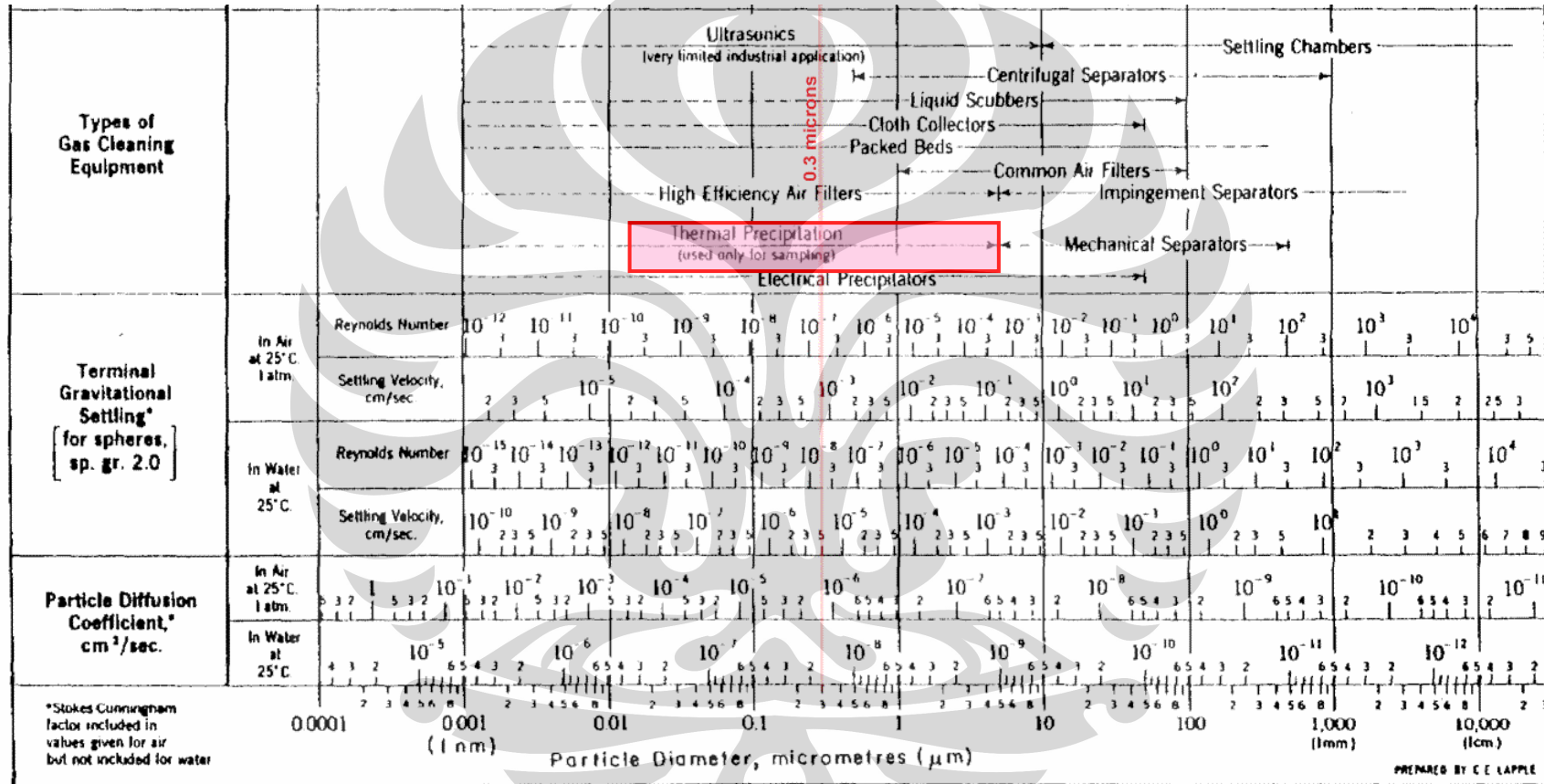
Gambar 2.1. Kandungan gas yang terdapat dalam asap rokok
(sumber : www.workaci.com)

Tabel 2.4. Particle size ranges and definitions for aerosol



Sumber : Hinds, 1998

Tabel 2.5. Particle Size and Cleaning Type



(sumber : Air Pollution Control Engineering, De Nevers, 2003)

2.5 GAYA-GAYA YANG BEKERJA PADA SUATU PARTIKEL

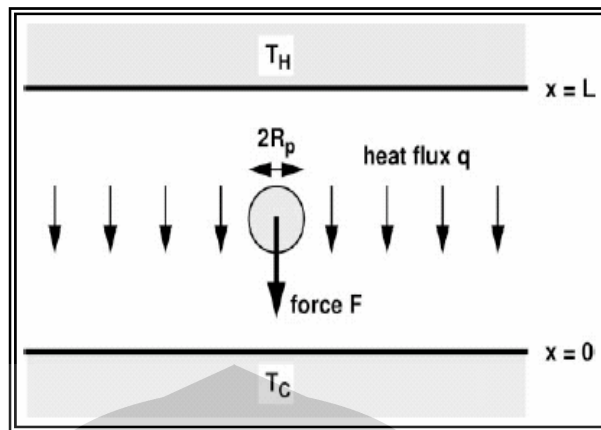
Semua benda bergerak karena adanya pengaruh dari lingkungan sekitar, dengan tidak mengabaikan momentum benda itu sendiri. Demikian juga dengan partikel debu, smoke ataupun asap rokok. Setiap partikel yang bergerak pada suatu media mendapatkan gaya-gaya dari luar yang menyebabkan partikel tersebut bergerak,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

2.5.1 Gaya Thermophoretic (Thermophoretic Force)

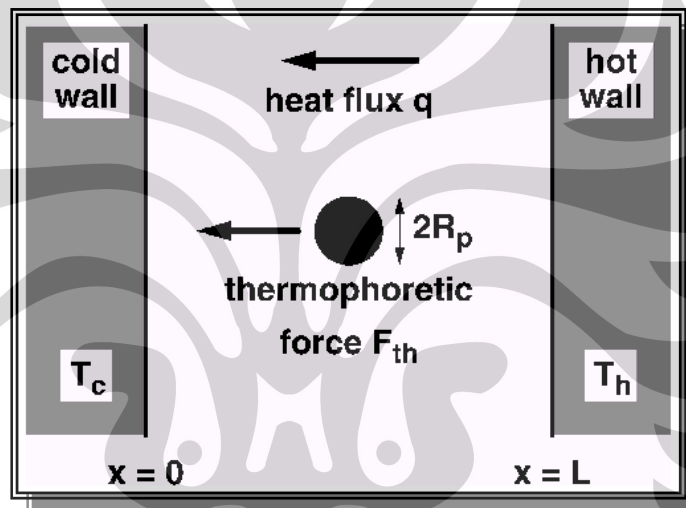
Thermophoresis adalah fenomena pergerakan partikel dalam suatu aliran fluida yang tersebar pada suatu sistem yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur dalam sistem tersebut. Partikel bergerak dari zona temperatur panas menuju zona temperatur rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya transfer momentum dari 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

Persamaan dasar gaya thermophoretic adalah sesuai dengan yang dirumuskan oleh Talbott, yaitu :

$$F_x = \frac{6\pi.Dp.\mu^2.Cs.(K + Ct.Kn)}{\rho(1 + 3Cm.Kn)(1 + 2K + 2Ct.Kn)} \frac{1}{T} \frac{\delta T}{\delta x} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana, Kn = Knudsen number = $2\lambda/Dp$

λ = jarak tempuh partikel

$K = k/k_p$, dimana k adalah konduktivitas thermal fluida $k = (15/4) \mu R$

K_p adalah konduktivitas thermal partikel

$C_s = 1.17, \quad C_t = 2.18, \quad C_m = 1.14$

T = temperatur lokal fluida

μ = viskositas fluida

Persamaan Talbott didasarkan atas asumsi partikel berbentuk bola dengan fluida gas ideal.

Sedangkan penelitian lebih lanjut oleh para ilmuwan menghasilkan persamaan thermophoresis yang diaplikasikan berdasarkan kondisi fluida. Terdapat tiga persamaan yang dikutip dibawah, yaitu :

1. *Continuum Gas* (Waldman) :

$$F_x = -\frac{16}{15} \pi^{1/2} \cdot \beta \cdot R p^2 \cdot k_f \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{m}{2kT}} \quad \text{dimana, } Kn_p \rightarrow \infty, \quad Kn_s \rightarrow 0$$

Jika jarak partikel (mean free path) bernilai lebih kecil dibandingkan dengan ukuran sistem, maka domain dapat dianggap kontinyu. Formula Waldman diatas proporsional langsung terhadap gradien temperature dan konduktivitas thermal, tetapi independen terhadap tekanan ataupun massa jenis partikel (selama sesuai dengan kriteria Knudsen Number).

2. Gas molekul bebas / *Free Molecular gas* (Brock, Phillips, Torczynski)

$$F = -\left(\frac{3}{2} \pi R_p\right) \left(\frac{T_H^{1/2} - T_C^{1/2}}{T_H^{1/2} + T_C^{1/2}} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P = nKT_C^{1/2} T_H^{1/2} \quad \text{dimana, } Kn_p \rightarrow \infty, \quad Kn_s \rightarrow 0$$

Jika mean free path lebih besar dibandingkan dengan ukuran sistem, domain dapat dianggap sebagai *free molecular gas*. Kesimpulan utamanya adalah gaya thermophoretic secara linier tergantung pada tekanan molekul bebas terhadap dinding.

3. Daerah Transisional (Phillips)

$$F = -\left(\frac{32}{15\pi}\right)\left(\frac{\pi R_p^2}{c}\right)\left(\frac{K(T_H - T_C)}{L}\right)\left(\frac{45\pi N + N^2}{1 + N + N^2}\right) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{dimana } N = \frac{14}{15} \frac{L\rho\rho.}{2\mu}, c = \sqrt{\frac{8kT}{\pi.n}}$$

Jika mean free path adalah pangkat dari ukuran sistem, gaya thermophoretic menjadi sulit untuk diprediksikan akurat. Perhitungan diatas dinilai paling lemah dibandingkan perhitungan lain. Dapat ditarik kesimpulan bahwa ketergantungan terhadap tekanan lebih lemah dibanding ketergantungan terhadap kecepatan molekular.

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:

$$W = \frac{\pi d^3}{6} \rho_d g \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

d = diameter partikel [m]

ρ_d = massa jenis partikel [kg/m³]

g = tetapan gravitasi [m/s²]

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 (*Bouyancy Force*)

Bouyancy Force timbul karena adanya perbedaan viskositas pada suatu fluida. Pada fluida yang berbentuk gas, viskositas akan menurun seiring dengan peningkatan temperatur, sedangkan pada fluida berbentuk cair peningkatan temperatur akan mengurangi viskositasnya.

Jika temperatur suatu gas dinaikkan, molekul-molekul gas tersebut yang memiliki viskositas yang lebih rendah akan bergerak keatas menggantikan molekul-molekul gas yang viskositasnya lebih tinggi. Pergerakan molekul-molekul gas ini ternyata juga memberikan pengaruh pada partikel yang berada satu sistem dengan gas, dimana partikel tersebut juga akan ikut terangkat. Terangkatnya partikel tersebut sebagai akibat peningkatan temperatur pada fluida gas inilah yang disebut *bouyancy force*.

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.

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

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

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

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:

$$* \text{ Nilai Grasshoff} \rightarrow Gr = \frac{\rho^2 g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot x^3}{\mu^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

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:

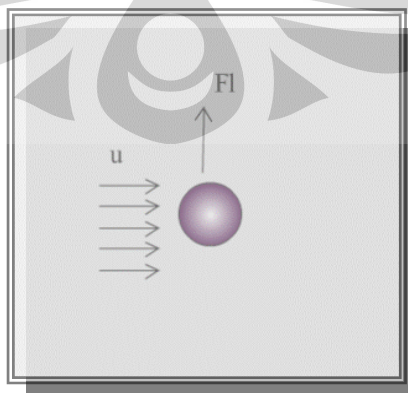
$$Gr = \frac{g \cdot \Delta T \cdot L^3}{T_{abs} \cdot \nu^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

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

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

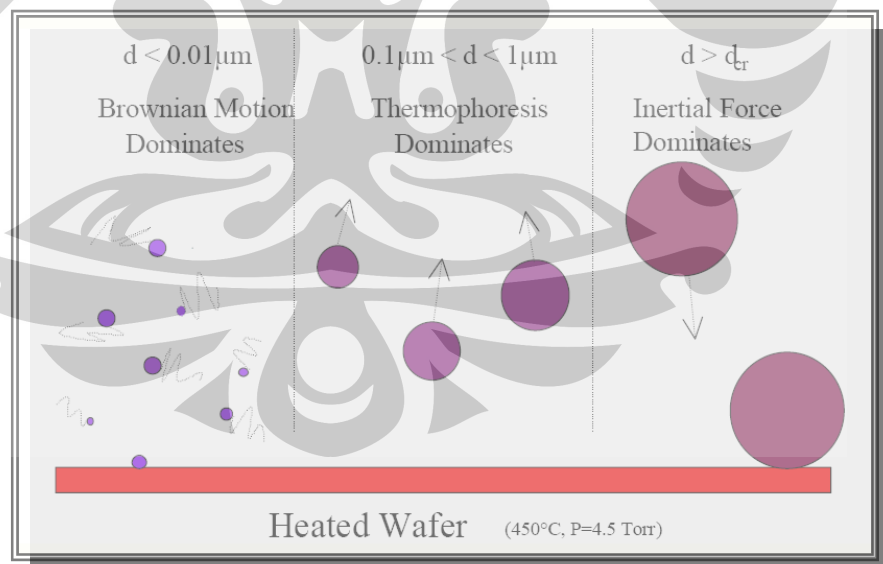
2.5.6 Gerak Brown (*Brownian Motion*)

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 perbandingan pergerakannya:



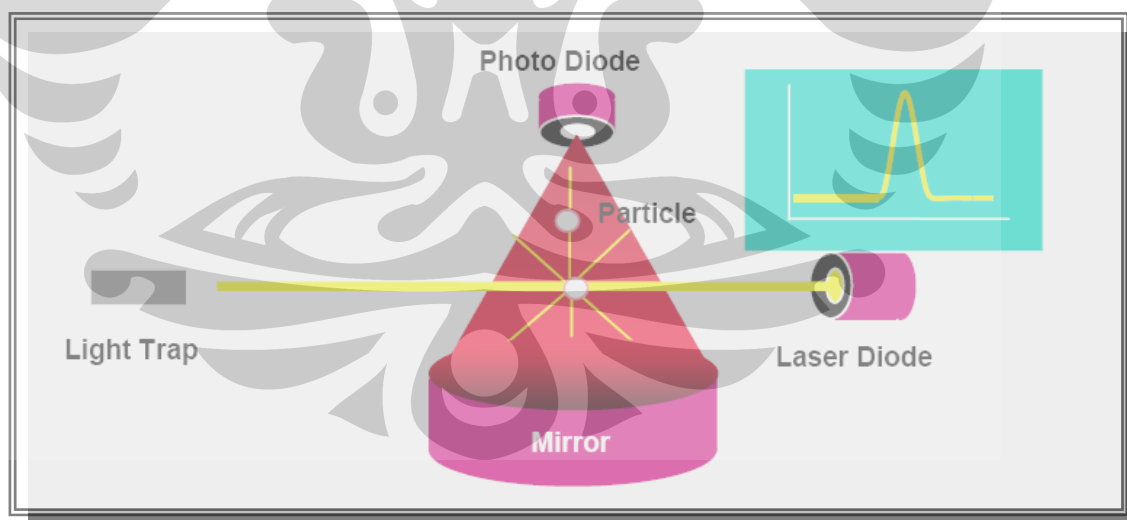
Gambar 2.5 Pergerakan partikel pada umumnya

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.

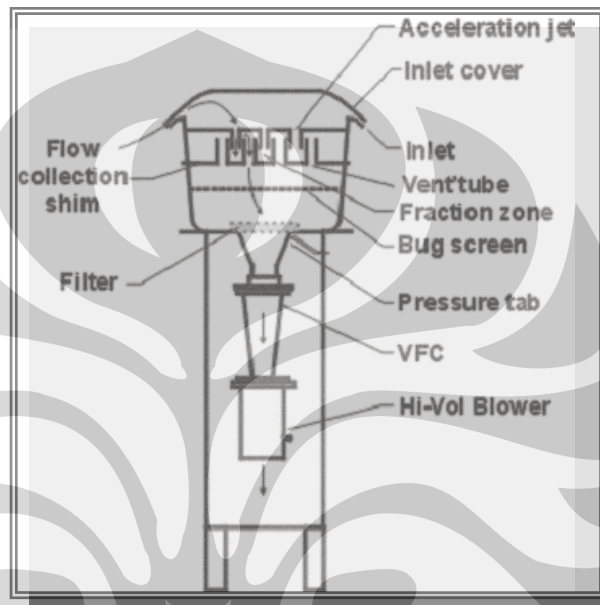


Gambar 2.6 Cara kerja particle counter

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

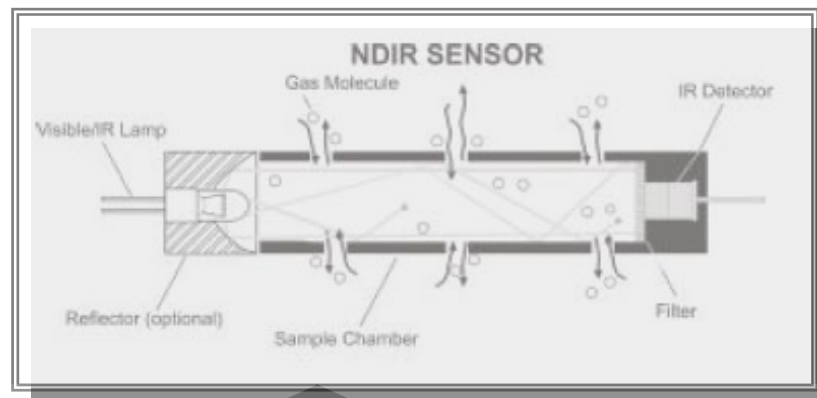
diameter kurang dari 100 μm . prinsip kerja alat ini yaitu dengan menghisap udara yang akan diuji dengan flowrate 40-60 [cfm], udara tersebut dilewatkan melalui sebuah filter khusus yang memiliki porositas kurang dari 0,3 μm . Lalu partikulat yang tertahan di permukaan filter ditimbang secara gravimetrik,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



Gambar 2.7 High Volume Air Sampler

2.6.3 Non-dispersive infrared sensor

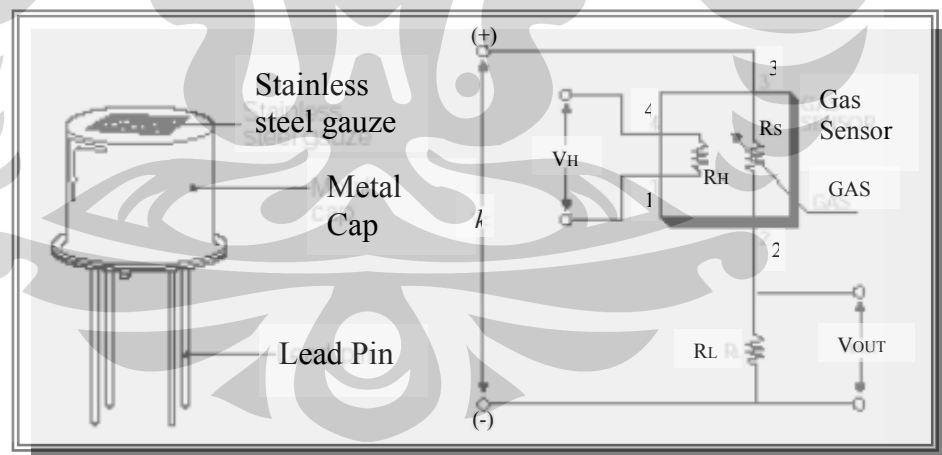
Non-dispersive infrared sensor (NDIR) sensor cukup sering digunakan dalam prosen analisa gas. Metode ini sering digunakan untuk mengukur kadar CO₂ dan H₂O di udara. pengukuran ini berdasarkan kemampuan gas CO menyerap sinar infra merah pada panjang 4,6 μm . Banyaknya intensitas sinar yang diserap sebanding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



Gambar 2.8 Non-dispersive infrared sensor

2.6.4 Gas sensor

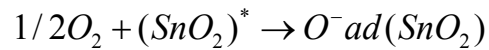
Sensor ini biasa digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas sensor ini bisa diaplikasikan sebagai alarm dan juga bisa untuk mengukur konsentrasi gas tergantung rangkaian microcontroller yang digunakan. Dalam penelitian ini proses pengukuran kadar asap menggunakan metoda ini. Sensor ini mempunyai nilai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



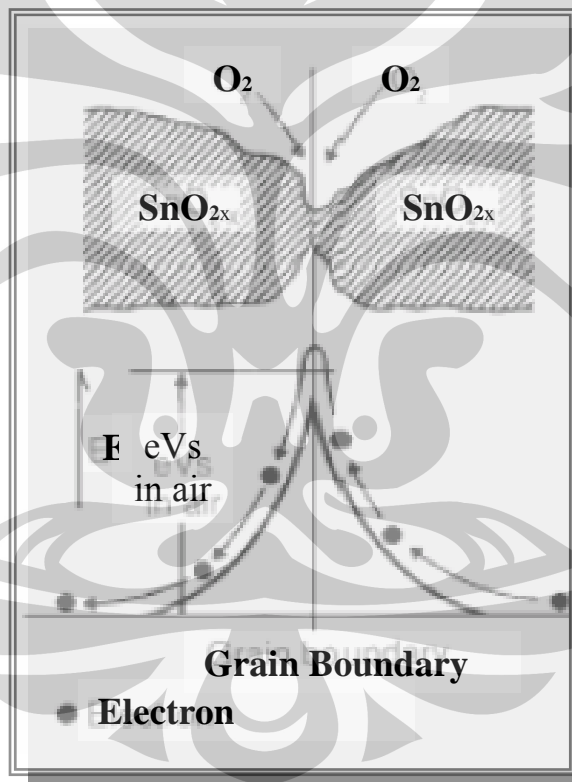
Gambar 2.9 Sensor gas Figaro 2600

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



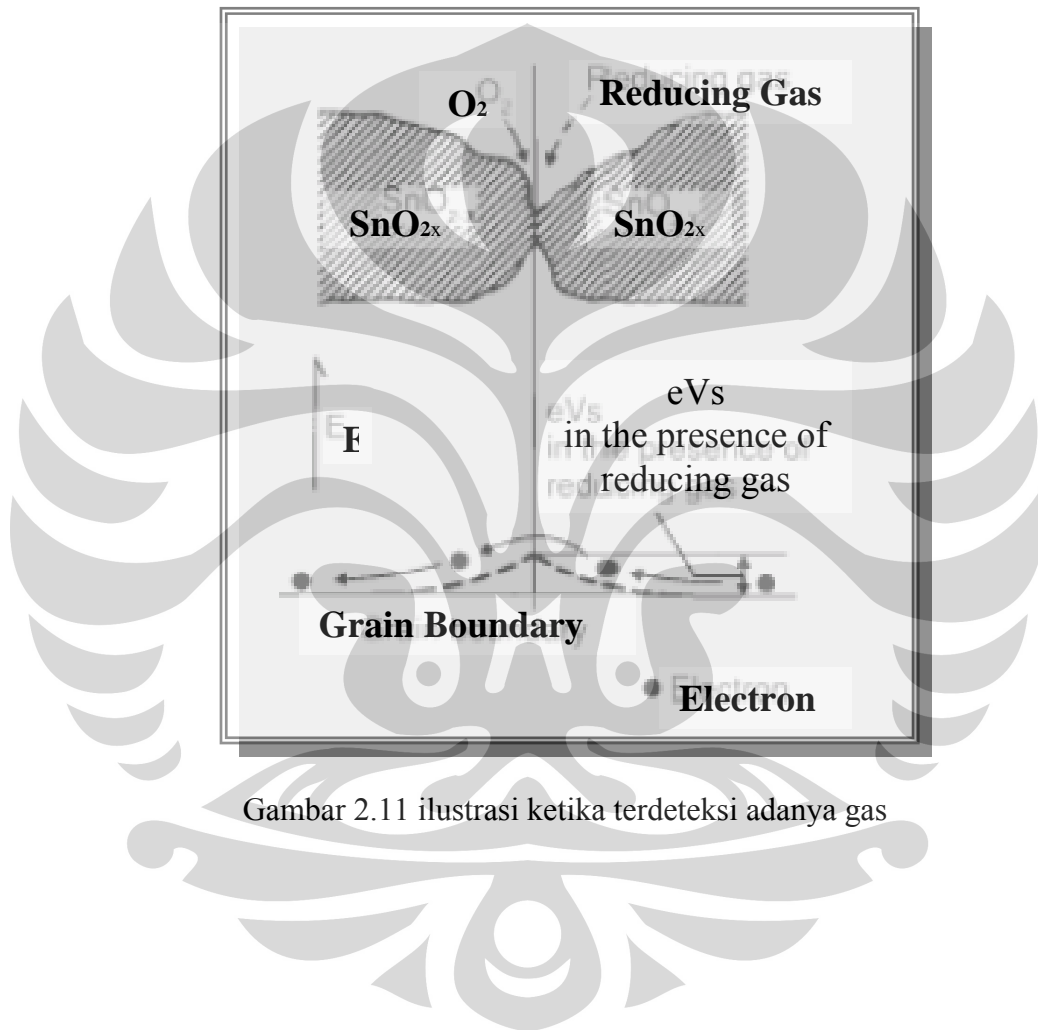
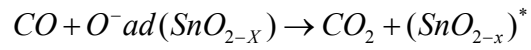
Hal ini disebabkan karena permukaan kristal mendonorkan elektron pada oksigen yang terdapat pada lapisan luar, sehingga oksigen akan bermuatan negatif dan muatan positif akan terbentuk pada permukaan luar kristal. Tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran electron



Gambar 2.10 ilustrasi penyerapan oksigen oleh sensor

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

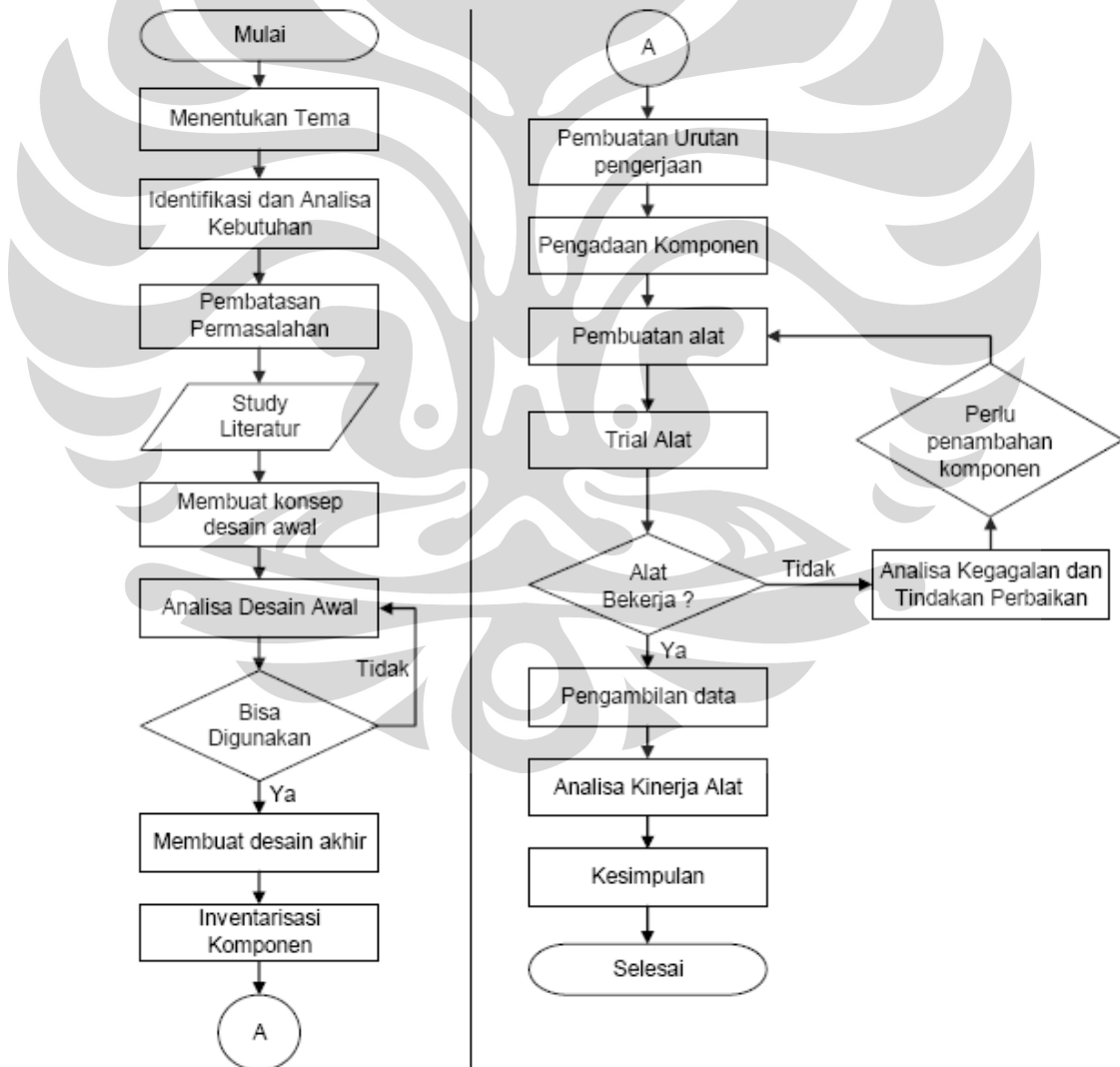


Gambar 2.11 ilustrasi ketika terdeteksi adanya gas

BAB III PERANCANGAN ALAT

3.1 METODA PERANCANGAN

Walaupun alat yang akan dibuat merupakan modifikasi dari alat yang sudah ada, maka perancangan alat uji karakteristik *thermal precipitator* pun memanfaatkan kondisi alat yang sudah ada. Berikut akan dijelaskan bagaimana tahapan-tahapan dalam modifikasi pembuatan alat uji karakteristik *thermal precipitator*.



Flowchart 3.1 Metoda Perancangan

3.1.1 Menentukan Tema Perancangan

Hal yang paling awal harus ditentukan adalah tema dari rancangan yang akan dibuat. Tema ini akan mewakili pikiran utama ke arah mana alat ini akan dibuat. Dalam perancangan kali ini tema yang diambil yaitu modifikasi alat uji karakterisasi thermophoresis.

3.1.2 Identifikasi dan Analisa Kebutuhan

Alat yang akan dibuat sebaiknya memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut :

1. Mudah digunakan
2. Tahan panas sampai 100°C
3. Sempel, tidak memakan tempat yang besar.
4. Dapat dihitung karakteristik jumlah partikelnya.
5. Tidak ada kebocoran yang bisa mengganggu sistem. Baik pada test section maupun sistem pendingin plat *stainless*.

3.1.3 Pembatasan permasalahan

Alat yang dibuat dibatasi hanya untuk simulasi fenomena thermophoresis, dengan panjang lintasan 50 mm, jarak antar pelat 5 mm, dan menggunakan media asap rokok dengan kecepatan tetap.

3.1.4 Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk memahami dasar-dasar teori yang berhubungan dengan fenomena thermophoresis. Sehingga diharapkan mampu memberikan gambaran dalam pembuatan desain alat uji.

3.1.5 Membuat konsep desain awal

Segala pemikiran ataupun ide-ide yang ada dituangkan dalam suatu desain awal yang disebut juga dengan sketsa gambar.

3.1.6 Analisa Desain Awal

Dari desain awal yang telah dibuat, dianalisa untuk mengetahui berbagai kemungkinan dalam pengerjaannya, apakah bisa digunakan, apa saja kendalanya, bagaimana cara mengatasinya, kemudian alternatif yang dapat digunakan.

3.1.7 Membuat Desain Akhir

Setelah desain awal dianalisa kemudian ditentukan model seperti apa yang akan dibuat, maka dibuatlah desain akhir yang digunakan sebagai acuan dalam pembuatan alat.

3.1.8 Inventarisasi Komponen

Inventarisasi komponen dilakukan untuk mendata part-part apa saja yang sudah tersedia.

3.1.9 Pembuatan Urutan Pengerjaan

Urutan pengerjaan perlu dibuat untuk mempermudah dalam pembuatan alat, sehingga urutan proses pengerjaannya bisa dilakukan secara sistematis.

3.1.10 Pengadaan Komponen

Komponen yang belum ada perlu disediakan sebaik mungkin karena ini menyangkut kesiapan alat. Apabila ada satu komponen yang belum tersedia maka akan mengganggu terselesainya alat tepat pada waktunya.

3.1.11 Pembuatan Alat

Setelah semuanya tersedia, termasuk perkakas yang akan dipakai, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan ataupun perakitan alat. Biasanya proses ini memakan waktu yang cukup lama. Apabila menemui kendala biasanya menggunakan jasa bengkel umum untuk menyelesaikan pembuatan alat. Tapi alangkah baiknya kalau pembuatannya dilakukan sendiri.

3.1.12 Trial Alat

Usaha ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat uji yang telah dibuat, apakah sudah memenuhi keinginan atau belum. Trial dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan hasil yang baik.

3.1.13 Analisa Kegagalan dan Tindakan Perbaikan

Tidak selamanya trial alat bisa langsung mendapatkan hasil yang memuaskan. Oleh karena itu apabila ditemui hasil yang tidak sesuai perlu dilakukan analisa kegagalan dan tindakan perbaikannya.

3.1.14 Analisa Kerja Alat

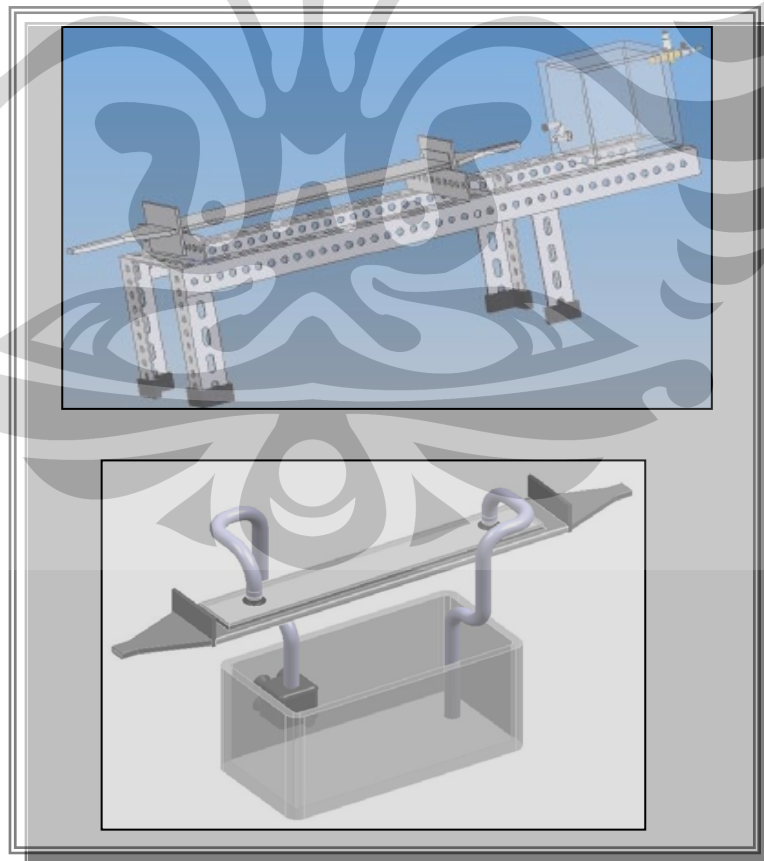
Dalam pengambilan data kita bisa mengetahui apakah alat uji bisa berfungsi dengan baik dengan melihat hasil / data yang diambil. Apakah terjadi penyimpangan yang cukup signifikan diantara data-data yang sama, atau hasil yang diambil merupakan data yang relatif sama.

3.1.15 Kesimpulan

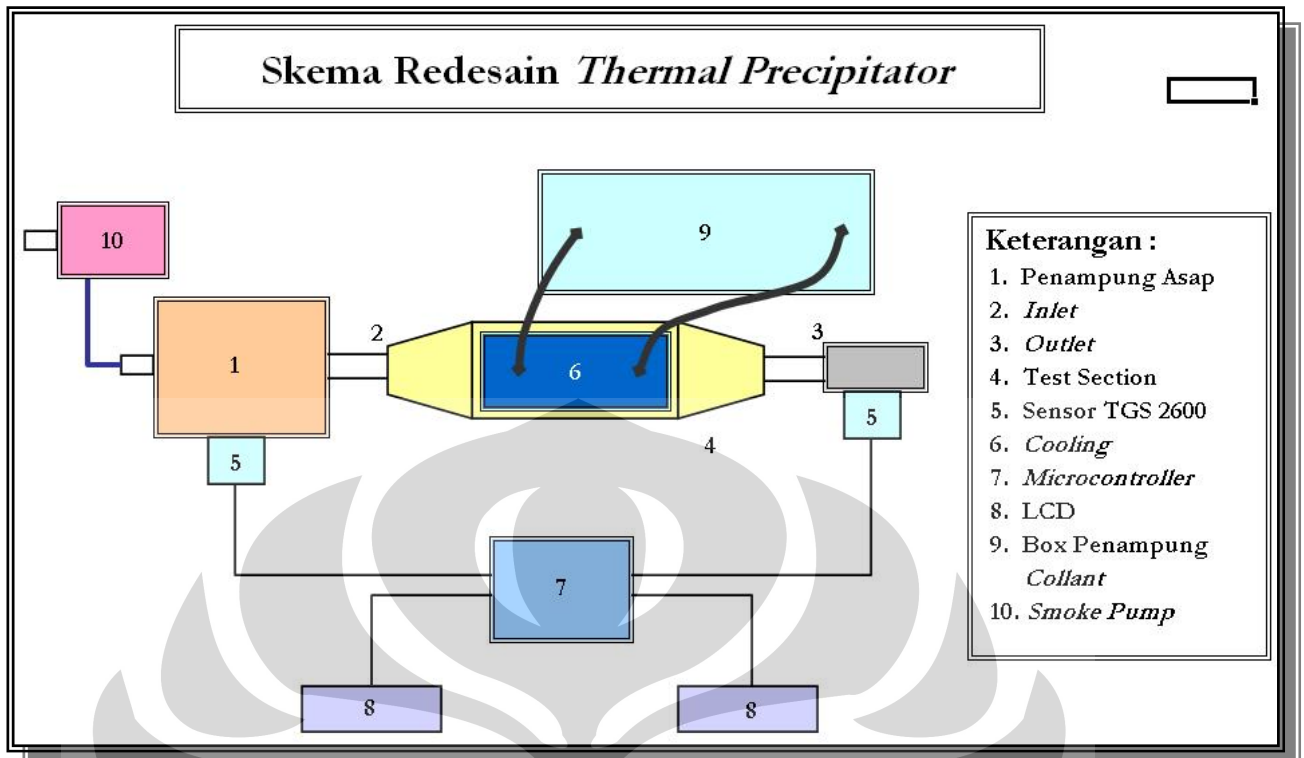
Setelah data diambil kemudian dilakukan analisa terhadap hasil pengujian, maka akan didapatkan suatu kesimpulan yang bisa diambil dengan berdasarkan atas data-data yang telah ada.

3.2 DESAIN ALAT

Perancangan ulang dan modifikasi alat uji thermophoresis ini diharapkan dapat mewakili fenomena thermophoresis dan karakteristiknya, meskipun sebagai alat simulasi tetapi sifat dan prosesnya dikondisikan seperti fenomena yang terjadi pada umumnya.

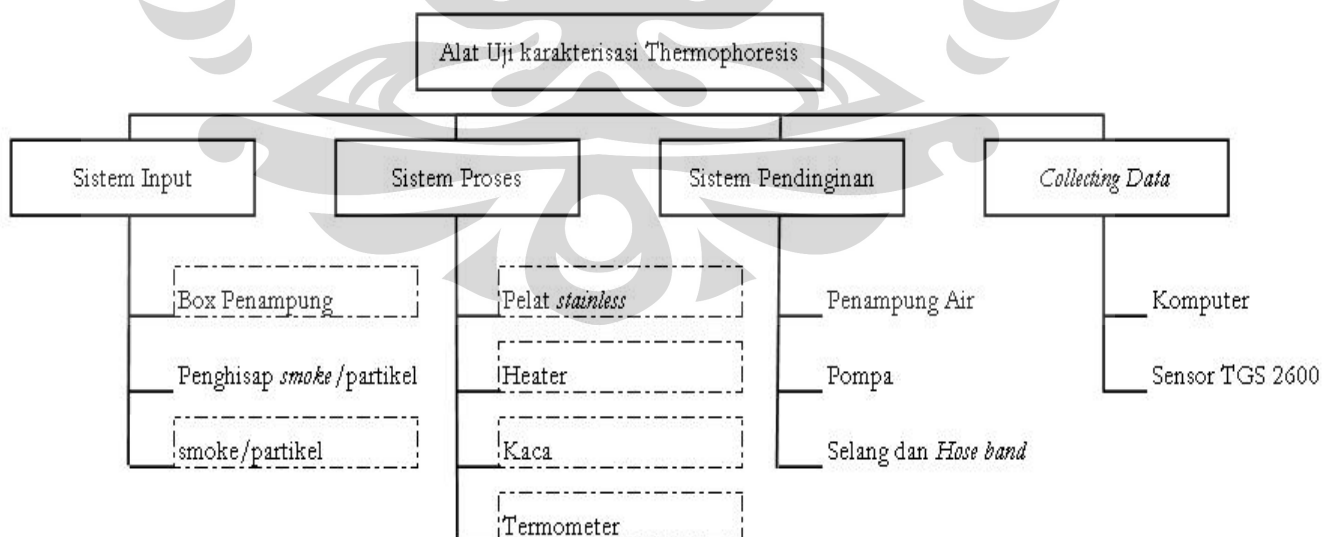


Gambar 3.1 Redesain Thermal Precipitator



Gambar 3.2 Draft Skema Redesain *Thermal Precipitator*

Selain memanfaatkan kondisi alat yang sudah ada dan mempermudah dalam pengerjaan tambahan alat lainnya, maka alat uji dikelompokkan menurut beberapa fungsi, yaitu :



Keterangan :

Nama alat yang bergaris putus-putus merupakan alat yang sudah ada sebelumnya.

3.2.1 Sistem Input

Sistem ini meliputi beberapa bagian antara lain:

1. Box Penampung

Dalam penelitian sebelumnya, Box dibuat berukuran 15 x 15 x 15 cm, dengan menggunakan bahan dari acrylic yang dapat terlihat kondisi asap di dalam box ini dan tidak terdapat suatu kebocoran sekecil apapun.

Terdapat dua buah lubang pada box ini yaitu lubang inlet dan outlet dimana keduanya telah dilengkapi dengan katup.

2. Penghisap *Smoke* / partikel

Aquarium *air pump* berfungsi menghisap asap secara kontinnyu langsung dari batang rokok untuk selanjutnya diteruskan kedalam Box penampung. Aquarium *air pump* berfungsi pula untuk mendorong smoke melewati test section dengan kecepatan tertentu.

2. *Smoke* / partikel

Smoke yang diambil adalah asap rokok yang dihisap dan dimasukkan melalui inlet kedalam Box penampung. Asap rokok ini terkumpul di box penampung sebelum digunakan untuk percobaan. Setelah terkumpul dan dipastikan tidak ada kebocoran maka selanjutnya *smoke* pada box tersebut didorong oleh aquarium *air pump* hingga melewati test section dengan kecepatan tertentu.

3.2.2 Sistem Proses

1. Pelat Stainless

Dalam penelitian sebelumnya, Pelat digunakan untuk kerangka / dinding media uji coba. Dipilih bahan ini karena mampu menghantarkan panas cukup baik dengan harga yang relatif murah dan mudah untuk dibentuk.

2. *Heater*

Dalam penelitian sebelumnya, *Heater* yang dipilih dalam pembuatan alat uji ini adalah *heater* pelat, dikarenakan distribusi panasnya paling baik dan merata untuk permukaan pelat yang rata.

3. *Kaca*

Dalam penelitian sebelumnya, kaca dipasang pada dinding agar fenomena thermophoresis bisa diamati dari luar, karena kaca sangat transparan dan kuat pada suhu tinggi.

4. *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk mengetahui suhu yang terdapat pada heater, pelat panas dan pelat dingin.

3.2.2 Sistem Pendinginan Plat

1. *Penampung Coolant*

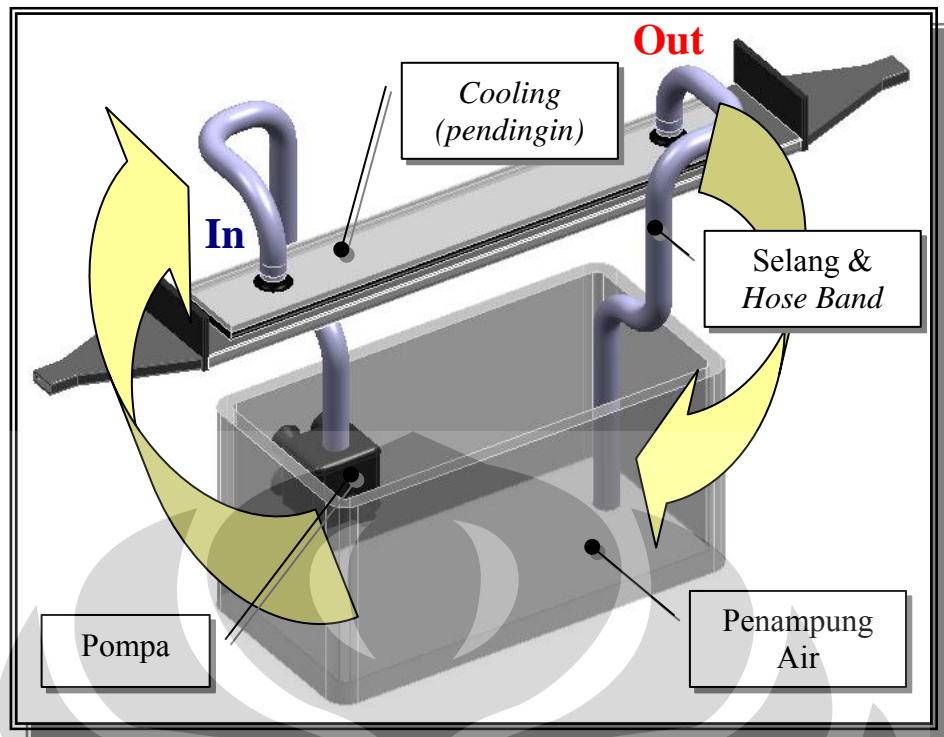
Penampung *coolant* digunakan untuk menampung air sebagai media pendinginan pelat.

2. *Pompa*

Pompa berfungsi mengalirkan air dari tempat penampungan air menuju alat sirkulasi pendingin dengan perantara selang.. Alat sirkulasi pendingin tersebut bersentuhan langsung dengan plat dingin.

3. *Cooling*

Cooling merupakan tempat masuk dan mengalirnya air sebagai media pendingin pelat. Air masuk, mengalir dan bersentuhan langsung dengan pelat dingin, yang selanjutnya disalurkan kembali ke penampung *coolant*.



Gambar 3.3 Sistem pendinginan

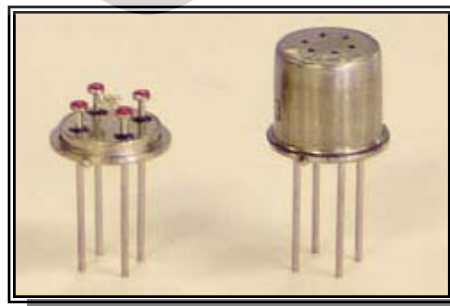
3.2.3 Collecting Data

1. Komputer

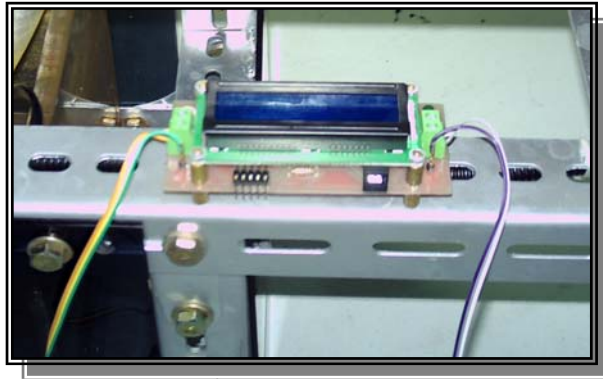
Komputer digunakan untuk mengolah data yang telah didapatkan, sehingga mempermudah dalam proses analisa.

2. Sensor Gas TGS 2600 dan *Microcontroller*

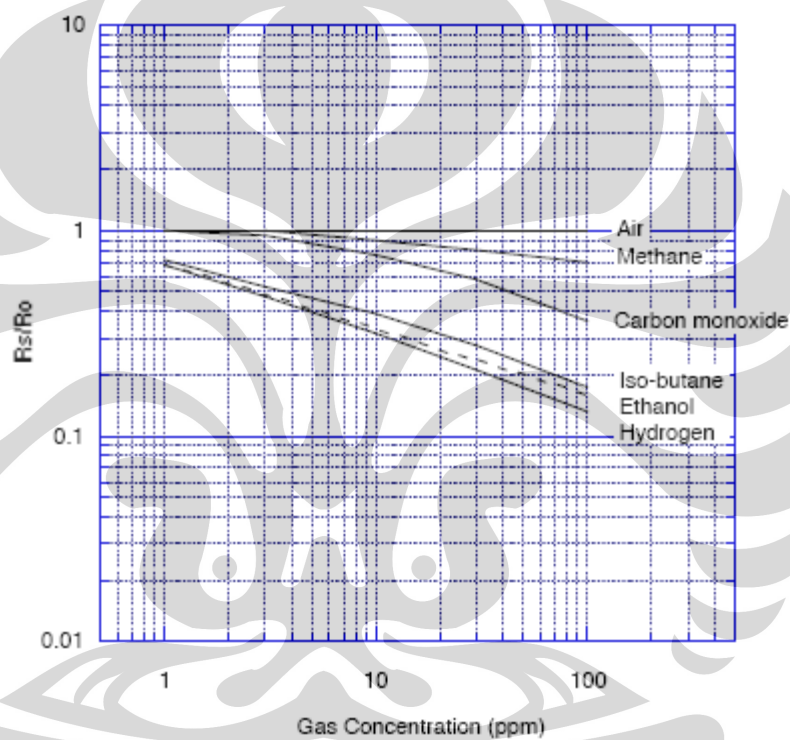
Sensor Gas TGS 2600 ini digunakan untuk mengambil data perbandingan hambatan (Ω) antara hambatan gas dan hambatan udara (*air*). Hambatan yang didapat, muncul pada *LCD Display* pada *microcontroller*. Selanjutnya hasil tersebut dikonversikan ke dalam satuan *part per million* (ppm) dengan menggunakan tabel grafik yang tercantum didalam spesifikasi.



Gambar 3.4 Sensor TGS 2600



Gambar 3.5 Diplay LCD beserta *Microcontroller*



Gambar 3.6 Perbandingan antara R_s/R_o dan konsentrasi gas (ppm)

Sumber : FIGARO USA, INC.

3. *Stop Watch*

Stop watch digunakan untuk mengetahui waktu aktual selama proses terjadi, sehingga perubahan-perubahan yang terjadi bisa diketahui dalam setiap waktu.

3.3 SPESIFIKASI ALAT

Untuk lebih memperjelas bagaimana pembuatan alat uji ini dan peralatan apa saja yang digunakan dalam penelitian, berikut peralatan yang dipakai :

3.3.1 *Acrylic Box*

- Dimensi = 150 x 150 x 150 mm (Dimensi ukuran luar.)
- Volume = 2535 cm³
- Thickness = 10 mm
- Specification = 1 outlet + 1 inlet.

3.3.2 *Voltage Regulator*

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

3.3.3 *Temperature Controller*

- Merk = NUX HANYOUNG
- Model = KX4-KMC4
- Size = 48 x 48 x 112.5 mm
- Weight = 166 g
- Input = Thermocouple type K, range -50~1300°C
- Output = Relay
- Power = 100-240 VAC 50/60Hz

3.3.4 *Heater*

- Type = Plat Heater
- Size = 60 x 60 x 15 mm
- Input = 24 VAC 2000A
- Temperature = max ±300°C

3.3.5 *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

3.3.6 *Hot Wire Anemometer*

- Dimensi = 180 x 72 x 32 mm
- Probe Diameter 12mm round.
- Measurement Range 0.1 ~ 20 m/s, Accuracy ±5%

3.3.7 Multi Tester

- Merk = DT830B
- Range DCV 200mV~1000V
- Accuracy $\pm 1\%$

3.3.8 Non-contact Thermometer

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

3.3.9 Submersible Pump

- Merk = Mercury submersible pump
- Model = MT4
- Power = 10W
- Frequency = 50Hz
- Kapasitas = 700 lt/jam
- Head = 0.9 m

3.3.10 Aquarium Air Pump

- Merk = Aquila

3.3.10 Sensor TGS 2600

- Model Number = TGS 2600 – B00
- Target gases = air contaminant
- Typical detection range = 1~30 ppm of H₂

3.4 BOUNDARY CONDITION

Sebelum memulai penelitian, menentukan sifat fisik dari fluida udara. Pada tabel 3.2 dijelaskan mengenai sifat fisik udara sebagai fluida, maksudnya adalah udara pada suhu 27°C (300 K) pada ketinggian 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*

3.4.1 Partikel Smoke

Penentuan partikel dilihat dari kehidupan sehari-hari yang paling mendekati dan mudah untuk didapatkan. 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	°C

3.4.2 Volume Smoke

Dalam penelitian ini digunakan *smoke* dengan volume full (kepekatan smoke 0,4 Ω [Rs/Ro]) pada box penampung. Untuk menjaga kestabilan volume smoke dalam setiap percobaan. Maka dilakukan pengukuran untuk mengetahui kadar asap di dalam box penampung. Proses memasukan smoke ke dalam box menggunakan smoke generator. Untuk mengalirkan smoke juga menggunakan alat yang sama namun rokok dilepas dari bagian suction alat.



BAB IV

PROSEDUR PENGOPERASIAN DAN PERAWATAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai prosedur pengoperasian serta perawatan yang harus dilakukan agar alat bekerja dengan baik.

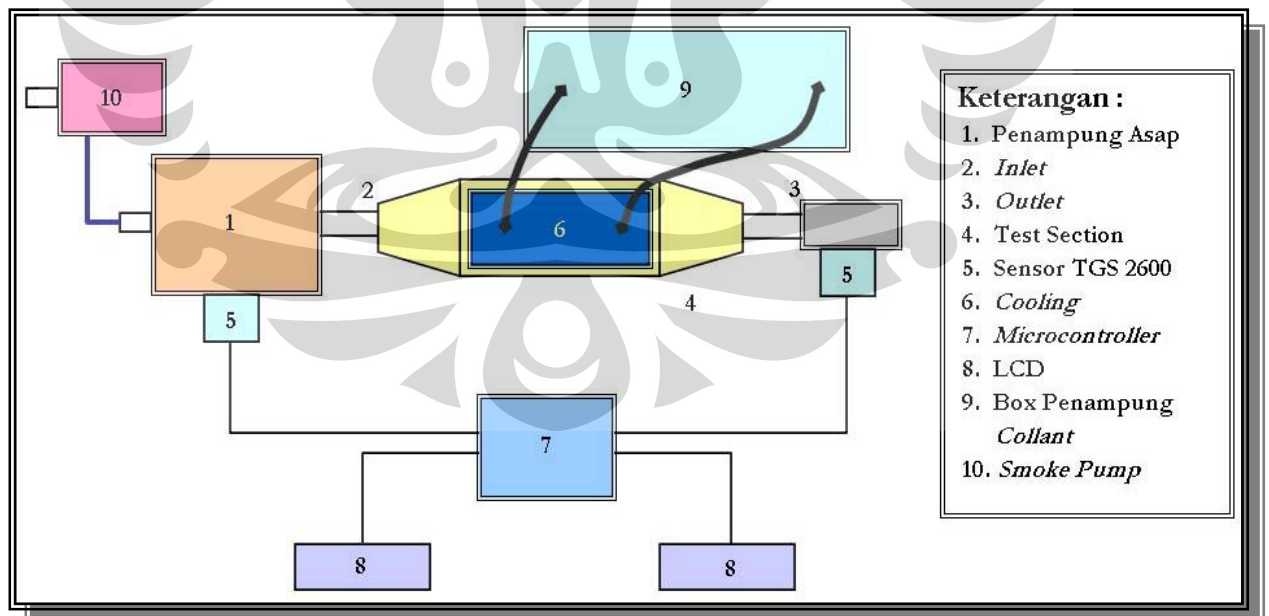
4.1. PENGOPERASIAN ALAT

Sebelum dilakukan pengambilan data perlu dipersiapkan beberapa hal sehingga dalam proses pengambilan data bisa akurat.

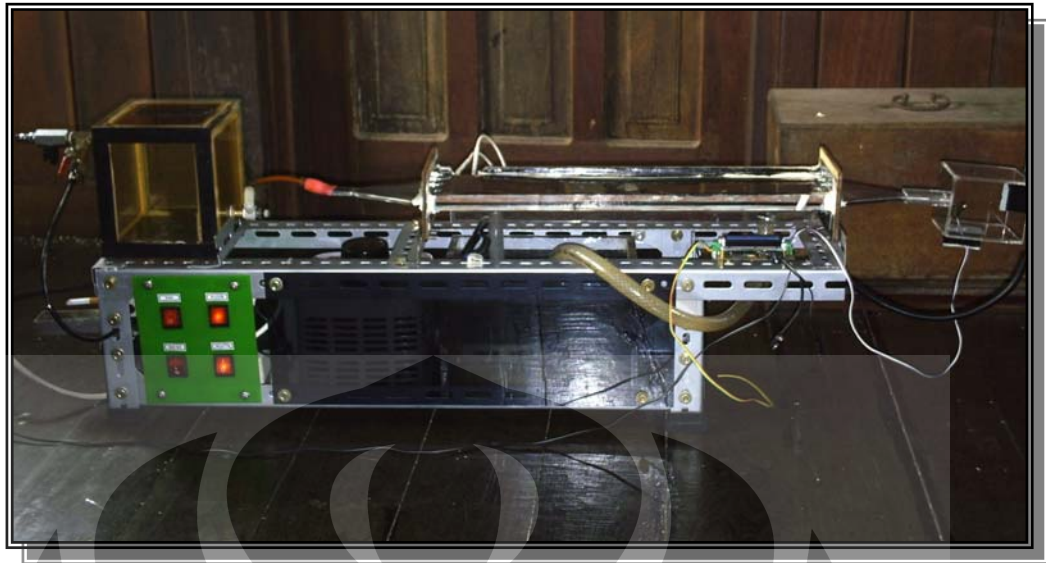
4.1.1 Pemasangan perlengkapan

Perlengkapan yang harus dipasang pada thermal precipitator antara lain :

- a. Multi meter
- b. Voltage Regulator dan Heater
- c. Voltage Adaptor dan Sensor TGS 2600



Gambar 4.1 Skema pemasangan Alat



Gambar 4.2 Pemasangan pada Alat *Thermal Precipitator*.

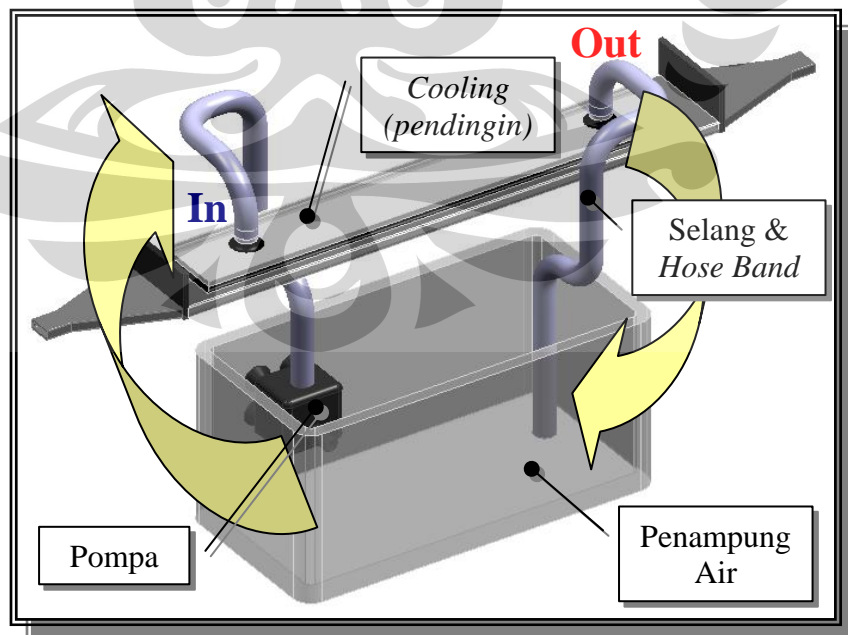
Setelah semua bagian terpasang dengan baik, maka perlu dilakukan pengecekan ulang untuk memastikan semua sambungan ataupun perlengkapan elektronik terhubung dengan baik. Langkah-langkah pengoperasian meliputi :

1. Menyalakan sumber listrik dan memastikan semua bisa berfungsi dengan baik.
2. Nyalakan rokok, lalu taruh rokok pada dudukan yang terletak di *aquarium air pump*. *Aquarium air pump* akan menghisap asap rokok secara kontinnyu langsung dari batang rokok untuk selanjutnya diteruskan kedalam Box penampung. Pastikan pula katup valve outlet terbuka, sehingga asap rokok dapat terdorong melewati *test section* dengan kecepatan sesuai dengan kapasitas *air pump*. Matikan tombol *smoke* dan rokok setelah sensor mendeteksi jumlah hambatan pada *smoke* ketika hasil yang didapat sudah stabil.



Gambar 4.3 Dudukan Rokok pada *aquarium air pump*.

2. Isi penampungan air sistem pendingin dengan air lalu nyalakan sistem pendingin (*cooling*). Sistem pendingin (*cooling*) berfungsi untuk menjaga temperature plat dingin sesuai dengan kebutuhan pengambilan data. Pastikan selang pada *cooling chamber* telah dikencangkan menggunakan *hose band*, agar terhindar dari selang yang lepas akibat tekanan dari pompa.

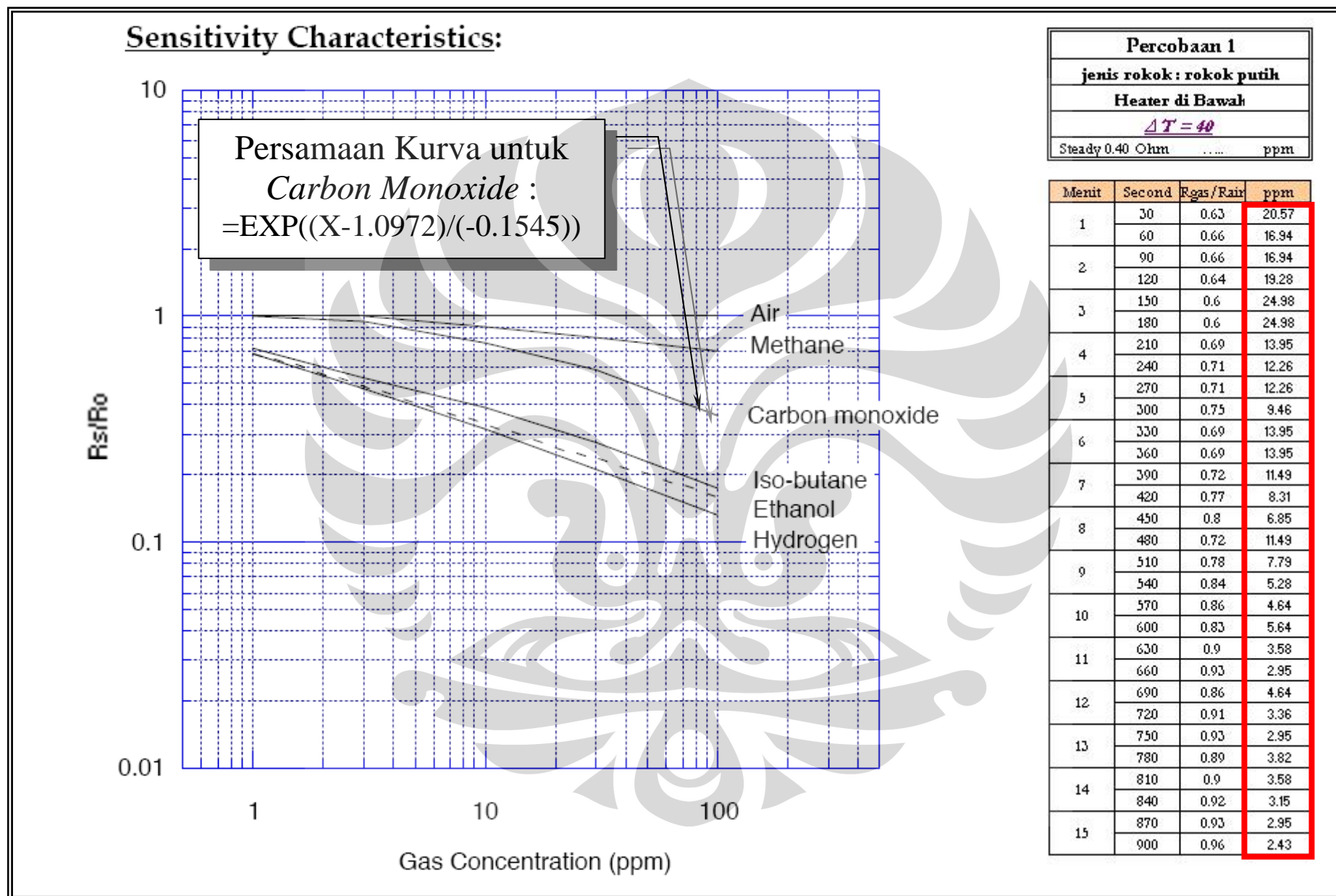


Gambar 4.4 Sirkulasi pendinginan pelat.

4. Setting temperatur heater dengan menghubungkannya pada voltage regulator. Atur berapa temperatur yang diinginkan dengan memutar tuas, terdapat beberapa nilai voltage yang diawali dari 25 ~ 250 dan nilai tiap skala adalah 5 volt. Pengaturan temperatur dilakukan secara bertahap dengan memutar tiap 25 skala sampai didapatkan temperatur yang diinginkan. Kenaikan temperatur ini dilakukan bertahap agar material pelat maupun kaca yang berada di sampingnya tidak mendapatkan perubahan temperatur secara mendadak, dikhawatirkan bisa menyebabkan kaca pecah. Perbedaan temperatur antara pelat atas dan pelat bawah yang diinginkan adalah sebesar 50° , 100° , dan 150° . Dengan penyesuaian pada kondisi alat uji, maka diambil gradien temperatur 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , dan 60° .
5. Nyalakan sensor gas TGS 2600 hingga sensor In dan Out mendeteksi jumlah tahanan pada udara ruangan, setelah itu posisikan sensor In didalam box penampung asap, tunggu beberapa saat hingga mendapatkan hasil tahanan yang stabil. Setelah hasil sensor In sudah stabil, posisikan sensor Out pada *end test section*. Gerakan hasil yang berfluktuasi mengharuskan kita untuk menunggu hasil data yang stabil muncul terlebih dahulu (*steady*).

4.2 KALIBRASI SENSOR

Hal yang dilakukan sebelum pengambilan data adalah memastikan bahwa sensor yang bekerja dalam kondisi baik. Pada Gambar 4.5 merupakan contoh pengambilan data dan tahapan konversi satuan yang didapat dari perbandingan tahanan antara gas dan udara (R_s/R_o) kedalam satuan *part per million* (ppm). Dengan mengambil titik-titik pendekatan salah satu grafik (contoh : *carbon monoxide*), dengan bantuan *Microsoft Excell* hasil dari titik-titik tersebut dibuatkan grafik yang menghasilkan suatu persamaan kurva. Persamaan kurva tersebut yang selanjutnya mengkonversi hasil dari data yang diperoleh yaitu perbandingan antara tahanan gas dan udara, kedalam satuan ppm.

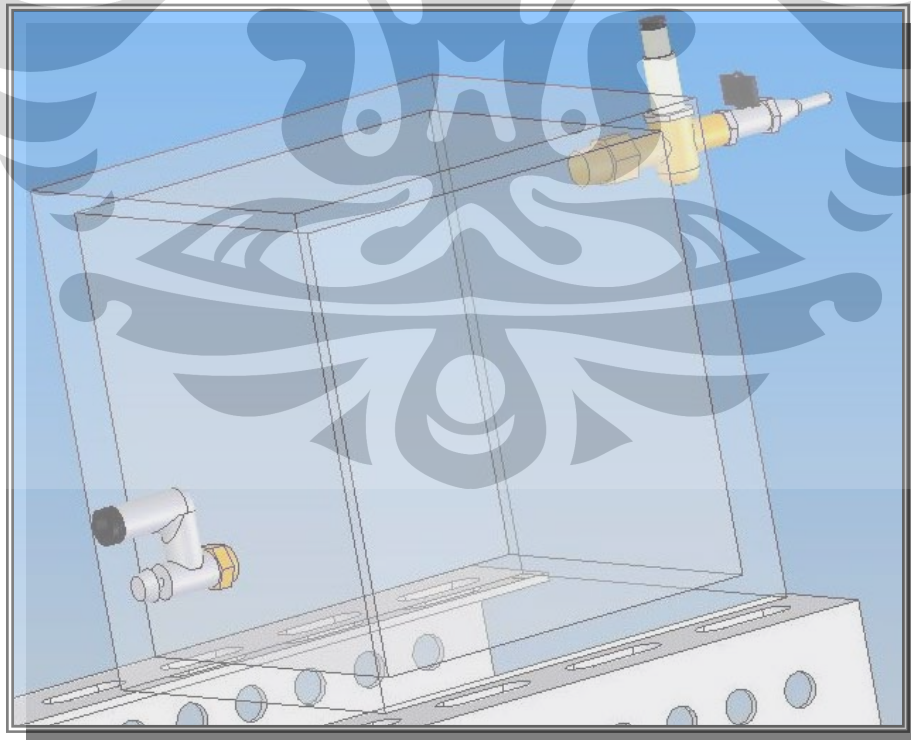


Gambar 4.5 Tahapan konversi satuan ppm

4.3 PERAWATAN ALAT

. Teknik perawatan adalah suatu konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas peralatan agar tetap dapat berfungsi dengan baik seperti dalam kondisi sebelumnya. Beberapa cara yang dapat dilakukan antara lain :

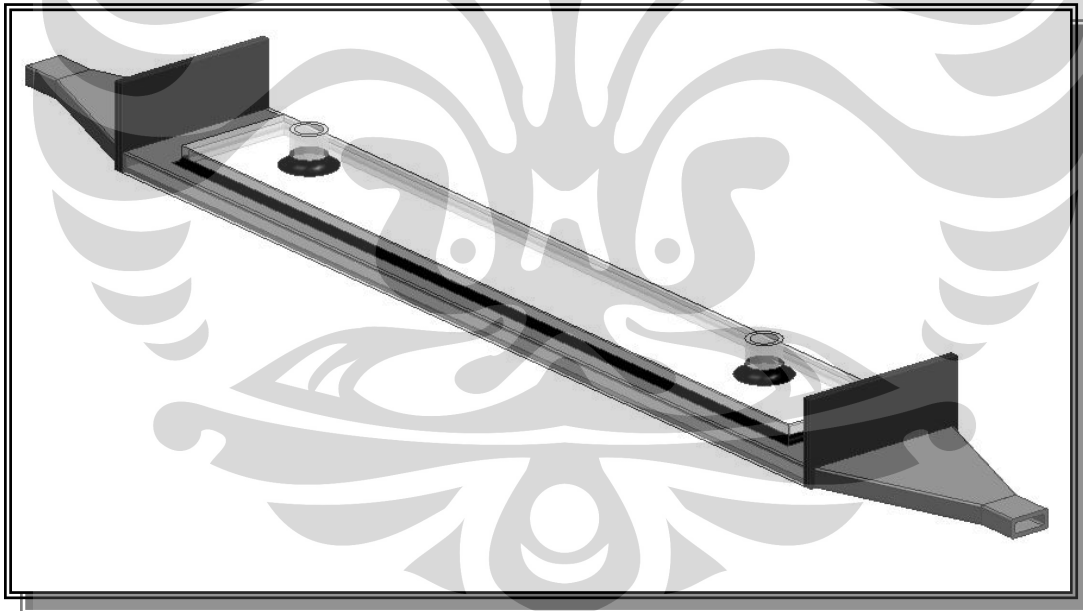
1. Membersihkan box penampungan asap :
 - a. Buka katup inlet dan outlet pada box
 - b. Masukkan air serta pembersih ke dalam box
 - c. Masukkan kawat tebal yang telah dililit dengan kain.
 - d. Gosokkan kawat tersebut pada bagian yang telah kotor hingga menjadi bersih
 - e. Bilas dan keluarkan air dari dalam box.
 - f. Keringkan air dengan menggunakan kain bersih atau dapat juga menggunakan kompressor gun.
 - g. Pastikan kondisi dalam box telah kering dan pasang kembali katup outlet serta inlet.



Gambar 4.6 Box Penampung asap.

2. Membersihkan Test Section

- a. Buka 6 (enam) baut pengencang yang ada pada flange inlet dan outlet.
- b. Pastikan posisi tumpuan test section bukan pada kaca atau packing sheet, tapi pada plat stainless untuk menghindari bergesernya kaca sehingga mengakibatkan kebocoran pada test section.
- c. Masukkan kawat tebal yang telah dililit dengan kain ke dalam test section mulai dari posisi inlet hingga kain keluar pada posisi outlet.
- d. Gerakkan kain hingga kain tersebut mengenai seluruh bagian dalam pada test section hingga bersih.
- e. Tidak disarankan untuk menggunakan air karena akan menyebabkan terjadinya pengembunan pada kaca pengamatan
- f. Pastikan kedua belah plat telah bersih dan pasang kembali flange pada posisi semula.



Gambar 4.7 *Test Section*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai kesimpulan dan saran - saran beserta kekurangannya dengan tujuan agar dapat dikembangkan lebih lanjut untuk masa yang akan datang.

5.1 KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan tugas akhir Redesain dan Manufaktur *Thermal Precipitator* sebagai *Smoke Collector* berbasis *Thermophoretic Force*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada alat *Thermal Precipitator* ini dapat dilakukan karakterisasi seberapa besar partikel yang didapat secara kuantitatif, yang disebabkan oleh perbedaan temperatur.
2. Alat thermal Precipitator ini layak untuk digunakan sebagai *smoke collector*.

5.2 SARAN

Dalam menyusun tugas akhir ini masih banyak hal – hal yang belum terlaksana dengan baik dan maksimal, maka dari itu untuk pengembangan dan penyempurnaan lebih lanjut dapat dilakukan hal – hal sebagai berikut :

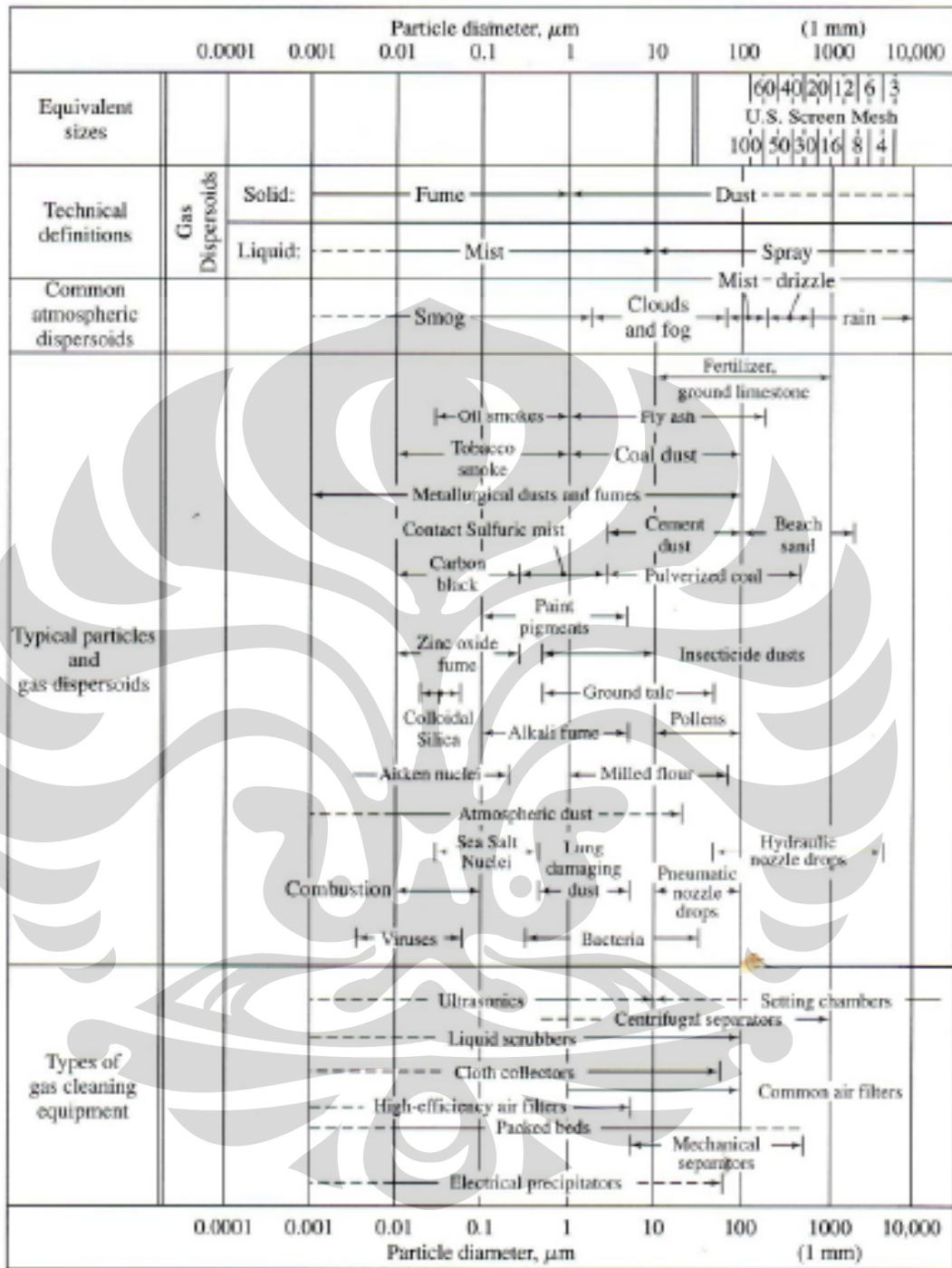
1. Alat ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan aplikasi langsung di lapangan.
2. Alat ini selanjutnya dapat digunakan oleh peneliti yang lain untuk mengetahui karakterisasi partikel asap rokok dengan pengaruh gaya thermophoresis.

DAFTAR PUSTAKA

- Braun, Dieter. *Fluorescence imaging of thermophoresis*. Rockefeller University.
- Cipolla, John., Ahmed Busnaina and Nicol McGruer., *The Transport of Contaminants in Thin Film Deposition Processes*. Northeastern University, 2001.
- Holman, J. P., *Experimental Methods for Engineers*, 7th edition, McGraw Hill, New York.2001.
- M. A. Gallis et al., *Comment on "Thermophoresis of a Near-Wall Particle at Great Knudsen Numbers"*, Engineering Sciences Center, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, 2003.
- Riesto, *Rancang Bangun Thermal Precipitator Sebagai Smoke Collector Berbasis Thermophoretic Force* ,Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, 2008.
- Waldmann L., Schmit K.H., *Aerosol Science Vol I : Thermophoresis and Diffusiophoresis of Aerosols*,Academic Press, London and New York, 1966.
- Susanna, Dewi, Budi Hartono Dan Hendra Fauzan., *Jurnal Ekologi Kesehatan Vol 2 No 3, Desember 2003 : 272 – 274*, Jurusan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, 2003.
- <http://bplhd.jakarta.go.id/PPU.php> diakses tanggal 26 Oktober 2007
- <http://organisasi.org/> diakses tanggal 26 Oktober 2007
- <http://io.ppi-jepang.org/article.php?id=111> diakses tanggal 26 Oktober 2007

Lampiran 1

Characteristics Particulate Matter

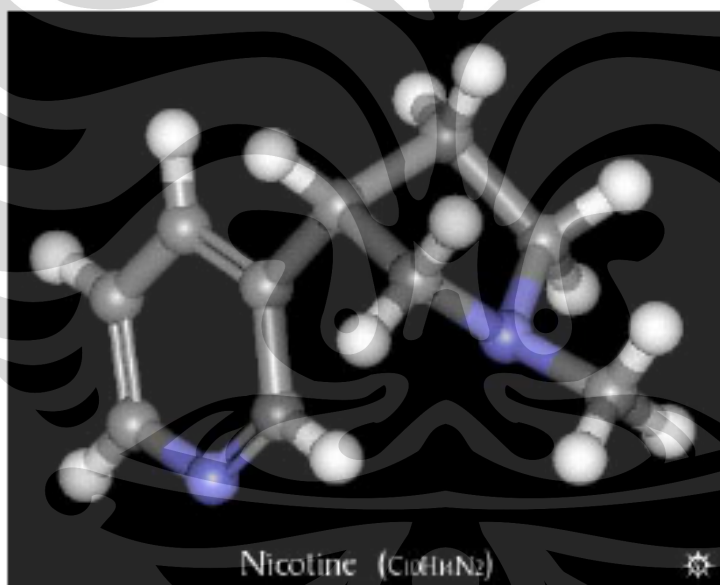


Lampiran 2

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 POINT⁷⁴⁵	247° C
BOILING POINT¹⁷	123-125° C
LD50	(mice) .3 mg/kg iv; 9.5 mg/kg i.p.; 230 mg/kg oral
From the Merck Index 12th Edition	



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

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.

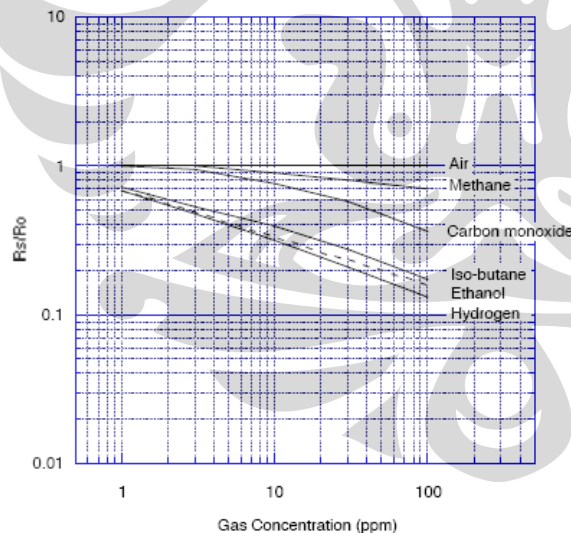
The **TGS 2600** has high sensitivity to low concentrations of gaseous air contaminants such as hydrogen and carbon monoxide which exist in cigarette smoke. The sensor can detect hydrogen at a level of several ppm. Figaro also offers a microprocessor (FIC02667) which contains special software for handling 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_o) which is defined as follows:

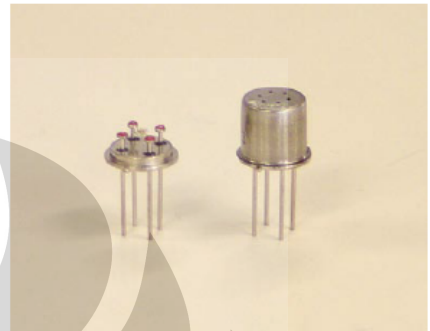
- R_s = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
- R_o = Sensor resistance in fresh air

Sensitivity Characteristics:



Applications:

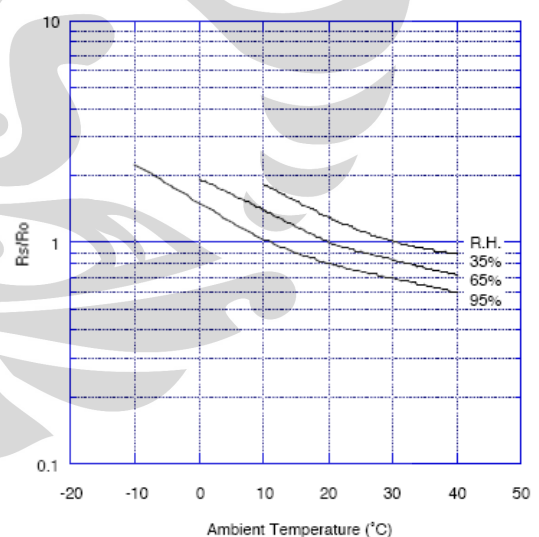
- * Air cleaners
- * Ventilation control
- * Air quality monitors



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

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

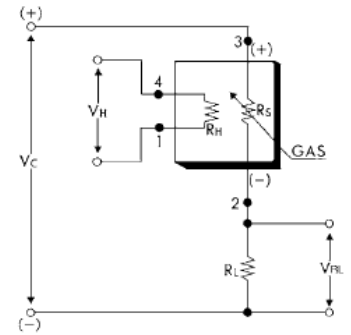
Temperature/Humidity Dependency:



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

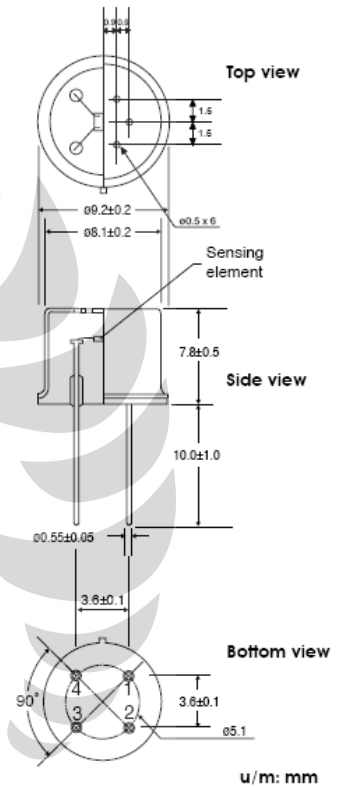
voltage since the sensor has a polarity. A common power supply circuit can be used for both V_C and V_H to fulfill the sensor's electrical requirements. The value of the load resistor (R_L) should be chosen to optimize the alarm threshold value, keeping power consumption (P_s) of the semiconductor below 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 ≤ 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±0.01V DC V _H = 5.0±0.05V DC	
	Conditioning period before test	7 days	

Structure and Dimensions:



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

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.

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

