

**RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISASI SISTEM  
PEMANAS PARTIKULAT TERHADAP PERUBAHAN  
KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER 10* (PM<sub>10</sub>)**

**SKRIPSI**

oleh:

**TIARA HALIMA PRABAWATI**

**115090800111004**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



**RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISASI SISTEM  
PEMANAS PARTIKULAT TERHADAP PERUBAHAN  
KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER 10* (PM<sub>10</sub>)**

**SKRIPSI**

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

oleh:

**TIARA HALIMA PRABAWATI**

**115090800111004**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISTIK SISTEM  
PEMANAS PARTIKULAT TERHADAP PERUBAHAN  
KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER 10* (PM<sub>10</sub>)

oleh:

TIARA HALIMA PRABAWATI  
115090800111004

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
Pada tanggal **27 JUL 2018**  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

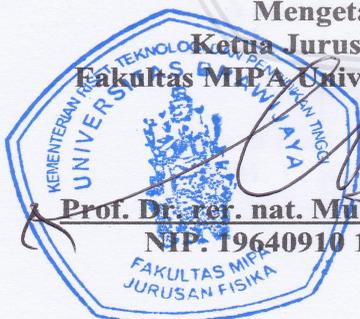
Drs. Arinto Yudi P.W., M.Sc., Ph.D  
NIP. 19640702 198903 1 001

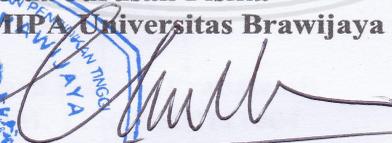
Pembimbing II

Dr. Ing. Setyawan P. S., M.Eng  
NIP. 19650825 199002 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



  
Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda  
NIP. 19640910 199002 1 001



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tiara Halima Prabawati  
NIM : 115090800111004  
Jurusan : Fisika  
Penulis Skripsi berjudul : RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISTIK SISTEM PEMANAS PARTIKULAT TERHADAP PERUBAHAN KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER 10* (PM<sub>10</sub>)

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan kesadaran.

Malang, 27 Juli 2018  
Yang menyatakan,

(Tiara Halima Prabawati)  
NIM. 115090800111004

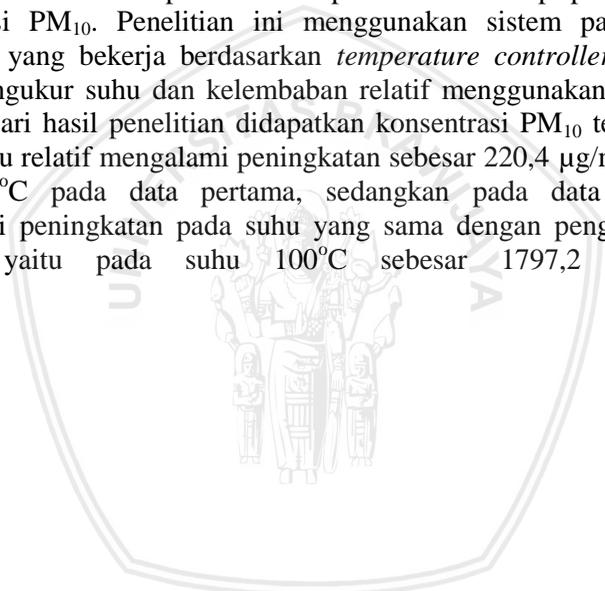


repository.ub.ac.id

# RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISASI SISTEM PEMANAS PARTIKULAT TERHADAP PERUBAHAN KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER 10* (PM<sub>10</sub>)

## ABSTRAK

PM<sub>10</sub> adalah partikel di udara ambient dengan ukuran aerodinamik < 10 µm yang berhubungan langsung dengan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem pemanas partikulat terkendali serta mengkarakterisasi kualitas suhu dan laju aliran udara pada sistem pemanas terhadap perubahan konsentrasi PM<sub>10</sub>. Penelitian ini menggunakan sistem partikulat terkendali yang bekerja berdasarkan *temperature controller*. Serta untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif menggunakan sensor SHT11. Dari hasil penelitian didapatkan konsentrasi PM<sub>10</sub> terhadap fungsi suhu relatif mengalami peningkatan sebesar 220,4 µg/m<sup>3</sup> pada suhu 100°C pada data pertama, sedangkan pada data kedua mengalami peningkatan pada suhu yang sama dengan pengukuran pertama yaitu pada suhu 100°C sebesar 1797,2 µg/m<sup>3</sup>.





repository.ub.ac.id

# ARCHITECTURE AND CHARACTERIZATION OF PARTICULATE HEATING SYSTEMS TO CHANGES IN THE CONCENTRATION OF PARTICULATE MATTER 10 (PM<sub>10</sub>)

## ABSTRACT

PM<sub>10</sub> are particles in ambient air with aerodynamic size < 10 μm directly related to human health. This research aims to design a heating system controlled and quality characterize the particulate temperature and air flow rate on heating systems to changes in concentrations of PM<sub>10</sub>. This research use the particulate system controlled the work based on the temperature controller. As well as to measure the temperature and relative humidity sensor SHT11. Of research results obtained by the concentration of PM<sub>10</sub> relative temperature function against experienced an increase of 220,4 μg/m<sup>3</sup> temperature of 100°C on first data, whereas in the second data has increased at a temperature similar to that of the first measurement that is at a temperature of 100°C of 1797,2 μg/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** PM<sub>10</sub>, SHT11, Temperature, Relative Humidity



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang sudah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISTIK SISTEM PEMANAS PARTIKULAT TERHADAP PERUBAHAN KONSENTRASI PARTICULATE MATTER 10 (PM<sub>10</sub>)”**.

Maksud dan tujuan pembuatan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam jenjang perkuliahaan Strata 1 Universitas Brawijaya jurusan Fisika. Dalam penulisan skripsi ini cukup sering penulis temui berbagai hambatan dan rintangan, tapi berkat bimbingan, pertolongan, nasehat serta saran dari semua pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan pembuatan skripsi ini.

Walaupun begitu, penulis tahu masih terdapat banyak keterbatasan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini, maka dari itu penulis menerima berbagai saran dan kritik yang membangun agar dimasa yang akan datang tulisan ini dapat menjadi lebih baik lagi. Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Drs. Arinto Yudi P.W., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing I
2. Dr. Ing. Setyawan P. Sakti, M.Eng selaku pembimbing II
3. Orang tua tercinta yang telah memberi doa dan dukungan kepada penulis baik dari segi moril maupun materil
4. Arif Budianto, S. Si, M. Si dan Mia Anggun Pawestri, S. Si yang telah membantu selama penelitian dan penulisan skripsi
5. Teman-teman serta sahabat seperjuangan yang tak henti memberikan dukungan dan support motivasi untuk penulis
6. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

Malang, 13 Mei 2018  
PENULIS



## DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>I</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	<b>III</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IX</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>XI</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>XV</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1 BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Tempat.....	3
<b>2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Udara .....	5
2.2 <i>Particulate Matter</i> .....	6
2.2.1 Istilah partikulat.....	9
2.3 Higroskopis .....	11
2.4 Absorpsi dan Adsorpsi .....	11
2.4.1 Absorpsi.....	11
2.4.2 Adsorpsi.....	13
2.5 Kondensasi .....	16
2.6 Sensor SHT11.....	16
2.6.1 Prinsip Kerja SHT11 .....	17
2.7 Arduino Uno R3 .....	18

2.7.1	Spesifikasi Arduino Uno R3 .....	18
2.8	Termokopel.....	21
2.8.1	Jenis-jenis Termokopel .....	22
2.9	Handheld Air Tester CW-HAT200S .....	23
2.9.1	Cara Pengoperasian .....	25
2.10	Kanomax A031 Anemomaster .....	27
2.11	Temperature Controller TOS-B4RK4C.....	28
<b>3</b>	<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1	Waktu dan Tempat penelitian .....	31
3.2	Alat dan Bahan .....	31
3.2.1	Alat-alat .....	31
3.2.2	Bahan .....	31
3.3	Metode Penelitian.....	32
3.3.1	Perancangan Sistem Pemanas .....	33
3.3.2	Perancangan Alat Ukur Suhu dan Kelembaban....	33
<b>4</b>	<b>BAB IV.....</b>	<b>35</b>
4.1	Hasil Penelitian.....	35
4.1.1	Hasil Perancangan Sistem Pemanas .....	35
4.1.2	Pengujian Sistem Pemanas .....	35
4.1.3	Pengukuran Laju Udara .....	37
4.1.4	Karakteristik Sistem Pemanas .....	37
4.2	Pembahasan .....	44
<b>5</b>	<b>BAB V .....</b>	<b>47</b>
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran .....	47
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> efek partikulat terhadap kesehatan .....	7
<b>Gambar 2.2</b> proses absorpsi gas-cair dan cair-padat.....	12
<b>Gambar 2.3</b> proses penyerapan Adsorben pada Adsorbat .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Sensor SHT11 .....	16
<b>Gambar 2.5</b> skema pengambilan data SHT11.....	17
<b>Gambar 2.6</b> Arduino Uno R3.....	18
<b>Gambar 2.7</b> Termokopel tipe K .....	21
<b>Gambar 2.8</b> HandHeld Air Tester CW-HAT200C .....	24
<b>Gambar 2.9</b> Unit Handheld.....	24
<b>Gambar 2.10</b> tampilan layar saat mulai dinyalakan.....	25
<b>Gambar 2.11</b> tampilan halaman pengukuran .....	26
<b>Gambar 2.12</b> menampilkan data yang telah tersimpan .....	26
<b>Gambar 2.13</b> menampilkan dan menghapus data .....	27
<b>Gambar 2.14</b> Kanomax A031 Anemomaster.....	28
<b>Gambar 2.15</b> Temperature Controller TOS-B4RK4C.....	28
<b>Gambar 2.16</b> Cakra angka pada Temperature Controller .....	29
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>Gambar 4.1</b> perancangan sistem pemanas .....	35
<b>Gambar 4.2</b> proses pemanasan.....	36
<b>Gambar 4.3</b> proses pendinginan.....	36
<b>Gambar 4.4</b> grafik konsentrasi input pertama terhadap fungsi suhu .....	38
<b>Gambar 4.5</b> grafik konsentrasi output pertama terhadap fungsi suhu .....	39
<b>Gambar 4.6</b> grafik konsentrasi input kedua terhadap fungsi suhu ..	41
<b>Gambar 4.7</b> grafik konsentrasi output kedua terhadap fungsi suhu	41
<b>Gambar 4.8</b> gain konsentrasi $PM_{10}$ pada konsentrasi pertama.....	43
<b>Gambar 4.9</b> gain konsentrasi $PM_{10}$ pada konsentrasi kedua.....	43
<b>Gambar 4.10</b> proses terjadi gain .....	44
<b>Gambar 4.11</b> Perubahan konsentrasi $PM_{10}$ terhadap fungsi suhu ...	45



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Gas utama dalam udara.....	5
<b>Tabel 2.2</b> range konsentrasi partikulat yang dapat menimbulkan dampak .....	8
<b>Tabel 2.3</b> Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia.....	14
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi Arduino Uno R3.....	18
<b>Tabel 2.5</b> Spesifikasi HandHeld Air Tester CW-HAT200S .....	23
<b>Tabel 4.1</b> hasil pengukuran pertama $PM_{10}$ .....	38
<b>Tabel 4.2</b> hasil pengukuran kedua konsentrasi $PM_{10}$ .....	40





# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dalam Kasus Pencemaran udara baik dalam maupun di luar ruangan (*Indoor and Outdoor Pollution*) debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja. Polusi yang terjadi di luar ruangan terjadi karena bahan pencemar yang berasal dari industri, transportasi, sementara polusi yang terjadi di dalam ruangan dapat berasal dari asap rokok, dan gangguan sirkulasi udara (Afif, 2001). Partikel debu akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan.

*Particulate Matter 10* ( $PM_{10}$ ) merupakan partikulat yang memiliki diameter kurang dari 10  $\mu m$ . *Particulate Matter 10* ( $PM_{10}$ ) terdiri dari aluminosilikat dan oksida lain dari unsur kerak dengan sumber utama termasuk debu yang berasal dari jalan, industri, pertanian, konstruksi, pembongkaran gedung, dan debu terbang dari pembakaran bahan bakar fosil. *Particulate Matter 10* ( $PM_{10}$ ) menyebar pada jarak bervariasi mulai kurang dari 1 km sampai 10 km. partikel  $PM_{10}$  yang berdiameter 10 mikron memiliki tingkat kelolosan yang tinggi dari saringan pernafasan manusia dan bertahan di udara dalam waktu cukup lama.

Berdasarkan teori dan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, kedua jenis polutan udara, yaitu debu dengan ukuran hingga 10 mikron atau disebut juga *particulate matter* ( $PM_{10}$ ) dan gas Nitrogen dioksida ( $NO_2$ ) ini merupakan faktor pencetus timbulnya asma. (Weinmayr et al., 2010).

Partikulat merupakan subdivisi kecil dari material padat tersuspensi dalam gas atau cair sehingga partikulat bersifat higroskopis. Higroskopis adalah kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik melalui absorpsi dan adsorpsi. (Mary, 2017). Untuk meminimalisir sifat higroskopis partikulat telah dirancang sebuah sistem pemanas seperti yang dilakukan oleh (Li dkk, 2016) dengan ukuran 4,5 m<sup>3</sup>.

repository.ub.ac.id

Kajian literatur tentang sistem pemanas partikulat digunakan dalam pengerjaan skripsi dengan ide merancang bangun sistem pemanas partikulat terhadap perubahan konsentrasi  $PM_{10}$ .

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimanakah merancang sebuah sistem pemanas partikulat berbasis SHT11 dan Arduino Uno?
2. Bagaimanakah perubahan konsentrasi  $PM_{10}$  terhadap fungsi suhu?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Merancang bangun sistem pemanas partikulat,
2. Menganalisa konsentrasi  $PM_{10}$  terhadap perubahan suhu pada sistem pemanas.

## 1.4 Batasan Masalah

1. Konsentrasi  $PM_{10}$  diukur dengan mengalirkan udara ke sistem pemanas dengan laju aliran udara sebesar 5 m/s,
2. Perancangan sistem pemanas dilengkapi suatu alat untuk memonitor suhu yaitu dengan menggunakan sensor SHT11,
3. Udara dipanaskan pada sistem pemanas dengan variasi suhu 60 sampai 100°C.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukan penelitian ini adalah mengaplikasikan ilmu dan teori yang telah dipelajari pada suatu penelitian serta mengetahui cara merancang sebuah sistem yang dapat meminimalisir sifat higroskopis dari  $PM_{10}$ .

## 1.6 Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Air Quality and Astro Imaging Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Udara

Udara adalah campuran gas yang ada pada permukaan bumi dan mengelilingi bumi. Udara terdiri dari campuran berbagai macam gas, diantaranya nitrogen 78%, oksigen 20%, argon 0,93%, dan karbon dioksida 0,03%, lalu sisanya berupa gas-gas lain. Sedangkan uap lair yang terdapat dalam udara berasal dari penguapan air laut, sungai, dan lain-lain. Senyawa atau zat-zat yang terkandung di dalam udara ini akan berubah tergantung ketinggian udara dari permukaan tanah. Hal ini juga berlaku dengan massa udara yang akan berkurang seiring dengan semakin tingginya udara dari permukaan tanah. Semakin dekat dengan lapisan troposfer, maka akan semakin sedikit. Jadi, saat telah melewati batas gravitasi bumi, ruang tersebut akan menjadi hampa udara (Junani K. dkk, 1979). Berikut perkiraan komposisi udara dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Gas utama dalam udara

Gas	Simbol	Volume (%)
Nitrogen	N <sub>2</sub>	78,08
Oksigen	O <sub>2</sub>	20,95
Argon	Ar	0,93
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	0,035
Neon	Ne	0,0018
Methan	CH <sub>4</sub>	0,00017
Helium	He	0,0005
Hidrogen	H <sub>2</sub>	0,00005
Xenon	Xe	0,000004

Sumber: *Anonymous*, 2011

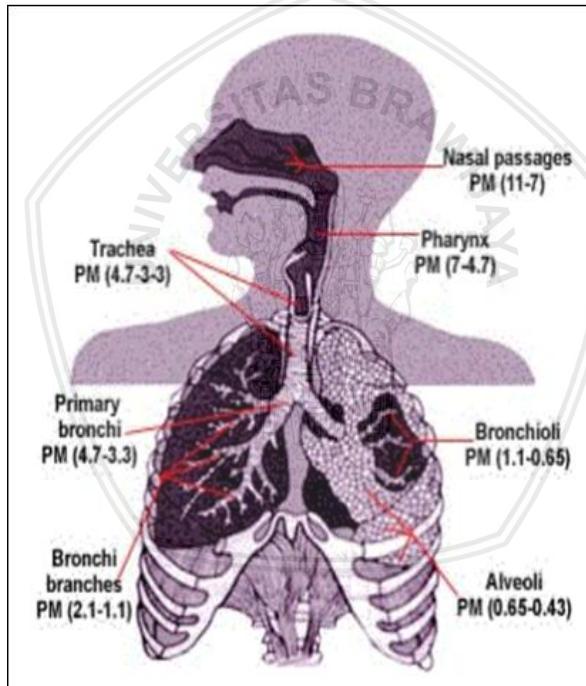
## 2.2 *Particulate Matter*

*Particulate matter* merupakan campuran kompleks zat organik dan inorganik. Di lingkungan, *particulate matter* terbagi menjadi dua, yaitu partikel kasar dan partikel halus. Partikel adalah campuran kompleks yang terdiri dari padatan kecil dan droplet cairan. Selain itu, *particulate matter* terdiri dari sejumlah komponen, termasuk asam (seperti nitrat dan sulfat), kimia organik, logam, tanah atau partikel debu (EPA, 2010)

Materi partikulat (*particulate matter*) didefinisikan sebagai material dalam bentuk solid maupun liquid di udara dengan ukuran diameter partikel sekitar 0,005  $\mu\text{m}$  hingga 100  $\mu\text{m}$  meskipun yang dalam bentuk suspensi secara umum kurang dari 40  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  = 1 mikron meter =  $10^{-4}$  cm). Partikulat yang berukuran 2 – 40 mikron tidak bertahan terus di udara dan akan segera mengendap. Partikulat yang tersuspensi secara permanen di udara juga mempunyai kecepatan pengendapan, tetapi partikulat-partikulat tersebut tetap di udara karena gerakan udara. Partikulat di udara tidak hanya dihasilkan dari emisi langsung berupa partikulat, tetapi juga dari emisi gas-gas tertentu yang mengalami kondensasi dan membentuk partikulat, sehingga ada partikulat primer dan sekunder. Partikulat primer adalah partikel yang langsung diemisikan berbentuk partikulat, sedangkan partikel sekunder adalah partikel yang terbentuk di atmosfer (Nurhayati, 2000).

Suspended partikulat adalah debu yang tetap berada di udara dan tidak mudah mengendap serta melayang di udara. Debu partikulat ini juga terutama dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan. Sekitar 50% - 60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter 10  $\mu\text{m}$  atau dikenal dengan  $\text{PM}_{10}$ . Debu  $\text{PM}_{10}$  ini bersifat sangat mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru, sehingga  $\text{PM}_{10}$  dikategorikan sebagai *Respirable Particulate Matter* (RPM). Akibatnya akan mengganggu system pernafasan bagian atas maupun bagian bawah (alveoli). Pada alveoli terjadi penumpukan partikel kecil sehingga dapat merusak jaringan atau system jaringan paru-paru, sedangkan debu yang lebih kecil dari 10  $\mu\text{m}$ , akan menyebabkan iritasi mata, mengganggu serta menghalangi pandangan mata. (Chahaya, 2003)

Partikel yang terhisap ke dalam sistem pernafasan akan disisihkan tergantung dari diameternya. Partikel berukuran besar akan tertahan pada saluran pernafasan atas, sedangkan partikel kecil (inhalable) akan masuk ke paru-paru dan bertahan di dalam tubuh dalam waktu yang lama. Partikel inhalable adalah partikel dengan diameter di bawah  $10\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ).  $\text{PM}_{10}$  diketahui dapat meningkatkan angka kematian yang disebabkan oleh penyakit jantung dan pernafasan, pada konsentrasi  $140\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  dapat menurunkan fungsi paru-paru pada anak-anak, sementara pada konsentrasi  $350\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  dapat memperparah kondisi penderita bronchitis. (Huboyo & Sutrisno, 2009). Berikut efek konsentrasi partikulat terhadap kesehatan manusia pada gambar 2.1 dan tabel 2.2.



**Gambar 2.1** efek partikulat terhadap kesehatan  
Sumber: Alfiah, 2009

**Tabel 2.2** range konsentrasi partikulat yang dapat menimbulkan dampak

<b>Kategori ISPU</b>	<b>TSP (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PM2,5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PM10 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Efek</b>
Baik	0-75	0-15	0-50	Tidak ada
Sedang (51-100)	76-260	16-65	51-150	Penurunan jarak pandang
Tidak sehat (101-200)	261-375	66-150	151-350	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran dimana-mana
Sangat tidak sehat (200-300)	376-625	151-250	351-420	Sensitivitas meningkat pada pasien asma dan bronchitis
Berbahaya (>300)	>625	>251	>421	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

Sumber: *Anonymous*, 2014

Partikel yang ada di atmosfer dibagi dalam 3 kelompok berdasarkan diameter partikel yakni:

a. Partikel halus

Partikel halus berdiameter antara 0,005 sampai 0,1  $\mu\text{m}$ . Partikel halus yang memasuki atmosfer terutama berasal dari proses kondensasi uap panas dari sumber-sumber pembakaran setelah beberapa waktu (umumnya beberapa jam). Ukuran partikel menjadi besar terutama melalui proses penggumpalan (aglomerasi). Aglomerasi terjadi dalam fase gas disebabkan oleh gerak Brown yang

membuat partikel saling bersentuhan, dan membentuk partikel lebih besar. Proses ini berlangsung dalam lapisan awan atau kabut.

- b. Partikel sedang  
Partikel sedang berukuran antara  $0,1 - 1 \mu\text{m}$ . Partikel dalam range diameter ini sebagian terbentuk dengan adanya penggumpalan partikel halus dan sebagian lagi oleh adanya konversi kimiawi gas-gas dan uap menjadi partikel di atmosfer. Partikel dalam diameter ini cukup besar untuk dihilangkan oleh titik-titik air di awan (rain out) ataupun air hujan (washout).
- c. Partikel besar  
Partikel besar berdiameter antara  $1 - 100 \mu\text{m}$ . Partikel besar terbentuk secara mekanik dari sumber industry. Partikel dalam kategori ini dapat dikumpulkan melalui pengendapan secara gravitasi dengan atau tanpa adanya hujan. (Alfiah, 2009)

### 2.2.1 Istilah partikulat

Beberapa istilah yang digunakan untuk menjelaskan partikulat, yakni :

1. *Dust* (debu)  
Debu berukuran antara  $1 - 10000 \mu\text{m}$ . Merupakan partikel padat, berukuran kecil, berasal dari pecahan massa yang lebih besar, terjadi melalui proses penghancuran, pengasahan, peledakan pada proses atau penanganan material seperti semen, batubara. Debu tidak terdispersi karena mampu mengendap sendiri oleh adanya gaya gravitasi.
2. *Smoke* (asap)  
Asap merupakan partikulat yang memiliki range diameter antara  $0,5 - 1 \mu\text{m}$ . Asap berupa partikel padat, halus, merupakan hasil pembakaran tidak sempurna materi organik seperti batu bara, kayu, tembakau, dll terutama yang tersusun dari karbon dan materi lain yang dapat terbakar.
3. *Fume* (uap)

Diameter partikel uap antara 0,03 hingga 0,3  $\mu\text{m}$ . Merupakan partikel padat dan halus sering berupa oksida logam, terbentuk melalui kondensasi uap materi padat dari proses sublimasi, destilasi, ataupun pelelehan logam. Uap ini mampu membentuk flok yang pada saat tertentu dapat mengendap.

4. *Mist* (kabut)  
*Mist* memiliki diameter kurang dari 10  $\mu\text{m}$ . Merupakan partikel cair berasal dari proses kondensasi uap air, umumnya tersuspensi dalam atmosfer atau berada dekat dengan permukaan tanah.
5. *Fog* (kabut)  
*Fog* adalah mist bila konsentrasi mist cukup tinggi sehingga menghalangi pandangan (visibiliti).
6. *Smog* (kabut)  
Adalah istilah untuk menjelaskan kondisi gabungan antara *smoke* dan *fog*.
7. Aerosol  
Aerosol digunakan untuk menjelaskan adanya partikel padat atau cair yang terdispersi dalam gas.
8. *Haze* (kabut)  
*Haze* memiliki diameter lebih besar dari 1  $\mu\text{m}$ . *Haze* merupakan aerosol yang menghalangi pandangan, tersusun oleh kombinasi polutan, uap air, dan debu.
9. *Fly ash* (abu terbang)  
*Fly ash* memiliki diameter antara 1 sampai 1000  $\mu\text{m}$ . Abu terbang merupakan partikel yang tidak terbakar pada proses pembakaran, terbentuk pada proses pembakaran batubara. *Fly ash* umumnya terdiri dari mineral dan logam anorganik.
10. *Spray* (uap)  
Uap memiliki range diameter antara 10 sampai 1000  $\mu\text{m}$ . Merupakan partikel cair yang terbentuk pada proses atomisasi cairan seperti pestisida atau herbisida.

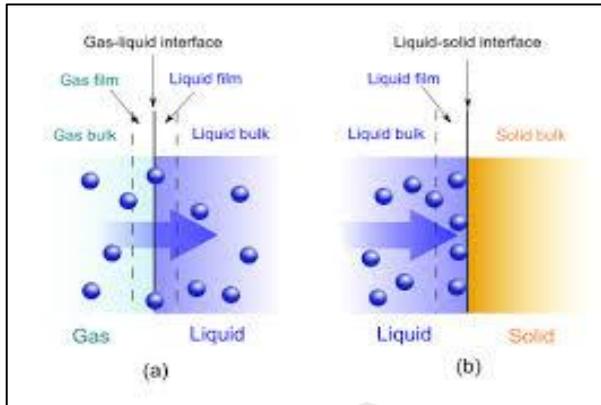
## 2.3 Higroskopis

Higroskopis adalah kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik melalui absorpsi dan adsorpsi. Suatu zat disebut higroskopis jika zat itu mempunyai kemampuan menyerap molekul air yang baik. Kalsium klorida merupakan zat yang sangat higroskopis, sehingga kalsium klorida akan larut dalam molekul-molekul air yang diserapnya. Karena bahan-bahan higroskopis memiliki afinitas yang kuat terhadap kelembapan udara, biasanya mereka disimpan di wadah tertutup.

## 2.4 Absorpsi dan Adsorpsi

### 2.4.1 Absorpsi

Absorpsi atau penyerapan, dalam kimia, adalah suatu fenomena fisik atau kimiawi atau suatu proses sewaktu atom, molekul, atau ion memasuki suatu fase limbak (bulk) lain yang bisa berupa gas, cairan, ataupun padatan (Richardson's, 1996). Proses absorpsi berbeda dengan adsorpsi, karena pengikatan molekul dilakukan melalui volume dan bukan permukaan. Salah satu contoh penyerapan lainnya adalah permukaan ion di mana terjadi proses pertukaran ion antara dua elektrolit atau antara larutan elektrolit dan senyawa kompleks. Berikut mekanisme absorpsi gas-cair dan absorpsi cair-padat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** proses absorpsi gas-cair dan cair-padat

Sumber: *Anonymous*, 2017

#### 2.4.1.1 Absorpsi Fisik

Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas  $H_2S$  dengan air, methanol, propilen, dan karbonat. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, atau pelarutan gas ke fase cair. Dari absorpsi fisik ini ada beberapa teori untuk menyatakan model mekanismenya, yaitu:

1. Teori model film
2. Teori penetrasi
3. Teori permukaan yang diperbaharui

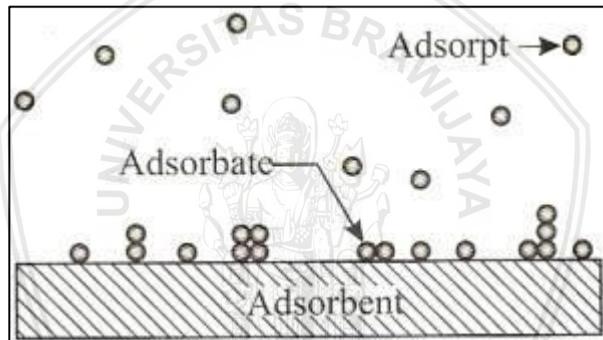
#### 2.4.1.2 Absorpsi Kimia

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut didalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi dengan adanya larutan MEA, NaOH,  $K_2CO_3$ , dan sebagainya. Penggunaan absorpsi kimia pada fase kering sering digunakan untuk mengeluarkan zat terlarut secara lebih sempurna dari campuran gasnya. Keuntungan absorpsi kimia adalah meningkatnya koefisien perpindahan massa gas, sebagian dari perubahan ini disebabkan makin besarnya luas efektif permukaan. Absorpsi kimia dapat juga berlangsung di daerah yang hamper stagnan disamping penangkapan dinamik.

## 2.4.2 Adsorpsi

Adsorpsi atau penyerapan adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat kepada suatu padatan atau cairan (zat penyerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat terserap, adsorbat) pada permukaannya (Suryawan, Bambang 2004).

Adsorpsi merupakan proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul atau suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas, uap atau cairan (Azmiyawati, 2006). Sedangkan Alberty dan Daniel (1987) mendefinisikan adsorpsi sebagai fenomena yang terjadi pada permukaan. Berikut Proses penyerapan adsorben pada adsorbat, pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** proses penyerapan Adsorben pada Adsorbat

Sumber: *Anonymous*, 2015

Gaya tarik-menarik dari suatu padatan dibedakan menjadi dua jenis yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya van der Waals, sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia. Dalam proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yakni gaya van der Waals, gaya elektrostatis, ikatan hidrogen serta

ikatan kovalen (Puraningsih, 2016). Berikut perbedaan adsorpsi Fisika dan Kimia pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia

<b>Adsorpsi Fisik</b>	<b>Adsorpsi Kimia</b>
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya van der waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai -40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai -800 kJ/mol
Dapat membentuk lapisan multilayer	Membentuk lapisan monolayer
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu dibawah titik didih adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu
Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik

Ikatan antara adsorben dengan adsorbat cukup kuat sehingga tidak terjadi spesiasi, karena zat yang teradsorpsi menyatu dengan membentuk lapisan tunggal dan relatif reversibel. Batas minimal suatu adsorpsi dikategorikan sebagai kemisorpsi adalah memiliki harga energi adsorpsi sebesar 20,92 kJ/mol (Adamson, 1997). Energi yang menyertai adsorpsi kimia relatif tinggi yaitu berkisar 42-420 kJ/mol. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga proses tersebut membentuk lapisan jamak (*multilayers*) pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara *degassing* atau pemanasan pada temperatur 150-200°C selama 2-3 jam.

### 2.4.2.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Daya adsorpsi dipengaruhi oleh lima factor (Bahl et al, 1997 dan Suryawan, Bambang 2004), yaitu:

1. Jenis adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

b. Kepolaran zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

2. Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

3. Tekanan (P), tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

4. Temperatur absolut (T), temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa *exothermic*.

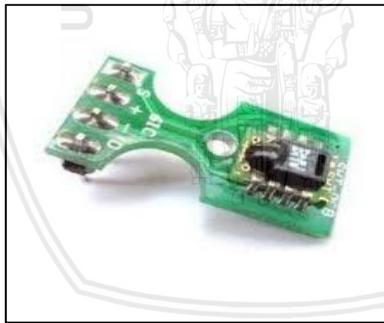
5. Interaksi potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

## 2.5 Kondensasi

Kondensasi atau pengembunan adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (uap) menjadi cairan. Kondensasi terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi (tekanan ditingkatkan) menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat. Kondensasi uap menjadi cairan adalah lawan dari penguapan (evaporasi) dan merupakan proses eksotermik (melepas panas). (Incropera, 2005).

## 2.6 Sensor SHT11

Modul SHT11 merupakan modul sensor suhu dan kelembaban relatif. Modul ini dapat digunakan sebagai alat pengindra suhu dan kelembaban dalam aplikasi pengendali suhu dan kelembaban ruangan maupun aplikasi pemantau suhu dan kelembaban relatif ruangan. Berikut bentuk dari sensor SHT11 ditunjukkan pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Sensor SHT11

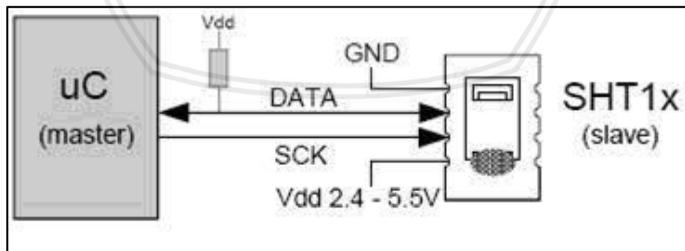
Spesifikasi dari SHT11 adalah sebagai berikut:

1. Berbasis sensor suhu dan kelembaban relatif sensirion SHT11
2. Mengukur suhu dari  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $123,8^{\circ}\text{C}$ , atau dari  $-40\text{F}$  hingga  $254,9\text{F}$  dan kelembaban relatif dari  $0\%\text{RH}$  hingga  $1\%\text{RH}$

3. Memiliki ketetapan (akurasi) pengukuran suhu hingga  $0,5^{\circ}\text{C}$  pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan ketetapan (akurasi) pengukuran kelembaban relatif hingga  $3,5\% \text{RH}$ .
4. Memiliki atarmuka serial synchronous 2-wire, bukan I2C.
5. Jalur atarmuka telah dilengkapi dengan rangkaian pencegah kondisi sensor lock-up.
6. Membutuhkan tegangan  $5\text{V DC}$  dengan konsumsi daya rendah  $30\mu\text{W}$
7. Modul ini memiliki faktor bentuk 8 pin DIP  $0,6$  sehingga memudahkan pemasangannya.

### 2.6.1 Prinsip Kerja SHT11

SHT11 adalah sebuah single chip sensor suhu dan kelembaban relatif dengan multi modul sensor yang outputnya telah dikalibrasi secara digital. Dibagian dalamnya terdapat kapasitas polimer sebagai elemen untuk sensor kelembaban relatif dan sebuah pita regangan yang digunakan sebagai sensor Temperatur. Output kedua sensor digabungkan dan dihubungkan pada ADC 14 bit dan sebuah interface serial pada satu chip yang sama. Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran yang baik dengan waktu respon yang cepat. SHT11 ini dikalibrasi pada ruangan dengan kelembaban yang teliti menggunakan hygrometer sebagai referensinya. Koefisien kalibrasinya telah diprogramkan kedalam OTP memory. Koefisien tersebut akan digunakan untuk mengkalibrasi keluaran dari sensor selama proses pengukuran. Skema pengambilan data SHT11 dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** skema pengambilan data SHT11  
 Sumber : *Anonymous*, 2011

## 2.7 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Disebut sebagai papan pengembangan karena board ini memang berfungsi sebagai arena prototyping sirkuit mikrokontroler.



Gambar 2.6 Arduino Uno R3

Arduino Uno memiliki 14 digital pin input/output (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP dan tombol reset.

### 2.7.1 Spesifikasi Arduino Uno R3

Berikut adalah spesifikasi dari Arduino Uno R3 akan dijelaskan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Arduino Uno R3

Chip mikrokontroler	ATmega 328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan)	7V – 12V
Tegangan input (limit)	6V – 20V

Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM
Analog input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 Ma
Arus DC pin 3.3 V	50 mA
Memori flash	32 KB, 0,5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68,6 mm x 53,4 mm
Berat	25 g

Pemrograman board Arduino dilakukan dengan menggunakan Arduino Software (IDE). Chip ATmega328 yang terdapat pada Arduino Uno R3 telah diisi program awal yang sering disebut bootloader. Bootloader tersebut yang bertugas untuk memudahkan untuk melakukan pemrograman lebih sederhana menggunakan Arduino Software, tanpa harus menggunakan tambahan hardware lain. Cukup menghubungkan Arduino dengan kabel USB ke PC atau Mac/Linux, menjalankan software Arduino (IDE), dan bisa memulai memprogram chip ATmega328.

Development board Arduino Uno R3 telah dilengkapi dengan polyfuse yang dapat direset untuk melindungi port USB komputer/laptop dari korsleting atau arus berlebih. Jika lebih dari 500mA ditarik pada port USB tersebut, sirkuit proteksi akan secara otomatis memutuskan hubungan, dan akan menyambung kembali ketika batasan aman telah kembali.

Board Arduino Uno dapat ditenagai dengan power yang diperoleh dari koneksi kabel USB, atau via power supply eksternal. Pilihan power yang digunakan akan dilakukan secara otomatis. Eksternal power supply dapat diperoleh dari adaptor AC-DC atau bahkan baterai, melalui jack DC yang tersedia, atau menghubungkan

repository.ub.ac.id

langsung GND dan pin Vin yang ada di board. Board dapat beroperasi dengan power dari eksternal power supply yang memiliki tegangan antara 6V hingga 20V. Jika diberi tegangan kurang dari 7V, pin 5V tidak akan memberikan nilai murni 5V, yang mungkin akan membuat rangkaian bekerja dengan tidak sempurna. Jika diberi tegangan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa over heat yang pada akhirnya bisa merusak pcb. Dengan demikian, tegangan yang direkomendasikan adalah 7V hingga 12V. Beberapa pin power pada Arduino Uno:

- a. GND. Ini adalah ground atau negatif.
- b. Vin. Ini adalah pin yang digunakan jika ingin memberikan power langsung ke board Arduino dengan rentang tegangan yang disarankan 7V-12V.
- c. Pin 5V. Ini adalah pin output dimana pada pin tersebut disediakan tegangan 3,3V yang telah melalui regulator.
- d. IOREF. Ini adalah pin yang menyediakan referensi tegangan mikrontroler. Biasanya digunakan pada board shield untuk memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5V atau 3,3V.

Chip ATmega328 pada Arduino Uno R3 memiliki memori 32 KB, dengan 0,5 KB dari memori tersebut telah digunakan untuk bootloader. Jumlah SRAM 2 KB, dan EEPROM 1 KB, yang dapat dibaca-tulis dengan menggunakan EEPROM library saat melakukan pemrograman.

Arduino Uno memiliki 14 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWriter()`, dan `digital(read)`. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus 20mA, dan memiliki tahanan pull-up sekitar 20-50 ohm (secara default dalam posisi disconnect). Beberapa pin memiliki fungsi khusus sebagai berikut:

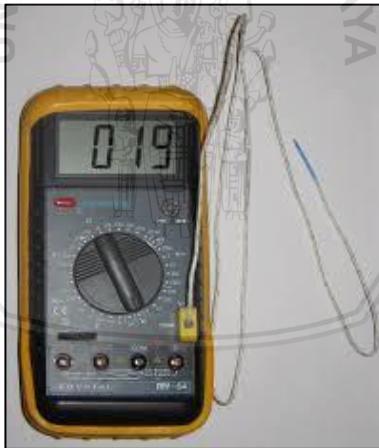
- a. Serial, terdiri dari 2 pin: pin 0 (RX) dan pin 1 (TX) yang digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial.
- b. External interrupts, yaitu pin 2 dan pin 3. Kedua pin tersebut dapat digunakan untuk mengaktifkan interrupts.
- c. PWM, pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`

- d. SPI, pin 13. Pada pin 13 terhubung built-in led yang dikendalikan oleh digital pin 13.
- e. TWI, pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan Wire Library.

Arduino Uno memiliki 6 buah input analog, yang diberi tanda dengan A0, A1, A2, A3, A4, A5. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits.

## 2.8 Termokopel

Termokopel (*thermocouple*) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermoelectric*”. Kelebihan termokopel adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $2000^{\circ}\text{C}$ . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. Berikut bentuk dari termokopel pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Termokopel tipe K

Untuk mengukur perubahan panas pada termokopel perlu menggabungkan dua macam konduktor sekaligus sering dipakai pada ujung benda panas yang diukur. Konduktor tambahan ini kemudian

akan mengalami gradiasi suhu, dan mengalami perubahan tegangan secara berlebihan dengan perbedaan temperatur benda. Menggunakan logam yang berbeda untuk melengkapi sirkuit akan menghasilkan tegangan yang berbeda, meninggalkan perbedaan kecil tegangan memungkinkan melakukan pengukuran, yang bertambah sesuai temperatur. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1-70 microvolt tiap derajat celsius untuk kisaran yang dihasilkan kombinasi logam modern.

### 2.8.1 Jenis-jenis Termokopel

Termokopel tersedia dalam berbagai ragam rentang suhu dan jenis bahan. Pada dasarnya, gabungan jenis-jenis logam konduktor yang berbeda akan menghasilkan rentang suhu operasional yang berbeda pula. Berikut jenis-jenis atau tipe termokopel yang umum digunakan berdasarkan Standar Internasional:

- a. **Termokopel tipe E,**  
Bahan logam konduktor positif: Nickel-Chromium  
Bahan logam konduktor negatif: Constantan  
Rentang suhu:  $-200^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$
- b. **Termokopel tipe J**  
Bahan logam konduktor positif: Iron (besi)  
Bahan logam konduktor negatif: Constantan  
Rentang suhu:  $0^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$
- c. **Termokopel tipe K**  
Bahan logam konduktor positif: Nickel-Chromium  
Bahan logam konduktor negatif: Nickel-Aluminium  
Rentang suhu:  $-200^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$
- d. **Termokopel tipe N**  
Bahan logam konduktor positif: Nicrosil  
Bahan logam konduktor negatif: Nisil  
Rentang suhu:  $0^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$
- e. **Termokopel tipe T**  
Bahan logam konduktor positif: Copper (Tembaga)  
Bahan logam konduktor negatif: Constantan  
Rentang suhu:  $-200^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$
- f. **Termokopel tipe U (kompensasi Tipe S dan Tipe R)**  
Bahan logam konduktor positif: Copper (Tembaga)  
Bahan logam konduktor negatif: Copper-Nickel

Rentang suhu: 0°C - 1450°C.

## 2.9 Handheld Air Tester CW-HAT200S

Handheld Air Tester CW-HAT200S ini adalah alat untuk mengukur partikel berukuran  $\leq 2,5 \mu\text{m}$  atau biasa disebut  $\text{PM}_{2,5}$  dan partikel  $\leq 10 \mu\text{m}$  atau  $\text{PM}_{10}$ . Berikut spesifikasi alat Handheld Air Tester CW-HAT200S pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Spesifikasi HandHeld Air Tester CW-HAT200S

Rentang pengukuran	$\text{PM}_{2,5}$ , $\text{PM}_{10}$
Sumber cahaya	Laser diode ( $\geq 100.000$ jam MTBF)
Laju aliran	500 ml
Waktu sampling	60s
Memori	Lebih dari 500 sets per data
Interface	USB
Kecepatan komunikasi	12 Mbps
Pengukuran	Konsentrasi (per liter)
Daya	Baterai Li-ion polymer yang dapat diisi ulang (7,4 V/1020mAH) atau adaptor AC (input AC: 100~240 V, output DC: 9V/1,5 A)
Max. operating time	Continue operation > 3 jam dengan Li-ion battery
Dimensi	93 (W) x 180 (H) x 48 (D) mm
Berat	< 600 g (battery included)



Gambar 2.8 HandHeld Air Tester CW-HAT200C

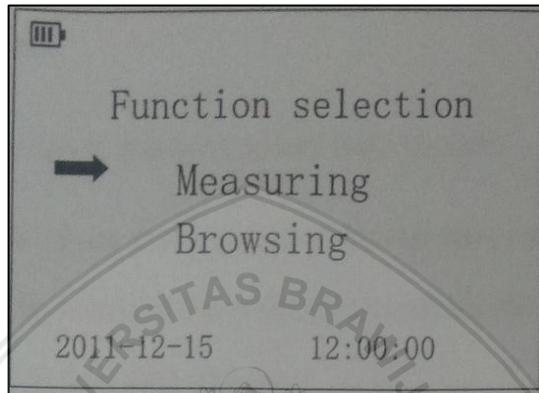


Gambar 2.9 Unit Handheld

## 2.9.1 Cara Pengoperasian

### 2.9.1.1 Memulai Halaman

Untuk menyalakan alat Handheld Air Tester CW-HAT200S pertama menekan tombol power selama 2 detik. Setelah alat menyala dan akan muncul menu pada halaman pembuka. Berikut tampilan menu saat layar mulai menyala pada gambar 2.10.

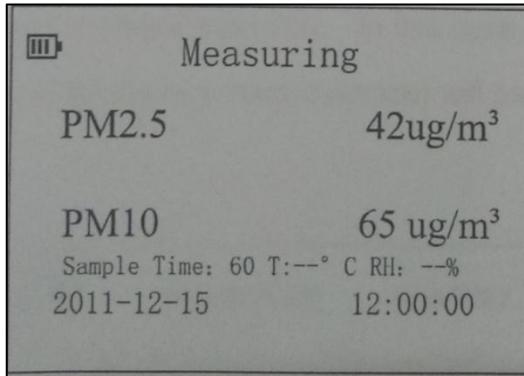


**Gambar 2.10** tampilan layar saat mulai dinyalakan

Jika ingin melakukan pengukuran maka arahkan kursor pada Measuring, namun jika ingin melihat hasil yang telah di ukur atau data yang tersimpan pada memory, maka kursor diarahkan pada Browsing.

### 2.9.1.2 Halaman Pengukuran

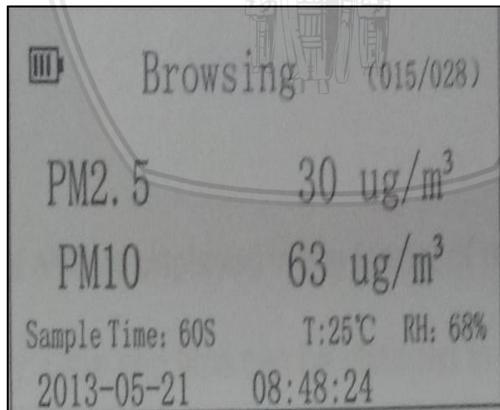
Halaman pengukuran adalah menu utama dari instrument untuk melakukan uji sampling. Halaman ini dapat dijalankan pada pengaturan default. Halaman ini akan menampilkan hasil pengukuran dan satuan sesuai dengan pengaturan yang ditentukan. Jika ingin mengubah pengaturan sebelum melakukan pengukuran maka dapat mengarahkan tanda panah ke atas atau ke bawah untuk masuk ke halaman pengaturan. Berikut tampilan halaman pengukuran pada gambar 2.11.



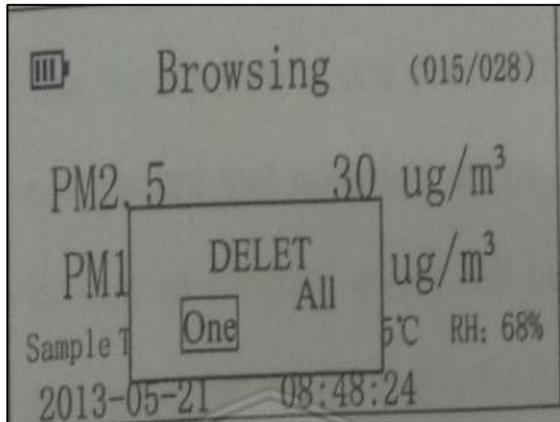
Gambar 2.11 tampilan halaman pengukuran

### 2.9.1.3 Halaman Browsing

Untuk memulai halaman browsing perlu mengarahkan panah pada layar pada menu Browsing lalu tekan Enter. Layar ini akan memungkinkan pengguna untuk mengakses atau menghapus histori data. Di halaman Browsing, tekan ENTER untuk masuk ke dalam catatan data yang terakhir disimpan. Kemudian menggunakan kursor panah untuk melihat data yang disimpan. Berikut tampilan dari menu Browsing untuk menampilkan data dan menghapus data pada gambar 2.12 dan gambar 2.13.



Gambar 2.12 menampilkan data yang telah tersimpan



**Gambar 2.13** menampilkan dan menghapus data

## 2.10 Kanomax A031 Anemomaster

Kanomax A031 adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara dan temperature secara bersamaan dengan menggunakan satu probe. Alat ini dapat menyimpan data pengukuran di dalam memori yang ada di dalamnya sehingga memudahkan untuk melakukan pengukuran selanjutnya. Output digitalnya berupa RS232C (baud rate: 4800, 9600, 19200, dan 38400 bps), sedangkan output analognya menggunakan DC 0-3V. Alat ini menggunakan power supply berupa baterai AA 6 x 1.5 V, selain itu juga dapat menggunakan AC adaptor 90 – 240V. Berikut bentuk dari Kanomax A031 pada gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Kanomax A031 Anemomaster

### **2.11 Temperature Controller TOS-B4RK4C**

Temperature Controller adalah sebuah piranti pengendali suhu yang dapat diatur set pointnya. Alat ini berbentuk persegi panjang yang terdapat cakra angka ditengah-tengahnya. Berikut bentuk dari alat Temperature Controller TOS-B4RK4C dan cakra angka pada gambar 2.15 dan gambar 2.16.



**Gambar 2.15** Temperature Controller TOS-B4RK4C



**Gambar 2.16** Cakra angka pada Temperature Controller





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat penelitian**

Penelitian ini dimulai pada bulan April 2017 dan berlokasi di Laboratorium Air Quality jurusan fisika fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

### **3.2 Alat dan Bahan**

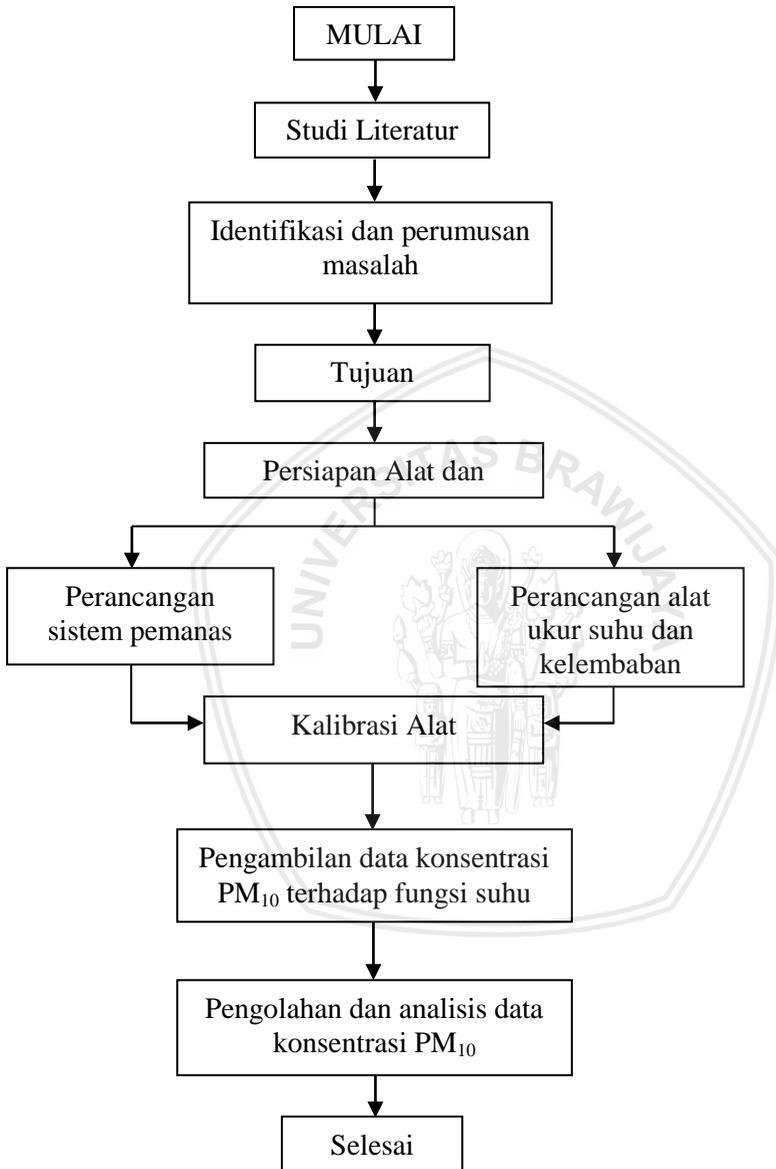
#### **3.2.1 Alat-alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Handheld Air Tester CW-HAT200S yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi PM10, untuk mengukur kecepatan udara dan suhu ruangan dibutuhkan Kanomax Anemomaster A031, sedangkan untuk pemanasnya menggunakan Temperature Controller TOS-B4RK4C yang didalamnya sudah terdapat cakra angka. Dalam penelitian ini membutuhkan 2 buah sensor SHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban (Rh) yang diprogram dengan 2 mikrokontroller arduino uno R3. Selain itu, juga menggunakan termokopel tipe K untuk mengukur suhu di dalam chamber inputan. Menggunakan juga pompa untuk mengatur udara bebas menuju ke pengering melalui saluran input. Untuk menampilkan suhu dan kelembaban (Rh) yang terukur dibutuhkan 2 buah LCD 2x16. Selain itu juga membutuhkan 2 buah chamber untuk tempat partikulat yang akan diukur. Sedangkan untuk mengalirkan partikulat ke dalam pemanas dan alat ukur, membutuhkan selang anti-panas.

#### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah udara ambient

### 3.3 Metode Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.3.1 Perancangan Sistem Pemanas

Sistem pemanas dibuat dengan bahan besi yang berukuran  $p \times l \times t : 0,35 \text{ m} \times 0,14 \text{ m} \times 1,135 \text{ m}$ . Bahan besi dipilih karena tahan terhadap temperatur ataupun Rh yang tinggi. Selanjutnya dipasang *valve* disamping kiri dan kanan dari sistem pemanas yang berfungsi sebagai inlet dan outlet udara.

Bahan yang digunakan sebagai pembungkus sistem pemanas adalah kotak akrilik yang sebelumnya telah dilapisi kertas anti-panas dan busa ditiap sisinya. Fungsi dari kertas anti-panas dan busa tersebut adalah sebagai isolator. Kemudian ditengah-tengah kotak dipasang heating plat yang berfungsi sebagai sumber pemanas. Panas yang dihasilkan sistem diatur oleh *temperature controller* dan dipasangkan termokopel untuk memantau perubahan suhunya. Selanjutnya sumber tegangan 220 V dihubungkan ke saklar, dan untuk menyalakan sistem pemanas perlu ditekan tombol on/off yang ada pada sistem pemanas.

### 3.3.2 Perancangan Alat Ukur Suhu dan Kelembaban

Yang pertama dibutuhkan adalah suatu sensor yang berfungsi sebagai alat ukur suhu dan kelembaban, yaitu sensor SHT11. SHT11 merupakan sebuah sensor yang dapat mengukur suhu dan kelembaban secara bersamaan. Sensor SHT11 memiliki resolusi dan sensitivitas yang baik. Sedangkan untuk sistem pengontrolnya dibutuhkan mikrokontroler arduino uno. Selanjutnya digunakan juga LCD 2x16 yang berfungsi sebagai interface yang dapat menampilkan data suhu dan kelembaban yang dihasilkan oleh sensor.

Adapun *coding* dari perancangan sensor SHT11 yang dikontrol menggunakan mikrokontroler arduino uno sebagai berikut.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SHT1x.h>
#define dataPin 2
#define clockPin 3
```

```
LiquidCrystal lang(4, 5, 6, 7, 8, 9);
SHT1x feli(dataPin, clockPin);
```

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Arduino SHT11");
  lang.begin(16, 2);
  lang.setCursor(0, 0);
  lang.print("Arduino SHT11");
  delay(1000);
}
```

```
void loop()
{
  float temp_c;
  float humidity;

  temp_c = feli.readTemperatureC();
  humidity = feli.readHumidity();

  Serial.print("Suhu: ");
  Serial.print(temp_c, DEC);
  Serial.println(" celsius");
  lang.clear();
  lang.setCursor(0, 0);
  lang.print("Suhu: ");
  lang.setCursor(6, 0);
  lang.print(temp_c, DEC);
  Serial.print("Kelembaban: ");
  Serial.print(humidity);
  Serial.println("%");
  lang.setCursor(0, 1);
  lang.print("Kelembaban: ");
  lang.setCursor(12, 1);
  lang.print(humidity);
  delay(500);
}
```

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Hasil Perancangan Sistem Pemanas

Dari hasil penelitian, telah dirancang suatu sistem pemanas partikulat terkendali. Sistem pemanas tersebut bekerja berdasarkan prinsip *temperature controller* serta dapat diukur suhu dan kelembabannya menggunakan sensor SHT11. Berikut merupakan perancangan dari sistem pemanas yang ditampilkan seperti gambar 4.1.



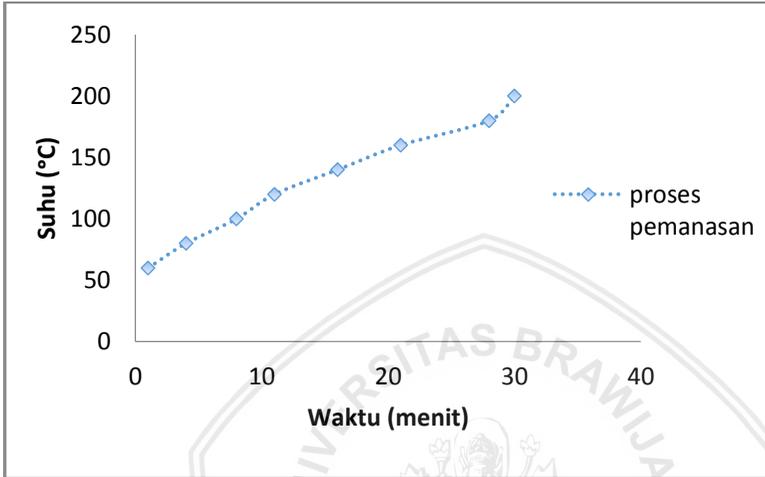
**Gambar 4.1** perancangan sistem pemanas

Berdasarkan gambar 4.1, diketahui bahwa gambar pertama adalah tampilan keseluruhan dari sistem pemanas partikulat terkendali, sedangkan gambar kedua adalah *Heating plan* yang posisinya berada ditengah-tengah kotak. Selain itu terdapat juga saklar yang menghubungkan sumber tegangan dengan sistem pemanas.

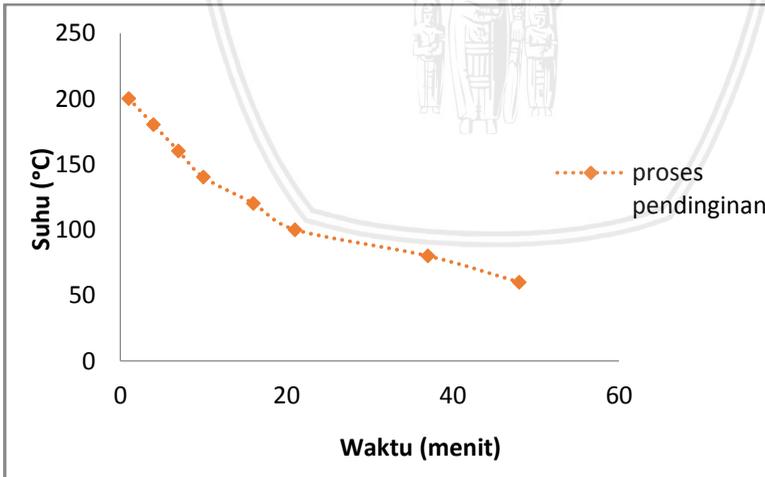
#### 4.1.2 Pengujian Sistem Pemanas

Pengujian sistem pemanas pertama-tama dilakukan dengan mengatur set point dari *temperature controller* ke angka 200°C. Untuk mengukur perubahan suhu pada sistem pemanas, maka dimasukkan sebuah sensor termokopel yang sudah terintegrasi dengan multimeter sebagai pembaca suhu. Ketika sistem pemanas

dinyalakan, suhu sistem pemanas dicatat saat suhu berada pada 60° hingga 200°C dengan interval 20°C. Sedangkan saat pendinginan sistem pemanas, suhu sistem pemanas dicatat dari angka 200° hingga 60°C. Berikut grafik hasil pengujian sistem pemanas terhadap waktu.



Gambar 4.2 proses pemanasan



Gambar 4.3 proses pendinginan

repository.ub.ac.id

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan dalam proses pemanasan sekitar 29 menit. Sedangkan untuk proses pendinginan, seperti yang dilihat pada gambar 4.3 membutuhkan waktu sekitar 48 menit. Untuk lebih jelas data dapat dilihat pada **lampiran 1**. Untuk proses pengambilan data lebih mudah dilakukan saat proses pendinginan. Hal tersebut dikarenakan perubahan suhu yang lambat sehingga memudahkan proses pencatatan data.

### **4.1.3 Pengukuran Laju Udara**

Dalam penelitian ini digunakan pompa hisap yang sudah dimodifikasi agar kecepatannya dapat diatur dengan mudah. Sebelum pompa digunakan ada baiknya dilakukan proses kalibrasi. Kalibrasi bertujuan untuk memeriksa seberapa stabil kecepatan pompa, sehingga memperkecil kemungkinan kecepatan pompa berubah selama proses pengukuran. Kecepatan pompa diusahakan stabil karena untuk setiap laju udara yang berbeda, maka konsentrasi partikulatnya pun juga berbeda. Laju udara yang digunakan saat proses penelitian adalah sebesar 5 m/s.

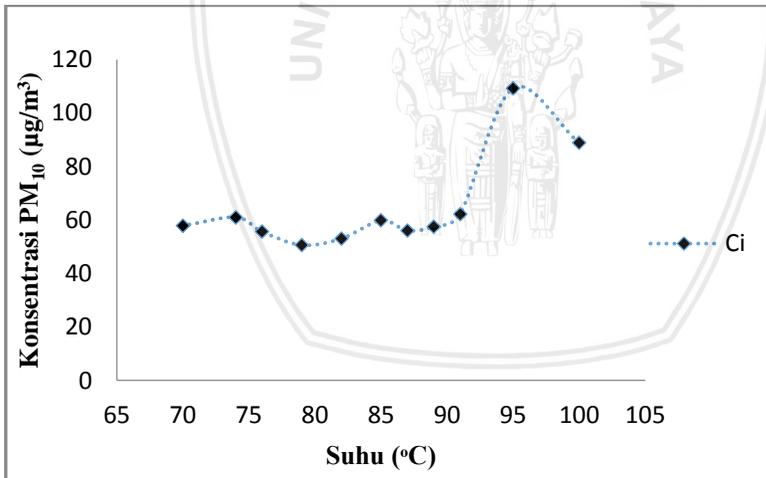
### **4.1.4 Karakteristik Sistem Pemanas**

#### **4.1.4.1 Pengukuran Konsentrasi PM<sub>10</sub>**

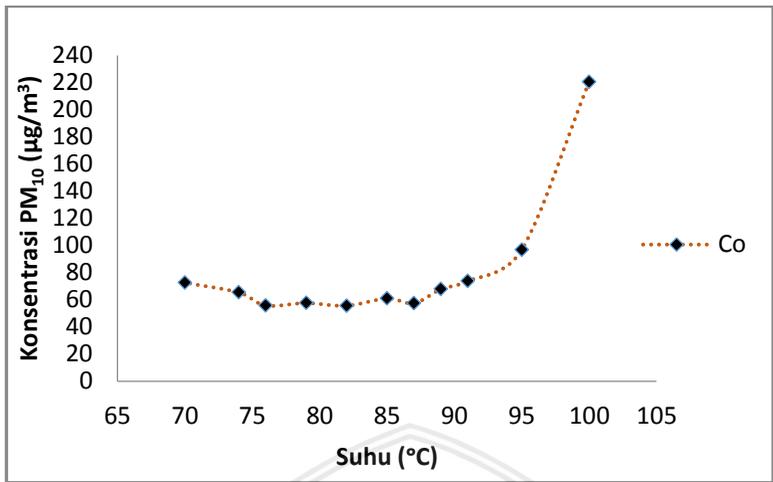
Untuk mengetahui sifat dari sistem pemanas, maka diperlukan pengukuran konsentrasi PM<sub>10</sub> sebelum dan sesudah melewati sistem pemanas terhadap fungsi suhu. Suhu yang digunakan adalah suhu yang diukur menggunakan sensor SHT11 yang memiliki beberapa varian. Untuk proses pengukuran konsentrasi ini didapatkan beberapa data yang mengalami perubahan suhu dan perubahan konsentrasi. Sehingga dilampirkan menjadi data hasil konsentrasi PM<sub>10</sub> pertama dan kedua. Untuk waktu pengukuran konsentrasi PM<sub>10</sub> nilainya mengikuti penurunan suhu, karena tiap perubahan suhu waktu yang dibutuhkan seringkali berubah-ubah. Hasil pengukuran PM<sub>10</sub> sebelum dan sesudah melewati sistem pemanas pada kedua pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

**Tabel 4.1** hasil pengukuran pertama PM<sub>10</sub>

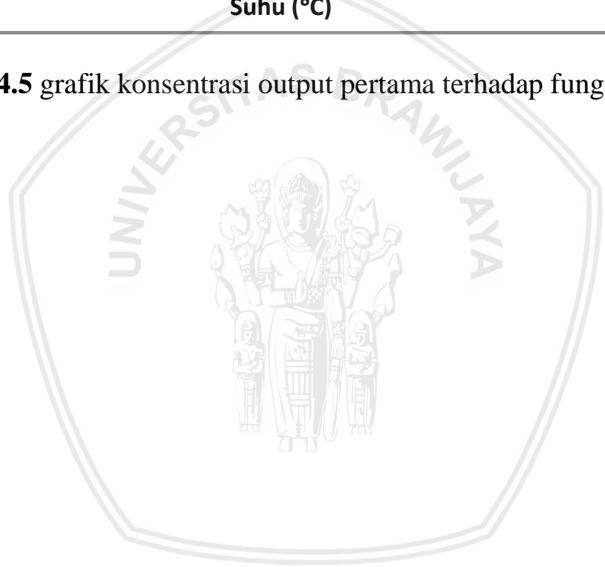
T (°C)	Ci (µg/m <sup>3</sup> )	Co (µg/m <sup>3</sup> )
100	88.8	220.4
95	109.2	96.8
91	62.2	73.8
89	57.4	67.8
87	56	57.4
85	59.8	61
82	53	55.6
79	50.6	57.6
76	55.6	55.8
74	61	65.4
70	57.8	72.6



**Gambar 4.4** grafik konsentrasi input pertama terhadap fungsi suhu

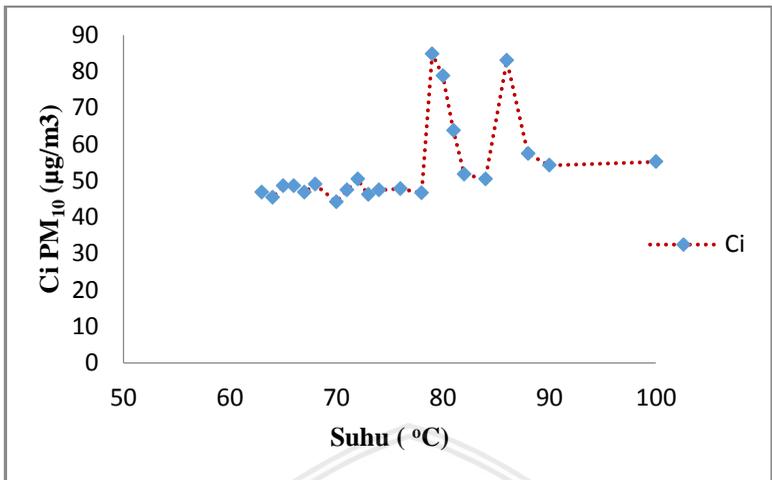


Gambar 4.5 grafik konsentrasi output pertama terhadap fungsi suhu

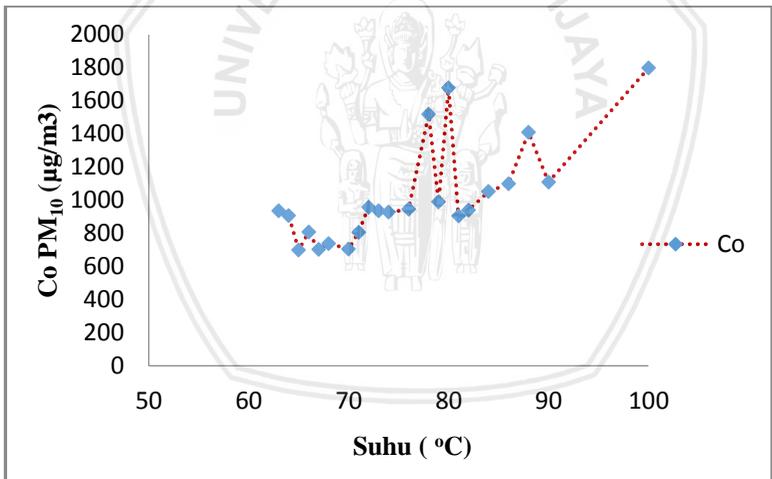


T (°C)	Ci ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Co ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
100	55.2	1797.2
90	54.2	1108.6
88	57.4	1408.6
86	83	1098.2
84	50.4	1051
82	51.8	939.6
81	63.8	903.8
80	78.8	1677.8
79	84.8	988.4
78	46.6	1517.2
76	47.8	945
74	47.4	926.2
73	46.2	934
72	50.4	957
71	47.4	805
70	44.2	703.8
68	49	737
67	46.8	702.6
66	48.6	806.6
65	48.6	698
64	45.4	906
63	46.8	934.8

**Tabel 4.2** hasil pengukuran kedua konsentrasi  $\text{PM}_{10}$



**Gambar 4.6** grafik konsentrasi input kedua terhadap fungsi suhu



**Gambar 4.7** grafik konsentrasi output kedua terhadap fungsi suhu

Seperti yang dilihat pada gambar 4.4, konsentrasi PM<sub>10</sub> pada input relatif stabil. Hanya saja terjadi peningkatan konsentrasi pada saat suhu terukur pada 95°C hingga 100°C. Hal ini disebabkan karena

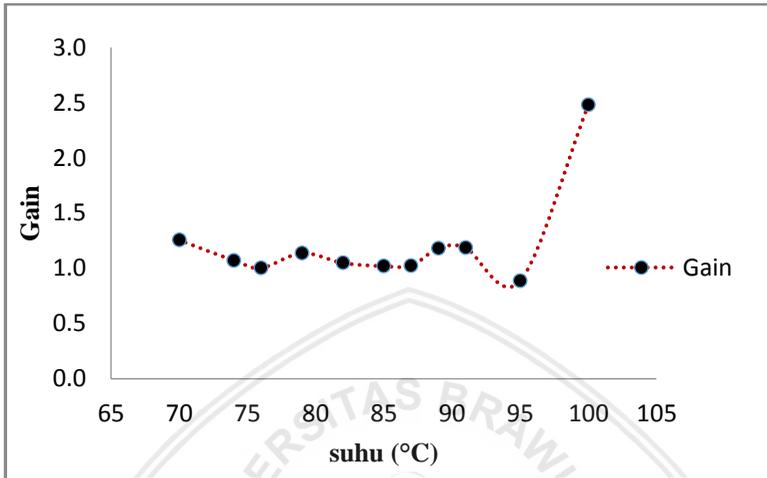
adanya polutan yang bercampur dengan udara ambien, sehingga udara yang diukur menjadi tercemar dan meningkatkan nilai konsentrasi  $PM_{10}$ . Untuk konsentrasi  $PM_{10}$  pada output, seperti dilihat pada gambar 4.5, juga mengalami peningkatan pada suhu  $95^{\circ}C$  hingga  $100^{\circ}C$ . Sedangkan pada suhu  $91^{\circ}C$  sampai  $70^{\circ}C$ , konsentrasi  $PM_{10}$  cenderung konstan. Dapat dilihat pada tabel 4.1, perbedaan nilai konsentrasi  $PM_{10}$  saat di input dan setelah melewati sistem pemanas sangatlah kecil. Namun terjadi perubahan nilai konsentrasi tidak beraturan saat suhu berada pada  $95^{\circ}C$  hingga  $100^{\circ}C$ . Hal ini dimungkinkan karena adanya pembebasan polutan di dalam sistem pemanas, dimana partikel/debu yang berasal dari udara disekitar menempel pada busa yang melapisi sistem pemanas.

Pada data hasil konsentrasi kedua, baik konsentrasi input dan output mengalami beberapa peningkatan konsentrasi  $PM_{10}$ . Pada konsentrasi input  $PM_{10}$  nilai konsentrasinya relatif konstan. Namun terjadi juga peningkatan konsentrasi pada suhu-suhu tertentu. Seperti misalnya pada suhu  $79^{\circ}C$ ,  $80^{\circ}C$ , dan  $86^{\circ}C$ . Hal ini dikarenakan adanya sebab yang sama seperti yang terjadi pada pengukuran konsentrasi  $PM_{10}$  pada percobaan pertama. Hal serupa terjadi pada konsentrasi  $PM_{10}$  pada output, yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Namun dapat dilihat adanya perbedaan nilai yang sangat besar yang terjadi pada konsentrasi input dan outputnya. Berbeda dengan data konsentrasi  $PM_{10}$  pada percobaan pertama. Dimana perbedaan nilai antara konsentrasi input dan outputnya tidaklah besar. Hal ini dikarenakan adanya faktor *error* yang disebabkan oleh alat pengukur konsentrasi  $PM_{10}$ , dimana pada penelitian ini menggunakan *Handheld Air Tester CW-HAT200C* untuk mengukur konsentrasi  $PM_{10}$ . Seringkali pada saat pengukuran konsentrasi output  $PM_{10}$  alat ini mengalami *overload* atau kelebihan beban. Sehingga menyebabkan terhambatnya proses pengukuran dan data yang dihasilkan pun tidak valid. Selain itu faktor yang lain adalah karena adanya pembebasan polutan seperti halnya yang terjadi pada konsentrasi  $PM_{10}$  pada percobaan pertama.

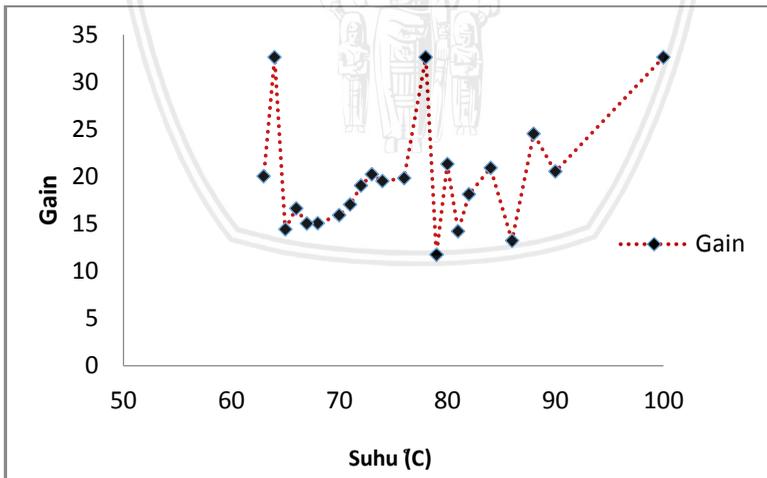
#### 4.1.4.2 Gain Sistem Pemanas

Hasil konsentrasi  $PM_{10}$  setelah melewati sistem pemanas mengalami adanya sebuah gain (penguatan). Gain merupakan perbandingan antara konsentrasi output ( $Co$ ) terhadap konsentrasi

input ( $C_i$ ). Gain itu sendiri berhubungan erat terhadap suhu dan laju aliran. Hubungan gain dengan suhu pada kedua konsentrasi dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9.



**Gambar 4.8** gain konsentrasi  $PM_{10}$  pada konsentrasi pertama

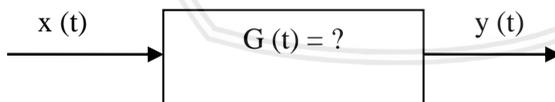


**Gambar 4.9** gain konsentrasi  $PM_{10}$  pada konsentrasi kedua

Dari kedua gambar diatas, dapat diketahui bahwa suhu mempengaruhi besarnya gain konsentrasi  $PM_{10}$ . Pada kedua konsentrasi, gain konsentrasi  $PM_{10}$  mengalami gain maksimum pada suhu  $100^{\circ}C$ , dengan penguatan masing-masing sebesar 2,48 dan 32,6 kali. Sedangkan penguatan minimum terjadi perbedaan pada kedua konsentrasi. Pada konsentrasi pertama, seperti pada gambar 4.8, nilai penguatan minimum  $PM_{10}$  terjadi pada suhu  $95^{\circ}C$  dengan nilai 0,89 kali. Sedangkan pada konsentrasi kedua, nilai penguatan minimum  $PM_{10}$  terjadi pada suhu  $79^{\circ}C$  dengan nilai gain sebesar 11,7 kali.

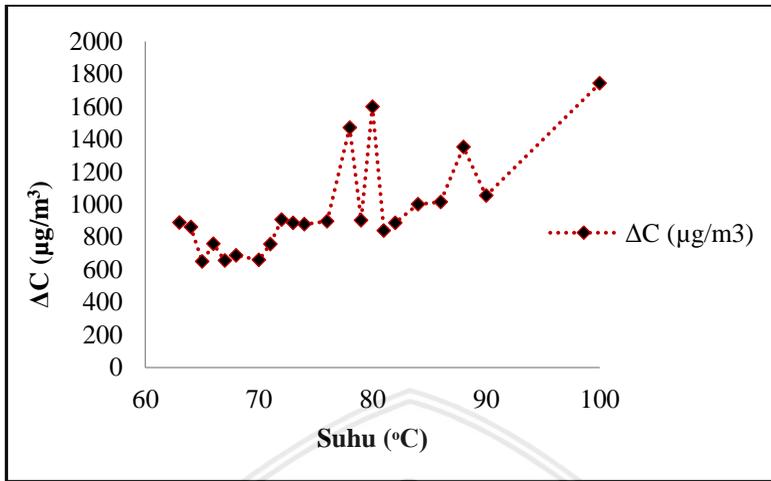
## 4.2 Pembahasan

Sistem pemanas ini dirancang dengan tujuan untuk mengurangi kandungan higroskopis dari udara *ambient*. Keluaran yang diinginkan dari alat ini adalah partikulat dengan tingkat kelembaban yang rendah dibandingkan saat masih berada di input. Pemanas ini menggunakan properti termal yang berbahan logam sebagai sumber panas yang berfungsi untuk meningkatkan suhu udara input hingga melebihi titik didih dari *droplet*. *Droplet* adalah partikel-partikel kecil yang diubah menjadi gas atau kabut halus oleh aerator yang memiliki suhu melebihi titik didihnya. Sumber panas dihasilkan dengan konsep induksi thermal dengan mengalirkan arus listrik ke dalam *heating plat*. Sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor SHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif (Rh). Pengukuran RH dimaksudkan untuk melihat penurunan kelembaban pada input.



**Gambar 4.10** proses terjadi gain

Dari penelitian ini dapat diketahui hubungan antara perubahan konsentrasi  $PM_{10}$  sebelum dan sesudah melewati pemanas terhadap fungsi suhu. Berikut hubungan antara perubahan konsentrasi  $PM_{10}$  ( $\Delta C$ ) terhadap fungsi suhu pada gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Perubahan konsentrasi PM<sub>10</sub> terhadap fungsi suhu

Terlihat pada gambar di atas, hubungan antara perubahan konsentrasi PM<sub>10</sub> terhadap fungsi suhu menunjukkan partikulat matter mengalami 3 kenaikan yaitu pada suhu 78°C, 80°C, dan 100°C dengan konsentrasi partikulatnya sebesar 1470,6 μg/m<sup>3</sup>, 1599 μg/m<sup>3</sup>, dan 1742 μg/m<sup>3</sup>. Hal ini terjadi disebabkan karena adanya proses kondensasi uap air yang terjadi pada partikulat sehingga menyebabkan terbentuknya kabut yang berdampak memperpanjang waktu pencemaran dikarenakan tersuspensi dalam atmosfer. Suhu sangat mempengaruhi perubahan konsentrasi. Semakin suhu meningkat, kelembaban relatif yang terkandung dalam partikel semakin rendah maka besarnya konsentrasi partikulat matternya juga semakin rendah. Dan sebaliknya saat suhu berada pada nilai rendah maka nilai kelembaban relatif pada partikel akan tinggi sehingga partikulat matter yang terukur pun akan semakin besar.

*Gain* atau penguatan adalah perbandingan antara konsentrasi output (C<sub>o</sub>) PM<sub>10</sub> terhadap konsentrasi input (C<sub>i</sub>) PM<sub>10</sub>. Jika konsentrasi outputnya semakin besar, maka gain sistemnya pada laju udara yang sama juga akan semakin besar. Suhu yang tinggi menyebabkan kelembaban udara menjadi rendah. Kelembaban udara rendah berarti jumlah uap air yang berada di udara sedikit, ketika

jumlah uap air di udara rendah, maka udara dapat terdispersi lebih cepat karena hambatannya telah berkurang akibatnya konsentrasi  $PM_{10}$  menjadi rendah. Seperti pada konsentrasi pertama dan kedua yang dapat dilihat pada gambar 4.4 sampai gambar 4.7, nilai konsentrasi  $PM_{10}$  pada saat berada di input mengalami peningkatan konsentrasi pada output setelah melewati pemanas.

Selain faktor-faktor diatas, terdapat beberapa hal lain yang mempengaruhi meningkatnya jumlah konsentrasi partikulat. Hal yang mempengaruhi meningkatnya jumlah konsentrasi partikel setelah melewati pemanas adalah *random error*, *spurious error*, dan *systematic error*. *Random error* disebabkan oleh faktor-faktor yang secara acak/random berpengaruh pada suatu variabel/besaran sepanjang proses sampling pengukuran. *Random error* menyebabkan pengukuran berulang yang dilakukan terhadap suatu besaran tidak pernah menghasilkan nilai yang sama. Suhu dan kelembaban udara di ruangan tempat dilakukannya pengujian sistem pemanas merupakan faktor dari *random error*. *Spurious error* merupakan *gross error*. Penyebab *spurious error* adalah karena kesalahan manusia atau karena kesalahan alat ukur (instrument yang tidak berfungsi dengan baik). *Spurious error* tidak bisa diikutkan dalam analisa statistik. Cara menentukan *spurious error* dalam sekelompok hasil pengukuran adalah dengan *outlier test*. Dalam penelitian ini yang menjadi faktor *spurious error* adalah alat yang digunakan dalam pengukuran partikulat ( $PM_{10}$ ), yang disini menggunakan alat Handheld Air Tester CW-HAT200S dimana alat ini pada saat dilakukan pengukuran seringkali mengalami overload sehingga menghambat proses pengukuran. Sedangkan *systematic error* disebabkan oleh berbagai faktor yang secara sistematis mempengaruhi hasil pengukuran. *Systematic error* bernilai tetap atau jika berubah ia bisa diprediksi. Jadi *systematic error* akan memberikan bias pada hasil pengukuran. Bias tersebut bisa bernilai positif atau negatif. Dalam parakteknya, *systematic error* ini sangat sulit untuk diidentifikasi/ditentukan.

Untuk mengurangi ketidakpastian dalam pengukuran akibat suhu dan kelembaban udara di ruangan, maka dilakukan observasi kondisi udara *ambient*. Cara ini dilakukan agar pengukuran menjadi ideal, dimana udara *ambient* dimasukkan ke dalam *chamber* agar udara *ambient* tidak bercampur dengan udara di luar.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

- a. Sistem pemanas partikulat terkendali berbasis *temperature controller* dan alat ukur suhu dan kelembaban udara berbasis sensor SHT11 telah berhasil dirancang.
- b. Sistem pemanas yang telah dirancang bekerja untuk partikulat yang ada di udara saat suhu lebih dari 90° C, sedangkan pada suhu dibawah 90° C tidak merubah nilai konsentrasi partikel PM<sub>10</sub>.

### 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Perlu ditambahkan *temperature controller* dalam bentuk digital, sehingga dapat lebih mudah saat pemantauan suhu sistem.
- b. Perlu adanya pembaharuan alat ukur *particulate matter 10* (PM<sub>10</sub>) dengan alat ukur yang lebih bagus dan presisi. Sehingga memudahkan dalam proses pengukuran serta menghindari adanya *spurious error*.
- c. Untuk penelitian selanjutnya perlu adanya variasi bahan pada properti sumber pemanas yang tahan terhadap kelembaban yang tinggi agar tidak mudah terjadi korosi misalnya propertis berbahan *stainless steel*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A. W. dan A. P. Gast. 1997. *Physical Chemistry of Surface 6th edition*. John Willy and Sons. Inc. New York.
- Alberty, R.A., dan Daniel, F., 1987, *Physical Chemistry*, 5th ed, John Willey and Sons Inc., New York.
- Alfiah, T. (2009). Pencemaran Udara, Yogyakarta, 16–25.
- Alfiah, Taty. (2009). <http://all-thewin.blogspot.com/2011/11/sensor-sht-11-sensor-suhu-dan.html?m=1>
- Azmiyawati, C. (2006). KAJIAN KINETIKA ADSORPSI Mg(II) PADA SILIKA GEL TERMODIFIKASI GUGUS SULFONAT, (Ii), 35–39.
- Bahl, B. S, G. D Tuli, and A. Bahl. (1997). *Essential of Pysical Chemistry*. S. Chand and Company, Ltd, New Delhi.
- Budiyono, Afif. (2001). Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Berita Dirgantara* Vol. 2, No.1 Maret 2001.
- Chahaya, I. (2003). PENGANDALIAN PENCEMARAN UDARA MELALUI PENANGANAN EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR. *Digitized by USU Digital Library*, 1–8.
- Departemen Kesehatan RI. (2009). *Sistem Kesehatan Nasional Jakarta*.
- Environmental Protection Agency. (2017). <https://www.epa.gov/pm-pollution>
- Huboyo, H. S., & Sutrisno, E. (2009). ANALISIS KONSENTRASI PARTICULATE MATTER 10 (PM10) PADA UDARA DILUAR RUANG (STUDI KASUS : STASIUN TAWANG - SEMARANG), 30, 44–49.
- Incropera, Frank P. (2005). *Heat and Mass Transfer with Fluid Mechanics Set*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2005.
- Mary. (2001). DieselNet Technology Guide Diesel Particulate Filters. *DieselNet*, 1–15. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-385469-8.00032-0>
- Mukono, H. (2003). *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernafasan*, Airlangga University Press, Surabaya
- Nurhayati, U. (2000). *Pemrograman Dispersi Pencemaran Partikulat*

(PM<sub>10</sub>) Dari Sumber Titik Tunggal Kontinu Berdasarkan Persamaan Gauss. Skripsi. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan, ITS.

Puraningsih, D. (2016). ADSORPSI MULTI LOGAM Ag ( I ), Pb ( II ), Cr ( III ), Cu ( II ) DAN Ni ( II ) PADA HIBRIDA ETILENDIAMINO-SILIKA DARI ABU SEKAM PADI, *14*, 59–76.

Richardson's, C. and. (1996). Chemical engineering plant design. *Chemical Engineering Science*, *13*(2), 93. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(60\)80030-9](https://doi.org/10.1016/0009-2509(60)80030-9)

Soemarwoto, O. (2004). Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan. Ed. ke 10. Jakarta Djambatan.

Suryawan, Bambang. (2004). Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air, Disertasi, Universitas Indonesia, Jakarta.

Weinmayr, G. et al. (2010). Short-term effects of PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> on respiratory health among children with astma or asthma-like symptoms: a systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives*. *118*, 449-457, doi:10.1289/ehp.0900844 (2010.)

Wikipedia. 2017. [https://id.m.wikipedia.org/wiki/absorpsi\\_\(kimia\)](https://id.m.wikipedia.org/wiki/absorpsi_(kimia)).

**Lampiran 1**

waktu (menit)	suhu pemanasan (°C)	waktu (menit)	Suhu pendinginan (°C)
30	200	48	60
28	180	37	80
21	160	21	100
16	140	16	120
11	120	10	140
8	100	7	160
4	80	4	180
1	60	1	200





**Lampiran 2**

T (°C)	Ci ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Co ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Gain (kali)
100	55.2	1797.2	32.6
90	54.2	1108.6	20.5
88	57.4	1408.6	24.5
86	83	1098.2	13.2
84	50.4	1051	20.9
82	51.8	939.6	18.1
81	63.8	903.8	14.2
80	78.8	1677.8	21.3
79	84.8	988.4	11.7
78	46.6	1517.2	32.6
76	47.8	945	19.8
74	47.4	926.2	19.5
73	46.2	934	20.2
72	50.4	957	19
71	47.4	805	17
70	44.2	703.8	15.9
68	49	737	15.04
67	46.8	702.6	15.01
66	48.6	806.6	16.6
65	48.6	698	14.4
64	45.4	906	32.6
63	46.8	934.8	20



**Lampiran 3**

T (°C)	$\Delta C$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
100	1742
90	1054,4
88	1351,2
86	1015,2
84	1000,6
82	887,8
81	840
80	1599
79	903,6
78	1470,6
76	897,2
74	878,8
73	887,8
72	906,6
71	757,6
70	659,6
68	688
67	655,8
66	758
65	649,4
64	860,6
63	888