



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISASI PORTABLE SMOKE PARTICULATE COLLECTOR
BERBASIS THERMOPHORETIC FORCE**

SKRIPSI

RULLY HARVIN

0706198833

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

DEPOK

GENAP, 2008/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISASI PORTABLE SMOKE PARTICULATE COLLECTOR
BERBASIS THERMOPHORETIC FORCE**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RULLY HARVIN

0706198833

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

DEPOK

GENAP, 2008/2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : RULLY HARVIN

NPM : 0706198833

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : RULLY HARVIN

NPM : 0706198833

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : KARAKTERISASI PORTABLE SMOKE
PARTICULATE 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, M. Eng (.....)

Penguji : Dr. Ir. Engkos Achmad Kosasih, MT. (.....)

Penguji : Dr. Ir. Yulianto, MSc.PhD (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2009

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, dan masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Mr. 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) 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, 2 Juli 2009

Penulis

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

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

Nama : RULLY HARVIN

NPM : 0706198833

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 : *Karakteristik Portable Smoke Particulate 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 : 26 Juni 2009

Yang menyatakan

(Rully Harvin)

ABSTRAK

Nama : RULLY HARVIN
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : KARAKTERISASI *PORTABLE SMOKE PARTICULATE COLLECTOR* BERBASIS *THERMOPHORETIC FORCE*

Salah satu penyebab pencemaran udara adalah polusi yang disebabkan oleh *aerosol smoke*. namun dalam penelitian ini lebih spesifik untuk penanggulangan pencemaran yang disebabkan oleh asap rokok yang memiliki diameter partikel $0,1 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$, dimana untuk diameter $0,1 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$ salah satu metode penyaringan udara yang cocok yaitu menggunakan *thermal precipitation*,

Dalam penelitian ini, dibuat suatu alat uji *thermal precipitator* untuk mendepositkan partikel-partikel yang ada di dalam asap rokok dengan memanfaatkan gaya *thermophoretic*. Gaya tersebut adalah gaya yang diberikan kepada partikel yang tersuspensi di suatu aliran fluida dimana apabila didalam aliran tersebut terdapat perbedaan temperatur maka partikel tersebut akan bergerak menuju daerah yang memiliki temperatur lebih rendah. Dari hasil eksperimen dan analisa dapat diambil kesimpulan bahwa *thermal precipitator* ini dapat digunakan sebagai *smoke collector*. Hal ini dibuktikan dengan melakukan observasi dengan mengukur kadar asap yang dapat di depositkan oleh *thermal precipitator* ini dengan menggunakan gas sensor.

Kata kunci:

thermophoresis, asap rokok, *thermal precipitator*.

ABSTRACT

Name : Rully Harvin
Study Program : Mechanical engineering
Title : CHARACTERIZATION PORTABLE THERMAL
PRECIPITATOR AS A SMOKE PARTICULATE
COLLECTOR BASED ON THERMOPHORETIC FORCE

One of the causes of air pollution is aerosol smoke. This experiment will study more specifically about how to eradicate the pollution caused by tobacco smoke which consist of particles with diameters 0,1- 1 μm . Filtering method which is suitable for the particles with that specification will be thermal precipitation. In this research, we will try to create a thermal precipitator for depositing the particles that exist in the smoke of cigarette by using thermoporetic force. That 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 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 thermal precipitator by using gas sensor.

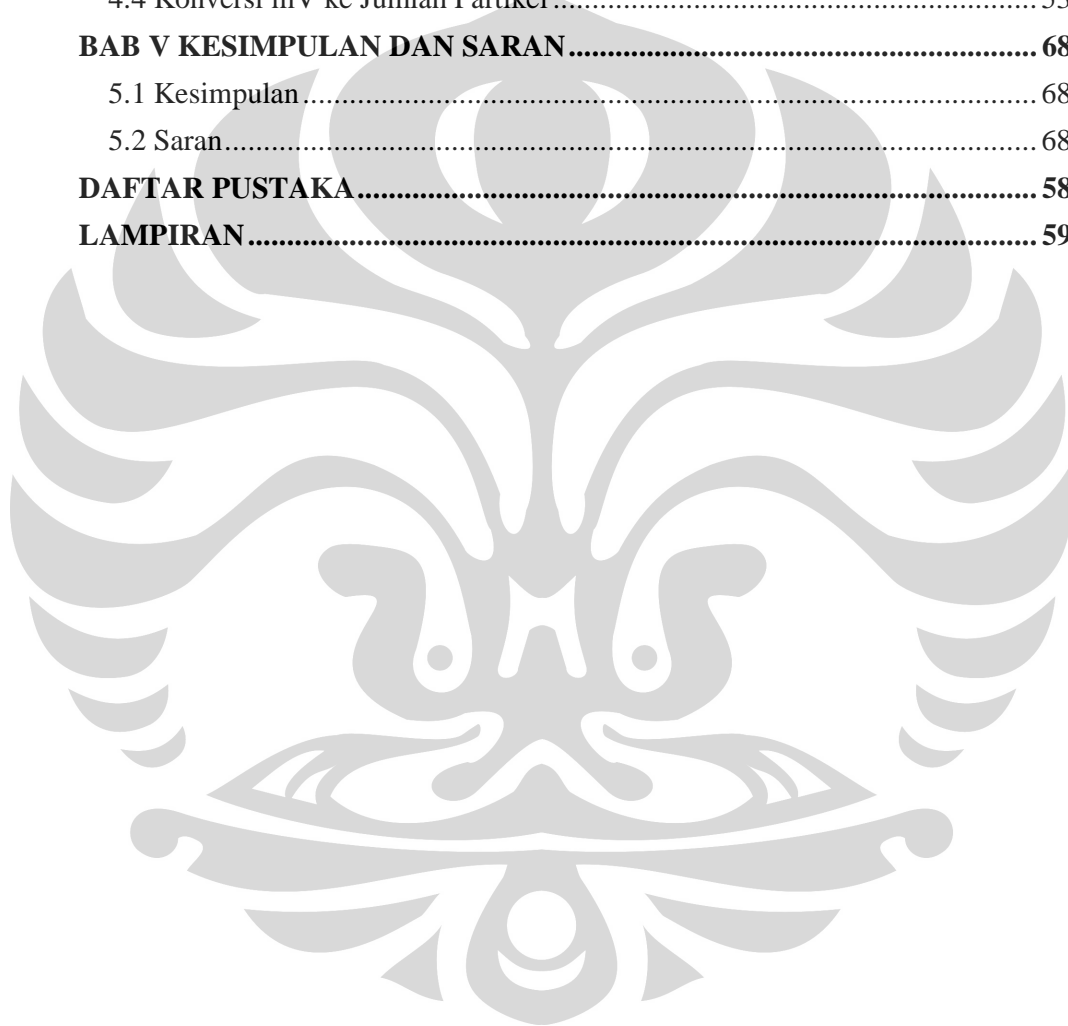
Key words:

thermophoresis, tobacco smoke, thermal precipitator

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Definisi Pencemaran Udara	5
2.2 Bahaya Asap Rokok	7
2.3 Aerosol	8
2.4 Gaya-gaya yang bekerja pada suatu partikel	10
2.4.1 Gaya Thermophoresis (<i>Thermophoretic Force</i>)	10
2.5 Gerak Brown.....	14
2.5.1 Fik's Law of Diffusion.....	16
2.6 Pengukuran Kualitas Udara	16
BAB III CARA PENGAMBILAN DATA	20
3.1 Penelitian	20
3.2 Metoda Pengujian.....	20
3.2.1 Sampling Dengan Menggunakan Kertas Tissue	20
3.2.1.1 Cara Pengambilan Data dengan Menggunakan Kertas Tissue	21
3.2.2 Metoda Pengujian dengan menggunakan Sensor LED dan Photodiode	24
3.3 <i>Boundary Condition</i>	26
3.4 Partikel <i>Smoke</i>	26
3.5 Teknik Pengujian.....	27

BAB IV DATA DAN ANALISA PERCOBAAN.....	30
4.1 Data yang Diperoleh.....	30
4.2 Pengambilan Data dengan Menggunakan Tissue	34
4.2.1 Grafik Hasil Pengambilan Data Berat Deposit	34
4.3 Grafik Hasil Pengambilan Data Konsentrasi Asap dengan Menggunakan Sensor LED IR	40
4.3.1 Grafik Rasio Penyaringan Asap.....	46
4.4 Konversi mV ke Jumlah Partikel.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN.....	59



DAFTAR GAMBAR

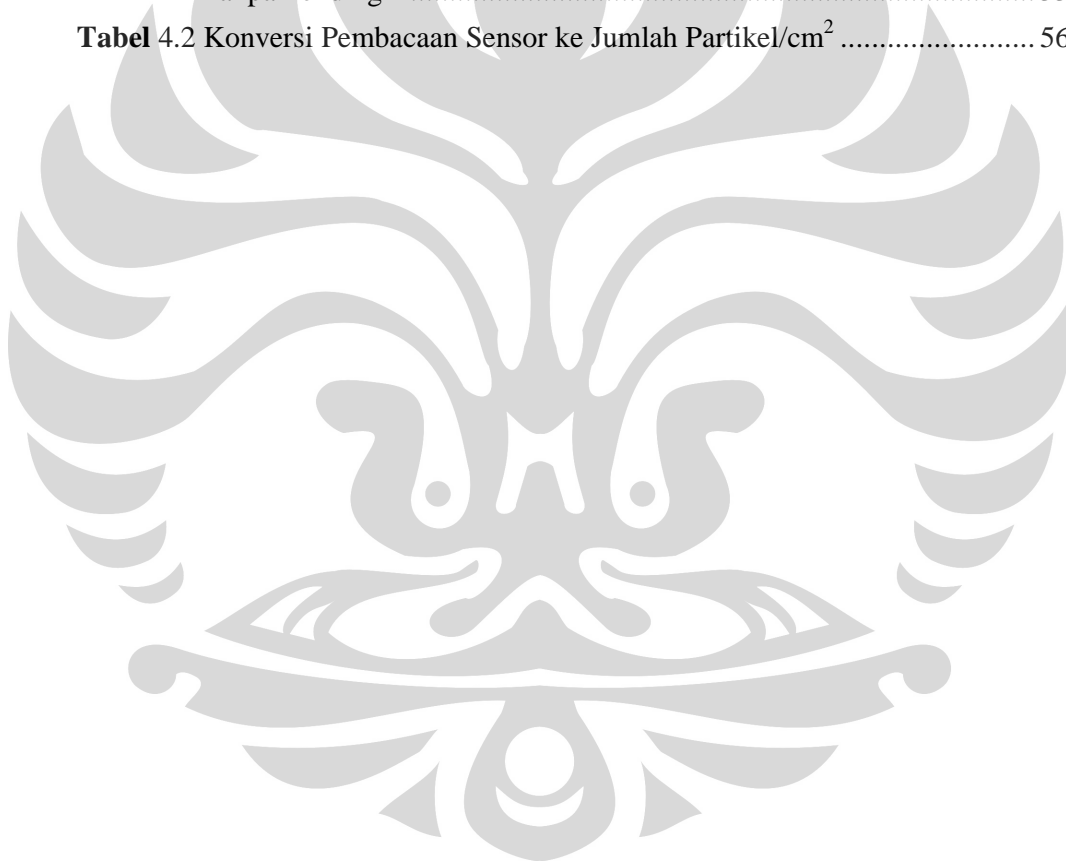
Gambar 2.1 Rokok	6
Gambar 2.2 Komposisi rokok.....	6
Gambar 2.3 Particle size and definitions for aerosol	9
Gambar 2.4 Thermophoretic force.....	11
Gambar 2.5 Dust free zone	12
Gambar 2.6 Thermophoretic phenomena.....	13
Gambar 2.7 Thermophoretic force for small particle.....	13
Gambar 2.8 Thermophoretic force for big particle.....	14
Gambar 2.8 Pergerakan partikel	15
Gambar 2.9 Perbandingan lintasan molekul gas dengan partikel aerosol.....	16
Gambar 2.10 Aerosol particle counter	17
Gambar 2.11 High volume air sampler.....	18
Gambar 2.12 Non dispersive infrared sensor	18
Gambar 2.13 Gas sensor.....	19
Gambar 3.1 Thermal precipitator.....	21
Gambar 3.2 Posisi peletakan sisi dingin.....	22
Gambar 3.3 Posisi peletakan asap rokok.....	23
Gambar 3.4 Kondisi asap keluaran thermal precipitator.....	23
Gambar 3.5 Cara pengelapan sisi dingin.....	24
Gambar 3.6 Sensor asap	25
Gambar 3.7 Display penunjukan sensor.....	26
Gambar 3.8 Sensor sebelum dan sesudah ditempatkan.....	26
Gambar 4.1 Grafik perbandingan T^*1	30
Gambar 4.2 Grafik perbandingan T^*2	30
Gambar 4.3 Grafik perbandingan T^*3	31

Gambar 4.4 Grafik perbandingan T*4	31
Gambar 4.5 Grafik perbandingan T*5	32
Gambar 4.6 Grafik perbandingan T*6	32
Gambar 4.7 Deposit T*1	34
Gambar 4.8 Deposit T*2	34
Gambar 4.9 Deposit T*3	34
Gambar 4.10 Deposit T*4.....	34
Gambar 4.11 Deposit T*5.....	34
Gambar 4.12 Deposit T*6.....	34
Gambar 4.13 Deposit T*1.....	35
Gambar 4.14 Deposit T*2.....	35
Gambar 4.15 Deposit T*3.....	35
Gambar 4.16 Deposit T*4.....	35
Gambar 4.17 Deposit T*5.....	35
Gambar 4.18 Deposit T*6.....	35
Gambar 4.19 Deposit T*1.....	36
Gambar 4.20 Deposit T*2.....	36
Gambar 4.21 Deposit T*3.....	36
Gambar 4.22 Deposit T*4.....	36
Gambar 4.23 Deposit T*5.....	36
Gambar 4.24 Deposit T*6.....	36
Gambar 4.25 Deposit rate 1	37
Gambar 4.26 Deposit rate 2	37
Gambar 4.27 Deposit rate 3	38
Gambar 4.28 Grafik percobaan beda temperatur 5.6°C	40
Gambar 4.29 Grafik percobaan beda temperatur 7.3°C	41

Gambar 4.30 Grafik percobaan beda temperatur 9°C	42
Gambar 4.31 Grafik percobaan beda temperatur 11°C	43
Gambar 4.32 Grafik percobaan beda temperatur 21°C	44
Gambar 4.33 Grafik percobaan beda temperatur 24°C	45
Gambar 4.34 Rasio penyaringan beda temperatur 5.6°C	46
Gambar 4.35 Rasio penyaringan beda temperatur 7.3°C	47
Gambar 4.36 Rasio penyaringan beda temperatur 9°C	48
Gambar 4.37 Rasio penyaringan beda temperatur 11°C	49
Gambar 4.38 Rasio penyaringan beda temperatur 21°C	50
Gambar 4.39 Rasio penyaringan beda temperatur 24°C	51
Gambar 4.40 Rasio penyaringan rata rata	52
Gambar 4.41 Konversi 386 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm ²	52
Gambar 4.41 Konversi 389mV ke jumlah partikel tiap 1 cm ²	54
Gambar 4.42 Konversi 386 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm ²	54
Gambar 4.43 Konversi 391 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm ²	54
Gambar 4.44 Konversi 393 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm ²	55
Gambar 4.45 Konversi 396 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm ²	55
Gambar 4.46 Konversi 407 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm ²	55
Gambar 4.47 Grafik konversi mV ke jumlah partikel	56

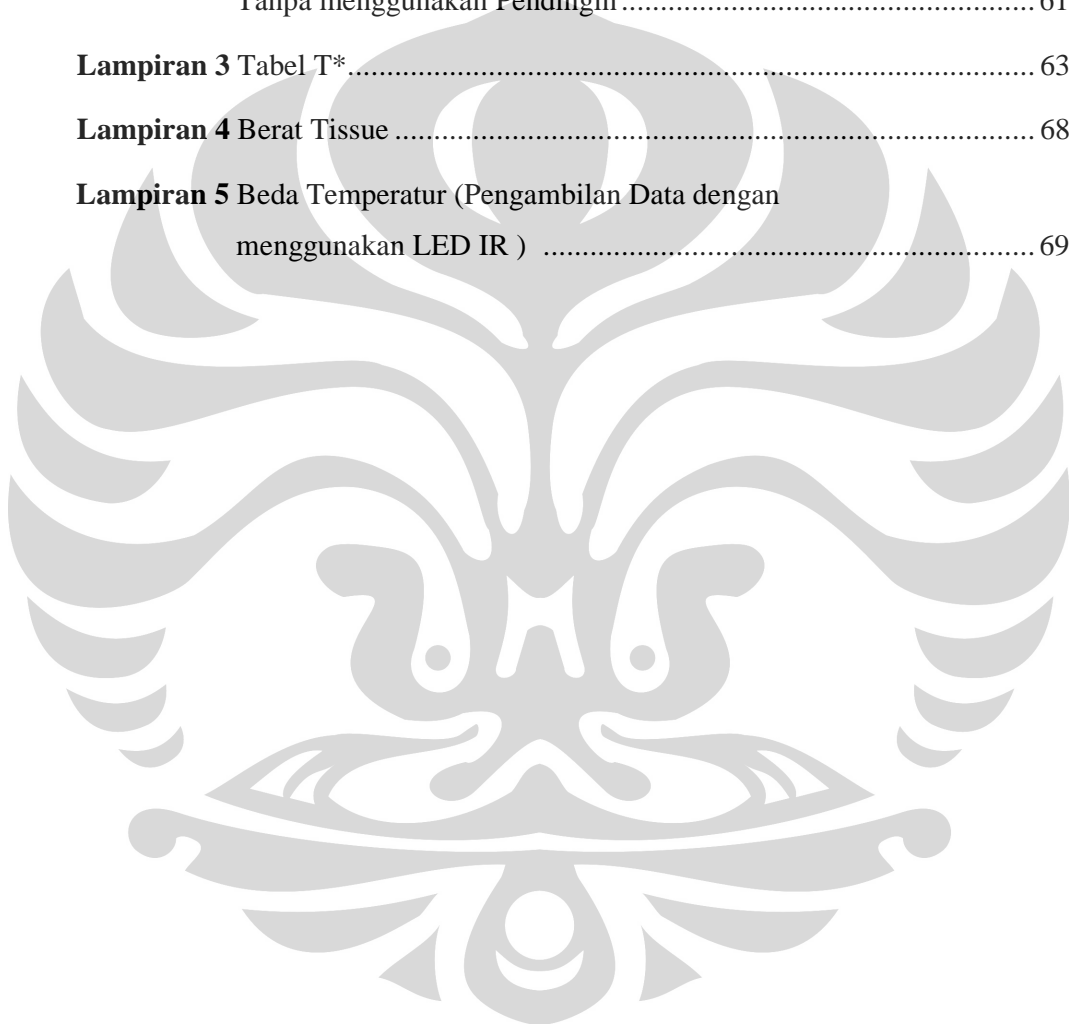
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Smoke	8
Tabel 2.2 Particle Size and Cleaning Type	9
Tabel 3.1 Sifat-sifat Fisik Udara untuk Simulasi.....	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Partikel Uji	27
Tabel 3.3 Format Pengambilan Data dengan Menggunakan Kertas Tissue.....	28
Tabel 3.4 Format Pengambilan Data dengan Menggunakan LED IR	28
Tabel 4.1 Perbedaan Temperatur Sisi Panas dan Sisi Dingin dengan dan Tanpa Pendingin	33
Tabel 4.2 Konversi Pembacaan Sensor ke Jumlah Partikel/cm ²	56



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Perbandingan Temperatur Sisi Panas dengan Sisi Dingin Tanpa menggunakan Pendingin	59
Lampiran 2 Tabel Perbandingan Temperatur Sisi Panas dengan Sisi Dingin Tanpa menggunakan Pendingin	61
Lampiran 3 Tabel T*	63
Lampiran 4 Berat Tissue	68
Lampiran 5 Beda Temperatur (Pengambilan Data dengan menggunakan LED IR)	69



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya (Abidzar Ramadhana 2008), yaitu dimana pada penelitian sebelumnya diberikan beberapa saran untuk pengembangan alat *thermal precipitator* sebagai *smoke collector* berbasis *thermophoretic force*, desain sebelumnya memiliki bentuk dan ukuran yang besar sehingga tidak dapat dibawa dengan mudah, oleh karena itu pada penelitian kali ini akan mencoba untuk mengembangkan alat tersebut menjadi sederhana dan mudah dibawa (*portable*), selain itu alat tersebut juga harus mudah untuk dibersihkan. Pada penelitian sebelumnya dilakukan observasi untuk mengetahui kadar asap rokok yang dapat didepositkan menggunakan *thermal precipitator* skala lab. Maka pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui kadar asap rokok dan massa partikel yang dapat didepositkan menggunakan *thermal precipitator portable*, serta pada penelitian ini juga diharapkan dapat diketahui tingkat konsentrasi asap setelah melewati *thermal precipitator*.

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

Dalam penelitian tugas akhir ini upaya yang memungkinkan dapat membantu pengendalian pencemaran udara adalah menggunakan alat uji *thermal precipitator* yang berfungsi sebagai *smoke collector*. Alat ini memanfaatkan gaya *thermophoresis*, gaya *thermophoresis* adalah gaya yang mengenai partikel karena adanya gradien temperatur dan menyebabkan partikel bergerak dari zona temperatur yang tinggi ke zona temperatur yang lebih rendah. Hal tersebut

disebabkan oleh transfer momentum dari lingkungan sekitar ke partikel melalui media panas. [Cipolla, J.et al. 2001].

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

Rancang bangun ulang alat *thermal precipitator* untuk *smoke dust collector* (asap rokok) yang sederhana (*portable*) dan mudah dibersihkan yang memanfaatkan prinsip gaya *thermophoretic*.

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian tugas akhir ini dibatasi permasalahannya mengenai karakterisasi *thermal precipitator* yang digunakan untuk proses deposit *smoke aerosol* berukuran $0.01\mu\text{m} \leq d_p \leq 1\mu\text{m}$, serta kecepatan aliran asap atau udara yang mengalir melalui *thermal precipitator* ini kecepatannya bergantung pada kecepatan udara lingkungan.

1.4 METODE PENELITIAN

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

Studi literatur

Mencari dan mempelajari materi-materi tentang *thermophoresis* yang didapat dari buku-buku, journal dan artikel-artikel.

Desain alat

Setelah mendapatkan dan mempelajari informasi yang cukup mengenai prinsip dari *thermal precipitator* maka terlebih dahulu merancang beberapa bentuk alat sampai didapat bentuk yang ideal sesuai tujuan tugas akhir ini.

Fabrikasi dan Assembly

Pembuatan alat diawali dengan proses fabrikasi, yaitu meliputi pembuatan bagian *smoke* pemampung asap, *heater*, dan *casing*. Kemudian merakit semua *part* sehingga terbentuk suatu alat uji *thermal precipitator* yang dapat bekerja dengan baik.

Preliminary Test

Untuk mengetahui alat uji tersebut berfungsi atau tidak, perlu dilakukan *preliminary test*. Seperti pengetesan *heater*, apakah *heater* dapat bekerja dengan baik atau cepat merespon apabila tegangan input dirubah-rubah. Selain itu juga dilakukan test alat ukur dengan melakukan kalibrasi.

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.

Pengolahan Data

Data diambil dengan melakukan pengamatan secara langsung ketika eksperimen. Data yang didapatkan antara lain data pengaruh variasi daya input pada *heater* yang akan mempengaruhi temperatur pada sisi panas yang secara tidak langsung akan mempengaruhi temperatur pada sisi dingin karena adanya perpindahan panas secara konveksi dan radiasi, data banyaknya deposit yang dapat dikumpulkan pada sisi dingin yang didapat dengan cara mengambil deposit tersebut dengan menggunakan media tissue yang kemudian ditimbang, dan data kepekatan asap sebelum dan sesudah *thermal precipitator*. Setiap data diambil sebanyak 3 kali agar diharapkan didapat data yang valid.

1.5 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 gaya-gaya yang bekerja pada suatu partikel, dan teori aerosol.

BAB III SISTEM PENGUJIAN

Berisi tentang *boundary condition*, analisa kondisi sebelum pengujian, *setting* alat *thermal precipitator*, dan teknik pengujian.

BAB IV ANALISA PENGUJIAN

Berisi tentang data yang diperoleh dan analisa data.

BABV KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dan saran dari pembuatan tugas akhir ini.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 DEFINISI PENCEMARAN UDARA

Pencemaran udara adalah suatu kondisi di mana kualitas udara menjadi rusak dan terkontaminasi oleh zat-zat, baik yang tidak berbahaya maupun yang membahayakan kesehatan tubuh manusia. Pencemaran udara biasanya terjadi di kota-kota besar dan juga daerah padat industri yang menghasilkan gas-gas yang mengandung zat di atas batas kewajaran. Rusaknya atau semakin sempitnya lahan hijau atau pepohonan di suatu daerah juga dapat memperburuk kualitas udara di tempat tersebut. Semakin banyak kendaraan bermotor dan alat-alat industri yang mengeluarkan gas yang mencemarkan lingkungan akan semakin parah pula pencemaran udara yang terjadi. Untuk itu diperlukan peran serta pemerintah, pengusaha dan masyarakat untuk dapat menyelesaikan permasalahan pencemaran udara yang terjadi. Sedangkan dari lembaga penelitian ataupun perguruan tinggi berperan untuk membuat suatu penelitian mengenai pembuatan alat uji atau terobosan teknologi tepat guna untuk mengurangi pencemaran udara.

2.2 BAHAYA ASAP ROKOK

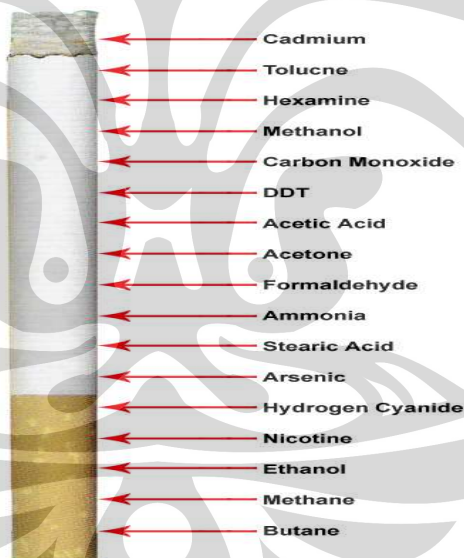
Bahan pencemar udara yang dikeluarkan rokok ternyata sepuluh kali lebih besar dibanding yang dikeluarkan mesin diesel, demikian hasil penelitian di Italia. Para ilmuwan membandingkan jumlah bahan-bahan yang dikandung dalam asap mesin mobil berbahan bakar diesel dengan asap rokok.



Gambar 2.1 Rokok

(sumber : <http://merry-christina.blogspot.com>)

Hasilnya, tiga batang rokok yang mengepul ternyata menghasilkan peningkatan partikel di udara sepuluh kali lebih banyak daripada yang dikeluarkan asap mesin yang menyala. Hal ini dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh tim dari institut kanker nasional itali yang dipimpin oleh Giovanni Invernizzi. Percobaan ini dilakukan di sebuah garasi di kota kecil Chiavenna, dekat Alpin.



Gambar 2.2 Komposisi Rokok

(sumber : <http://merry-christina.blogspot.com>)

Para peneliti tersebut menggunakan mobil Ford Mondeo turbo diesel tahun 2002 bermesin 2 liter dan telah dipakai selama enam bulan. Mobil itu dibiarkan menyala dalam garasi tertutup selama 30 menit dimana alat penganalisa akan mengambil contoh udara tiap dua menit. Garasi kemudian dibuka dan dibersihkan dari asap selama empat jam. Kemudian pintunya ditutup lagi dan tiga batang

rokok dinyalakan bergantian selama total 30 menit. Selanjutnya para ilmuwan melakukan pengukuran dan alat penganalisa menunjukkan adanya partikel pencemar sepuluh kali lebih banyak dari asap rokok dibanding asap mesin diesel. Bahkan tingkat polusi partikel-partikel yang berbahaya bagi kesehatan jauh lebih banyak. Partikel-partikel kecil yang berukuran kurang dari 2,5 mikrometer dari asap rokok itu bisa masuk ke *alveoli* paru-paru dimana ia bisa menimbulkan kerusakan parah.

Kebanyakan bahan kimia yang dikeluarkan asap rokok merupakan bahan-bahan yang merusakkan lingkungan. *Aldehyd* misalnya merusakkan tanaman, mata dan saluran pernafasan, lanjutnya. Sedangkan *nitric* oksida adalah biang keladi terbentuknya lapisan ozon.

2.3 AEROSOL

Aerosol merupakan partikel dari zat padat atau cair yang tersuspensi dalam gas. *Aerosol* terdiri dari gabungan partikel yang tersebar dalam udara (gas medium) atau dengan kata lain aerosol berada dalam udara. Tanpa adanya medium udara maka mustahil ada aerosol, udara berfungsi membatasi gerak dari *aerosol*, selain itu udara juga berfungsi sebagai pemisah antar partikel.

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 $0,01 \mu\text{m} < d_p < 1 \mu\text{m}$

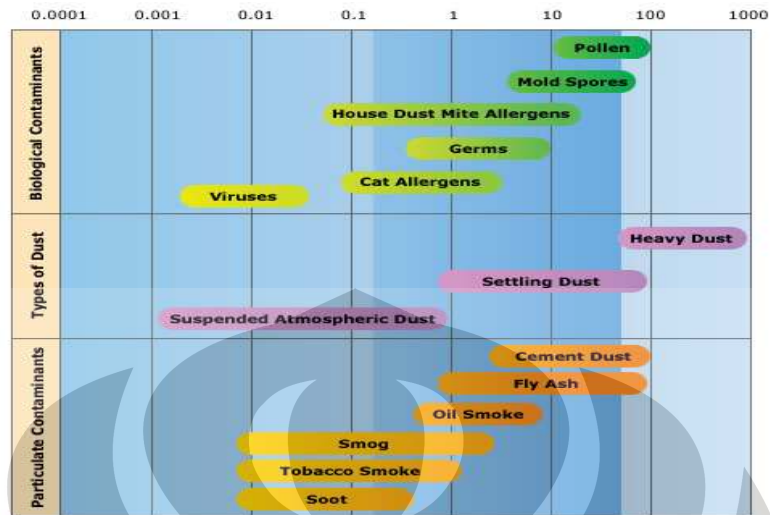
Pada penelitian ini, *aerosol* / partikel yang akan digunakan adalah *smoke* (asap rokok). Dasar pemilihan *smoke* ini karena merupakan salah satu pencemar udara dan mudah digunakan, serta dapat mewakili kondisi polusi udara di Indonesia.

Adapun spesifikasi dari partikel uji sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi *Smoke*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jenis Aerosol	Smoke	
2	Nama Aerosol	Tobacco smoke	
3	Diameter Partikel	0.001-1	μm
4	Density	1.1	g/cm^3
5	Molecular mass	162.23	g/mol
6	Boiling point	247	$^{\circ}\text{C}$

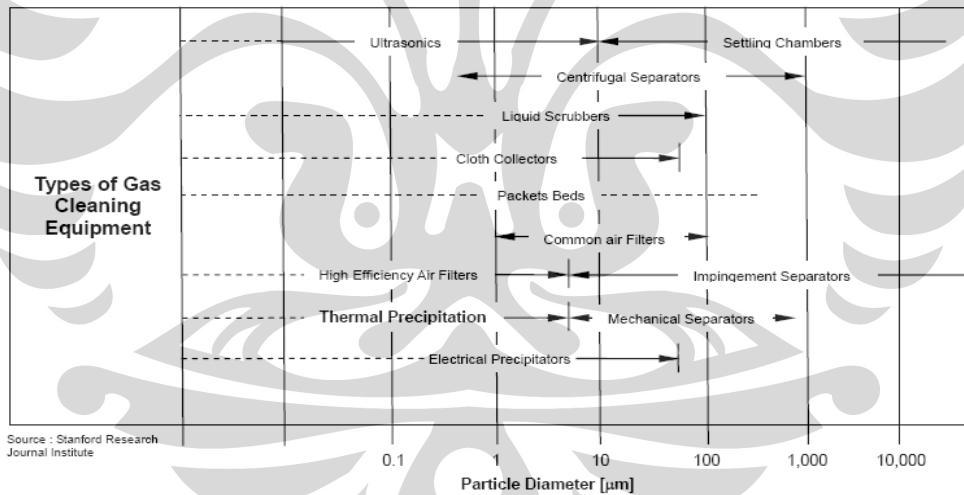
Untuk metode pembersihan *aerosol* (*type of gas cleaning equipment*) diketahui ada beberapa macam tipe pembersihan antara lain *thermal precipitator*, *ultrasonic* (penggunaanya sangat terbatas hanya pada beberapa industri saja), *settling chambers* (efektif digunakan pada partikel berukuran lebih dari $10 \mu\text{m}$), *centrifugal separators* (digunakan pada partikel berukuran $0,5 \mu\text{m} < d_p < 100 \mu\text{m}$), *high efficiency air filters* (digunakan pada partikel berukuran $d_p < 0,5 \mu\text{m}$), *impingement separators* (digunakan pada partikel berukuran $5 \mu\text{m} < d_p < 50 \mu\text{m}$), *mechanical separators* (digunakan pada partikel berukuran $5 \mu\text{m} < d_p < 500 \mu\text{m}$), dan masih banyak lagi. Dengan mengetahui macam-macam metode pembersihan *aerosol*, untuk jenis *aerosol tobacco smoke* yang mempunyai ukuran partikel $0,01 \mu\text{m} < d_p < 1 \mu\text{m}$ maka jika dilihat dalam table dibawah, yang paling efektif adalah dengan menggunakan *thermal precipitator*. Metode ini menggunakan prinsip *thermophoresis force* untuk menangkap partikel-partikel *smoke*. Oleh karena itu *thermal precipitator* ini dapat digunakan untuk *dust / smoke collector*.



Gambar 2.3 Particle Size and definitions for aerosol

Sumber : http://www.air-purifiers-america.com/images/lc_home_airParticlesChart.jpg

Tabel 2.2 Particle Size and Cleaning Type



Source : Stanford Research
Journal Institute

(Sumber : Stanford Research Institute Journal,1961)

Aerosol dengan ukuran yang kecil biasanya berpindah dengan cara :

1. Partikel dapat menabrak partikel lain sehingga ukurannya menjadi lebih besar dan lama kelamaan akan jatuh karena pengaruh gaya gravitasi.
2. Partikel dapat menempel pada permukaan, menjadi banyak sehingga partikel tersebut dapat dengan mudah dibuang.

Proses dimana partikel bergerak dari suatu permukaan ke permukaan lain disebut *diffusion* dan gerakannya disebut difusi sedangkan proses pergerakannya disebut *Brownian motion*, difusi biasanya terjadi pada partikel dengan ukuran kecil ($d < 0.1 \mu\text{m}$)

2.4 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* atau pun asap rokok. Setiap partikel yang bergerak pada suatu media mendapatkan gaya-gaya dari luar yang menyebabkan partikel tersebut bergerak, antara lain disebabkan oleh :

2.4.1 Gaya Thermophoresis (*Thermophoretic Force*)

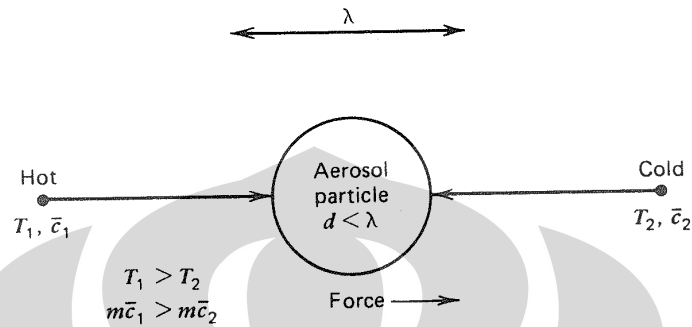
Thermophoresis adalah fenomena pergerakan partikel dalam suatu aliran fluida yang tersebar pada suatu sistem yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur dalam sistem tersebut. Partikel bergerak dari zona temperatur panas menuju zona temperatur rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya transfer momentum dari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

Beberapa gaya menyebabkan pergerakan partikel, tetapi gaya thermophoresis mempunyai pengaruh yang dominan pada pergerakan partikel

yang berukuran $0,01 \mu\text{m} < dp < 1 \mu\text{m}$. Di luar ukuran tersebut maka gaya thermophoresis tidak dominan mempengaruhi pergerakan partikel, melainkan gaya lainnya.



Gambar 2.4 Thermophoretic Force

Keterangan :

T_1 = Temperatur molekul sisi panas

T_2 = Temperatur molekul sisi dingin

d = Diameter partikel

λ = Mean free path partikel

m_1 = Massa molekul 1

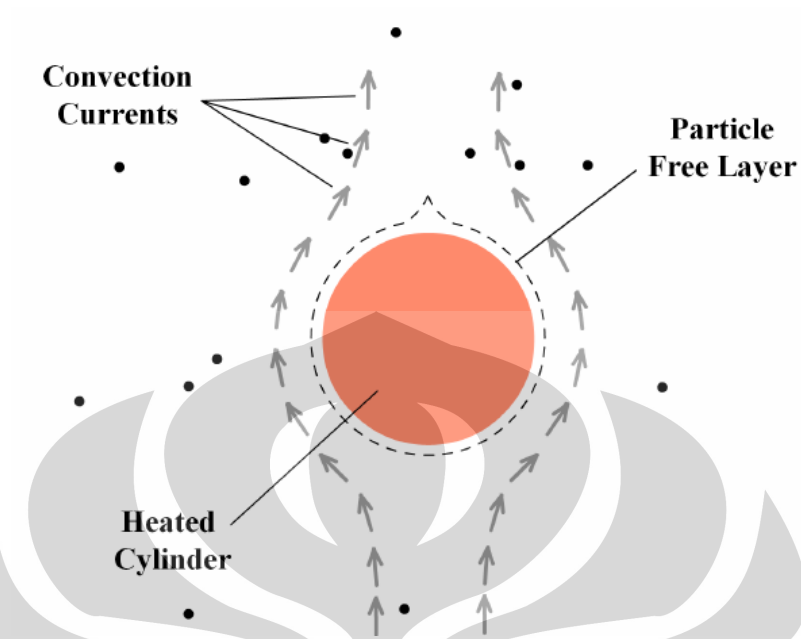
m_2 = Massa molekul 2

c_1 = Kalor jenis molekul 1

c_2 = Kalor jenis molekul 2

Selain adanya gradien temperatur faktor lain yang mempengaruhi fenomena thermophoresis ini antara lain adalah ukuran partikel, ukuran dari *flow chanel*, dan *thermal conductivity* dari partikel.

Apabila kita mengalirkan asap pada sebuah batang panas, maka kita dapat melihat aliran asap (partikel asap) tersebut menjauhi batang tersebut sehingga terbentuk daerah bebas debu (*dust free zone*), daerah ini biasanya mempunyai ketebalan 1 mm.



Gambar 2.5 Dust Free Zone

Phenomena ini pertama kali diteliti oleh Tyndall (1870) dimana pada percobaannya tersebut partikel asap bergerak dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah bertemperatur rendah. Lalu pada tahun 1935 dan 1936 Watson dan Miyake menemukan sebuah rumus empiris mengenai ketebalan lapisan bebas debu pada sebuah batang panas yang dialiri asap

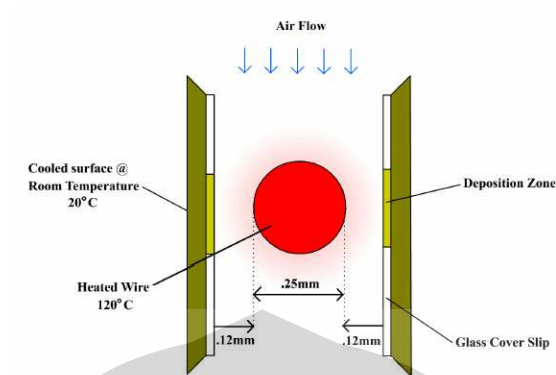
$$\sigma_{df} = L \Delta T H^{-0.38} \quad (2.1)$$

dimana

ΔT = Perbedaan temperatur antara batang panas dengan temperatur udara sekitar

L = Konstanta 1.56×10^{-4} untuk permukaan vertikal dan 7.3×10^{-5} untuk permukaan *horizontal*

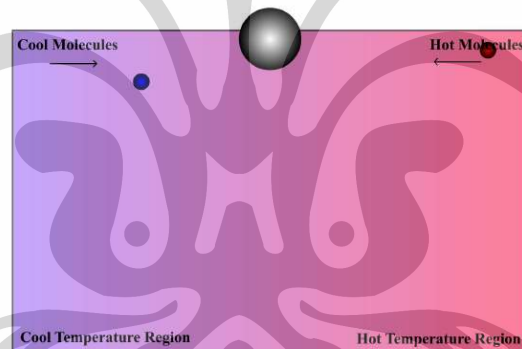
H = *Convective heat loss* suatu benda ($\text{kcal/cm}^2/\text{s}$), $H \approx 1 \times 10^{-4} \Delta T^{1.25}$



Gambar 2.6 Thermophoretic Phenomena

a. Partikel kecil

Untuk partikel yang memiliki diameter lebih kecil daripada gas *mean free path* ($0.066\mu\text{m}$) gaya thermoforesis bergantung pada gradient temperatur udara disekitar molekul

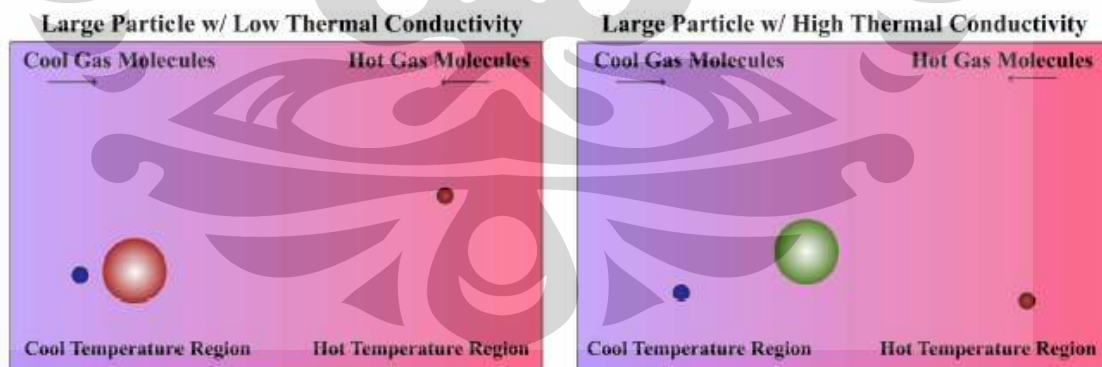


Gambar 2.7 Thermophoretic Force for small particle

Seperti terlihat pada gambar diatas molekul yang datang dari sebelah kanan (sisi panas) memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada molekul yang datang dari sebelah kiri (sisi dingin) hal ini disebabkan karena molekul yang datang dari sisi kanan memiliki energi kinetik yang lebih besar daripada molekul yang datang dari sebelah kiri, ketika terjadi tumbukan antara partikel dengan molekul panas dan molekul dingin partikel cenderung bergerak ke arah sisi dingin karena momentum yang diterima partikel lebih besar sisi kanan daripada sisi kiri.

b. Partikel besar

Untuk partikel dengan diameter lebih besar daripada *gas mean free path* ($0.066\mu\text{m}$), fenomena *thermophoresis* yang terjadi berbeda dibandingkan dengan temperatur kecil, fenomena ini cenderung lebih rumit karena adanya gradien temperatur yang timbul diantara partikel itu sendiri. Gradien temperatur (diantara partikel) mempengaruhi gradient temperatur antara gas dengan partikel, kedua gradien tersebut (gradien antara partikel dengan partikel dan gradien antara partikel dengan lingkungan) dipengaruhi oleh *thermal conductivity* dari partikel K_p dan *thermal conductivity* dari udara K_a . Hal ini mengakibatkan partikel masih menerima momentum dari molekul gas dari sisi panas daripada sisi dingin sehingga partikel bergerak ke temperatur yang lebih rendah. Namun untuk partikel yang memiliki *thermal conductivity* yang lebih besar gaya *thermophoresis* yang terjadi menjadi lebih kecil hal ini disebabkan karena gradien temperatur yang timbul antara partikel dengan udara sekitar berkurang (temperatur udara disekitar sisi dingin meningkat karena dipengaruhi panas yang diserap oleh molekul karena kemampuan molekul tersebut menyerap panas/ *high thermal conductivity*). Dengan kata lain energi yang diterima dari sisi panas dapat ditransferkan secara cepat ke sisi dingin dan memanaskan sisi dingin, sehingga mengurangi pengaruh gaya *thermoforesis*.



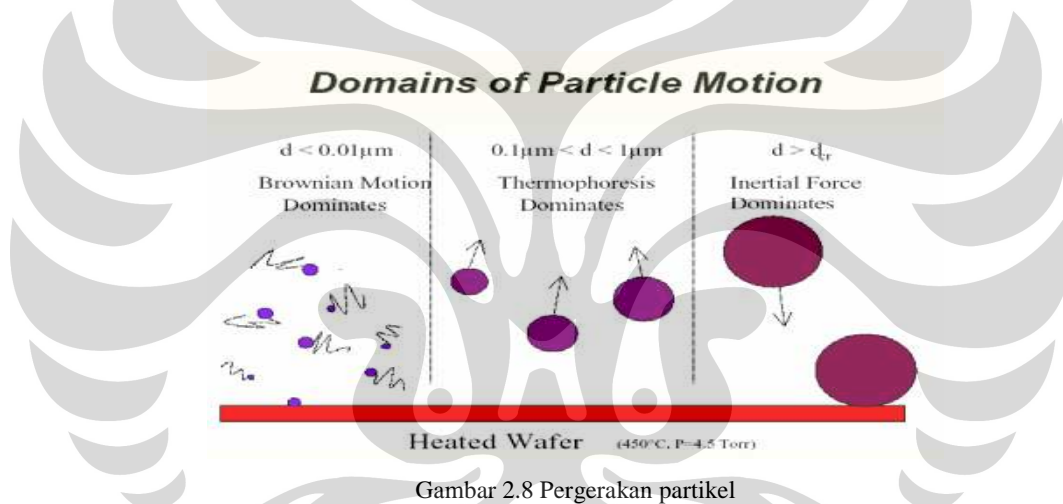
Gambar 2.8 *Thermophoretic Force for big particle*

2.5 Gerak Brown

Gerak ini terjadi pada partikel yang berukuran submikron ($d < 0.01 \mu\text{m}$). 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 2.8 Pergerakan partikel

- Partikel kecil ($<0.1 \mu\text{m}$) cenderung bergerak karena pengaruh gaya *thermophoresis* dan gerak Brownian daripada pengaruh gaya gravitasi.
- Gerak Brownian cenderung mempengaruhi gerak partikel untuk bergerak secara acak dibandingkan dengan gaya gravitasi dan *thermophoresis* dimana kedua gaya ini cenderung membuat partikel untuk bergerak secara teratur pada arah tertentu.

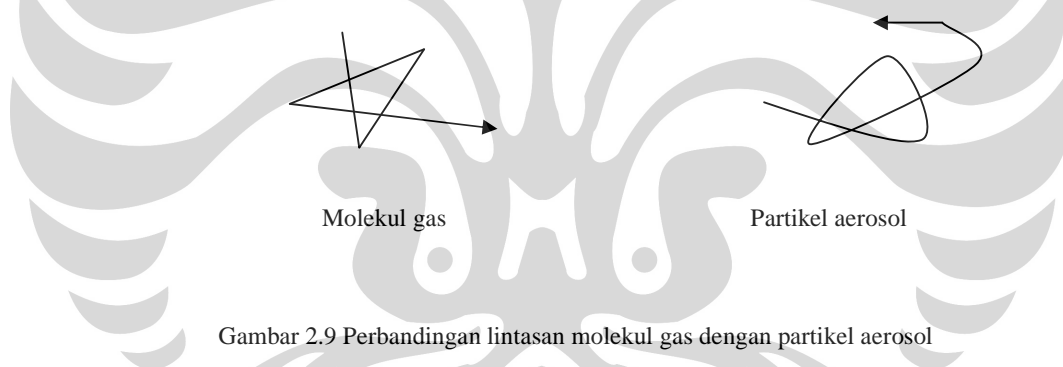
Kumpulan partikel dengan ukuran kecil yang berada dalam udara, partikel ini mempunyai gerakan yang tidak beraturan, karena adanya tumbukan antar partikel satu dengan lainnya (berada dalam kerapatan gas), gerakan ini hampir menyerupai sebuah getaran, sehingga menyebabkan perpindahan partikel. Pada

tahun 1828 seorang peneliti bernama Rober Brown melakukan penelitian tentang gerak partikel ini pada fluida dan pada tahun 1883, Bodas Zewiski juga melakukan penelitian yang sama tetapi pada media yang berbeda yaitu pada asap rokok dan hasilnya hampir sama.

2.5.1 Fik's law of diffusion

Ketika partikel sejenis tersebar dalam gas/udara, Brownian *motions* akan merubah posisi dari tiap partikel namun tidak akan merubah posisi tiap partikel namun tidak akan merubah distribusi partikel secara keseluruhan. Apabila jenis partikel yang terdapat dalam udara tidak sama, partikel ini dengan sendirinya akan memisahkan diri (partikel *high concentration* dengan *low concentration*).

- Partikel kecil akan banyak bergerak dibandingkan partikel kecil
- Partikel akan berjalan lebih jauh lintasannya pada viskositas yang rendah
- Kecepatan partikel bergantung pada temperatur



Gambar 2.9 Perbandingan lintasan molekul gas dengan partikel aerosol

- Molekul gas akan berganti arah apabila tertumbuk molekul lain sehingga mudah berpindah
- Partikel aerosol akan berganti arah apabila banyak tertumbuk molekul sehingga arahnya menjadi lebih halus.

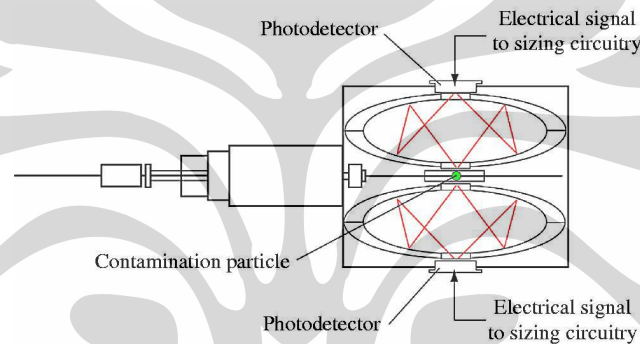
2.6 Pengukuran kualitas udara

Pengukuran kualitas udara bertujuan untuk mengetahui konsentrasi zat pencemar diudara lingkungan. Hal ini penting dilakukan agar bias 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:

a. Aerosol Particle Counter

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



Note: Image courtesy of Particle Measuring Systems, Inc.

Gambar 2.10 *Aerosol Particle Counter*

(sumber : <http://www.emeraldinsight.com>)

b. High Volume Air Sampler

Metode ini digunakan untuk melakukan pengukuran total *suspended particulate matter* yang ada diudara lingkungan, yaitu partikulat dengan diameter kurang dari 100 μm . Prinsip kerja alat ini yaitu dengan menghisap udara yang akan diuji dengan *flowrate* 40-60 cfm (cubic feet per meter), udara tersebut dilewatkan melalui sebuah filter khusus yang memiliki porositas kurang dari 0.3 μm . Lalu partikulat yang tertahan dipermukaan filter ditimbang dengan *gravimetric*, sedangkan volume udara dihitung berdasarkan waktu sampling dan *flowrate*.



Gambar 2.11 High Volume Air Sampler
(Sumber : <http://www.envcoglobal.com>)

c. Non dispersive infrared sensor

Non dispersive infra red sensor (NDIR) cukup sering digunakan dalam proses 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 μ m. Banyaknya intensitas sinar yang diserap sebanding dengan konsentrasi CO diudara. *Analyzer* ini terdiri dari sumber cahaya inframerah, tabung sample dan *reference*, detector dan rekorder.



Gambar 2.12 *Non dispersive infrared sensor*
(Sumber : <http://www.cvenvirohusadaa.itrademarket.com>)

d. Gas sensor

Sudah semakin banyak di pasaran telah beredar pengindraan gas semikonduktor. Tentunya dibedakan oleh sensitive-nya sensor tersebut, semakin mahal sensor maka sensitivitasnya semakin bagus. Pengindra gas tersebut bekerja dengan semakin tinggi konsentrasi gas maka resistansinya semakin

rendah. Beberapa macam pengindraan gas yang beredar di pasaran antara lain adalah :

- 1) Dari sensor jenis AF antara lain: AF 30, AF 50, dan AF 56, ketiga tipe sensor tersebut mempunyai reaksi terhadap daftar gas yang sama yaitu senyawa halogen, alkohol, propane, metan, buton, bensol, dan juga beberapa senyawa zat lemas organic bentuk gas seperti amoniak, lpg, karbon monoksida. Beda diantara ketiganya terletak pada kepekaan dari masing-masing gas. Misalnya AF 30 sangat peka terhadap asap rokok, AF 50 sangat peka terhadap methana dan buton, dan AF 56 sangat peka terhadap LPG.
- 2) Dari sensor jenis HS antara lain: HS 133 yang sangat peka terhadap LPG dibandingkan dengan gas-gas lainnya seperti CO, alkohol, methana, dan asap rokok, HS 134 yang sangat peka terhadap gas CO dibandingkan dengan gas lainnya.



Gambar 2.13 Gas sensor

(Sumber : <http://www.itelkom.ac.id>)

BAB III

CARA PENGAMBILAN DATA

3.1 Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini maka dilakukan pengujian untuk mengukur efisiensi dari *thermal precipitator* ini. Percobaan yang dilakukan adalah untuk mengamati konsentrasi asap yang keluar dari *thermal precipitator* ini. Pada pengujian ini kita menggunakan variasi tegangan input pada *heater*/sisi panas (4.5 Vdc -15 Vdc) sehingga diperoleh temperatur sisi panas yang bervariasi sedangkan untuk sisi dingin digunakan air dengan suhu awal 11-13°C, variasi tegangan input *heater* ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan gradien temperatur terhadap kadar konsentrasi asap yang keluar dari *thermal precipitator* ini.

3.2 Metoda pengujian

Dalam penelitian ini ada beberapa metoda yang digunakan untuk mengukur efisiensi dari *thermal precipitator* yang dibuat :

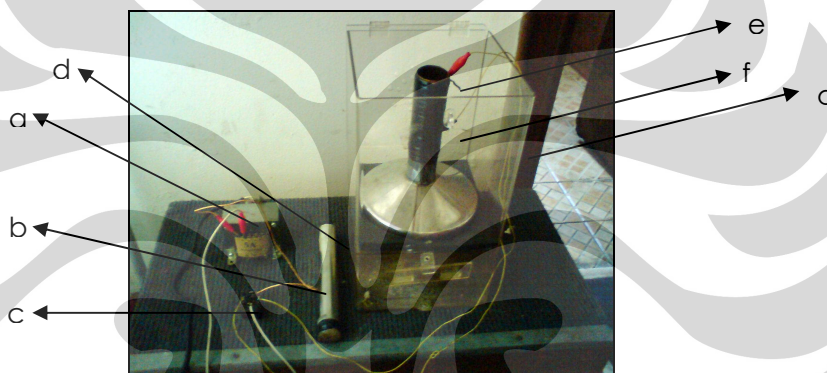
3.2.1 Sampling dengan menggunakan kertas tissue

Metoda ini dilakukan dengan cara meletakkan rokok dalam keadaan menyala dalam box penampung asap yang terletak pada bagian bawah *thermal precipitator*, lalu dengan sendirinya asap rokok yang timbul mengalir melalui celah antara sisi dingin dan sisi panas, karena pengaruh gaya *thermophoresis* maka partikel dari asap rokok dengan ukuran $0,01 \mu\text{m} < dp < 1 \mu\text{m}$ akan menempel pada sisi dingin, setelah satu batang rokok terbakar habis dan asap yang terdapat dalam box penampungan telah benar-benar habis, maka permukaan sisi dingin di lap dengan menggunakan kertas tissue yang sebelumnya berat tissue tersebut telah ditimbang. Dari hasil pengelapan tersebut, tissue ditimbang kembali dan berat yang didapat dibandingkan dengan berat awal tissue sebelum di lap. Selisih yang didapat menunjukkan berat partikel rokok yang dapat didepositkan oleh *thermal precipitator* ini. Namun data yang didapat dari cara sampling menggunakan kertas ini kurang akurat, karena selisih berat yang didapat kurang dapat menunjukkan berat sebenarnya dari partikel yang didepositkan pada sisi dingin. Kemungkinan terjadinya kesalahan sangatlah besar, mulai dari cara penimbangan yang salah, kondisi tissue setelah penimbangan yang mungkin telah terkontaminasi sebelum digunakan untuk mengelap, kemungkinan

partikel yang menempel pada tissue hilang pada saat sebelum dilakukan penimbangan. Selain itu untuk mengetahui efisiensi *thermal precipitator* ini dalam menyaring asap rokok kita harus mengetahui jumlah partikel dari asap rokok secara utuh yang artinya kita harus mengetahui apabila satu batang rokok terbakar habis, berapa berat partikel yang dihasilkan, sehingga kita dapat membandingkan dengan partikel yang menempel pada sisi dingin, namun hal ini sulit dilakukan, sehingga metoda ini sangat meragukan untuk dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi dari *thermal precipitator* yang dibuat. Sehingga cara ini tidak dilakukan untuk pengambilan data.

3.2.1.1 Cara Pengambilan data dengan menggunakan kertas tissue

1. Siapkan peralatan yang akan digunakan untuk proses pengambilan data



Gambar 3.1 *Thermal Precipitator*

Keterangan gambar :

a. Trafo 5A

Berfungsi sebagai *supply* daya, dimana pada tegangan *output*nya dapat divariasikan mulai dari 4.5 V sampai 24 Volt, yang nantinya variasi tegangan output ini dapat mempengaruhi panas yang dihasilkan pada *heater*.

b. Dioda penyearah

Dioda yang digunakan adalah jenis *Bridge*, dioda ini berfungsi untuk menyearahkan tegangan AC menjadi DC, sehingga dalam aplikasinya nanti *thermal precipitator* ini apabila tersentuh tidak akan menyebabkan si pengguna tersengat arus listrik.

c. Kabel *Jumper*

Kabel *jumper* ini berfungsi untuk menghubungkan antara trafo dengan dioda, dan diode dengan *heater*.

d. Tabung *Stainless Steel*

Tabung ini berfungsi sebagai sisi dingin, panjang tabung yang digunakan adalah 18 cm. Pada aplikasinya nanti pada tabung ini nantinya akan diisi oleh air dengan temperatur 11°C.

e. Tabung Tembaga

Tabung ini berfungsi sisi panas, dimana nantinya pada sisi luar dari tabung tembaga ini akan dililit oleh kawat niklin yang berfungsi sebagai *heater*.

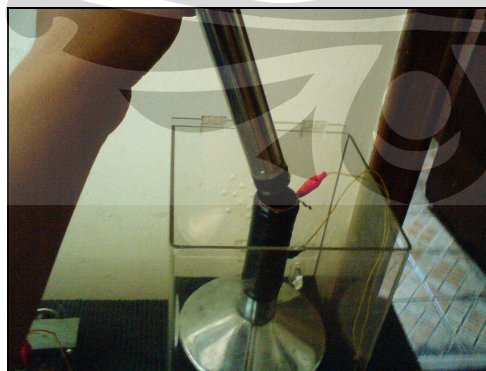
f. Kawat niklin

Kawat nikelin ini berfungsi sebagai *heater*, dimana sifat dari kawat niklin ini apabila dialiri arus listrik, pada permukaan kawat akan timbul panas. Kawat yang digunakan memiliki panjang 2.5 m, tebal 0.15 mm, lebar 2.5 mm dan resistansi 3.6Ω/m.

g. Kotak *Acrylic*

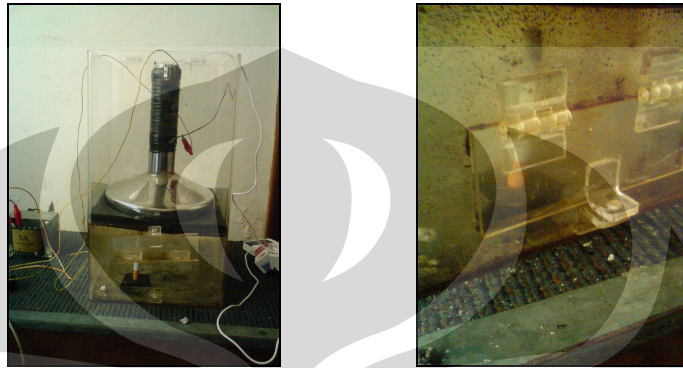
Kotak ini berfungsi sebagai box penampungan asap, dimensi dari kotak *acrylic* ini adalah 16 cm x 16 cm x 30 cm, dengan ketebalan *acrylic* 3 mm.

2. Masukkan Sisi dingin pada corong pengarah (sisi dingin ini masuk ke dalam sisi panas, sehingga timbul jarak antara sisi dingin dengan sisi panas sebesar 0.5 mm), lalu setelah itu masukan air dingin (11°C) kedalam tabung sisi dingin.



Gambar 3.2 Posisi peletakan sisi dingin

3. Masukkan rokok pada kotak yang berada dibawah cerobong pengarah, dengan kondisi pintu sedikit terbuka, hal ini bertujuan agar udara dapat masuk kedalam kotak tersebut dan menimbulkan aliran udara yang menyebabkan asap rokok dapat mengalir keatas, selain itu tujuan dari memasukan udara luar kedalam kotak adalah untuk menjamin agar rokok tidak mudah padam.



Gambar 3.3 Posisi peletakan asap rokok

4. Lakukan pengamatan pada asap rokok yang keluar pada ujung tabung pengarah, untuk beberapa kondisi (4.5 V sampai 15 V), variasi tegangan ini nantinya akan mewakili perbedaan temperatur antara sisi dingin dengan sisi panas, semakin besar tegangan semakin besar pula perbedaan temperatur, selain itu dengan semakin besarnya perbedaan temperatur sisi panas dengan dingin fenomena asap yang keluar pada ujung cerobong juga dapat terlihat (tebal tipisnya asap), disamping itu variasi tegangan yang dapat menyebabkan variasi perbedaan temperatur dapat mempengaruhi banyaknya nikotin yang dapat diendapkan pada sisi dingin.



Gambar 3.4 Kondisi asap keluaran thermal precipitator

5. Setelah rokok terbakar habis dan asap yang berada dikotak pengumpul benar-benar habis, cabut sisi dingin dan buang air yang terdapat pada tabung tersebut, kemudian lap permukaan sisi dingin tersebut dengan menggunakan tissue yang telah disiapkan sebelumnya, dimana berat tissue sebelum digunakan

telah ditimbang terlebih dahulu, sehingga dapat dihitung selisihnya setelah digunakan untuk mengelap permukaan sisi dingin.



Gambar 3.5 Cara pengelapan sisi dingin

6. Ulangi langkah langkah diatas

Pengambilan data tersebut berbarengan dengan pengukuran konsentrasi asap antara asap yang ada pada kotak penampungan bagian bawah dengan asap yang keluar dari ujung cerobong bagian atas, data ini bertujuan untuk mengetahui seberapa pekat asap yang keluar, konsentrasi asap ini menunjukkan seberapa efektif alat ini dapat menyaring asap rokok, semakin pekat asap yang keluar ini berarti masih banyak partikel yang tidak menempel atau tersaring pada sisi dingin, atau tingginya konsentrasi asap yang keluar dapat menunjukkan besar kecilnya gaya *thermophoresis* yang terjadi, dimana data ini dapat digunakan untuk perbaikan performansi dari alat ini.

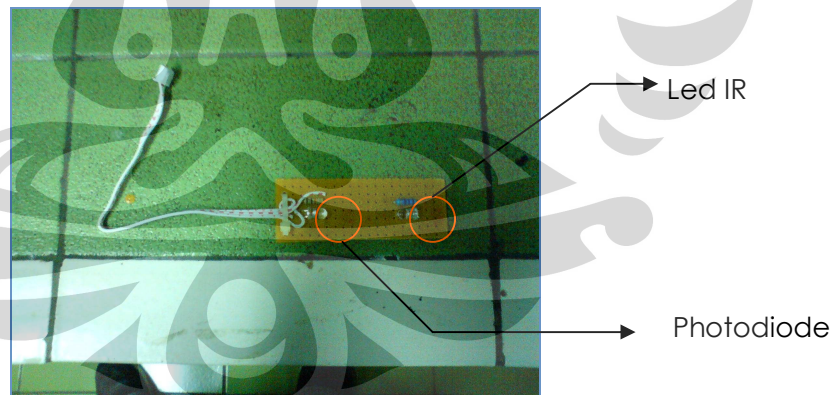
3.2.2 Metoda pengujian dengan menggunakan sensor LED dan Photodiode

Cara kerja dari sensor ini adalah dengan cara membandingkan kadar kepekatan asap yang ada dalam box penampungan asap dengan kadar asap yang keluar pada ujung *thermal precipitator*. Sensor ini bekerja dengan cara membaca intensitas cahaya yang dikeluarkan oleh LED IR dimana cahaya yang dikeluarkan akan terbaca oleh *photodiode* apabila diantara LED IR dengan *photodiode* tidak ada penghalang (asap) maka pada *display* akan menunjukkan nilai 3.95 V, sedangkan bila ada penghalang dimana *photodiode* terhalang oleh sesuatu sehingga tidak dapat menerima sinar dari LED IR maka pada *display* akan muncul nilai 4.95 V. Jadi nilai 3.95V dapat dijadikan patokan bahwa partikel asap semuanya didepositkan pada sisi dingin sehingga asap yang keluar dari *thermal precipitator* telah benar benar bersih sehingga keluarannya tidak berbentuk asap melainkan udara bersih, sehingga tidak terlihat, sedangkan nilai 4.95V dapat

dijadikan patokan bahwa udara benar-benar pekat. Sedangkan nilai diantaranya dapat digunakan untuk menghitung efisiensi dari alat ini dengan membandingkan nilai sebelum (pembacaan sensor yang ada pada box penampung) dengan nilai sesudah (pembacaan sensor pada ujung thermal precipitator). Jadi sensor ini cocok digunakan untuk mengetahui efisiensi dari thermal precipitator yang dibuat.

3.2.2.1 Cara Pengambilan data dengan menggunakan sensor LED IR dan Photodiode

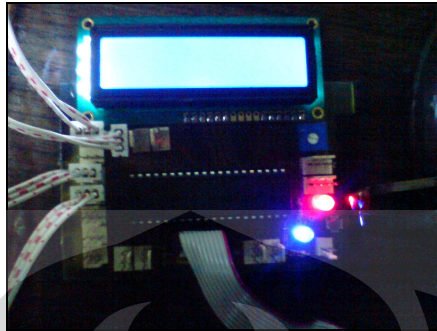
Untuk peralatan yang digunakan seluruhnya sama dengan peralatan yang digunakan diatas, karena sebenarnya pengambilan data dengan menggunakan LED IR dan pengambilan data dengan menggunakan kertas tissue proses pengambilan datanya bersamaan, yang membedakan adalah hasil yang didapat dimana pada pengambilan data dengan menggunakan kertas tissue hasil yang ingin didapat adalah berat partikel asap yang menempel, namun hasil yang didapat kurang akurat untuk menentukan efisiensi dari alat thermal precipitator ini, jadi diharapkan dengan menggunakan metoda kedua ini nilai efisiensi dari alat ini dapat diketahui. Untuk pengambilan data dengan cara menggunakan LED IR terlebih dahulu kita harus meletakkan posisi sensor dengan tepat agar data yang didapat dari hasil pengukuran dapat benar benar mendekati kondisi sebenarnya.



Gambar 3.6 sensor asap

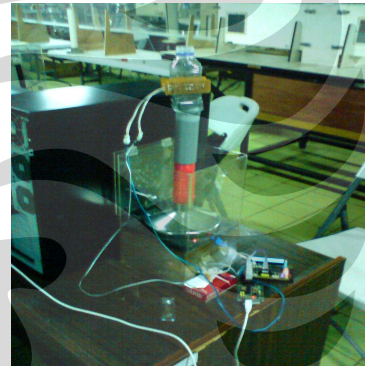
Sensor ini diletakkan pada box penampungan asap dan pada *outlet* keluaran dari alat *thermal precipitator* ini, sehingga kita dapat membandingkan antara kondisi asap sebelum dan sesudah *thermal precipitator*. Dimana pada pengambilan data yang dilakukan sensor yang digunakan sebanyak 4 buah, dua diletakkan pada box penampungan asap dan dua lagi diletakkan pada outlet keluaran *thermal precipitator*. Sensor ini

kemudian memberikan keluaran dalam bentuk tegangan (volt) yang hasilnya dapat kita lihat pada *display* yang tersedia.



Gambar 3.7 Display Penunjukan Sensor

Agar dapat beroperasi sensor dan *display* ini membutuhkan *power supply*, sumber power dapat didapat dengan cara menyambung *port* yang ada pada rangkaian *display* dengan port USB yang ada pada PC.



Gambar 3.8 sensor sebelum dan sesudah ditempatkan

3.3 *Boundary Condition*

Sebelum memulai penelitian, menentukan sifat fisik dari fluida udara, pada tabel dibawah ini dijelaskan mengenai sifat fisik udara sebagai fluida, maksudnya adalah udara pada suhu 27°C (300K) dan ketinggian diatas permukaan laut.

Tabel 3.1 Sifat sifat fisik udara untuk simulasi

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Masa Jenis	ρ	1.183	Kg/m ³
2	Suhu Udara	T	300	K
3	Viskositas	μ	1.853×10^{-5}	N.s/m ²
4	Konduktivitas Thermal	k	0.02614	W /m.K
5	Koefisien tekanan	Cp	1003	J/Kg.K

3.4 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 aerosol jenis 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	1.2	g/cm^3
5	Molecular Mass	162.23	g/mol
6	Boiling point	247	$^{\circ}\text{C}$

3.5 Teknik Pengujian

Pengujian dilakukan secara bertahap, diawali dengan pengambilan data pada kondisi sisi dingin atau tabung *stainless steel* tidak diisi dengan air dengan tegangan input trafo 4.5 V, pengujian ini dilakukan selama 35 menit, setelah 35 menit tegangan *input* dinaikan, begitu seterusnya sampai tegangan input yang digunakan 15 V. Setelah itu lakukan kembali langkah yang sama tetapi dengan kondisi tabung *stainless steel* diisi dengan air (temperatur 11 $^{\circ}\text{C}$). Dari kedua pengujian tadi didapat data gradient temperatur. Data gradient temperatur ini nantinya dapat kita gunakan untuk melihat banyaknya deposit pada sisi dingin dan konsentrasi asap yang keluar pada *thermal precipitator*. Format pengambilan data adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Format pengambilan data dengan menggunakan kertas tissue

Menit	∇T_1	T_1^*	Banyaknya Deposit	Konsentrasi asap keluar/konsentrasi asap masuk
5				
10				
15				

Keterangan:

- ∇T Gradient temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
- $T_1^* = (T_{\text{hot}} - T_{\text{Cold}}) / T_{\text{Cold}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
- Banyaknya deposit (gram)
- Konsentrasi asap keluar/konsentrasi asap masuk

Tabel 3.4 Format pengambilan data dengan menggunakan LED IR

No	Waktu (sekon)	Pembacaan sensor bawah (mV)	Tingkat kepekatan bawah	Pembacaan sensor atas (mV)	Tingkat kepekatan atas	Rasio kepekatan
1	10					
2	20					
3	30					

Keterangan:

- Pembacaan sensor bawah : diisi berdasarkan nilai yang tampil pada *display* (mV)
- Tingkat kepekatan bawah : Nilai pertama yang terbaca pada *display* (untuk sensor yang diletakan sebelum *thermal precipitator*) dikurangi nilai berikutnya dikali -1

Con : Nilai pertama 389

Nilai 10 menit ke dua 400

$$(389 - 400) \times (-1) = 2$$

- Tingkat kepekatan atas : Nilai pertama yang terbaca pada display (untuk sensor yang diletakan setelah thermal precipitator) dikurangi nilai berikutnya dikali -1

Con : Nilai pertama 401

Nilai 10 menit ke dua 402

$$(401 - 402) \times (-1) = 1$$

- Rasio : adalah nilai yang menunjukkan seberapa efisien alat thermal precipitator ini dalam menyaring/mendepositkan partikel yang terdapat dalam asap rokok.

$$R = \left(\frac{a-b}{a} \right) \text{ dimana } a = \text{tingkat kepekatan bawah}$$

b = tingkat kepekatan atas

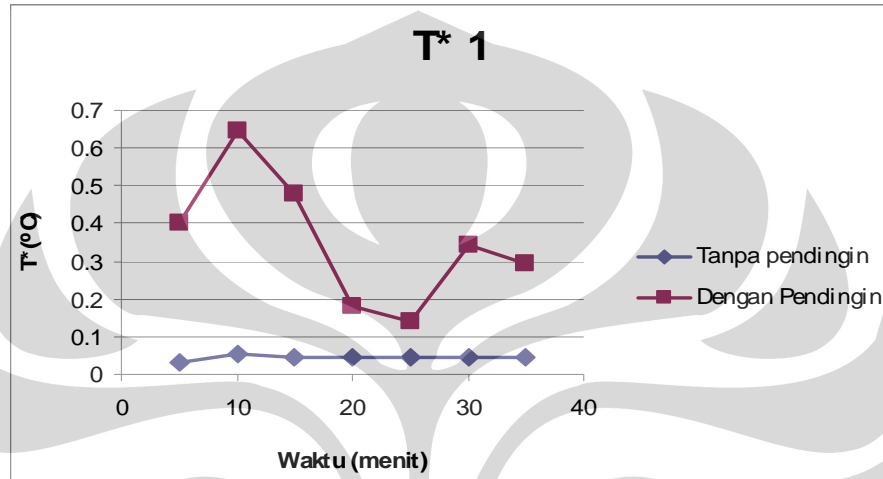
Apabila nilai yang didapat = 0 ini berarti semua asap yang masuk tidak tersaring, atau dengan kata lain asap yang masuk keluar kembali pada ujung keluaran *thermal precipitator*

Apabila nilai yang didapat =1 ini berarti tidak ada asap yang keluar pada ujung alat *thermal precipitator* ini, atau dengan kata lain semua semua partiklel yang ada pada asap rokok menempel seluruhnya pada sisi dingin.

BAB IV
DATA DAN ANALISA PERCOBAAN

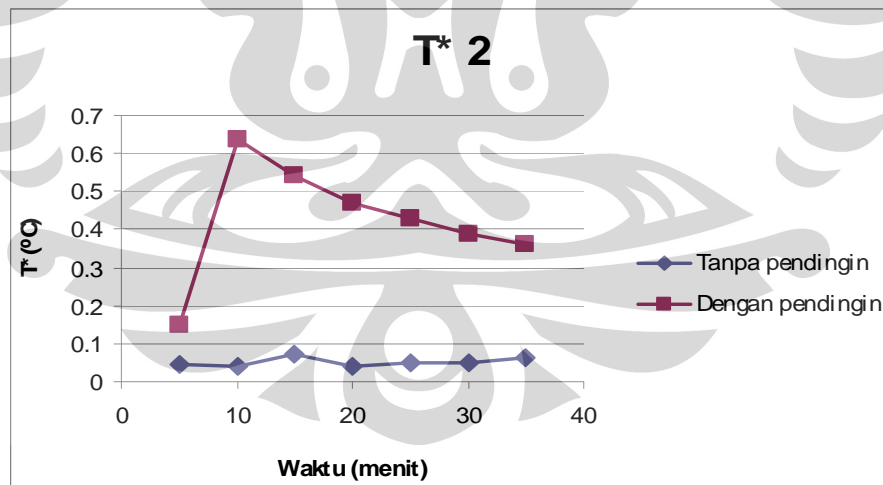
4.1 DATA YANG DIPEROLEH

4.1.1 T*1



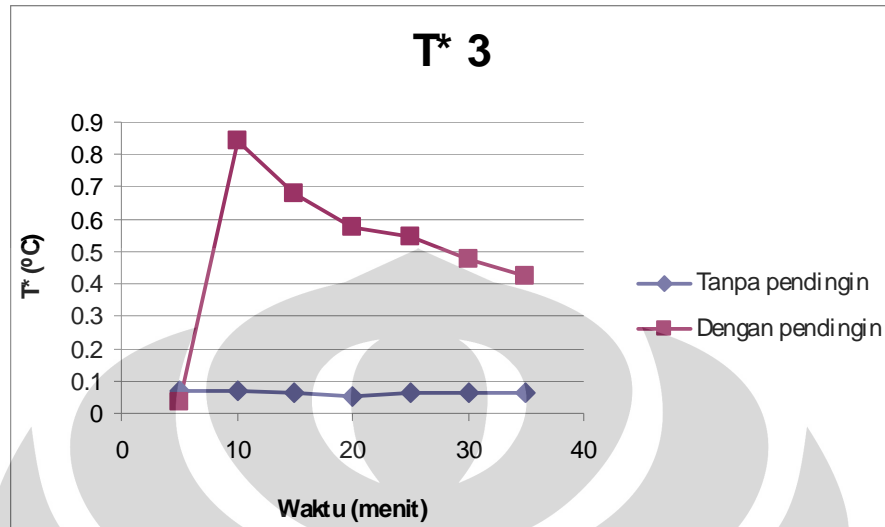
Gambar 4.1 Grafik perbandingan T* 1

4.1.2 T*2



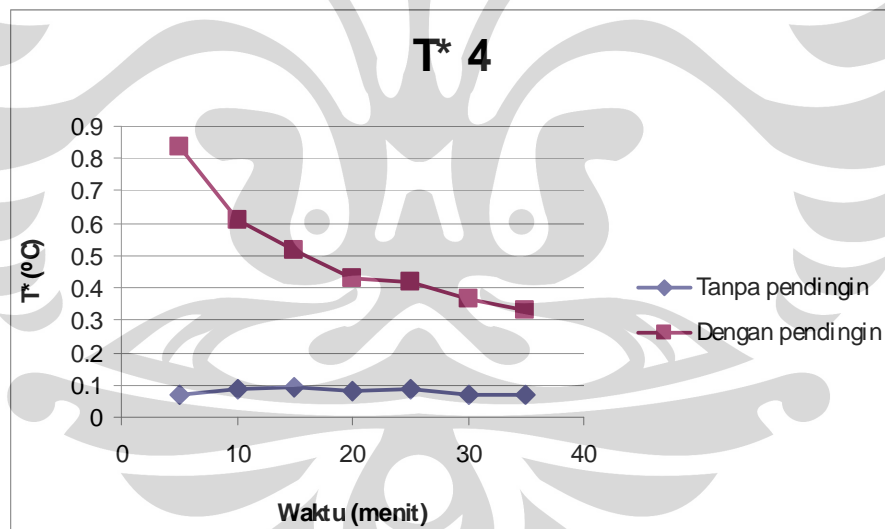
Gambar 4.2 Grafik perbandingan T* 2

4.1.3 T*3



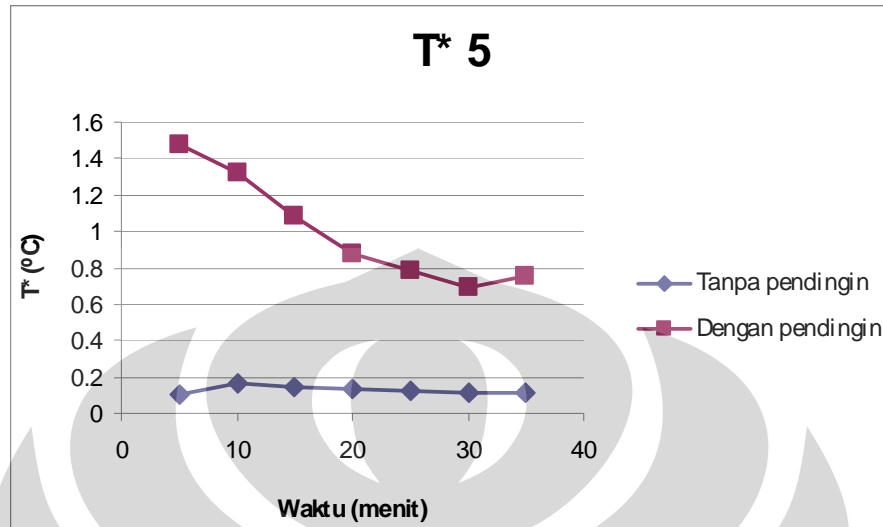
Gambar 4.3 Grafik perbandingan T* 3

4.1.4 T*4



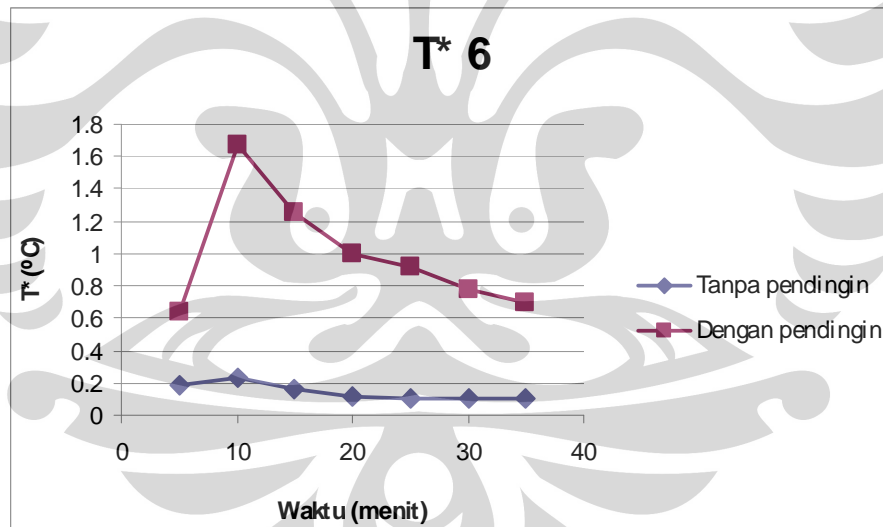
Gambar 4.4 Grafik perbandingan T* 4

4.1.5 T*5



Gambar 4.5 Grafik perbandingan T*5

4.1.6 T*6



Gambar 4.6 Grafik perbandingan T* 6

Thermophoresis adalah sebuah fenomena dimana partikel yang terkandung dalam udara mengalir diantara dua celah atau plat yang mempunyai beda temperatur, dimana pergerakan partikel cenderung mengarah pada permukaan yang memiliki temperatur yang lebih rendah. Setelah mengetahui salah satu syarat terjadinya fenomena thermophoresis ini, maka kita harus membuat beda

temperatur antara dua plat atau celah yang kita gunakan. Oleh karena itu dibuatlah beda temperatur antara sisi yang satu yang disebut sisi panas dan sisi yang lainnya yang disebut sisi dingin. Dari hasil pengujian didapat beda temperatur yang kecil antara sisi panas dengan sisi dingin, beda temperatur terbesar yang dapat dicapai hanya 6°C , sehingga hal ini kurang mendukung terjadinya fenomena thermophoresis. Oleh karena itu untuk mendapat beda temperatur yang maksimal maka pada sisi dingin ditambahkan air sebagai media untuk menyerap panas, sehingga panas yang ditimbulkan dari sisi panas akan diserap oleh air, hal ini membuat permukaan sisi dingin lebih lambat terpengaruh panas yang dihasilkan dari sisi panas. Dari pengujian yang dilakukan beda temperatur maksimal yang dapat dicapai adalah 25°C . Oleh karena itu untuk pengujian selanjutnya, air selalu digunakan sebagai media penyerap panas yang diletakan ditengah-tengah sisi dingin.

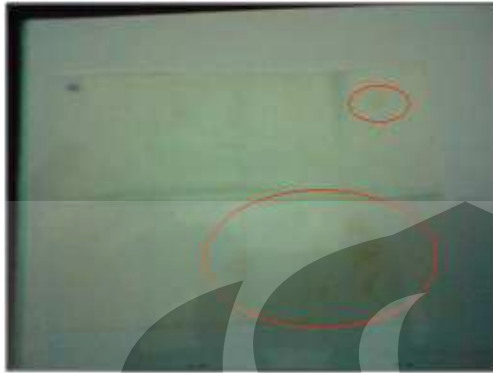
Tabel 4.1 Perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin dengan dan tanpa pendingin

T*	Daya Input	Beda temperatur maksimal tanpa pendingin (air)	Beda temperatur maksimal tanpa pendingin (air)
1	4.5	1.3°C	5.6°C
2	6	2°C	7.3°C
3	7	2.3°C	9°C
4	9	3°C	7.3°C
5	12	6.3°C	21°C
6	15	6.6°C	24°C

Setelah didapat kesimpulan bahwa pengujian akan dilakukan dengan bantuan media pendingin air, maka dilakukan pengujian berikutnya, yaitu pengujian banyaknya deposit yang dapat dikumpululkan pada sisi dingin dan kadar konsentrasi asap yang keluar dari *thermal precipitator* ini.

4.2 Pengambilan data dengan menggunakan tissue

Percobaan 1



Gambar 4.7 Deposit T*1



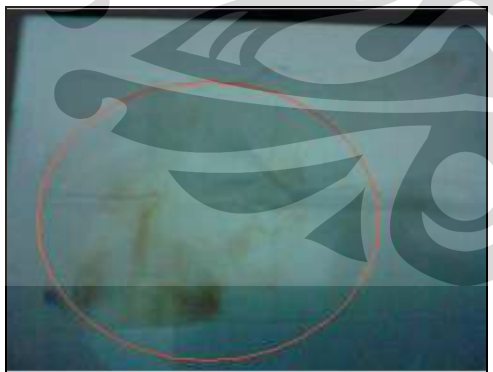
Gambar 4.8 Deposit T*2



Gambar 4.9 Deposit T*3



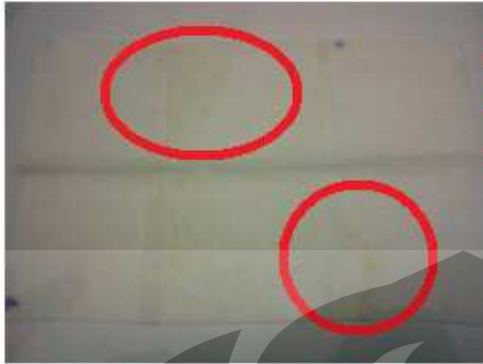
Gambar 4.10 Deposit T*4



Gambar 4.11 Deposit T*5



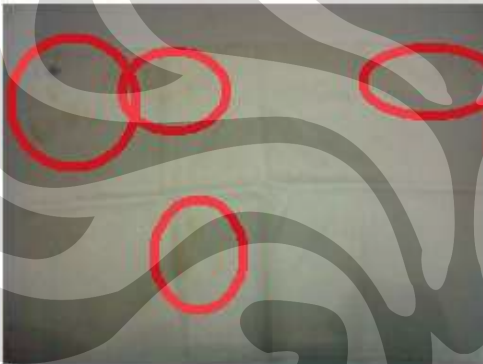
Gambar 4.12 Deposit T*6

Percobaan 2

Gambar 4.13 Deposit T*1



Gambar 4.14 Deposit T*2



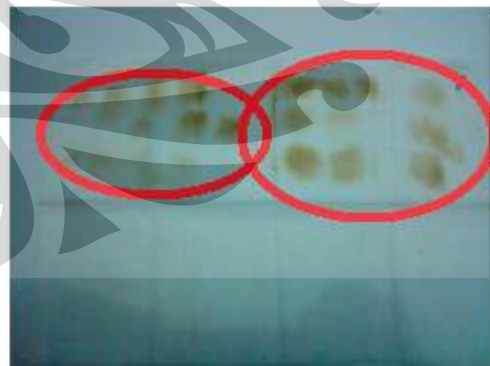
Gambar 4.15 Deposit T*3



Gambar 4.16 Deposit T*4



Gambar 4.17 Deposit T*5



Gambar 4.18 Deposit T*6

Percobaan 3

Gambar 4.19 Deposit T*1



Gambar 4.20 Deposit T*2



Gambar 4.21 Deposit T*3



Gambar 4.22 Deposit T*4

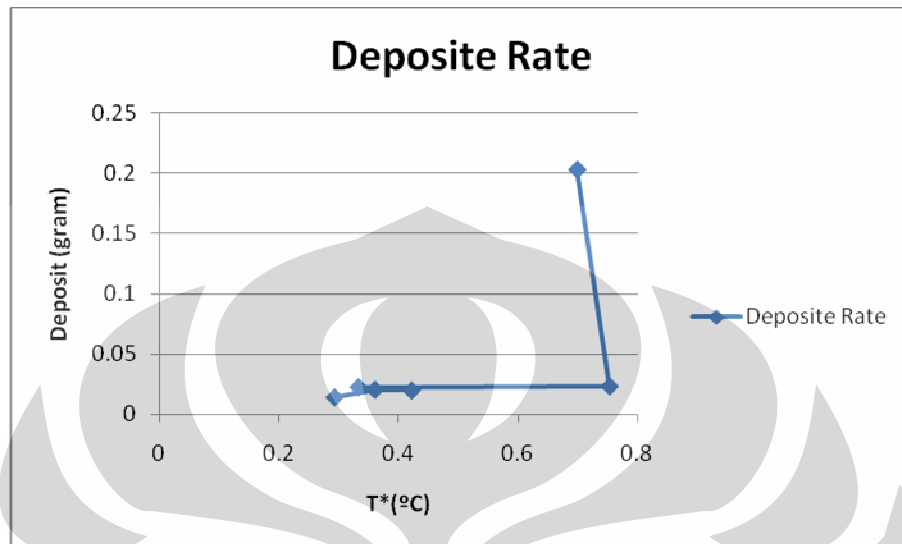


Gambar 4.23 Deposit T*5

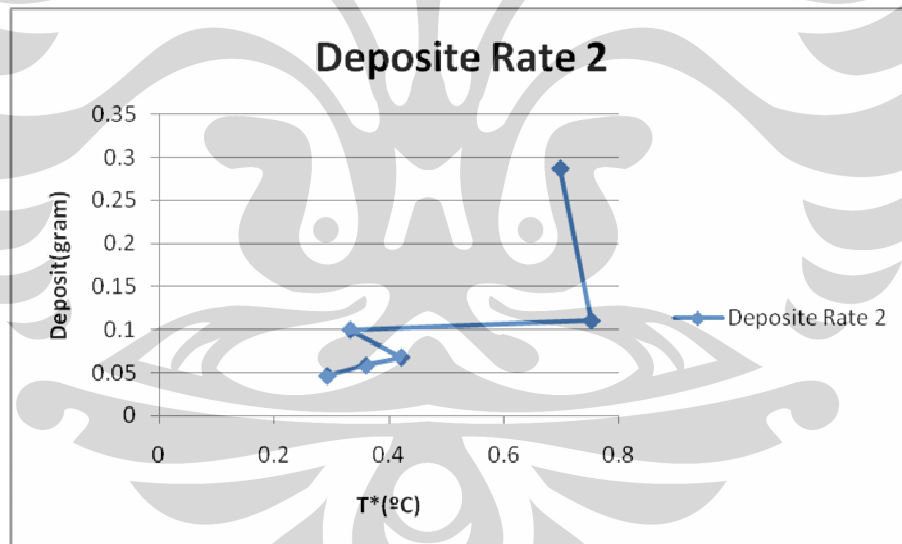


Gambar 4.24 Deposit T*6

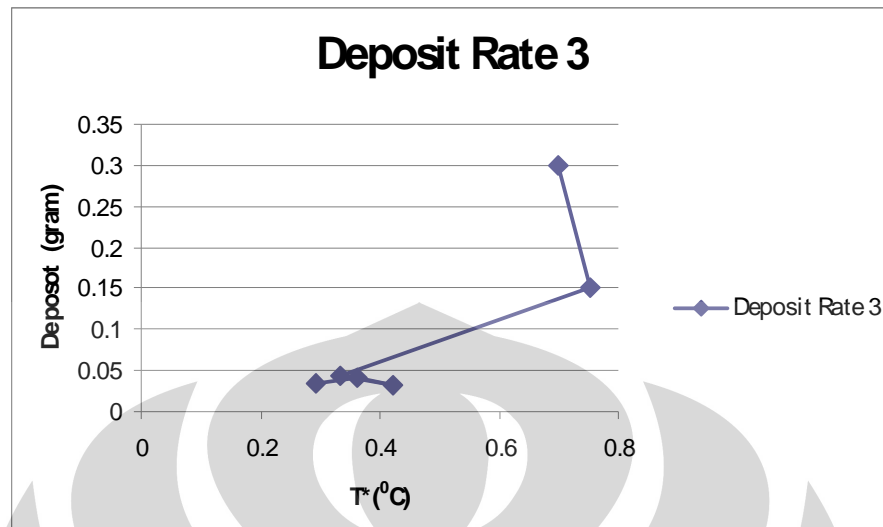
4.2.1 Grafik hasil pengambilan data berat deposit dengan menggunakan kertas tissue



Gambar 4.25 Deposit rate 1



Gambar 4.26 Deposit rate 2



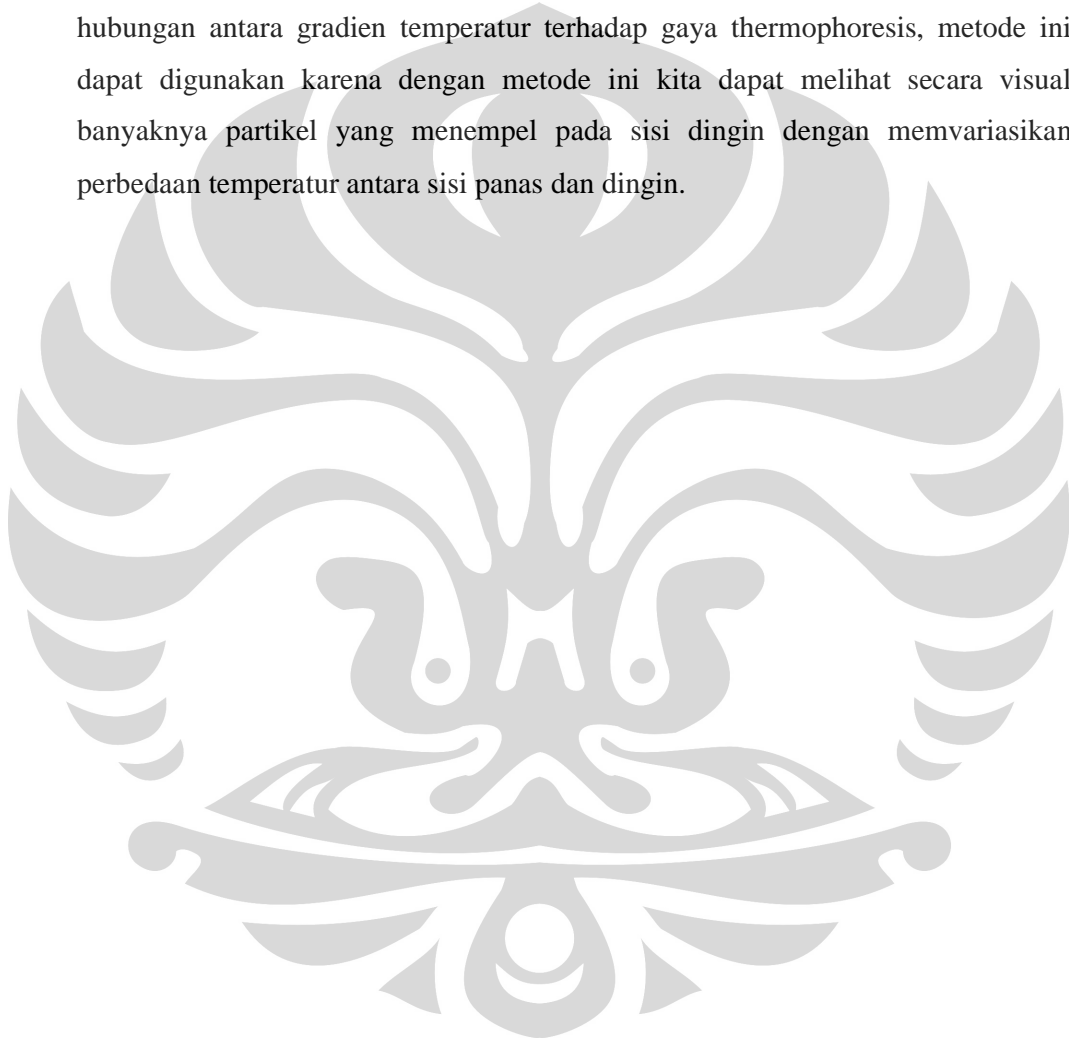
Gambar 4.27 Deposit rate 3

Pada percobaan menggunakan kertas tissue terlihat mulai dari $T^* 1$ sampai $T^* 5$, terlihat kenaikan deposit yang dapat dikumpulkan pada sisi dingin, pengaturan daya input ini secara langsung akan memperbesar gradient temperatur antara sisi panas dengan sisi dingin, secara teori disebutkan semakin besar gradient temperatur antara sisi panas dengan sisi dingin maka gaya thermophoresis yang terjadi akan semakin besar, dimana dalam hal ini banyak dari partikel asap rokok yang cenderung lebih banyak bergerak ke arah sisi dingin dan menempel pada permukaan sisi dingin tersebut. Hal ini diakibatkan karena pergerakan molekul udara yang berada disekitar sisi panas bergerak sangat hebat dan pergerakan ini menumbuk partikel dari asap rokok yang mengalir diantara dua permukaan (sisi panas dan dingin) tumbukan molekul dari sisi panas ini tidak diimbangi oleh tumbukan molekul dari sisi dingin (karena pergerakan molekul ini sangat lemah) sehingga resultan dari tumbukan ini mengarah ke sisi dingin. Namun pada T^*6 (0.8) terdapat penurunan kadar berat partikel yang menempel pada sisi dingin, hal ini diakibatkan karena pada T^*6 sisi dingin lebih cepat terpengaruh oleh sisi panas sehingga mengurangi gaya thermophoresis yang terjadi.

Namun apabila kita ingin mengetahui seberapa banyak partikel dari asap rokok yang menempel pada sisi dingin, metoda pengukuran dengan kertas tissue ini tidak dapat dijamin ke validan data yang didapat, meskipun dari hasil

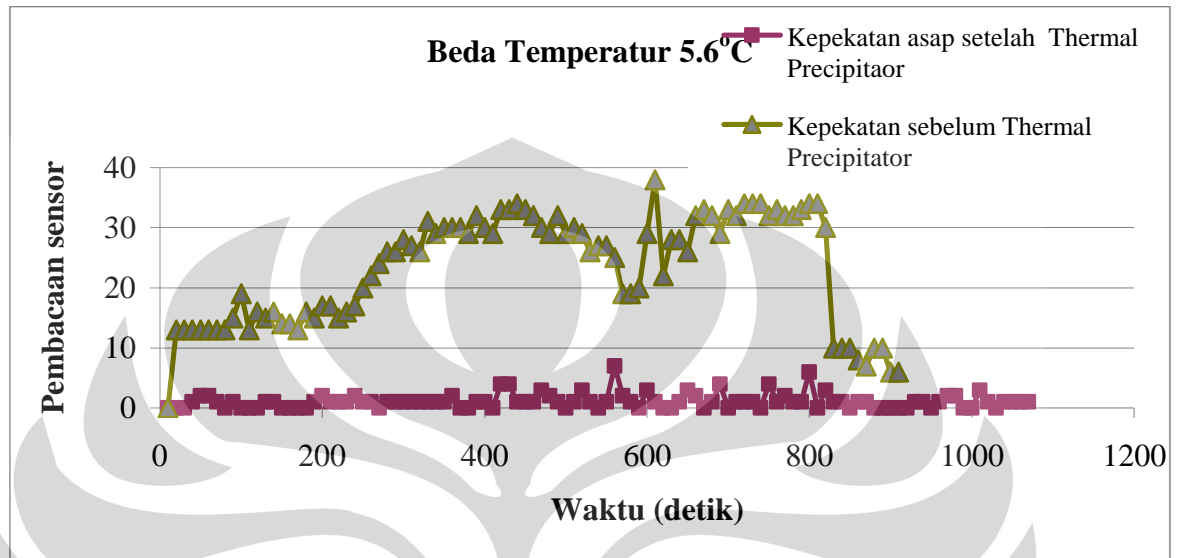
pengukuran terlihat adanya kenaikan massa tissue dari tiap kondisi (kenaikan T^*) namun berat ini tidak dapat dijadikan acuan. Kesalahan pengambilan data sangat mungkin terjadi saat proses penimbangan awal (berat tissue sebelum digunakan), saat proses pengelapan, dan proses penimbangan kedua (saat tissue telah dipakai).

Jadi metode ini tidak tepat digunakan untuk mengetahui efisiensi alat ini dalam menangkap partikel asap rokok, namun apabila kita ingin membuktikan hubungan antara gradien temperatur terhadap gaya thermophoresis, metode ini dapat digunakan karena dengan metode ini kita dapat melihat secara visual banyaknya partikel yang menempel pada sisi dingin dengan memvariasikan perbedaan temperatur antara sisi panas dan dingin.



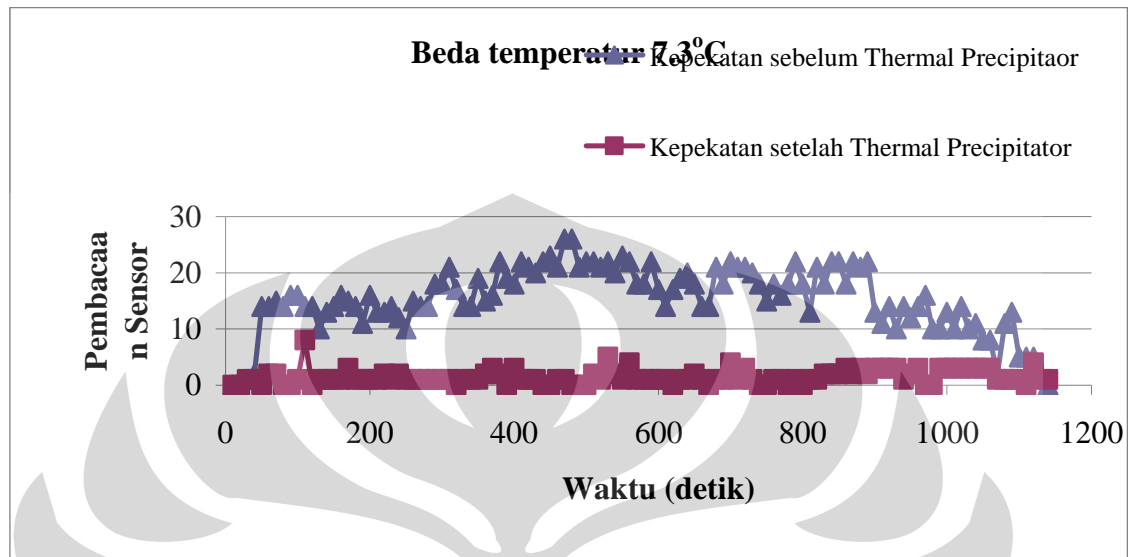
4.3 Grafik hasil pengambilan data konsentrasi asap dengan menggunakan sensor LED IR

A. Beda temperatur 5.6°C



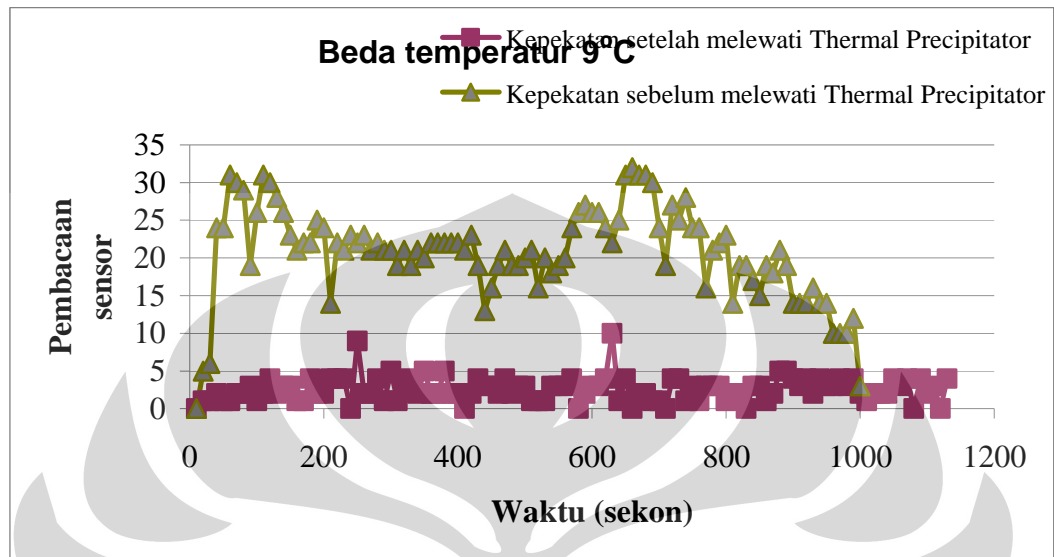
Gambar 4.28 Grafik percobaan beda temperature 5.6°C

B. Beda temperatur 7.3°C



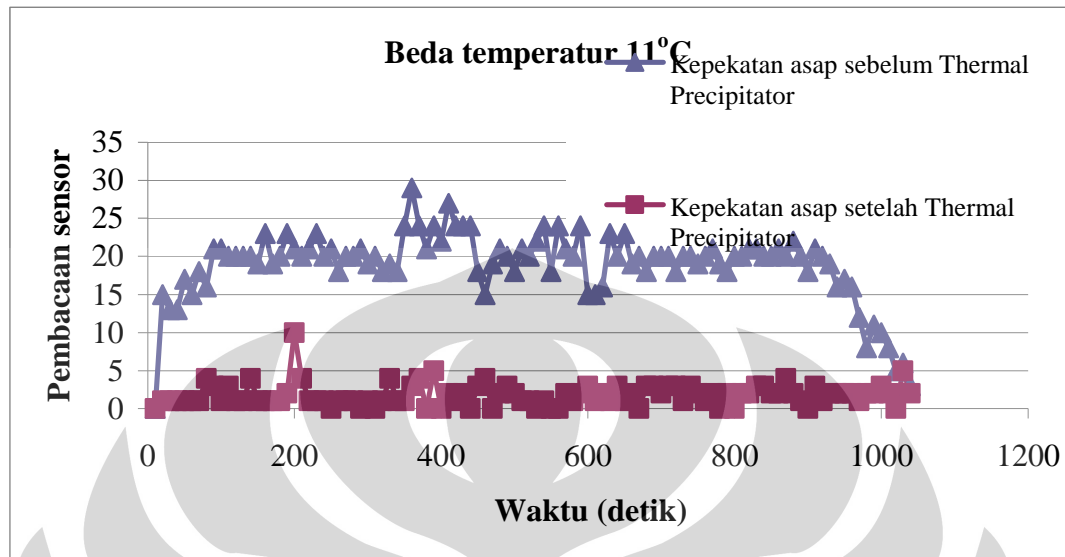
Gambar 4.29 Grafik percobaan beda temperature 7.3°C

C. Beda temperatur 9°C



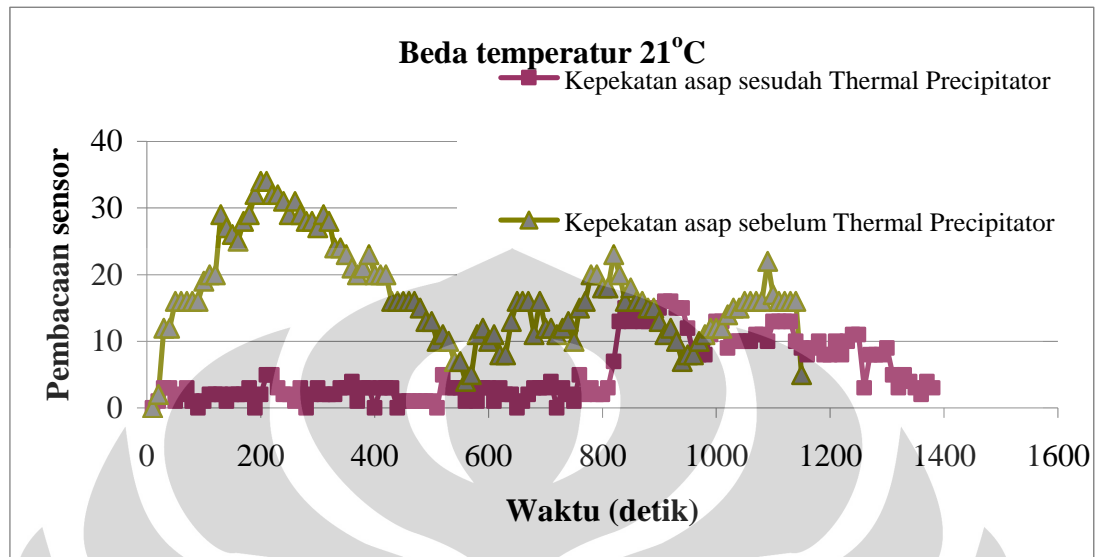
Gambar 4.30 Grafik percobaan beda temperature 9°C

D. Beda temperatur 11°C



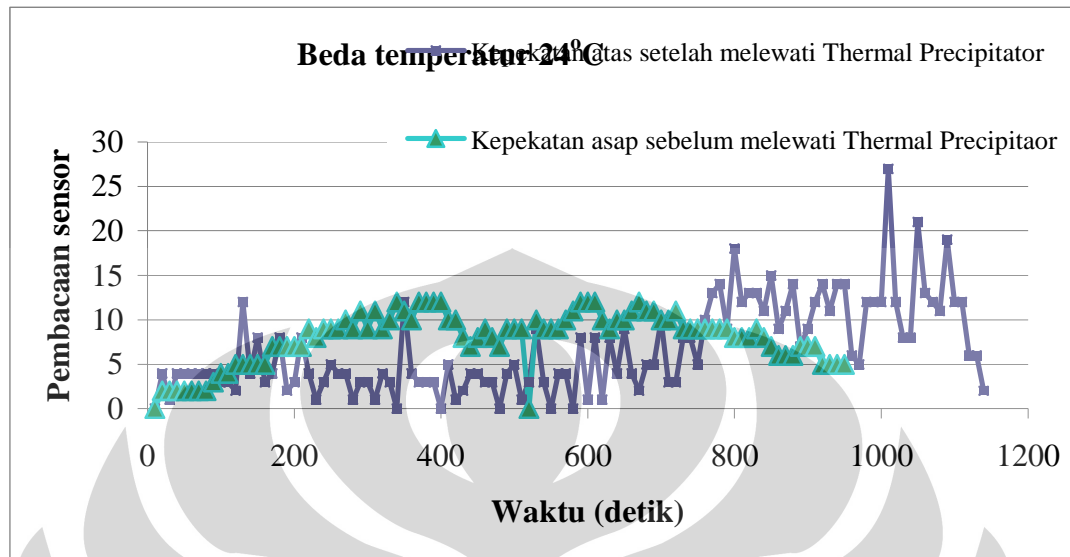
Gambar 4.31 Grafik percobaan beda temperature 11°C

E. Beda temperatur 21°C



Gambar 4.32 Grafik percobaan beda temperature 21°C

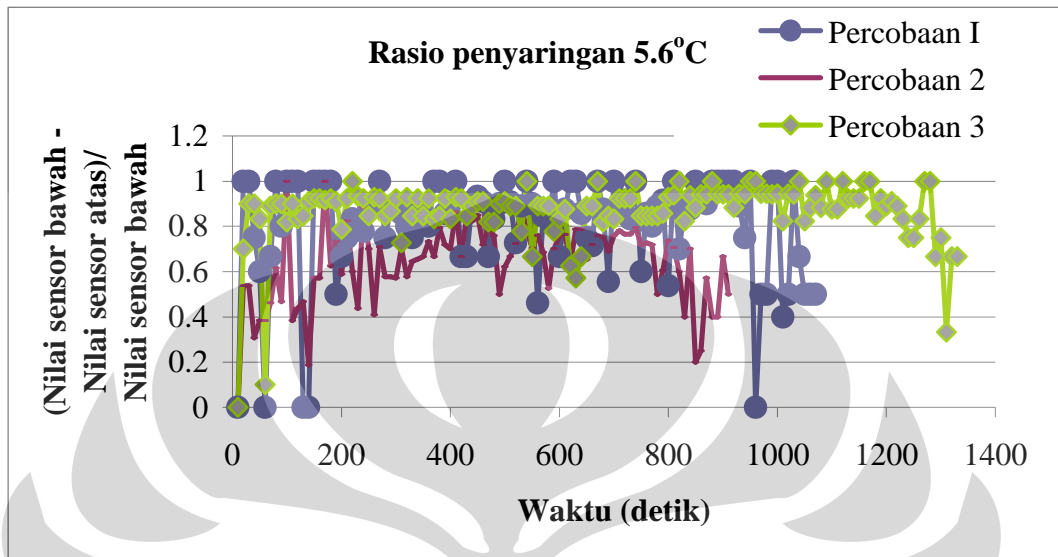
F. Beda temperatur 24°C



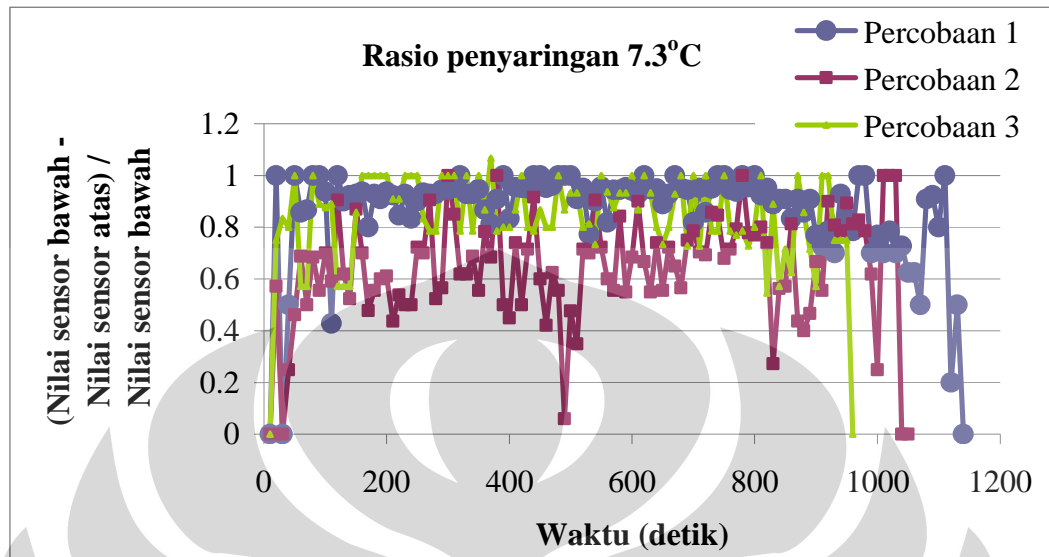
Gambar 4.33 Grafik percobaan beda temperature 24°C

4.3.1 Grafik rasio penyaringan asap

A. Beda temperatur 5.6°C

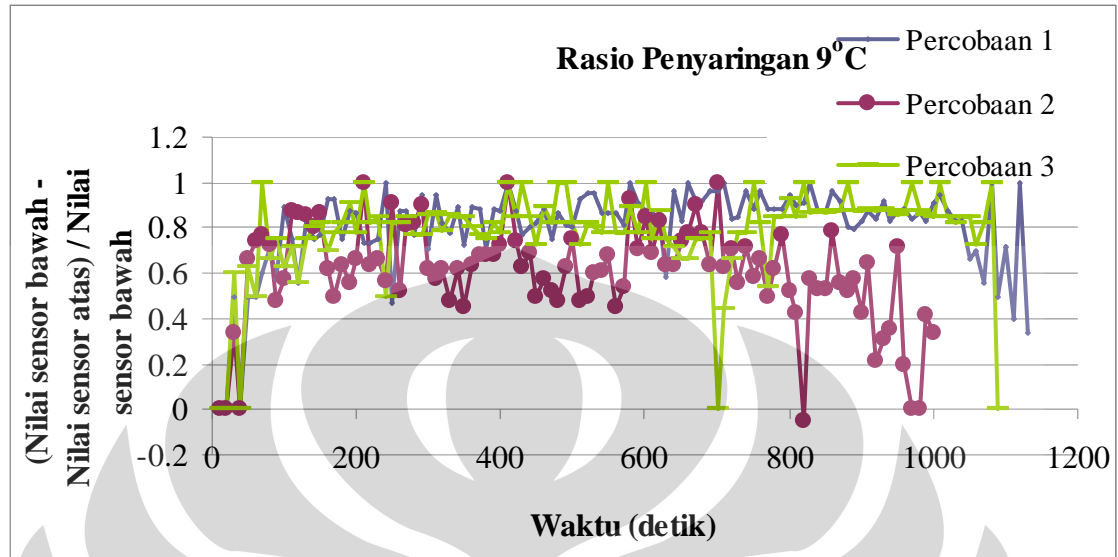


Gambar 4.34 Rasio penyaringan beda temperature 5.6°C

B. Beda temperatur 7.3°C

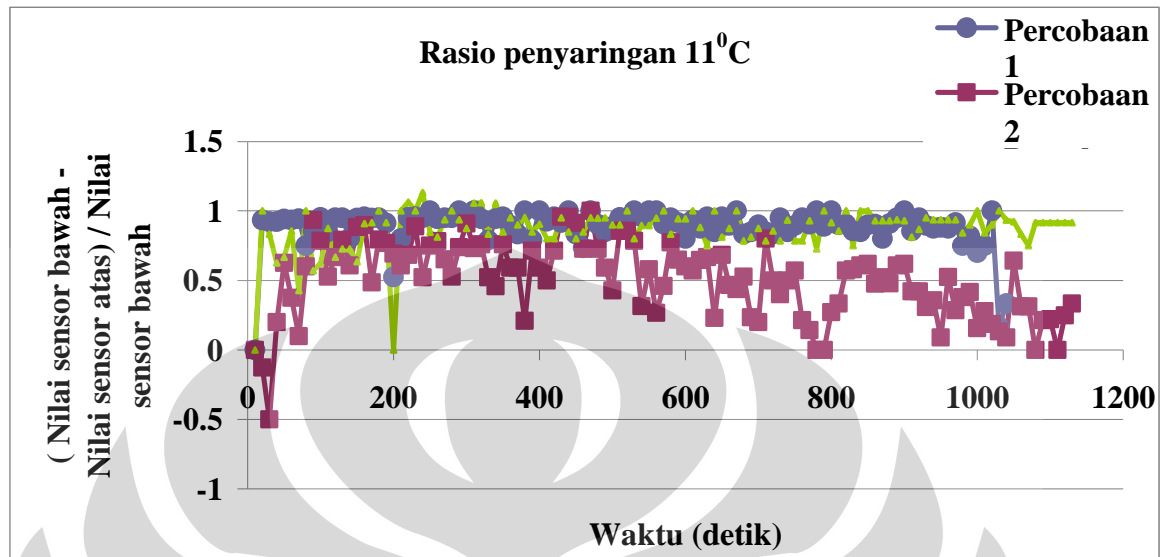
Gambar 4.35 Rasio penyangaran beda temperature 7.3°C

C. Beda temperatur 9°C

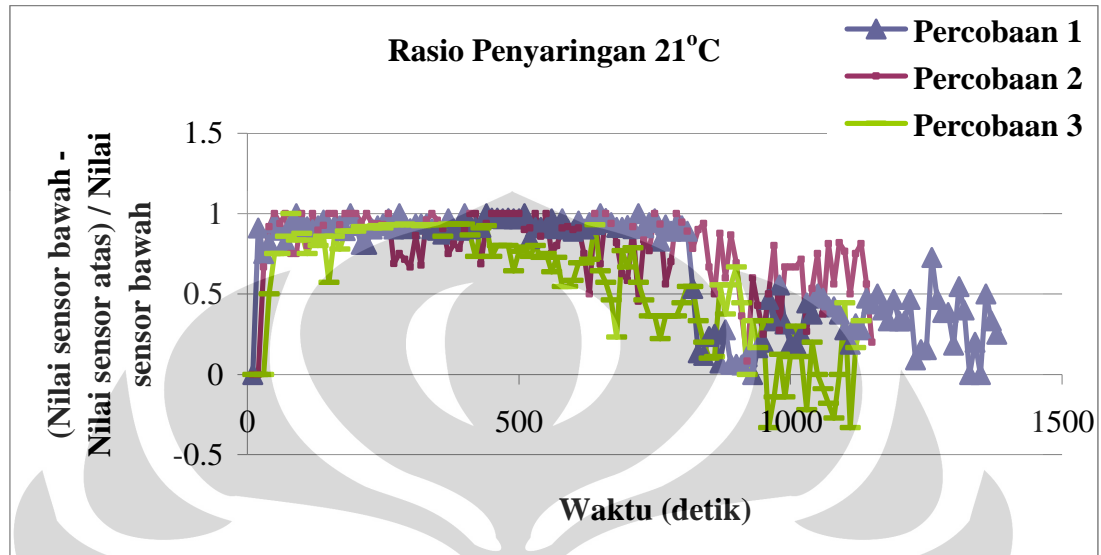


Gambar 4.36 Rasio penyaringan beda temperature 9°C

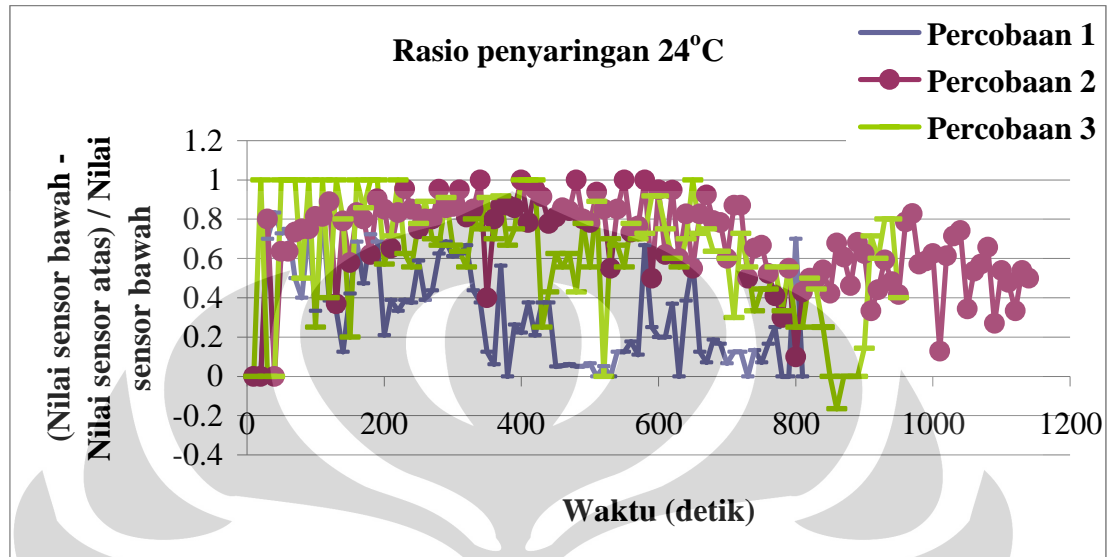
D. Beda temperatur 11°C



Gambar 4.37 Rasio penyaringan beda temperatur 11°C

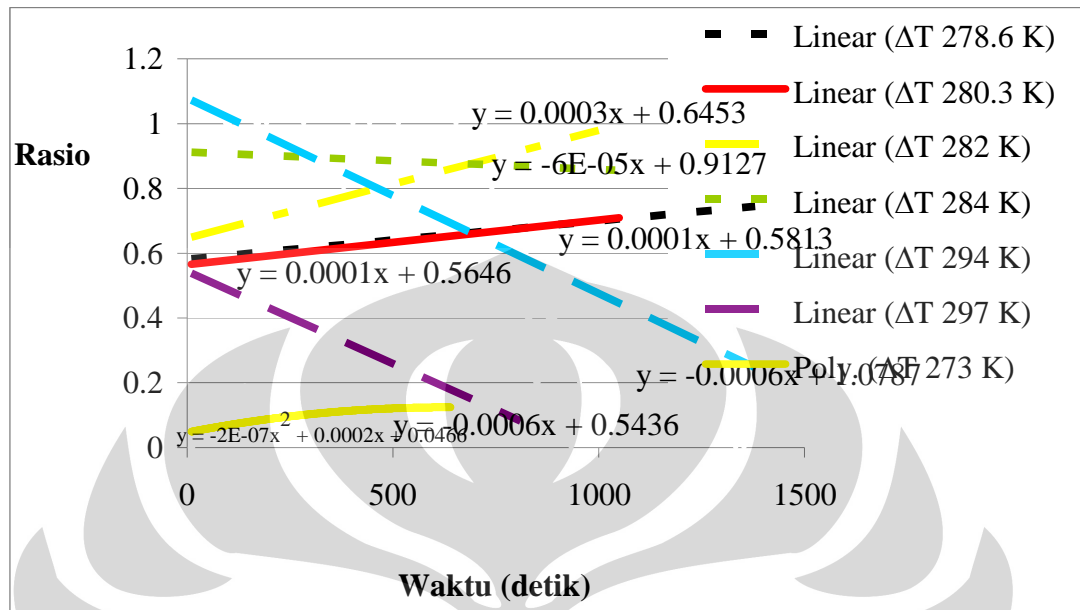
E. Beda temperatur 21°C

Gambar 4.38 Rasio penyaringan beda temperatur 21°C

F. Beda temperature 24°C

Gambar 4.39 Rasio penyaringan beda temperature 24°C

Grafik rasio penyaringan asap rata rata (273 K – 297 K)

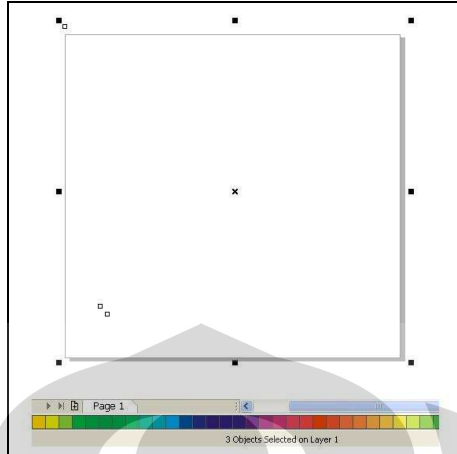


Gambar 4.40 Rasio penyaringan rata rata

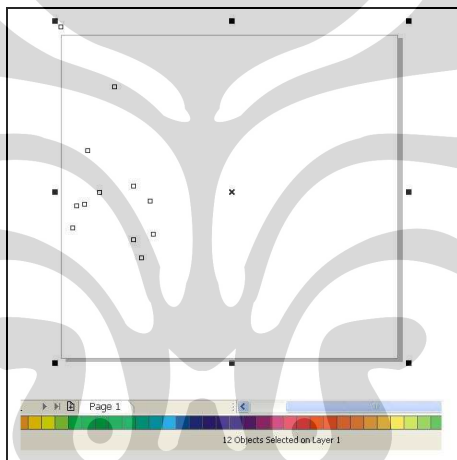
Dari grafik diatas terlihat semakin besar beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin maka kadar konsentrasi asap yang keluar pada ujung alat *thermal precipitator* ini menjadi semakin tipis, hal ini disebabkan karena partikel yang ada di dalam asap (aerosol) sebagian telah menempel pada sisi dingin. Dengan menempelnya partikel tersebut maka komposisi kandungan asap menjadi berkurang sehingga asap yang keluar menjadi hampir tidak terlihat. Dari grafik perbandingan rasio penyaringan asap dapat kita lihat terjadi peningkatan rasio penyaringan asap (mulai dari ΔT 273 - ΔT 294), namun untuk ΔT 297 rasio penyaringan mengalami penurunan, hal ini diakibatkan karena sisi panas yang cepat terpengaruh oleh sisi dingin, sehingga mengurangi gradien temperatur yang akan mengakibatkan turunnya gaya thermophoresis. Hal lain yang mungkin menyebabkan mengapa hal ini dapat terjadi adalah karena partikel rokok yang mempunyai ukuran $d=0.2\mu\text{m}$ telah terpengaruh oleh efek *konduktifitas thermal*. Partikel dengan ukuran $d=0.2\mu\text{m}$ mudah terpengaruh oleh panas yang berasal dari sisi panas, partikel dengan ukuran ini mampu menyerap panas sehingga ketika partikel ini tertumbuk oleh molekul yang berasal dari sisi dingin (molekul dengan pergerakan yang lemah) molekul ini akan menjadi bergerak lebih kencang (karena terpanasi oleh partikel sehingga gerakannya menjadi tak beraturan), apabila hal ini terjadi maka gaya thermophoresis akan berkurang, sehingga partikel lolos dan asap masih tetap keluar pada ujung alat *thermal precipitator* ini.

4.4 Konversi mV ke jumlah partikel

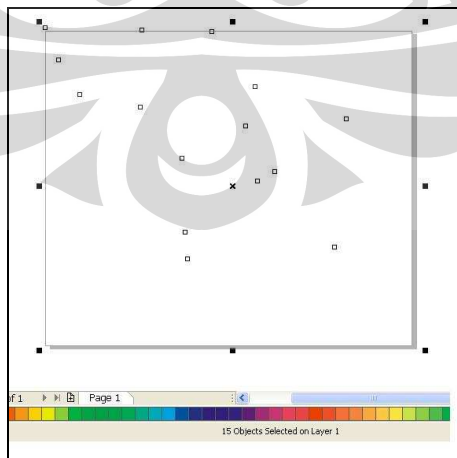
Metode pengkonversian mV ke jumlah partikel menggunakan cara visual yaitu asap sebelum dan sesudah melewati *Thermal Precipitator* di foto lalu hasil foto tersebut kita masukan ke dalam program *adobe photoshop*, tampilan yang muncul pada layar kita ambil 1 cm x 1 cm, dari potongan tersebut akan muncul titik-titik yang mewakili jumlah partikel yang ada pada luasan 1 cm². Untuk mengetahui jumlah titik titik yang didapat gunakan program *corel draw*, dan hasil yang didapat adalah sebagai berikut:



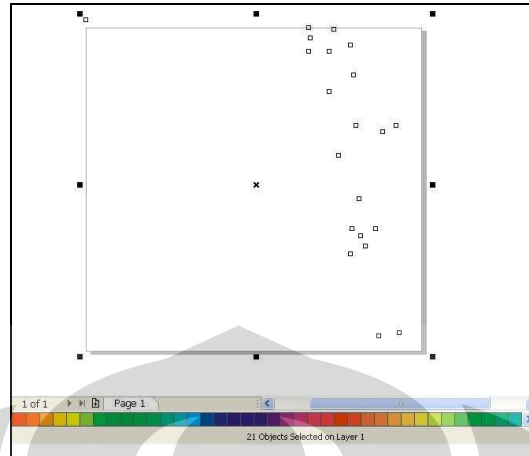
Gambar 4.41 Konversi 386 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm^2



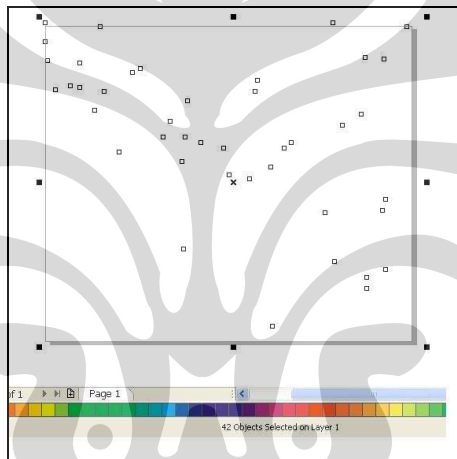
Gambar 4.42 Konversi 389 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm^2



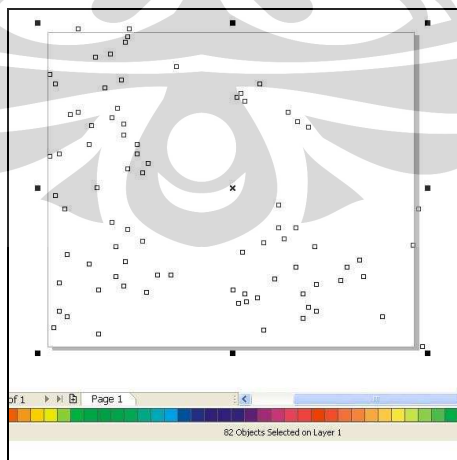
Gambar 4.43 Konversi 391 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm^2



Gambar 4.44 Konversi 393 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm^2



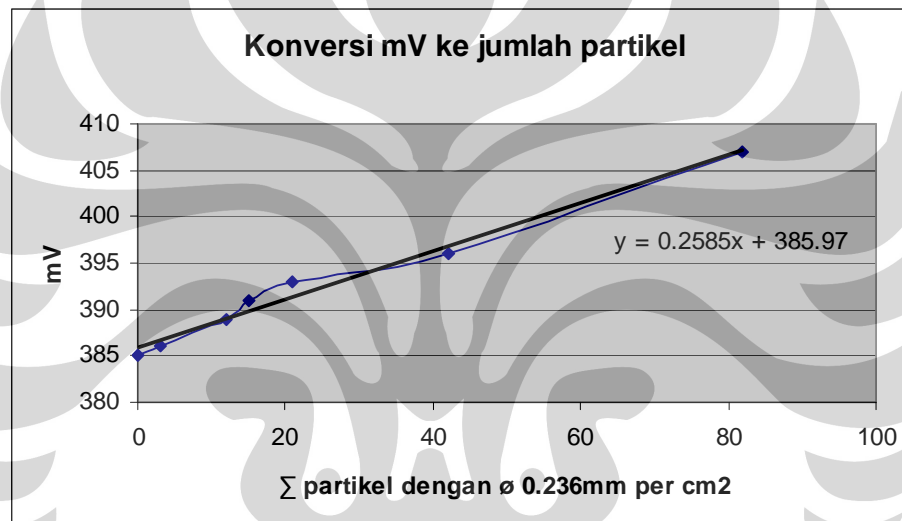
Gambar 4.45 Konversi 396 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm^2



Gambar 4.46 Konversi 407 mV ke jumlah partikel tiap 1 cm^2

Tabel 4.2 Konversi Pembacaan sensor ke jumlah partikel/cm²

mV	Partikel
385	0
386	3
389	12
391	15
393	21
396	42
407	82



Gambar 4.47 Grafik Konversi mV ke jumlah partikel

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisa data yang didapatkan selama penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada alat uji *Portable Thermal Precipitator* ini dapat dilakukan pengujian terhadap kadar asap yang dapat ditangkap pada bagian sisi dingin dan konsentrasi asap pada keluaran *Portable Thermal Precipitator* ini.
2. Semakin besar gradient temperatur antara sisi panas dan sisi dingin, maka semakin banyak pula deposit yang didapat pada sisi dingin.
3. Semakin besar gradien temperatur antara sisi panas dan sisi dingin juga berpengaruh pada konsentrasi asap yang keluar pada ujung alat *thermal precipitator* ini, dimana konsentrasi asap yang keluar tidak sepekat asap yang masuk dan hampir tidak terlihat.
4. Kecepatan udara lingkungan juga mempengaruhi banyaknya deposit yang dapat dikumpulkan pada sisi dingin, dimana kecepatan udara yang tinggi dapat mengurangi gaya thermophoresis yang terjadi.

5.2 SARAN

1. Perlunya dibuat alat sirkulasi air yang ada pada sisi dingin, sehingga perbedaan temperatur antara sisi panas dengan sisi dingin dapat terjaga dalam rentang waktu yang lama.
2. Perlunya modifikasi pada bagian box penampungan asap (*smoke collector*) agar tidak terpengaruh oleh udara lingkungan, sehingga tidak mengurangi efek thermophoresis.

DAFTAR PUSTAKA

Reist, Parker C. Aerosol Science And Technology, 2nd edition, McGraw Hill, New York. 1993.

Abidzar Ramadhana., Karakteristik Thermal Precipitator Sebagai Smoke Collector Berbasis

Thermophoretic Force, Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia , Depok, 2008.

Huang, Zhuo., Apte, Michael., Gundel, Lara., Thermophoresis And Its Thermal Parameters For Aerosol Collection. US Department of energy journal of Undergraduate Research.

<http://merry-christina.blogspot.com> diakses tanggal 20 juni 2009

<http://www.emeraldinsight.com>) diakses tanggal 20 Juni 2009

I.H Imansyah., Bambang Suryawan., I Made K., Nandy P., Simulation Of thermophoretic force in Horizontal Plate Dust Collector, Jurnal Teknologi, Edisi 2 tahun XXII, Juni 2008.

Lampiran I

Tabel perbandingan temperatur sisi panas dengan sisi dingin tanpa menggunakan pendingin.

Tabel 1 Tegangan input heater 4.5 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	31	32	32	31.66	30	31	31	30.66
10	31	32	32	31.66	30	30	30	30
15	31	32	32	31.66	30	31	30	30.33
20	31	32	32	31.66	30	31	30	30.33
25	31	32	32	31.66	30	31	30	30.33
30	31	32	31	31.33	30	30	30	30
35	31	32	31	31.33	30	30	30	30
37	31	32	31	31.33	30	30	30	30

Tabel 2 Tegangan input heater 6Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	31	32	31	31.33	30	30	30	30
10	32	33	33	32.66	31	32	31	31.33
15	33	34	34	33.66	31	32	31	31.33
20	33	34	34	33.66	32	33	32	32.33
25	33	35	34	34	32	33	32	32.33
30	33	35	34	34	32	33	32	32.33
35	34	35	34	34.33	32	33	32	32.33

Tabel 3 Tegangan input heater 7.5 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	34	35	35	34.67	32	33	32	32.33
10	36	37	37	36.67	34	35	34	34.33
15	37	39	38	38.00	35	37	35	35.67
20	38	39	39	38.67	36	39	35	36.67
25	38	40	39	39.00	38	36	36	36.67
30	38	40	39	39.00	36	38	36	36.67
35	38	40	40	39.33	37	38	36	37.00

Tabel 4 Tegangan input heater 9 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	39	40	40	39.67	37	38	36	37.00
10	41	43	43	42.33	39	40	38	39.00
15	43	45	44	44.00	40	42	39	40.33
20	43	46	45	44.67	41	43	40	41.33
25	44	46	46	45.33	42	43	40	41.67
30	44	46	46	45.33	42	44	41	42.33
35	44	46	46	45.33	42	44	41	42.33

Tabel 5 Tegangan input heater 12 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	38	40	39	39.00	35	36	35	35.33
10	48	51	50	49.67	43	44	41	42.67
15	54	57	56	55.67	49	51	46	48.67
20	57	60	59	58.67	52	54	49	51.67
25	58	61	60	59.67	54	55	50	53.00
30	58	62	61	60.33	54	56	53	54.33
35	59	62	61	60.67	55	56	52	54.33

Tabel 6 Tegangan input heater 15 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	34	37	35	35.33	27	36	26	29.67
10	53	55	54	54.00	44	43	44	43.67
15	62	65	64	63.67	54	55	55	54.67
20	66	70	69	68.33	61	61	61	61.00
25	68	71	71	70.00	63	64	64	63.67
30	69	73	72	71.33	64	65	65	64.67
35	69	73	72	71.33	64	65	65	64.67

Lampiran II

Tabel perbandingan temperatur sisi panas dengan sisi dingin dengan menggunakan pendingin air.

Tabel 1 Tegangan input heater 4.5 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	T Air	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	31	32	31	31.33	11	18	25	24	22.33
10	24	25	25	24.67	13	14	16	15	15.00
15	23	24	24	23.67	15	15	17	16	16.00
20	24	24	24	24.00	16	16	28	17	20.33
25	24	25	25	24.67	17	18	29	18	21.67
30	24	25	25	24.67	18	18	19	18	18.33
35	25	25	25	25.00	19	19	20	19	19.33

Tabel 2 Tegangan input heater 6 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	T Air	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	30	31	31	30.67	26	27	27	26	26.67
10	25	26	26	25.67	12	15	16	16	15.67
15	25	26	26	25.67	15	16	17	17	16.67
20	25	27	26	26.00	16	17	18	18	17.67
25	26	27	27	26.67	17	18	19	19	18.67
30	27	28	27	27.33	19	19	20	20	19.67
35	27	28	28	27.67	20	20	20	21	20.33

Tabel 3 Tegangan input heater 7.5 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	T Air	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	29	30	29	29.33	28	29	28	28	28.33
10	27	28	28	27.67	14	15	15	15	15.00
15	27	29	28	28.00	16	17	17	16	16.67
20	28	29	28	28.33	17	18	18	18	18.00
25	29	30	29	29.33	19	19	19	19	19.00
30	29	31	30	30.00	20	21	20	20	20.33
35	30	31	30	30.33	21	22	21	21	21.33

Tabel 4 Tegangan input heater 9 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	T Air	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	29	30	29	29.33	15	16	16	16	16.00
10	27	28	27	27.33	16	17	17	17	17.00
15	27	28	27	27.33	18	18	18	18	18.00
20	27	28	28	27.67	19	19	19	20	19.33
25	28	29	28	28.33	20	20	20	20	20.00
30	28	29	29	28.67	21	21	21	21	21.00
35	29	30	29	29.33	22	22	22	22	22.00

Tabel 5 Tegangan input heater 12 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	T Air	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	34	35	35	34.67	13	13	15	14	14.00
10	38	39	39	38.67	16	16	18	16	16.67
15	41	41	41	41.00	19	19	21	19	19.67
20	42	42	42	42.00	21	21	24	22	22.33
25	44	44	44	44.00	24	24	26	24	24.67
30	45	45	45	45.00	26	26	28	26	26.67
35	46	57	46	49.67	28	28	29	28	28.33

Tabel 6 Tegangan input heater 15 Volt

Waktu	Sisi Panas 1	Sisi Panas 2	Sisi Panas 3	Rata Rata	T Air	Sisi Dingin 1	Sisi Dingin 2	Sisi Dingin 3	Rata Rata
5	48	49	49	48.67	13	37	26	26	29.67
10	51	53	51	51.67	16	18	20	20	19.33
15	52	54	52	52.67	19	22	24	24	23.33
20	54	56	54	54.67	23	26	28	28	27.33
25	56	57	56	56.33	27	28	30	30	29.33
30	57	59	57	57.67	30	31	33	33	32.33
35	58	59	58	58.33	32	33	35	35	34.33

Lampiran III

Tabel T*

A. Tanpa pendingin

- T*1

T Hot	T Cold	T hot – T Cold	(Th-Tc)/Tc
31.67	30.67	1.00	0.03
31.67	30.00	1.67	0.06
31.67	30.33	1.33	0.04
31.67	30.33	1.33	0.04
31.67	30.33	1.33	0.04
31.33	30.00	1.33	0.04
31.33	30.00	1.33	0.04

- T*2

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
31.33	30.00	1.33	0.04
32.67	31.33	1.33	0.04
33.67	31.33	2.33	0.07
33.67	32.33	1.33	0.04
34.00	32.33	1.67	0.05
34.00	32.33	1.67	0.05
34.33	32.33	2.00	0.06

- **T*3**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
34.67	32.33	2.33	0.07
36.67	34.33	2.33	0.07
38.00	35.67	2.33	0.07
38.67	36.67	2.00	0.05
39.00	36.67	2.33	0.06
39.00	36.67	2.33	0.06
39.33	37.00	2.33	0.06

- **T*4**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
39.67	37.00	2.67	0.07
42.33	39.00	3.33	0.09
44.00	40.33	3.67	0.09
44.67	41.33	3.33	0.08
45.33	41.67	3.67	0.09
45.33	42.33	3.00	0.07
45.33	42.33	3.00	0.07

- **T*5**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
39.00	35.33	3.67	0.10
49.67	42.67	7.00	0.16
55.67	48.67	7.00	0.14
58.67	51.67	7.00	0.14
59.67	53.00	6.67	0.13
60.33	54.33	6.00	0.11
60.67	54.33	6.33	0.12

- **T*6**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
35.33	29.67	5.67	0.19
54.00	43.67	10.33	0.24
63.67	54.67	9.00	0.16
68.33	61.00	7.33	0.12
70.00	63.67	6.33	0.10
71.33	64.67	6.67	0.10
71.33	64.67	6.67	0.10

B. Dengan pendingin

- **T*1**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
31.33	22.33	9.00	0.40
24.67	15.00	9.67	0.64
23.67	16.00	7.67	0.48
24.00	20.33	3.67	0.18
24.67	21.67	3.00	0.14
24.67	18.33	6.33	0.35
25.00	19.33	5.67	0.29

- **T*2**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
30.67	26.67	4.00	0.15
25.67	15.67	10.00	0.64
25.67	16.67	9.00	0.54
26.00	17.67	8.33	0.47
26.67	18.67	8.00	0.43
27.33	19.67	7.67	0.39
27.67	20.33	7.33	0.36

- **T*3**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
29.33	28.33	1.00	0.04
27.67	15.00	12.67	0.84
28.00	16.67	11.33	0.68
28.33	18.00	10.33	0.57
29.33	19.00	10.33	0.54
30.00	20.33	9.67	0.48
30.33	21.33	9.00	0.42

- **T*4**

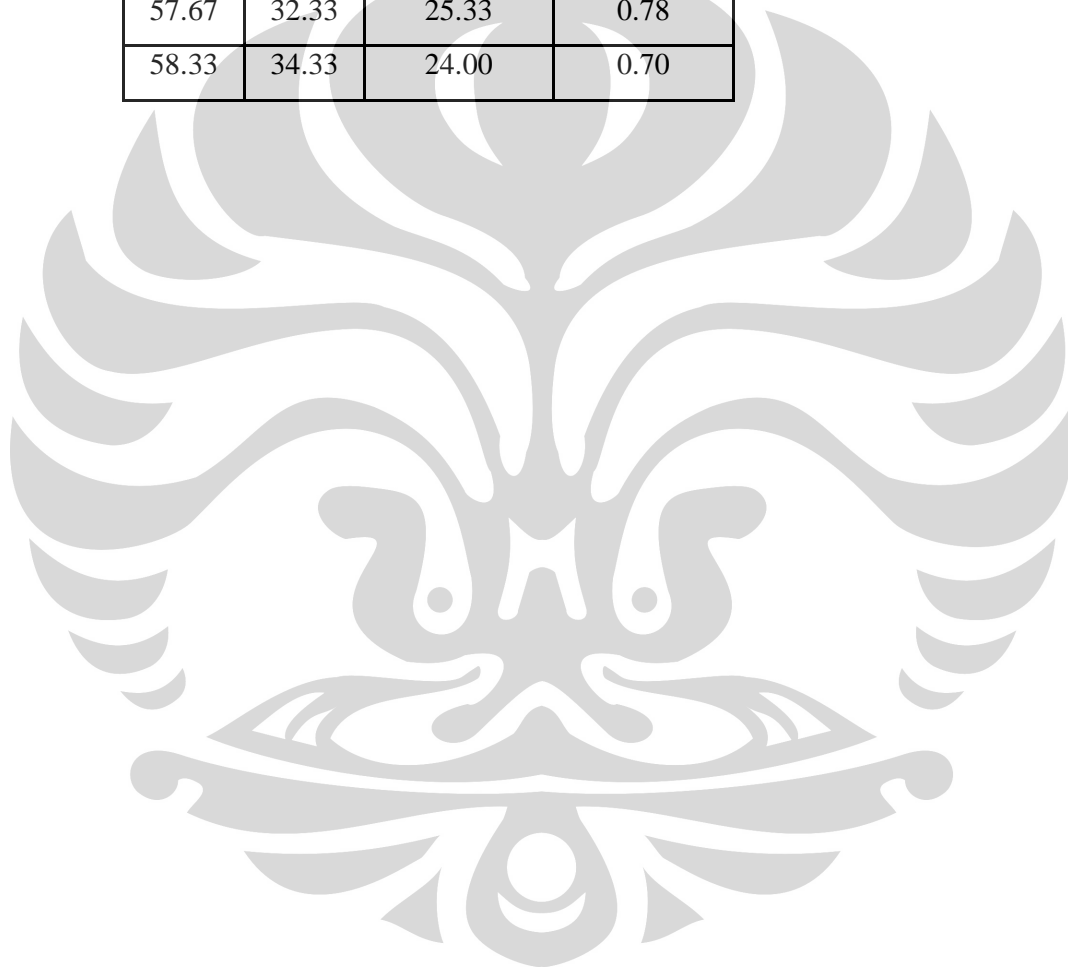
T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
29.33	16.00	13.33	0.83
27.33	17.00	10.33	0.61
27.33	18.00	9.33	0.52
27.67	19.33	8.33	0.43
28.33	20.00	8.33	0.42
28.67	21.00	7.67	0.37
29.33	22.00	7.33	0.33

- **T*5**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
34.67	14.00	20.67	1.48
38.67	16.67	22.00	1.32
41.00	19.67	21.33	1.08
42.00	22.33	19.67	0.88
44.00	24.67	19.33	0.78
45.00	26.67	18.33	0.69
49.67	28.33	21.33	0.75

- **T*6**

T Hot	T Cold	Thot -T Cold	(Th-Tc)/Tc
48.67	29.67	19.00	0.64
51.67	19.33	32.33	1.67
52.67	23.33	29.33	1.26
54.67	27.33	27.33	1.00
56.33	29.33	27.00	0.92
57.67	32.33	25.33	0.78
58.33	34.33	24.00	0.70



Lampiran IV

Berat tissue

- **Percobaan I**

Volt	Sebelum (g)	Sesudah (g)	Selisih (g)
4	2.8907	2.9047	0.014
6	2.9427	2.963	0.0203
7	2.9964	3.016	0.0196
9	3.034	3.0564	0.0224
12	2.9783	3.0015	0.0232
15	2.9958	3.1983	0.2025

- **Percobaan II**

Volt	Sebelum (g)	Sesudah (g)	Selisih (g)
4	2.9411	2.9872	0.0461
6	2.8552	2.9133	0.0581
7	2.9258	2.9935	0.0677
9	3.0224	3.122	0.0996
12	3.0581	3.1681	0.11
15	2.9696	3.256	0.2864

- **Percobaan III**

Volt	Sebelum (g)	Sesudah (g)	Selisih (g)
4	3.1226	3.1563	0.0337
6	2.9769	3.0185	0.0416
7	3.0369	3.0698	0.0329
9	3.0444	3.089	0.0446
12	3.027	3.178	0.151
15	2.9403	3.239	0.2987

Lampiran 5

A. Beda temperatur 5.6 °C (250 detik pertama)

No	Waktu (sekon)	Pembacaan sensor bawah (mv)	Tingkat kepekatan bawah	Pembacaan sensor atas (mV)	Tingkat kepekatan atas	Rasio kepekatan
1	10	390	0	390	0	0
2	20	396	6	403	13	0.53
3	30	396	6	403	13	0.53
4	40	399	9	403	13	0.30
5	50	398	8	403	13	0.38
6	60	398	8	403	13	0.38
7	70	397	7	403	13	0.46
8	80	395	5	403	13	0.61
9	90	398	8	405	15	0.46
10	100	390	0	409	19	1
11	110	398	8	403	13	0.38
12	120	399	9	406	16	0.43
13	130	398	8	405	15	0.46
14	140	403	13	406	16	0.18
15	150	396	6	404	14	0.57
16	160	396	6	404	14	0.57
17	170	390	0	403	13	1
18	180	396	6	406	16	0.62
19	190	394	4	405	15	0.73
20	200	397	7	407	17	0.58
21	210	393	3	407	17	0.823
22	220	396	6	405	15	0.6
23	230	399	9	406	16	0.43
24	240	392	2	407	17	0.88
25	250	396	6	410	20	0.7

B. Beda temperatur 7.3 °C (250 detik pertama)

No	Waktu (sekon)	Pembacaan sensor bawah (mv)	Tingkat kepekatan bawah	Pembacaan sensor atas (mV)	Tingkat kepekatan atas	Rasio kepekatan
1	10	396	0	390	0	0.00
2	20	403	7	393	3	0.57
3	30	403	7	397	7	0.00
4	40	408	12	399	9	0.25
5	50	409	13	397	7	0.46
6	60	412	16	395	5	0.69
7	70	414	18	399	9	0.50
8	80	415	19	396	6	0.68
9	90	414	18	398	8	0.56
10	100	416	20	396	6	0.70
11	110	418	22	399	9	0.59
12	120	417	21	392	2	0.90
13	130	417	21	398	8	0.62
14	140	417	21	400	10	0.52
15	150	419	23	393	3	0.87
16	160	416	20	396	6	0.70
17	170	419	23	402	12	0.48
18	180	414	18	398	8	0.56
19	190	416	20	398	8	0.60
20	200	414	18	397	7	0.61
21	210	412	16	399	9	0.44
22	220	409	13	396	6	0.54
23	230	412	16	398	8	0.50
24	240	412	16	398	8	0.50
25	250	414	18	395	5	0.72

C. Beda temperatur 9 °C (250 detik pertama)

No	Waktu (sekon)	Pembacaan sensor bawah (mv)	Tingkat kepekatan bawah	Pembacaan sensor atas (mV)	Tingkat kepekatan atas	Rasio kepekatan
1	10	375	0	388	0	0.00
2	20	375	0	389	1	0.00
3	30	377	2	389	1	0.50
4	40	375	0	390	2	0.00
5	50	377	2	389	1	0.50
6	60	377	2	389	1	0.50
7	70	380	5	390	2	0.60
8	80	382	7	390	2	0.71
9	90	382	7	391	3	0.57
10	100	384	9	389	1	0.89
11	110	383	8	390	2	0.75
12	120	384	9	392	4	0.56
13	130	387	12	390	2	0.83
14	140	387	12	391	3	0.75
15	150	388	13	391	3	0.77
16	160	389	14	389	1	0.93
17	170	389	14	389	1	0.93
18	180	391	16	392	4	0.75
19	190	391	16	390	2	0.88
20	200	390	15	390	2	0.87
21	210	390	15	392	4	0.73
22	220	390	15	392	4	0.73
23	230	391	16	392	4	0.75
24	240	391	16	388	0	1.00
25	250	392	17	397	9	0.47

D. Beda temperatur 11 °C (250 detik pertama)

No	Waktu (sekon)	Pembacaan sensor bawah (mv)	Tingkat kepekatan bawah	Pembacaan sensor atas (mV)	Tingkat kepekatan atas	Rasio kepekatan
1	10	387	0	384	0	0.00
2	20	392	5	384	0	1.00
3	30	393	6	385	1	0.83
4	40	395	8	387	3	0.63
5	50	393	6	386	2	0.67
6	60	394	7	385	1	0.86
7	70	394	7	388	4	0.43
8	80	393	6	384	0	1.00
9	90	394	7	387	3	0.57
10	100	395	8	387	3	0.63
11	110	395	8	385	1	0.88
12	120	396	9	387	3	0.67
13	130	398	11	387	3	0.73
14	140	398	11	387	3	0.73
15	150	398	11	388	4	0.64
16	160	398	11	385	1	0.91
17	170	399	12	385	1	0.92
18	180	399	12	384	0	1.00
19	190	399	12	385	1	0.92
20	200	400	13	397	13	0.00
21	210	401	14	384	0	1.00
22	220	403	16	384	0	1.00
23	230	403	16	384	0	1.00
24	240	402	15	384	0	1.00
25	250	400	13	386	2	0.85

E. Beda temperatur 21 °C (250 detik pertama)

No	Waktu (sekon)	Pembacaan sensor bawah (mv)	Tingkat kepekatan bawah	Pembacaan sensor atas (mV)	Tingkat kepekatan atas	Rasio kepekatan
1	10	372	0	372	0	0.00
2	20	383	11	373	1	0.91
3	30	384	12	375	3	0.75
4	40	388	16	375	3	0.81
5	50	389	17	373	1	0.94
6	60	391	19	374	2	0.89
7	70	389	17	375	3	0.82
8	80	388	16	373	1	0.94
9	90	393	21	372	0	1.00
10	100	390	18	373	1	0.94
11	110	396	24	374	2	0.92
12	120	392	20	374	2	0.90
13	130	398	26	374	2	0.92
14	140	396	24	373	1	0.96
15	150	396	24	374	2	0.92
16	160	398	26	374	2	0.92
17	170	398	26	374	2	0.92
18	180	400	28	375	3	0.89
19	190	398	26	372	0	1.00
20	200	399	27	374	2	0.93
21	210	398	26	377	5	0.81
22	220	398	26	377	5	0.81
23	230	403	31	375	3	0.90
24	240	398	26	374	2	0.92
25	250	403	31	374	2	0.94

F. Beda temperatur 24 °C (250 detik pertama)

No	Waktu (sekon)	Pembacaan sensor bawah (mv)	Tingkat kepekatan bawah	Pembacaan sensor atas (mV)	Tingkat kepekatan atas	Rasio kepekatan
1	10	380	0	365	0	0.00
2	20	388	8	367	2	0.00
3	30	390	10	368	3	0.70
4	40	392	12	367	2	0.83
5	50	391	11	368	3	0.73
6	60	392	12	368	3	0.75
7	70	392	12	371	6	0.50
8	80	395	15	374	9	0.40
9	90	392	12	368	3	0.75
10	100	395	15	375	10	0.33
11	110	396	16	368	3	0.81
12	120	393	13	373	8	0.38
13	130	395	15	375	10	0.33
14	140	396	16	379	14	0.13
15	150	399	19	376	11	0.42
16	160	399	19	371	6	0.68
17	170	399	19	375	10	0.47
18	180	398	18	370	5	0.72
19	190	399	19	371	6	0.68
20	200	399	19	380	15	0.21
21	210	398	18	376	11	0.39
22	220	395	15	375	10	0.33
23	230	398	18	376	11	0.39
24	240	396	16	375	10	0.38
25	250	397	17	372	7	0.59