

Matematika

**PENELITIAN LANJUT
BIDANG ILMU**



**MODEL NUMERIK PERGERAKAN UDARA DALAM RUANGAN DENGAN
MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

Studi kasus: Gedung Percetakan Universitas Terbuka

Oleh:

Drs. Yurizal Rahman, M.K.K.K.
yurizal@ut.ac.id
Dr.Ir. Suroyo, M.Sc.
Ir.Basuki Hardjojo, M.K.K.K

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TERBUKA**

2012

Formatted: Font: Not Bold, English (United States), Check spelling and grammar

Formatted: Left, Line spacing: Multiple 1.15 li

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN LANJUT BIDANG ILMU
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS TERBUKA**

1. a. Judul Penelitian : Model Numerik Pergerakan Udaradalam Ruangan dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics
Studi kasus: Gedung Percetakan Univeristas Terbuka
- b. Bidang Penelitian : Keilmuan
- c. Klasifikasi Penelitian : Lanjut

2. Ketua Peneliti
a. Nama : Drs. Yurizal Rahman, M.K.K.K.
b. NIP : 19540611 198703 1 001
c. Golongan Kepangkatan : III/d
d. Jabatan Akademik Fakultas dan Unit Kerja : Lektor/FMIPA-UT
e. Program Studi : Matematika
3. Anggota Peneliti
a. Jumlah Anggota : 2 (dua) orang
b. Nama Anggota dan Unit Kerja : 1. Dr. Ir. Suruyo, M.Sc. dan FMIPA-UT
2. Ir. Basuki Hardjojo, M.K.K.K. dan FMIPA-UT

- c. Program Studi : Matematika
4. a. Periode Penelitian : 2012
b. Lama Penelitian : 11 (sebelas) bulan
5. Biaya Penelitian : Rp. 30.000.000,- (Tiga puluh juta rupiah)
6. Sumber Biaya : Lembaga Penelitian-UT
7. Pemanfaatan Hasil Penelitian : a. Seminar (nasional/regional)
b. Jurnal (UT, nasional, internasional)



Dr. Nurizni Soleiman, M.Ed.
NIP. 19540730 198601 2 001



Dra. Endang Nugraheni, M.Si.
NIP. 19570422 198605 2 001

Ketua Peneliti,

Drs. Yurizal Rahman, M.K.K.K.
NIP. 19540611 198703 1 001

Mengetahui,
Kepala Pusa: Keilmuan

Dra. Endang Nugraheni, M.Si.
NIP. 19570422 198605 2 001

RINGKASAN

Kualitas udara di dalam ruangan mempengaruhi kenyamanan lingkungan ruang kerja. Kualitas udara yang buruk akan membawa dampak negatif terhadap pekerja/karyawan berupa keluhan gangguan kesehatan seperti *Sick Building Syndrome* (SBS). Istilah *Sick Building Syndrome* (SBS) pertama kali dikenalkan oleh para ahli di negara Skandinavia di awal tahun 1980-an. Istilah SBS dikenal juga dengan TBS (*Tight Building Syndrome*) atau *Nonspecific building-related symptoms* (BRS), karena sindrom ini umumnya dijumpai dalam ruangan gedung-gedung pencakar langit.

Sick Building Syndrome (SBS) yaitu kumpulan gejala yang disebabkan terutama oleh buruknya kualitas udara ruangan; ditandai dengan keluhan-keluhan mata pedih, merah, berair, kepala pusing, batuk, pilek, hidung tersumbat, bersin-bersin, rongga mulut sakit, rongga mulut kering, badan panas dingin, mual, tidak nafsu makan, lesu, kelelahan, pegal-pegal anggota tubuh dan kulit gatal. SBS berkaitan dengan lingkungan khususnya kualitas udara di dalam gedung.

Banyaknya zat kimia yang digunakan dalam proses pencetakan bahan ujian dan bahan pendukung ujian serta ventilasi yang dirasa kurang cukup dalam ruangan percetakan UT diduga para pekerja telah terpajan dari kontaminan kimia dan fisika (kelembaban) yang berada dalam ruang percetakan. Apabila kontaminan kimia dan fisika tersebut masih berada dalam batas-batas tertentu masih dapat dinetralkan, tetapi jika sudah melampaui nilai ambang batas maka akan mengganggu kesehatan dan kenyamanan yang berakibat penurunan pada produktivitas.

WHO dalam buku *Indoor Air Quality Handbook* 2000, mencatat bahwa masalah kualitas udara dalam ruangan umumnya disebabkan oleh beberapa hal diantaranya, yaitu: ventilasi udara yang kurang memadai (52 %), adanya sumber kontaminan didalam ruangan (16 %), kontaminan dari luar ruangan (10 %), mikroba (5 %), bahan material bangunan (4 %) dan lain-lain (13 %).

Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan data kondisi lingkungan kerja fisik dan kimia melalui identifikasi dan menganalisis kualitas udara dalam ruangan berupa konsentrasi kontaminan kimia dan menentukan model pergerakan udara serta melakukan simulasi pergerakan udara dalam ruangan percetakan bahan ujian UT.

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah “Case Study Design” yang bersifat deskriptif yaitu permasalahan yang tidak membandingkan dan tidak menghubungkan dengan variabel lain karena hanya ingin melihat gambaran satu variabel saja dalam satu sampel seperti parameter fisika yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan yaitu temperatur, kelembaban udara, pergerakan udara dan pencahayaan serta kandungan kontaminan kimia seperti O₂, NH₃, NO₂, SO₂, H₂S, CO, VOC(volatile organic compounds), CO₂, O₃ dan HCN.

Hails pengukuran yang dilakukan dalam ruangan percetakan UT diperoleh bahwa diperoleh beberapa titik pengukuran kelembaban udara masih berada diatas nilai ambang batas (NAB), sedangkan untuk VOCs atau senyawa kimia yang mudah menguap (seperti pembersih *furniture*, lantai dan pewangi) untuk semua titik pengukuran diperoleh nilainya berada diatas NAB yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes /SK /XI/ 2002. Data pergerakan udara dari hasil pengukuran disemua titik dalam ruang percetakan UT juga tidak diperoleh atau alat *anemometer* tidak bisa mencatat pergerakan udara, hal ini disebabkan karena pergerakan udara dalam ruangan percetakan UT relatif diam atau lambat sekali. Oleh karena itu analisis distribusi dan simulasi pergerakan udara yang mengandung kontaminan dalam ruangan percetakan UT tidak bisa dilakukan.

Dengan adanya nilai kontaminan yang melebihi NAB maka pekerja dalam ruangan percetakan UT akan berpotensi mengalami gangguan kesehatan.

ABSTRAK

MODEL NUMERIK PERGERAKAN UDARA DALAM RUANGAN DENGAN MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Studi Kasus: Gedung Percetakan Universitas Terbuka

Distribusi aliran udara yang mengandung kontaminan dalam ruangan dipengaruhi oleh panasnya ruangan, ventilasi dan alat penyejuk dalam ruangan (AC). Banyaknya jumlah kontaminan dalam ruangan akan menyebabkan kualitas udara menjadi buruk dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi pekerja, seperti sick building syndrome (SBS). SBS adalah sekumpulan gejala yang sangat luas spektrumnya, tanpa penyebab spesifik yang dapat diidentifikasi, gejala ini timbul di perkantoran dan dikeluhkan oleh sebagian besar pekerjanya. Riset ini bertujuan untuk mengumpulkan data kondisi lingkungan kerja fisik dan kimia melalui identifikasi dan pengukuran, menganalisis pergerakan udara yang mengandung kontaminan dan menentukan model numerik pergerakan udara serta mensimulasikan pergerakan udara yang mengandung kontaminan dalam ruang percetakan Universitas Terbuka (UT) dengan menggunakan computational fluid dynamics. Analisis ini meliputi identifikasi sumber kontaminan di dalam ruangan baik yang berasal dari internal gedung maupun eksternal. Hasil pengukuran terhadap parameter-parameter terkait kualitas udara di dalam ruangan, yaitu O_2 , NH_3 , NO_2 , SO_2 , H_2S , CO , CO_2 , O_3 , HCN , debu dan suhu, menunjukkan angka dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes /SK /XI/ 2002. Kelembaban relatif di beberapa titik pengukuran telah melebihi batas maksimal kenyamanan dan kesehatan yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes /SK /XI/ 2002. VOC(volatile organic compounds) disemua titik pengukuran angkanya menunjukkan diatas nilai ambang batas. Hal ini mungkin disebabkan karena aliran udara dalam ruangan tidak tercatat angkanya oleh alat ukur. Oleh karena angka pergerakan udara tidak ada maka analisis dan simulasi pergerakan udara tidak dapat dilakukan.

Kata kunci: kontaminan, kualitas udara, computational fluid dynamics

ABSTRACT

Distribution of air flow in the room containing contaminants is affected by the heat of the room, ventilation and indoor air tool (AC). A large number of indoor contaminants will lead to poor air quality and can cause health problems for workers, such as sick building syndrome (SBS). SBS is a group of symptoms that are very broad spectrum, no specific cause can be identified, these symptoms are present in the office and complained about by most workers. This research aims to collect data on the physical conditions and chemical work environment through the identification and measurement, analyze the movement of air containing contaminants and determine the numerical models to simulate the movement of air movement and air containing contaminants in the printing room Universitas Terbuka (UT) using computational fluid dynamics. This analysis includes the identification of contaminant sources in the room both from internal and external building. The results of measurements of the parameters related to indoor air quality, namely O_2 , NH_3 , NO_2 , SO_2 , H_2S , CO , CO_2 , O_3 , HCN ,

dust and temperature, showed readings below the threshold value required by the Ministry of Health Decree No., 1405 / Menkes / SK / XI / 2002. Relative humidity in some point of measurement has exceeded the max comfort and health as required by the Ministry of Health Decree No.1405/ Menkes / SK / XI / 2002. VOC (volatile organic compounds) in all measurement points above the figure shows the threshold value. This might be due to the flow of air in the room is not the figure recorded by the gauge. Therefore, the number of air movement does not exist then the analysis and simulation of air movement can not be done.

Keywords: contaminants, air quality, computational fluid dynamics

DAFTAR ISI

<u>Lembar Pengesahan</u>	<u>i</u>
<u>Ringkasan</u>	<u>ii</u>
<u>Abstrak</u>	<u>iv</u>
<u>Daftar isi.....</u>	<u>v</u>
<u>Daftar Tabel</u>	<u>vi</u>
<u>Daftar Gambar.....</u>	<u>vii</u>
<u>Daftar Grafik</u>	<u>viii</u>
<u>Daftar Lampiran</u>	<u>ix</u>
<u>BAB I. PENDAHULUAN.....</u>	<u>1</u>
<u>1.1 Latar Belakang.....</u>	<u>1</u>
<u>1.2 Rumusan Masalah.....</u>	<u>1</u>
<u>1.3 Tujuan Penelitian.....</u>	<u>2</u>
<u>1.4 Manfaat Penelitian.....</u>	<u>2</u>
<u>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</u>	<u>4</u>
<u>2.1 Definisi Udara.....</u>	<u>4</u>
<u>2.2 Efek Pencemaran Udara Dalam Ruangan.....</u>	<u>6</u>
<u>2.3 Sick Building Syndrome (SBS)</u>	<u>7</u>
<u>2.4 Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja dan Industri.....</u>	<u>9</u>
<u>2.4.1. Suhu, Kelembaban Relatif dan Pencahayaan.....</u>	<u>9</u>
<u>2.4.2. Kandungan Debu.....</u>	<u>9</u>
<u>2.4.3. Pertukaran Udara.....</u>	<u>9</u>
<u>2.4.4. Gas Pencemar.....</u>	<u>10</u>
<u>2.4.5. Mikrobiologi.....</u>	<u>10</u>
<u>2.5 Ventilasi.....</u>	<u>10</u>
<u>2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD).....</u>	<u>12</u>
<u>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....</u>	<u>15</u>
<u>3.1. Jenis Penelitian.....</u>	<u>15</u>
<u>3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian.....</u>	<u>15</u>
<u>3.3. Pengumpulan Data.....</u>	<u>15</u>
<u>3.4. Simulasi Menggunakan CFD.....</u>	<u>16</u>
<u>3.5. Kerangka Teori.....</u>	<u>17</u>

3.6. Kerangka Konsep.....	19
3.7. Definisi Operasional	21
3.8 Analisis Data	24
BAB IV HASIL	25
4.1 Ruang Percetakan.....	25
4.1.1 Deskripsi Bangunan.....	25
4.1.2 Hasil Pengukuran Kontaminan Kimia dan Parameter Fisik	27
4.1.2.1 Konsentrasi Oksigen.....	28
4.1.2.2 Konsentrasi Amonia(NH ₃).....	28
4.1.2.3 Konsentrasi NO ₂	29
4.1.2.4 Konsentrasi SO ₂	30
4.1.2.5 Konsentrasi H ₂ S.....	31
4.1.2.6 Konsentrasi CO.....	31
4.1.2.7 Konsentrasi VOCs	32
4.1.2.8 Konsentrasi CO ₂	33
4.1.2.9 Konsentrasi O ₃	34
4.1.2.10 Konsentrasi HCN.....	35
4.1.2.11 Debu.....	35
4.1.2.12 Suhu	36
4.1.2.13 Kelembaban Relatif	37
4.1.2.14 Pergerakan Udara	42
PEMBAHASAN	45
5.1 Keterbatasan Penelitian	45
5.2 Analisis.....	48
5.2.1 Konsentrasi Oksigen.....	48
5.2.2 Konsentrasi Amonia(NH ₃).....	48
5.2.3 Konsentrasi NO ₂	48
5.2.4 Konsentrasi SO ₂	48
5.2.5 Konsentrasi H ₂ S.....	49
5.2.6 Konsentrasi CO.....	49
5.2.7 Konsentrasi VOCs	50
5.2.8 Konsentrasi CO ₂	50

<u>5.2.9</u>	<u>Konsentrasi O₃</u>	<u>50</u>
<u>5.2.10</u>	<u>Konsentrasi HCN</u>	<u>51</u>
<u>5.2.11</u>	<u>Debu</u>	<u>51</u>
<u>5.2.12</u>	<u>Suhu</u>	<u>52</u>
<u>5.2.13</u>	<u>Kelembaban Relatif</u>	<u>52</u>
<u>5.2.14</u>	<u>Pergerakan Udara</u>	<u>53</u>
<u>PENUTUP</u>		<u>54</u>
<u>7.1</u>	<u>Kesimpulan</u>	<u>50</u>
<u>7.2</u>	<u>Saran dan Rekomendasi</u>	<u>55</u>
<u>DAFTAR PUSTAKA</u>		<u>57</u>
<u>LAMPIRAN</u>		<u>59</u>

DAFTAR TABEL

<u>Tabel 2.1 Kandungan Debu Maksimal di Udara.....</u>	<u>9</u>
<u>Tabel 2.2 Konsentrasi Maksimal Kandungan Gas Pencemar</u>	<u>10</u>
<u>Tabel 4.1. Tabel Gambaran Ruang Percetakan UT.....</u>	<u>26</u>
<u>Tabel 4.2. Konsentrasi Debu, Suhu dan Kelembaban.....</u>	<u>38</u>
<u>Tabel 4.3.1. Data Pergerakan Udara (m/s) Ruangan Percetakan UT 2012</u>	<u>43</u>
<u>Tabel 4.3.2. Data Pergerakan Udara (m/s) Ruangan Percetakan UT 2012</u>	<u>44</u>
<u>Tabel 5.1 Rangkuman Hasil Pengukuran Ruang Percetakan.....</u>	<u>47</u>

DAFTAR GAMBAR

<u>Gambar 3.1 Alat ukur yang digunakan dalam ruangan percetakan UT</u>	<u>16</u>
<u>Gambar 3.2 Diagram Kerangka Teori Pencemaran Udara Dalam Ruangan..</u>	<u>18</u>
<u>Gambar 3.3 Diagram Kerangka Teori Pencemaran Udara Dalam Ruangan..</u>	<u>20</u>
<u>Gambar 4.1 Tata Letak Titik Pengukuran di Ruangan Percetakan UT</u>	<u>27</u>

DAFTAR GRAFIK

<u>Grafik 4.1. Konsentrasi Oksigen Dalam Ruang Percetakan.....</u>	<u>28</u>
<u>Grafik 4.2. Konsentrasi NH₃ Dalam Ruangan Percetakan</u>	<u>29</u>
<u>Grafik 4.3. Konsentrasi NO₂ Dalam Ruangan Percetakan</u>	<u>30</u>
<u>Grafik 4.4. Konsentrasi SO₂ Dalam Ruangan Percetakan.....</u>	<u>30</u>
<u>Grafik 4.5. Konsentrasi H₂S Dalam Ruangan Percetakan.....</u>	<u>31</u>
<u>Grafik 4.6. Konsentrasi CO Dalam Ruangan Percetakan.....</u>	<u>32</u>
<u>Grafik 4.7. Konsentrasi VOC Dalam Ruangan Percetakan.....</u>	<u>33</u>
<u>Grafik 4.8. Konsentrasi CO₂ Dalam Ruangan Percetakan.....</u>	<u>34</u>
<u>Grafik 4.9. Konsentrasi O₃ Dalam Ruangan Percetakan.....</u>	<u>34</u>
<u>Grafik 4.10. Konsentrasi HCN dalam Ruangan Percetakan</u>	<u>35</u>
<u>Grafik 4.11. Konsentrasi Debu Dalam Percetakan</u>	<u>36</u>
<u>Grafik 4.12. Suhu Dalam Ruangan Percetakan</u>	<u>37</u>
<u>Grafik 4.13. Kelembaban Dalam Ruangan Percetakan.....</u>	<u>37</u>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengukuran gas pada ruang percetakan UT pada tanggal 19
Maret 2013 dengan menggunakan alat Toxic Gas Monitoring-Gray Wolf
(ppm) 59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Sick building syndrome (SBS) ialah kumpulan gejala yang disebabkan terutama oleh buruknya kualitas udara ruangan; ditandai dengan berbagai keluhan: mata pedih, merah, berair, kepala pusing, batuk, pilek, hidung tersumbat, bersin-bersin, rongga mulut sakit, rongga mulut kering, badan panas dingin, mual, tidak nafsu makan, lesu, kelelahan, pegal-pegal anggota tubuh, dan kulit gatal. Berdasarkan survei, ditemukan fakta bahwa sebanyak 8.000 hingga 18.000 kasus SBS terjadi setiap tahunnya di Amerika Serikat dan sekitar 50% pekerja kantor menderita SBS akibat sering terpajan radikal bebas. Radikal bebas ini bisa saja berasal dari radiasi sinar ultraviolet, metabolisme dalam tubuh, radiasi ion, asap rokok, asap kendaraan bermotor, dan kualitas udara yang tidak sehat. Gangguan SBS tersebut dapat bersumber dari dalam gedung itu sendiri maupun dari luar gedung.

1.2.Perumusan Masalah

Kegiatan pencetakan bahan ujian dalam ruangan pencetakan UT banyak menggunakan bahan-bahan kimia karena dalam proses pencetakan juga banyak menggunakan mesin cetak. Setiap mesin cetak menggunakan tinta yang akan digunakan untuk mencetak pada kertas. Disamping itu dalam ruangan tersebut terdapat pula mesin cetak komputer (*printer*). Tidak itu saja, dalam melakukan kegiatan pembungkusan naskah ujian, pekerja juga menggunakan lem sebagai bahan perekat, dan dalam ruangan pencetakan bahan ujian UT juga digunakan zat formaldehida, yaitu cairan kimia yang digunakan sebagai pembersih furnitur dan pewangi ruangan.

Disamping menggunakan bahan kimia dalam kegiatan pencetakan, karyawan juga terlibat dengan kegiatan pemotongan kertas, penataan naskah ujian dan ini akan menghasilkan partikel debu di dalam ruangan percetakan. Hasil pengukuran debu total dalam ruangan percetakan bahan ujian UT untuk lima titik pengukuran telah jauh melebihi nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/Menkes /SK /XI/ 2002 (Yurizal, 2011).

Dalam ruangan yang tidak berjendela tersebut juga dipasang AC untuk menjadikan udara dalam ruangan terasa lebih nyaman. Oleh karena ruangan tidak berjendela udara dalam ruangan percetakan diduga telah terpajan dari kontaminan kimia dan fisika (kelembapan) yang berada dalam ruang percetakan. Apabila kontaminan kimia dan fisika tersebut masih berada dalam batas-batas tertentu masih dapat dinetralkan, tetapi jika sudah melampaui nilai ambang batas maka akan mengganggu kesehatan dan kenyamanan yang berakibat penurunan pada produktivitas.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas udara dalam ruangan berupa konsentrasi kontaminan kimia dan menentukan model pergerakan udara serta melakukan simulasi pergerakan udara dalam ruangan percetakan bahan ujian UT dengan mengubah-ubah luas penampang lintang cerobong udara keluar dan suhu ruangan.

Tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut;

- a. Untuk mengumpulkan data kondisi lingkungan kerja fisik dan kimia melalui identifikasi dan pengukuran di dalam ruangan percetakan bahan ujian UT.
- b. Untuk menganalisis pergerakan udara yang mengandung kontaminan dalam ruang percetakan bahan ujian UT.
- c. Untuk melakukan simulasi pergerakan udara yang mengandung kontaminan dalam ruang percetakan bahan ujian UT.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah untuk memberikan alternatif pengendalian kondisi lingkungan kerja, terutama faktor-faktor yang dapat menurunkan kondisi kesehatan tenaga kerja di ruangan percetakan bahan ujian UT.

Urgensi penelitian ini adalah sebagaimana telah diamanatkan oleh Undang-Undang No. 1 tahun 1970, UU No. 23 tahun 1992 dan UU No 13 tahun 2003, maka

pengkajian kualitas udara di dalam ruangan tempat kerja menjadi sangat penting. Dengan melakukan pendekatan higiene industri, maka sumber kontaminan yang berpotensi untuk mencemari udara dalam ruangan dapat diidentifikasi. Kualitas udara dalam ruangan dapat diukur serta beberapa rekomendasi positif untuk memperbaiki tingkat kualitas udara dalam ruangan dapat diberikan. Oleh karena itu, kajian yang komprehensif terhadap mutu udara dalam-ruangan (*indoor*) perlu dilaksanakan guna mencegah munculnya SBS, yaitu sindrom yang dirasakan oleh pekerja yang disebabkan oleh kualitas udara yang buruk dalam ruangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konsisten. Komponen yang konsentrasinya selalu bervariasi adalah air dalam bentuk uap H₂O dan karbon dioksida (CO₂). Jumlah uap air yang terkandung di udara bervariasi tergantung pada cuaca dan suhu. Udara yang terdiri atas banyak unsur gas, seperti nitrogen (N₂), oksigen (O₂), argon (Ar), dan karbondioksida (CO₂) sebagai unsur utama dan unsure lainnya seperti Neon (Ne), Helium (He), Ozon (O₃), Hidrogen (H₂), Krypton (Kr), Metana (CH₄), Radon (Rn), dan Xenon (Xe). Udara di permukaan bumi yang mengandung uap air disebut udara lembab, sedangkan jika tidak mengandung uap air disebut udara kering. Udara merupakan unsur yang amat penting dalam lingkungan disamping air dan tanah. Manusia memanfaatkannya kedalam kehidupannya. Sekarang ini pencemaran udara merupakan masalah kesehatan lingkungan utama di dunia khususnya di negara-negara sedang berkembang baik udara dalam ruangan maupun ambien perkotaan dan pedesaan (WHO, 1977).

Menurut UU No 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan atau aktivitas manusia atau proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

WHO dalam buku *Indoor Air Quality Handbook* 2000, mencatat bahwa masalah kualitas udara dalam ruangan umumnya disebabkan oleh beberapa hal diantaranya, yaitu:

- a. Ventilasi udara yang kurang memadai (52 %)
- b. Adanya sumber kontaminan di dalam ruangan (16 %)
- c. Kontaminan dari luar ruangan (10 %)
- d. Mikrob (5 %)

- e. Bahan material bangunan (4 %)
- f. Dan lain-lain (13 %)

Di samping itu kualitas udara dalam ruangan dapat ditinjau dari beberapa hal antara lain:

- a. Parameter fisik (suhu, kelembapan, dan pergerakan udara,)
- b. Faktor kimia
- c. Radon dan produk peluruhannya
- d. Mikrobiologi (virus, jamur, dll)

Menurut Mukono (2008) dampak pencemaran udara dalam ruangan terhadap tubuh terutama pada daerah tubuh atau organ tubuh yang kontak langsung dengan udara meliputi organ sebagai berikut:

- a. Iritasi selaput lendir: iritasi mata, mata pedih, mata merah, mata berair.
- b. Iritasi hidung, bersin, gatal: iritasi tenggorokan, sakit menelan, gatal, batuk kering.
- c. Gangguan neurotoksik: sakit kepala, lemah/capai, mudah tersinggung, sulit berkonsentrasi.
- d. Gangguan paru dan pernapasan: batuk, napas berbunyi, sesak napas, rasa berat di dada.
- e. Gangguan kulit: kulit kering, kulit gatal.
- f. Gangguan saluran cerna: diare/menceret.
- g. Lain-lain: gangguan perilaku, gangguan saluran kencing, sulit belajar.

Keluhan tersebut biasanya disebut dengan SBS, tidak terlalu parah dan tidak menimbulkan kecacatan tetap, tetapi jelas terasa amat mengganggu tidak menyenangkan dan bahkan mengakibatkan menurunnya produktivitas kerja para pekerja.

Dalam Undang-undang No.3 tahun 1969 tentang persetujuan konvensi ILO No.120 mengenai *higiene* dalam perniagaan dan perkantoran, secara garis besar mengatur perlindungan dan penyediaan fasilitas kerja. Dalam konvensi tersebut secara tegas ditetapkan bahwa setiap tempat kerja harus mempunyai ventilasi, penerangan dan alat kerja yang cukup dan sesuai serta kebisingan, getaran dan pencemaran udara

Commented [F1]: Cek ejaan di KBBI

harus dikendalikan sampai batas-batas yang dapat diterima. Lebih lanjut Undang-undang No.1 1970 tentang keselamatan kerja menetapkan syarat-syarat keselamatan dan kesehatan tempat kerja sebagai upaya perlindungan terhadap tenaga kerja. Untuk mencegah terjadinya ketidaknyamanan dan gangguan kesehatan, maka perlu dilakukan identifikasi, penilaian dan pengendalian terhadap faktor-faktor yang dapat menurunkan kondisi lingkungan kerja, baik faktor fisika maupun faktor kimia.

Banyak bahan-bahan yang telah diketahui menyebabkan buruknya kualitas udara dalam ruangan. Masalah menjadi kompleks semenjak manusia menggunakan peralatan kantor yang serba canggih dan modern, seperti mesin fotokopi, mesin cetak dan AC yang dapat menjadi alat pencemar jika tidak dipelihara dengan baik akan mengakibatkan kualitas udara buruk sehingga menimbulkan gangguan kesehatan. Salah satu fenomena gangguan kesehatan yang berkaitan dengan kualitas udara adalah SBS. SBS merupakan penyakit akibat polusi diruangan tertutup yang mengganggu saluran pernapasan.

Parameter-parameter penelitian meliputi: parameter fisika, yaitu suhu, kelembapan relatif, pergerakan udara, pencahayaan, dan radioaktif di dalam ruangan. Parameter kimia, yaitu VOC, yaitu bahan kimia mudah menguap, CO, CO₂, dan debu dll. Sementara itu, parameter biologi ialah virus, bakteri, dan jamur.

2.2 Efek Pencemaran Udara Dalam Ruangan

Secara umum efek pencemaran udara terhadap individu atau manusia dapat berupa sakit baik akut maupun kronis, mengganggu fungsi fisiologi (paru, syaraf, transpor oksigen, hemoglobin), iritasi sensorik, kemunduran penampilan dan rasa tidak nyaman. Efek terhadap saluran pernafasan antara lain iritasi pada saluran pernafasan yang dapat menyebabkan pergerakan silia menjadi lambat sehingga tidak dapat membersihkan saluran pernafasan, peningkatan produksi lendir akibat iritasi oleh bahan pencemar, rusaknya sel pembunuh bakteri di saluran pernafasan, membengkaknya saluran pernafasan dan merangsang pertumbuhan sel. Akibat dari semua hal tersebut akan menyebabkan terjadinya kesulitan bernafas, sehingga benda asing termasuk bakteri atau mikro organisme lain tidak dapat dikeluarkan dari saluran

pernafasan dan akibatnya memudahkan terjadinya infeksi saluran pernafasan (Mukono, 2000: 17).

Polutan udara dapat menjadi sumber penyakit virus, bakteri dan beberapa jenis cacung. Dampak yang diakibatkan oleh polutan udara yang buruk dapat mengakibatkan seseorang menjadi alergi yang selanjutnya menjadi pintu masuk bagi bakteri yang dapat berpotensi terjadinya infeksi (Pramudya Sunu, 2001: 49). Gangguan-gangguan tidak spesifik tetapi khas yang diderita individu atau manusia selama berada di dalam gedung tertentu dikenal dengan istilah *Sick Building Syndrome* (SBS).

2.3. Sick Building Syndrome (SBS)

Kualitas udara di dalam ruangan mempengaruhi kenyamanan lingkungan ruang kerja. Kualitas udara yang buruk akan membawa dampak negatif terhadap pekerja/karyawan berupa keluhan gangguan kesehatan seperti *Sick Building Syndrome* (SBS). Istilah *Sick Building Syndrome* (SBS) pertama kali dikenalkan oleh para ahli di negara Skandinavia di awal tahun 1980-an. Istilah SBS dikenal juga dengan TBS (*Tight Building Syndrome*) atau *Nonspecific building-related symptoms* (BRS), karena sindrom ini umumnya dijumpai dalam ruangan gedung-gedung pencakar langit.

Sick Building Syndrome (SBS) yaitu kumpulan gejala yang disebabkan terutama oleh buruknya kualitas udara ruangan; ditandai dengan keluhan-keluhan mata pedih, merah, berair, kepala pusing, batuk, pilek, hidung tersumbat, bersin-bersin, rongga mulut sakit, rongga mulut kering, badan panas dingin, mual, tidak nafsu makan, lesu, kelelahan, pegal-pegal anggota tubuh dan kulit gatal. SBS berkaitan dengan lingkungan khususnya kualitas udara di dalam gedung.

Menurut Mukono (2008) dampak pencemaran udara dalam ruangan terhadap tubuh terutama pada daerah tubuh atau organ tubuh yang kontak langsung dengan udara meliputi organ sebagai berikut :

- h. Iritasi selaput lendir : iritasi mata, mata pedih, mata merah, mata berair.
- i. Iritasi hidung, bersin, gatal : iritasi tenggorokan, sakit menelan, gatal, batuk kering.
- j. Gangguan neurotoksik : sakit kepala, lemah/capai, mudah tersinggung, sulit berkonsentrasi.

k. Gangguan paru dan pernafasan : batuk, nafas berbunyi, sesak nafas, rasa berat di dada.

l. Gangguan kulit : kulit kering, kulit gatal.

m. Gangguan saluran cerna : diare/menceret.

n. Lain-lain: gangguan perilaku, gangguan saluran kencing, sulit belajar.

Keluhan tersebut biasanya tidak terlalu parah dan tidak menimbulkan kecacatan tetap, tetapi jelas terasa amat mengganggu tidak menyenangkan dan bahkan mengakibatkan menurunnya produktivitas kerja para pekerja.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kualitas udara yang tidak memenuhi syarat menyebabkan biaya tinggi yang meliputi biaya pemeliharaan kesehatan langsung, kerusakan bahan dan biaya kehilangan produksi. Ketidaknyamanan atau gangguan kesehatan yang disebabkan karena kualitas udara dalam kenyataan dilapangan menunjukkan bahwa akibat ketidaknyamanan, gangguan kesehatan dan kecelakaan tidak saja memperlambat pelayanan atau kesehatan waktu produksi, tetapi juga dapat mengurangi kepercayaan pelanggan.

Dalam Undang-undang No.3 tahun 1969 tentang persetujuan konvensi ILO No.120 mengenai *hygiene* dalam perniagaan dan perkantoran, secara garis besar mengatur perlindungan dan penyediaan fasilitas kerja. Dalam konvensi tersebut secara tegas ditetapkan bahwa setiap tempat kerja harus mempunyai ventilasi, penerangan dan alat kerja yang cukup dan sesuai serta kebisingan, getaran dan pencemaran udara harus dikendalikan sampai batas-batas yang dapat diterima. Lebih lanjut Undang-undang No.1 1970 tentang keselamatan kerja menetapkan syarat-syarat keselamatan dan kesehatan tempat kerja sebagai upaya perlindungan terhadap tenaga kerja. Untuk mencegah terjadinya ketidaknyamanan dan gangguan kesehatan, maka perlu dilakukan identifikasi, penilaian dan pengendalian terhadap faktor-faktor yang dapat menurunkan kondisi lingkungan kerja, baik faktor fisik maupun faktor kimia.

Banyak bahan-bahan yang telah diketahui menyebabkan buruknya kualitas udara dalam ruangan. Masalah menjadi kompleks semenjak manusia menggunakan peralatan kantor yang serba canggih dan modern, seperti mesin fotokopi, mesin cetak dan AC yang dapat menjadi alat pencemar jika tidak dipelihara dengan baik akan mengakibatkan kualitas udara buruk sehingga menimbulkan gangguan kesehatan. Salah satu fenomena gangguan kesehatan yang berkaitan dengan kualitas udara adalah

sick building syndrome (SBS). SBS merupakan penyakit akibat polusi diruangan tertutup yang mengganggu saluran pernafasan.

2.4.Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri

Pemerintah melalui Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 telah mengatur persyaratan kesehatan lingkungan bagi lingkungan kerja kantor dan industri. Persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri yang diatur meliputi: persyaratan air, udara, limbah, pencahayaan, kebisingan, getaran, radiasi, vektor penyakit, persyaratan kesehatan lokasi, ruang dan bangunan, toilet dan instalasi. Dalam menjaga kualitas udara dalam ruangan, Kepmen tersebut telah memberikan standar parameter kimia, fisik dan biologi yang dapat memberikan kenyamanan terhadap pekerja. Adapun standar yang diatur sebagaimana dalam Kepmen 1405 adalah :

2.4.1. Suhu, Kelembaban Relatif dan Pencahayaan

- Suhu: 18-28°C
- Kelembaban relatif: 40 % - 60 %
- Pencahayaan minimal 300 lux untuk ruang administrasi, ruang kontrol, pekerjaan mesin dan perakitan/penyusun.

2.4.2. Kandungan Debu

Kandungan debu maksimal di dalam udara ruangan dalam pengukuran rata-rata 8 jam adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kandungan Debu Maksimal di Udara

No	Jenis Debu	Konsentrasi Maksimal
1	Debu total	0,15 mg/m ³
2	Asbes bebas	5 serat/ml udara dengan panjang serat 5µ (mikron)

Sumber : Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002

2.4.3. Pertukaran Udara:

Pertukaran udara 0,283 m³/menit/orang dengan laju : 0,15-0,25 m/detik, dan untuk ruangan kerja yang tidak menggunakan pendingin harus memiliki lubang ventilasi minimal 15 % dari luas lantai dengan menerapkan sistim ventilasi silang.

2.4.4. Gas Pencemar:

Konsentrasi maksimal kandungan gas pencemar dalam ruang kerja, dalam rata-rata pengukuran 8 jam terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Konsentrasi Maksimal Kandungan Gas Pencemar

No	Parameter	Konsentrasi Maksimal	
		mg/m ³	ppm
1	Asam Sulfida(H ₂ S)	1	-
2	Amonia(NH ₃)	17	25
3	Karbon Monoksida(CO)	29	25
4	Nitrogen Dioksida(NO ₂)	5,60	3,0
5	Sulfur Dioksida(SO ₂)	5,2	2

Sumber : Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002

2.4.5. Mikrobiologi

- ❖ Angka kuman kurang dari 700 koloni/m³ udara
- ❖ Bebas kuman pathogen

2.5. Ventilasi

Ventilasi merupakan tempat pergerakan udara melalui lubang bangunan yang terbuka yang dihasilkan oleh angin dan perbedaan suhu. Terjadinya aliran udara di dalam bangunan disebabkan karena adanya perbedaan tekanan antara dua tempat pada bangunan tersebut. Perbedaan tekanan ini dapat ditimbulkan oleh gaya angin dan gaya termal (Soegijanto, 1999). Gaya termal disebabkan adanya perbedaan suhu di dalam dan di luar ruangan (Hellickson & Walker, 1983). Ventilasi yang disebabkan oleh gaya termal disebut ventilasi termal dan yang disebabkan oleh gaya angin disebut ventilasi angin. Dengan adanya dua lubang dengan ketinggian yang berbeda maka akan terjadi aliran udara dari dalam ke luar ruangan melalui lubang yang terletak di atas (Soegijanto, 1999). Pergerakan udara bisa disebabkan masing-masing gaya yang bekerja sendiri atau kombinasi dari keduanya, tergantung pada kondisi atmosfer, rancangan bangunan, dan lokasi (Hellickson & Walker, 1983). Pertukaran udara dipengaruhi oleh total bukaan ventilasi, ventilasi bagian mana yang dibuka,

kecepatan angin dan perbedaan antara suhu di dalam dengan di luar ruangan . Kecepatan dan arah angin menentukan banyaknya ventilasi yang akan dibuka (Mastalerz, 1926). Semakin sempurna pertukaran udara di dalam ruangan terjadi, semakin baik penurunan suhu ruangan yang terjadi. Pertukaran udara disebut sempurna apabila seluruh udara yang berada dalam suatu ruangan dapat digantikan dengan yang baru (Yuwono *et al.* 2008). Menurut Brockett dan Albright (1987), laju ventilasi alamiah karena faktor angin ditentukan oleh kecepatan angin, arah angin, luas bukaan ventilasi dan penghalang di dalam ruangan.

Menurut Papadakis *et al.* (1996), untuk kecepatan angin lebih rendah dari 1.8 m/s, efek angin meskipun kecil tidak dapat diabaikan. Pada dasarnya aliran udara dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu aliran udara laminer dan aliran udara turbulen. Aliran udara dapat dibedakan berdasarkan nilai bilangan Reynold (RE). Batas atas bilangan RE untuk aliran udara laminer adalah 2000, untuk transisi adalah 2000 – 3000, dan untuk turbulen adalah > 3000. Aliran udara laminer kurang memberikan efek pertukaran udara yang baik, sedangkan aliran udara turbulen dapat memberikan efek pertukaran udara yang lebih baik. Hal ini disebabkan aliran udara turbulen bersifat tidak beraturan seperti aliran udara laminer yang membentuk lapisan-lapisan lurus yang sejajar. Gerakan berputar pada aliran udara turbulen menyebabkan pertukaran udara yang terjadi berlangsung lebih baik (Yuwono et al, 2008).

Keefektifan sistem ventilasi efek angin bergantung pada arah hembusan angin terhadap konfigurasi bangunan. Arah angin yang tegak lurus terhadap salah satu sisi bangunan akan memberikan efek yang lebih baik daripada arah diagonal. Umumnya bangunan untuk daerah tropika menggunakan kontruksi bangunan terbuka, yaitu pada sisi atau dindingnya. Luas bukaan yang diperlukan tergantung pada laju ventilasi yang diperlukan. Luas bukaan *inlet* harus sama dengan luas bukaan *outlet*. Untuk menduga luas lubang bukaan *inlet* dan *outlet* dapat digunakan persamaan berikut:

$$A = \frac{Q}{1000EV} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan : A = luas bukaan ventilasi (m²)

Q = laju aliran udara (m³/s)

Commented [F2]: Cermati cara penulisan et al. yang benar. Periksa di seluruh naskah

V = kecepatan udara (m/s)

E = efektivitas bukaan, nilainya 0,5 - 0,6 untuk tegak lurus dinding
dan 0,25 - 0,35 untuk arah diagonal (Yuwono et al,2008)

Efek termal menyebabkan udara bergerak ke atas. Gaya apung udara timbul apabila suatu udara dipanaskan dimana kerapatan udara menjadi berkurang karena mengembang. Hubungan laju ventilasi, luas bukaan, dan perbedaan elevasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q = A\theta \sqrt{\frac{2gh(T_i - T_o)}{T_i}} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan : A = luas bukaan ventilasi (m²)

Q = laju aliran udara (m³/s)

T_o = suhu udara luar (°K)

T_i = suhu absolute udara di dalam ruangan (°K)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = perbedaan elevasi antara *inlet* dan *outlet* (m)

θ = rasio aliran actual terhadap teoritis (biasanya 0,3 – 0,5_ (Yuwono et al,2008)

2.6. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika) (Tuakia, 2008). Semua CFD didasarkan pada prinsip penentuan persamaan aliran fluida (persamaan kontinuitas, momentum dan energi). Terdapat beberapa keuntungan yang dapat diambil dari penggunaan CFD dibanding dengan percobaan aliran fluida langsung, antara lain:

1. CFD dapat mensimulasikan kondisi aliran yang tidak dapat dihasilkan dari uji percobaan pemodelan
2. CFD memberikan informasi yang lebih detail dan komprehensif
3. CFD memiliki tiga tahap proses utama, yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*.

1. *Pre-processor*

Komponen pre-processor merupakan komponen input dari permasalahan aliran ke dalam program CFD dengan menggunakan *interface* yang memudahkan operator, berfungsi sebagai pengubah input berikutnya ke dalam bentuk yang sesuai pemecahan oleh solver. Hal-hal yang dilakukan dalam tahap pre-processor adalah sebagai berikut:

- a. Mendefinisikan geometri dari domain (daerah) yang akan dianalisis
- b. Pembentukan grid (*meshing*) pada setiap domain
- c. Pemilihan fenomena kimia-fisika yang diinginkan
- d. Menentukan sifat-sifat fluida (konduktivitas, viskositas, massa jenis, panas jenis, dan sebagainya)
- e. Menentukan kondisi batas (*boundary condition*) yang sesuai dengan fungsi masing-masing.

Semakin banyak jumlah sel yang dibentuk akan menjadikan tingkat ketepatannya yang semakin tinggi pula.

2. *Solver*

Proses ini merupakan tahapan pemecahan masalah secara matematik dalam CFD. Pada proses solver, terdapat 3 persamaan aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu:

1. Massa fluida kekal (kekekalan massa)
2. Laju perubahan momentum sama dengan resultansi gaya pada partikel fluida (Hukum II Newton)
3. Laju perubahan energi sama dengan resultansi laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang diberikan pada partikel fluida (Hukum I Termodinamika) (Anderson, 1995)

Kekekalan Massa 3 Dimensi *Steady State*

Keseimbangan massa fluida menyatakan laju kenaikan (pertambahan) massa elemen fluida sama dengan laju net aliran massa ke dalam elemen fluida. Dalam bentuk persamaan dinyatakan sebagai berikut:

Commented [F3]: Cermati ejaan. Kata asing harus ditulis dengan italik

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan Momentum 3 Dimensi Steady State

Persamaan momentum dikembangkan dari persamaan Navier-Stokes dalam bentuk sesuai dengan metode finite volume.

Momentum x:

$$\rho \left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + S_{MX} \dots\dots\dots(4)$$

Momentum y:

$$\rho \left[u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + S_{MY} \dots\dots\dots(5)$$

Momentum z:

$$\rho \left[u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + S_{MZ} \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan Energi 3 Dimensi Steady State

Persamaan energi diturunkan dari Hukum I Termodinamika yang menyatakan bahwa : Laju perubahan energi partikel fluida = laju penambahan panas ke dalam partikel fluida ditambah dengan laju kerja yang diberikan pada partikel. Secara matematik dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\rho \left[u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \rho \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] + k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + S_i \dots\dots(7)$$

3. Post-processor

Post-processor merupakan hasil akhir dari dua tahap sebelumnya. Tampilan yang disajikan meliputi:

- a. Tampilan geometri domain dan mesh
- b. Plot vektor
- c. Plot permukaan 2 dimensi dan 3 dimensi
- d. Pergerakan partikel

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah “*Case Study Design*” yang bersifat deskriptif yaitu permasalahan yang tidak membandingkan dan tidak menghubungkan dengan variabel lain karena hanya ingin melihat gambaran satu variabel saja dalam satu sampel seperti parameter fisika yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan yaitu temperatur, kelembaban relatif udara, pergerakan udara dan pencahayaan serta kandungan kontaminan kimia seperti O₂, NH₃, NO₂, SO₂, H₂S, CO, VOC(*volatile organic compounds*), CO₂, O₃ dan HCN

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di dalam ruang percetakan bahan ujian dan ruang staf percetakan UT Pusat pada tanggal 19 Maret 2013, dengan mengukur suhu udara, kelembapan udara, pergerakan udara dan mengetahui konsentrasi kandungan kimia dalam ruangan dan partikulat debu (PM_{2,5} dan PM₁₀).

3.3. Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan alat Lighthouse 3016 IAQ untuk mengukur konsentrasi partikulat PM_{2,5} dan PM₁₀, Anemometer untuk mengukur pergerakan udara, detektor *Toxic Gas Monitoring* untuk mengukur kandungan bahan kimia dan suhu udara, dan *Thermo Hygrometer* untuk mengukur kelembapan udara dalam ruangan percetakan bahan ujian UT. Pengukuran dilakukan oleh peneliti sendiri pada saat kegiatan pencetakan bahan ujian dilakukan. Pengukuran data penelitian seperti suhu, kelembaban, kontaminan kimia dan partikel debu dilakukan sebanyak 1 kali pengukuran pada di 12 titik ruangan (masing-masing selama 5 menit untuk setiap titik yang diukur).

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

No.	Alat	Kegunaan
1	<i>Lighthouse 3016-IAQ</i> 	Alat pencacah langsung yang digunakan untuk mengukur diameter debu, konsentrasi kontaminan VOC, dan suhu.
2	 <i>Toxic Gas Monitoring</i>	Alat pengukur suhu dan kontaminan kimia
3	<i>Thermo-Hygrometer</i> 	Alat pengukur tingkat kelembapan relatif
4	<i>Anemometer</i> 	Alat pengukur pergerakan udara dalam ruangan.

Gambar 3.1 Alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data penelitian

3.4.Simulasi menggunakan CFD

Simulasi menggunakan CFD dilakukan dengan mengolah data pergerakan udara yang keluar dari AC yang dipasang dalam ruang percetakan UT. Software CFD akan menampilkan pemodelan berupa distribusi suhu udara dan vektor pola aliran udara. Parameter suhu yang ditampilkan juga dapat diubah menjadi parameter lain seperti kecepatan dan tekanan. Selain itu software CFD juga akan memperlihatkan nilai suhu pada titik-titik yang akan digunakan untuk validasi simulasi. Diagram alir proses penyelesaian masalah menggunakan CFD untuk distribusi suhu udara dalam ruang percetakan bahan ujian UT Ruangan yang digunakan berbentuk existing dan asumsi yang dipakai dalam simulasi menggunakan CFD adalah sebagai berikut:

1. Udara bergerak dalam keadaan steady
2. Udara tidak terkompresi (incompressible)
3. Panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan
4. Udara lingkungan dianggap konstan selama simulasi

Batasan masalah yang digunakan adalah penelitian ini hanya menganalisis distribusi suhu dan pola aliran udara dalam ruang percetakan bahan ujian UT terhadap luas bukaan cerobong udara dengan menggunakan CFD dan tidak meliputi analisis struktur bangunan.

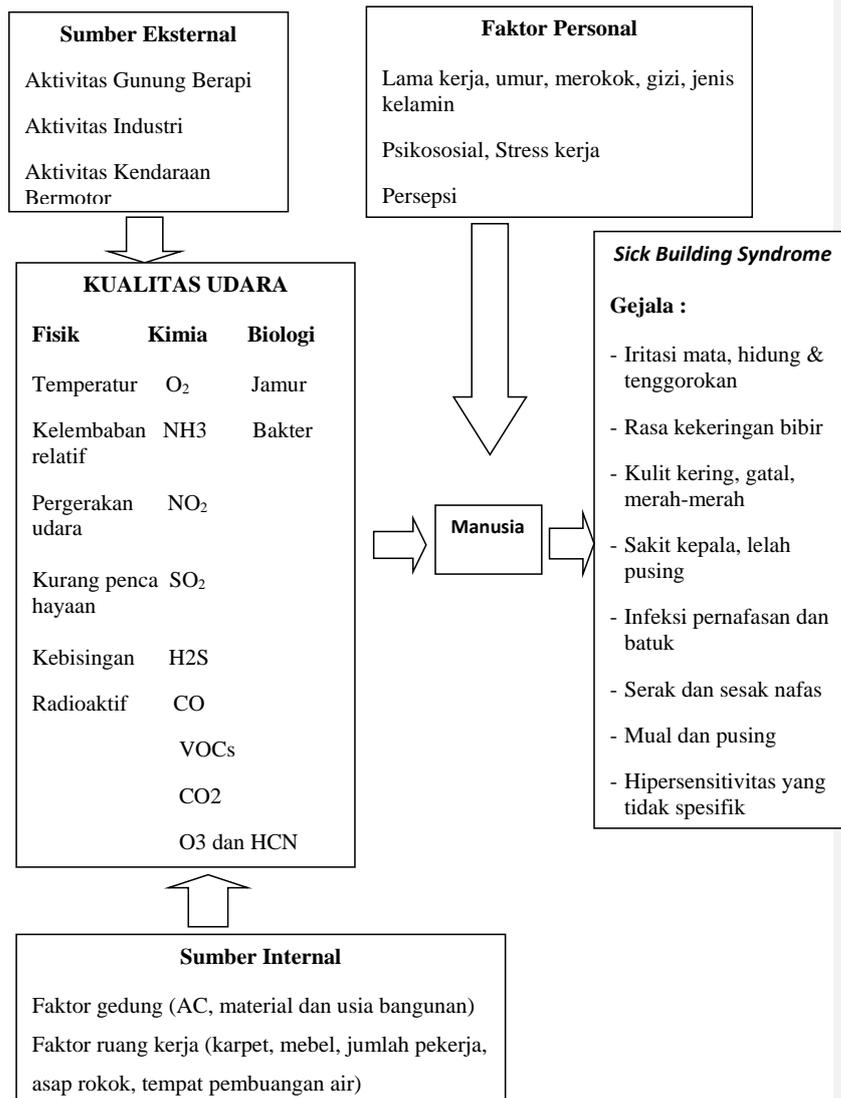
Software yang digunakan untuk simulasi distribusi suhu udara dan pola aliran udara di dalam ruang percetakan bahan ujian UT adalah *Engineering Fluid Dynamics* (EFD) yang dikembangkan dengan dasar CFD.

3.5. Kerangka Teori

Udara adalah kumpulan atau campuran gas. Udara disebut berkualitas buruk apabila sifat unsur-unsur pembentuknya membahayakan atau merusak kesehatan manusia. Berbagai faktor fisika dinamik dan kinetik udara akan menentukan kualitas udara di suatu daerah. Berbagai jenis kegiatan juga dapat mempengaruhi kualitas udara. Kegiatan dan sumber-sumber yang dapat mempengaruhi kualitas udara dibedakan menjadi dua yaitu bersumber dari alam dan bersumber dari aktivitas manusia. Bersumber dari alam contohnya adalah berasal dari gunung berapi, serbuk tepung sari, spora yang terbawa angin, kebakaran hutan, debu akibat erosi dan lain-lain. Bersumber dari aktivitas manusia seperti pembangunan industri-industri, lalu lintas kendaraan bermotor, kegiatan domestik dan lain-lain. Berdasarkan tempatnya udara dibagi menjadi dua yaitu udara di lingkungan atau yang sering disebut udara ambien dan udara yang berada dalam ruangan yang disebut udara dalam ruangan. Udara ambien dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti curah hujan, suhu udara, kelembaban relatif dan kecepatan angin. Sedangkan udara dalam ruangan selain dipengaruhi oleh udara ambien dari luar, udara dalam ruangan dipengaruhi juga oleh kualitas udara dalam ruangan dan merupakan masalah yang perlu mendapat perhatian karena akan berpengaruh terhadap kesehatan manusia yang berada di ruangan tersebut.

Kualitas udara dalam ruangan dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang berada dalam ruangan seperti merokok, memasak, penggunaan pestisida, bioaerosol sebagai pengharum ruangan, perabotan yang dilapisi oleh cairan kimia dalam ruangan tersebut, peralatan kantor (mesin foto kopi, mesin cetak). Selain itu

kualitas udara dalam ruangan dapat berasal dari udara ambien seperti asap knalpot dari garasi atau tempat parkir, asap industri yang masuk ke dalam ruangan dan lain sebagainya (Maman S, 2009).



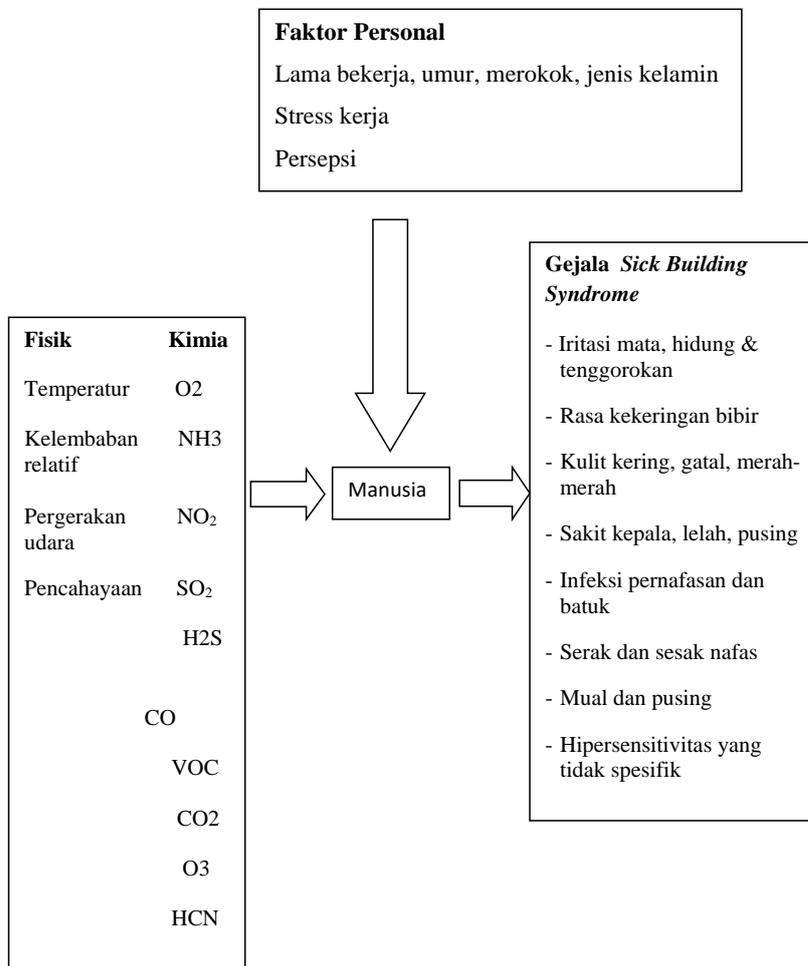
Gambar 3.2 Diagram Kerangka Teori Pencemaran Udara Dalam Ruangan

3.6. Kerangka Konsep

Berdasarkan kerangka teori diatas yang merupakan gabungan dari berbagai teori, dapat dinyatakan bahwa pekerja yang berada dalam gedung selama waktu tertentu dapat mengalami gangguan kesehatan yang disebut *Sick Building Syndrome* (SBS). Penyebab gangguan ini multi faktor dan saling berkaitan. Salah satu faktor risiko yang terpenting adalah kualitas udara dalam ruangan bangunan suatu gedung bertingkat.

Kualitas udara dalam ruangan terdiri dari tiga parameter yaitu parameter fisik, kimia dan biologi. Pada penelitian ini, peneliti hanya membatasi variable independen yang diukur adalah parameter fisik udara dalam ruangan yang berupa temperatur, kelembaban relatif udara, dan parameter kimia berupa konsentrasi O₂, NH₃, NO₂, SO₂, H₂S, CO, VOC(*volatile organic compounds*), CO₂, O₃, HCN, konsentrasi debu partikulat (PM_{2.5} dan PM₁₀).

Sedangkan varibel dependen adalah gejala SBS pada pengguna gedung yang bekerja dalam gedung yaitu berupa kumpulan gejala non spesifik yang dialami pegawai berupa iritasi mata, hidung, tenggorokan; bibir kering; kulit kering, gatal, dan memerah, sakit kepala, lelah, dan sulit berkonsentrasi; infeksi saluran pernapasan dan batuk-batuk; serak dan sesak napas; mual dan pusing; hipersensitif yang tidak spesifik. Secara lebih detail kerangka konsep dapat dijelaskan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Kerangka Konsep Pencemaran Udara Dalam Ruangan

3.7. Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Hasil Ukur	Skala Ukur	Cara Ukur	Alat Ukur
1	Kadar O ₂	Kadar O ₂ yang terukur di udara dalam ruangan, tidak berwarna dan tidak bau, bersifat membantu pembakaran	ppm	Rasio	Pengukuran dilakukan di 12 titik dalam ruangan, setiap titik dilakukan 5 menit.	Toxic Gas Monitoring
2	Kadar NH ₃	Kadar NH ₃ yang terukur di udara dalam ruangan, termasuk gas alkalin yang tidak berwarna, lebih ringan di udara dan memiliki aroma khas.	ppm	Rasio	Pengukuran dilakukan di 12 titik dalam ruangan, setiap titik dilakukan 5 menit.	Toxic Gas Monitoring
3	Kadar NO ₂ di ruangan tempat kerja	Kadar NO ₂ yang terukur di udara dalam ruangan tempat kerja. Gas yang berwarna kuning atau coklat berbau menyengat serta bersifat toksis dan korosif.	ppm	Rasio	sda	sda
4	Kadar SO ₂ di ruangan tempat kerja	Kadar SO ₂ yang terukur di udara dalam ruangan tempat kerja. Gas yang berbau tajam dan tidak terbakar di udara dan zat kimia yang mempunyai struktur molekul sama.	ppm	Rasio	sda	sda
5	H ₂ S	Kadar H ₂ S yang terukur di udara. Gas yang berbau tajam dan beracun, tidak berwarna	ppm	Rasio	sda	sda

No	Variabel	Definisi Operasional	Hasil Ukur	Skala Ukur	Cara Ukur	Alat Ukur
6	Kadar CO di ruangan tempat kerja	Kadar CO yang terukur di udara dalam ruangan tempat kerja. Gas yang tidak berwarna tidak berbau dan tidak berasa.	ppm	Rasio	Pengukuran dilakukan di 12 titik dalam ruangan, setiap titik dilakukan 5 menit.	Toxic Gas Monitoring
7	Kadar VOCs di ruangan tempat kerja	Bahan kimia bisa berbentuk gas yang tidak berwarna dengan bau yang menyengat, dan mudah menguap	ppm	rasio	sda	Toxic gas monitoring
8	Kadar CO ₂ di ruangan kerja	Kadar CO ₂ yang terukur di udara dalam ruangan tempat kerja. Gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, ketika dihirup dalam konsentrasi tinggi akan terasa asan di mulut dan menyengat di hidung dan tenggorokkan	ppm	Rasio	sda	Toxic gas monitoring
9	Kadar O ₃ di ruangan tempat kerja	Kadar O ₃ yang terukur di udara dalam ruangan percetakan UT/ tempat kerja. Gas yang tidak stabil berwarna biru, mudah mengoksidasi dan bersifat iritan kuat terhadap saluran pernafasan	ppm	Rasio	sda	sda

No	Variabel	Definisi Operasional	Hasil Ukur	Skala Ukur	Cara Ukur	Alat Ukur
10	Kadar HCN di ruang kerja	Kadar HCN yang terukur di udara dalam ruangan, tidak berwarna, mudah menguap dan beracun	ppm	Rasio	sda	sda
11	Konsentrasi debu (PM _{2.5} dan PM ₁₀)	Debu partikulat dengan ukuran kecil dari 2,5 µm dan antara 2,5 µm s.d kecil dari 10µm.	µg/m ³	Rasio	sda	Lighthouse 3016-IAQ
12	Temperatur	Derajat panas atau dingin udara dalam ruangan tempat kerja	0. 22-26°C 1. <22 °C dan >26 °C	Interval	sda	Termometer
13	Kelembaban relatif	Kandungan uap air di udara dalam ruangan di tempat kerja	0. 40-60% 1. < 40 % dan > 60%	Interval	Mengukur di titik sampel	Thermohygr ometer
14	Pergerakan Udara	Kecepatan aliran udara dalam ruangan	m/s	Rasio	Mengukur di titik sampel	Anemometer

3.8. Analisis Data

Analisis dilakukan untuk melihat gambaran variasi data yang diteliti seperti konsentrasi kimia, temperatur, kelembaban relatif udara, dan pergerakan udara. Data hasil pengukuran yang diperoleh akan dibandingkan standar yang ada sebagai berikut :

- a. Hasil pengukuran kondisi lingkungan fisik ditabulasikan dalam bentuk tabel dan dibuatkan grafik serta dibandingkan dengan standar yang berlaku.
- b. Hasil pengukuran kondisi lingkungan kimia ditabulasikan dan dibuatkan grafik serta hasilnya dibandingkan dengan standar yang ada.
- c. Hasil observasi dan identifikasi dianalisis secara deskriptif

BAB IV

HASIL

4.1. Ruang Percetakan

4.1.1 Deskripsi Bangunan

Ruang percetakan UT merupakan bangunan yang masih baru, mulai digunakan bulan Januari 2011 dan berlokasi di UT Pusat Pondok Cabe Ciputat. Luas ruang percetakan UT sekitar 1400 m² yang terdiri dari dua lantai. Lantai 1 seluas 1000 m² dan lantai 2 seluas 400 m². Lantai 2 biasa juga disebut dengan ruang Mezanin karena dinding sisi kanan lantai 2 tersebut terdiri dari lapisan kaca bening dengan maksud pekerja lainnya dapat melihat kegiatan yang sedang berlangsung pada lantai 1. Lantai 1 diperuntukan untuk gudang kertas, pemotongan kertas, pencetakan naskah ujian dan bahan pendukung ujian, penataan dan pengepakan. Sedangkan lantai 2 digunakan sebagai penyimpanan naskah ujian dan bahan pendukung ujian dan tempat kegiatan administrasinya.

Jumlah pekerja tetap di ruang percetakan berjumlah 20 orang dan jumlah pegawai harian lepas (tidak tetap) sekitar 30 orang. Jumlah jam kerja per hari kerja disaat volume pekerjaan tinggi atau saat menjelang pelaksanaan ujian sebanyak 13 jam dan jumlah jam kerja per hari libur 10 jam. Bangunan memiliki ventilasi (*exhaust fan*) di ruang penataan naskah, namun ventilasinya tidak bekerja dengan baik karena setelah dilakukan pengukuran ternyata tidak diperoleh data pergerakan udara dalam ruangan tersebut.

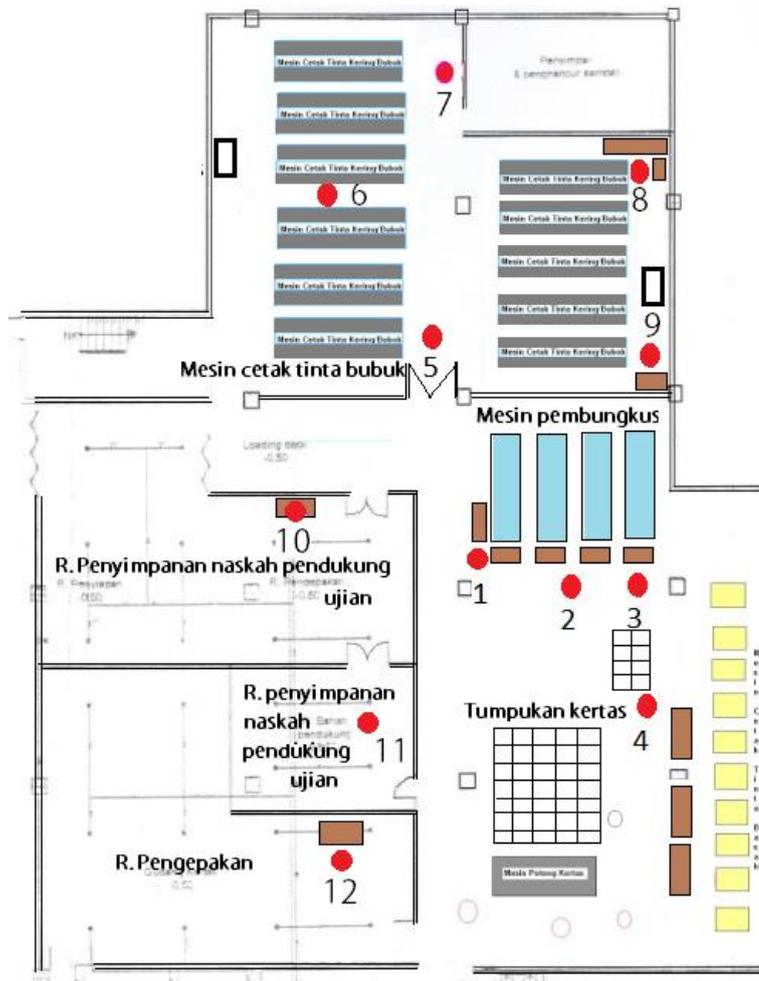
Sistim pendingin ruangan lantai 1 menggunakan sistem AC sentral. Konstruksi dinding bangunan terbuat dari beton bertulang dengan dinding bata merah dan dinding juga telah di cat serta bangunan tidak memiliki jendela untuk udara keluar masuk. Ruangan pada lantai 2 menggunakan lapisan kayu sebagai penyekat antara ruangan kerja. Furniture yang digunakan di lantai 1 adalah beberapa meja kerja dan kursi untuk digunakan sebagai tempat penataan naskah dan bahan pendukung ujian. Semua furniture di ruang percetakan terbuat dari kayu dan telah digunakan sejak Januari 2011.

Disamping itu UT juga memiliki kebijakan dilarang merokok bagi setiap karyawan yang berada dalam ruangan atau sedang melaksanakan tugas namun diizinkan apabila karyawan merokok berada diluar ruangan disaat istirahat.

Jadwal kegiatan *house keeping* dilakukan secara rutin setiap hari yaitu pagi dan sore berupa pengepelan kering dan *vacuuming* pagi hari saja. Alat pembersih ruangan yang biasa digunakan adalah pembersih sabun, *glass cleaner*, *floor cleaner* dan *bowl getter* untuk pembersih kamar mandi dan disimpan di gudang belakang.

Tabel 4.1. Tabel Gambaran Ruang Percetakan UT

No	Keterangan		Lantai 1	Lantai 2
1	Jenis AC	Sentral	√	√
2	Pencahayaan	Neon	√	√
3	Lantai	Semen Keramik	√	√
4	Dinding	Beton Partisi dan kaca	√	√
5	Langit-langit	<i>Gypsum</i>	√	√
6	Furniture	Kayu	√	√



Gambar .4.1 Tata Letak Titik Pengukuran di Ruang Percetakan UT
Keterangan :

- Titik pengukuran 1, 2, dan 3 di dekat mesin pembungkus
- Titik pengukuran 4 di dekat tumpukan kertas
- Titik pengukuran 5, 6, 7, 8, 9 di dekat mesin cetak tinta bubuk
- Titik pengukuran 10, 11, di ruang penyimpanan naskah pendukung ujian
- Titik pengukuran 12 di ruang pengepakan naskah ujian

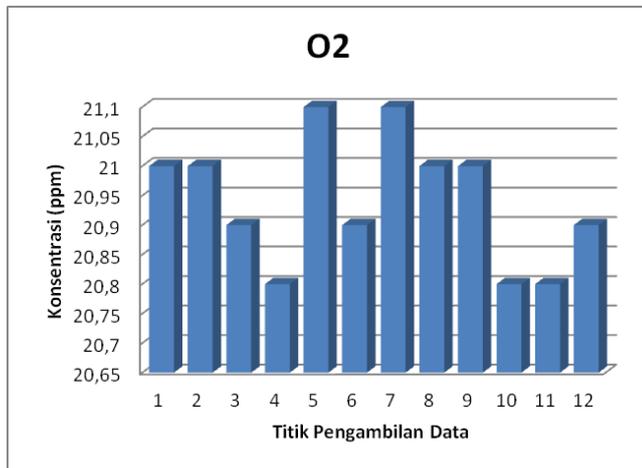
4.1.2 Hasil Pengukuran Kontaminan Kimia dan Parameter Fisik

Pengukuran kontaminan kimia meliputi O_2 , NH_3 , NO_2 , SO_2 , H_2S , CO , VOC , CO_2 , O_3 , HCN dan debu, sedangkan pengukuran parameter fisik meliputi

suhu, kelembaban relatif udara dan pergerakan udara. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Grafik berikut dibawah.

4.1.2.1 Konsentrasi Oksigen (O₂)

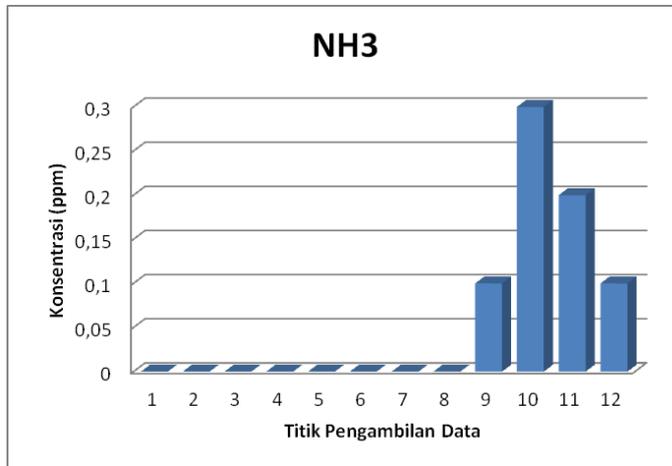
Hasil pengukuran konsentrasi O₂ dalam ruangan percetakan UT dapat dilihat pada Grafik 4.1. Data hasil pengukuran O₂ cukup beragam di beberapa titik lokasi pengukuran dalam ruangan percetakan UT. Hasil pengukuran pada titik 4, 10 dan 11 (pada pojok ruangan percetakan, dalam ruang penyimpanan LJU dan bahan pendukung ujian lainnya) menunjukkan lokasi yang paling sedikit kadar O₂ serta pada titik lokasi 5 dan 7 merupakan kadar O₂ yang paling banyak.



Grafik 4.1. Konsentrasi Oksigen Dalam Ruang Percetakan

4.1.2.2. Konsentrasi Amonia (NH₃)

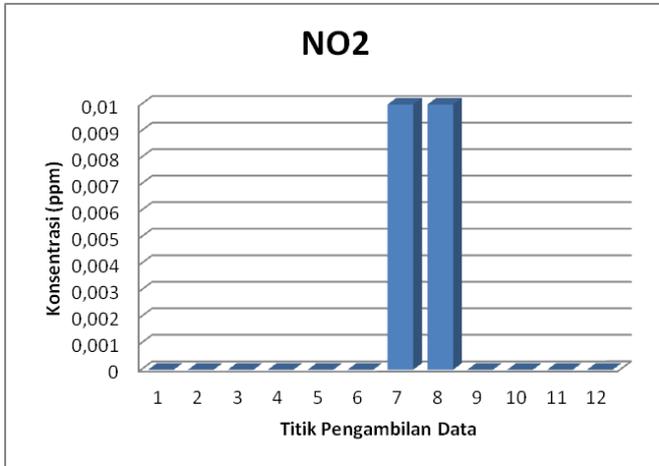
Hasil pengukuran konsentrasi Amonia hanya diperoleh pada titik pengukuran 9,10,11,dan 12. Pada titik lokasi 10 diperoleh data pengukuran yang paling tinggi yaitu sebesar 0,3 ppm . Lokasi tersebut adalah ruangan penyimpanan bahan pendukung ujian.



Grafik 4.2. Konsentrasi NH₃ Dalam Ruang Percetakan

4.1.2.3. Konsentrasi NO₂

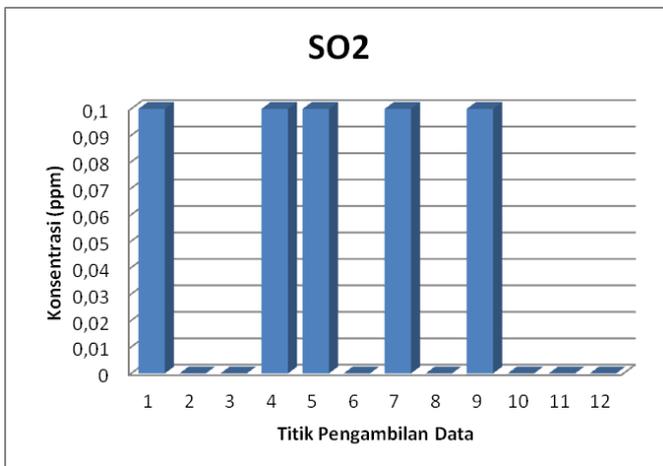
Hasil pengukuran NO₂ hanya diperoleh pada titik 7 dan 8 saja dan angkanya menunjukkan relatif sama yaitu hampir 0,01 ppm atau setara dengan 12,35 µg/m³. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada ruangan percetakan UT konsentrasi NO₂ berada jauh dibawah nilai ambang batas, dimana nilai ambang batas menurut Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 adalah 5600 µg/m³ atau setara 4,536 ppm.



Grafik 4.3. Konsentrasi NO₂ Dalam Ruangan Percetakan

4.1.2.4. Konsentrasi SO₂

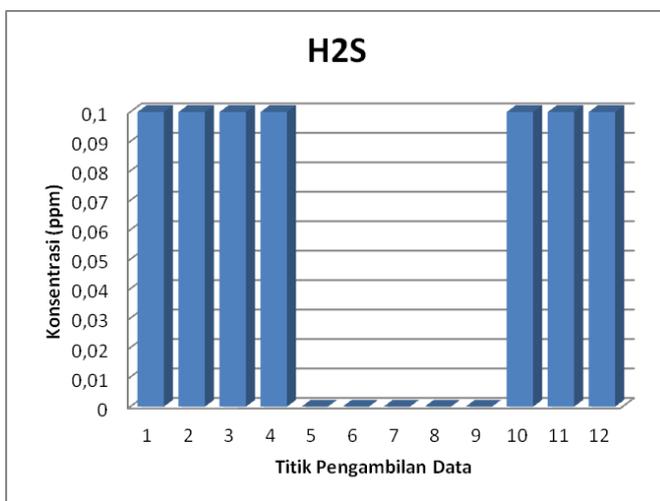
Hasil pengukuran dititik 1, 4, 5,7, dan 9 menunjukkan angka yang sama yaitu 0,1 ppm, namun pada titik 2, 3, 6, 10, 11, dan 12 menunjukkan angka nol. Konsentrasi SO₂ dalam ruangan percetakan masih dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 yaitu sebesar 2 ppm.



Grafik 4.4. Konsentrasi SO₂ Dalam Ruangan Percetakan

4.1.2.5. Konsentrasi H₂S

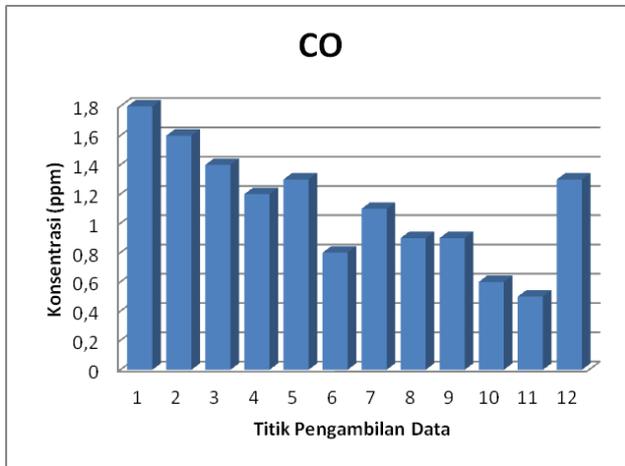
Begitu juga untuk hasil pengukuran H₂S dimana pada titik 1, 2, 3, 4, 10, 11 dan 12 menunjukkan angka yang sama yaitu 0,1 ppm, sedangkan untuk titik 5, 6, 7, 8 dan 9 menunjukkan angka nol. Nilai pengukuran tersebut masih dibawah nilai ambang batas berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 yaitu sebesar 0,81 ppm.



Grafik 4.5. Konsentrasi H₂S Dalam Ruangan Percetakan

4.1.2.6. Konsentrasi CO

Hasil pengukuran konsentrasi CO dalam ruang percetakan UT sangat bervariasi sekali. Nilai pengukuran yang paling besar berada pada titik 1 yaitu mendekati 1,8 ppm, sedangkan yang paling rendah yaitu pada titik 11 sebesar 0,45 ppm. Angka ini masih dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 yaitu sebesar 25 ppm.

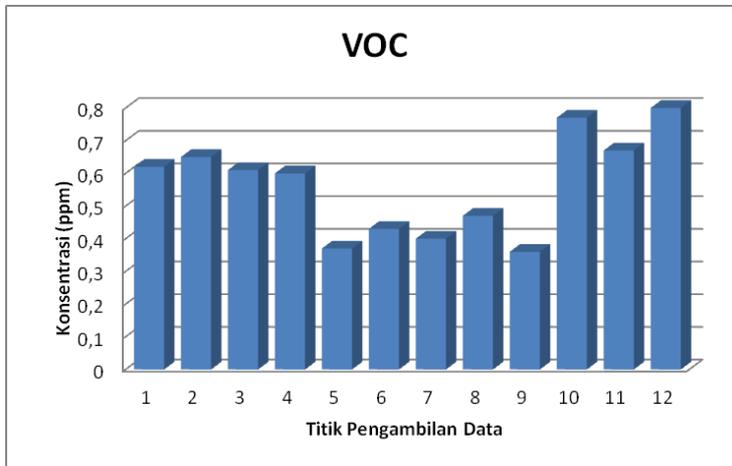


Grafik 4.6. Konsentrasi CO Dalam Ruang Percetakan

4.1.2.7. Konsentrasi VOC

Begitu juga untuk hasil pengukuran konsentrasi VOC di beberapa titik dalam ruang percetakan UT kelihatan angkanya sangat bervariasi. VOC adalah formaldehid atau cairan kimia yang mudah menguap yang banyak digunakan dalam ruang percetakan UT sebagai bahan pembersih dan pewangi. Angka yang paling besar berada pada titik 12 yaitu sebesar 0,8 ppm, sedangkan yang paling rendah yaitu pada titik 5 dan 9, yaitu sebesar 0,35 ppm. Nilai ambang batas VOCs berdasarkan *Standar Nasional Indonesia (SNI 19-0232-2005)* adalah sebesar 0,37 mg/m³ atau setara dengan (0,37 x 0,81 = 0,3 ppm). Atinya diatas angka tersebut sudah membahayakan kesehatan manusia.

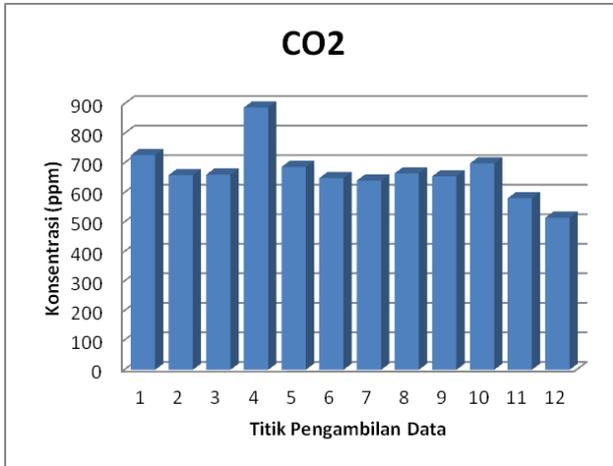
Dengan demikian nilai konsentrasi VOC dalam ruang percetakan UT sudah melebihi nilai ambang batas berdasarkan SNI.



Grafik 4.7. Konsentrasi VOC Dalam Ruangan Percetakan

4.1.2.8. Konsentrasi CO₂

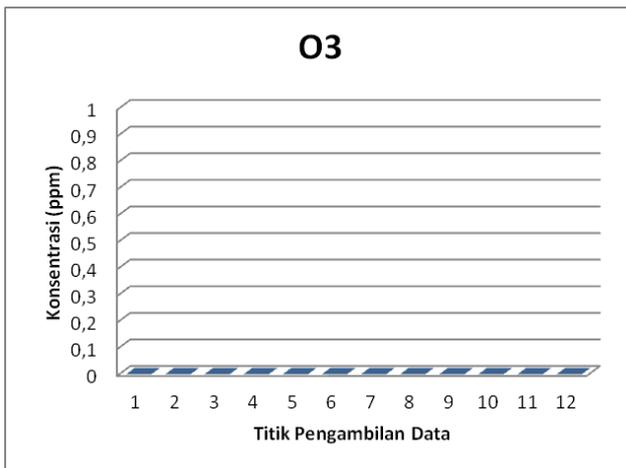
Dari hasil pengukuran di beberapa titik lokasi dalam ruangan percetakan UT terlihat titik lokasi 4 menunjukkan angka yang paling besar yaitu sebesar 888 ppm. Sedangkan nilai ambang batas CO₂ menurut Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 adalah 5000 ppm. Dengan demikian hasil pengukuran diberapa titik dalam ruangan percetakan UT masih berada dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan.



Grafik 4.8. Konsentrasi CO₂ Dalam Ruangan Percetakan

4.1.2.9. Konsentrasi O₃

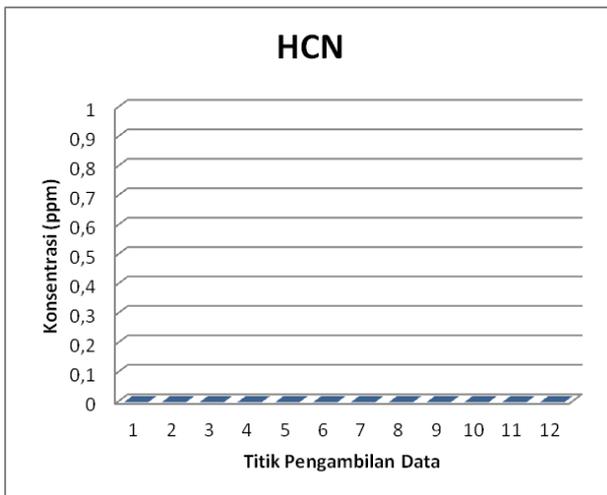
Hasil pengukuran konsentrasi O₃ dalam ruangan percetakan UT menunjukkan angka nol. Dengan demikian dalam ruangan tidak terdapat kadar O₃ sama sekali walaupun mesin cetak saat pengukuran sedang bekerja dengan baik. Sedangkan nilai ambang batas berdasarkan SNI adalah 0,2 mg/m³ atau setara dengan 0,162 ppm.



Grafik 4.9. Konsentrasi O₃ Dalam Ruangan Percetakan

4.1.2.10. Konsentrasi HCN

Begitu juga hasil pengukuran konsentrasi HCN dalam ruangan percetakan UT menunjukkan angka nol. Dengan demikian dalam ruangan tidak terdapat kadar HCN sama sekali walaupun mesin cetak saat pengukuran sedang bekerja dengan baik. Sedangkan kadar yang tertinggi yang diperkenankan berdasarkan Standar Nasional Indonesia adalah 5 mg/m^3 atau setara dengan 4,05 ppm untuk 8 jam kerja perhari dan 40 jam perminggu.

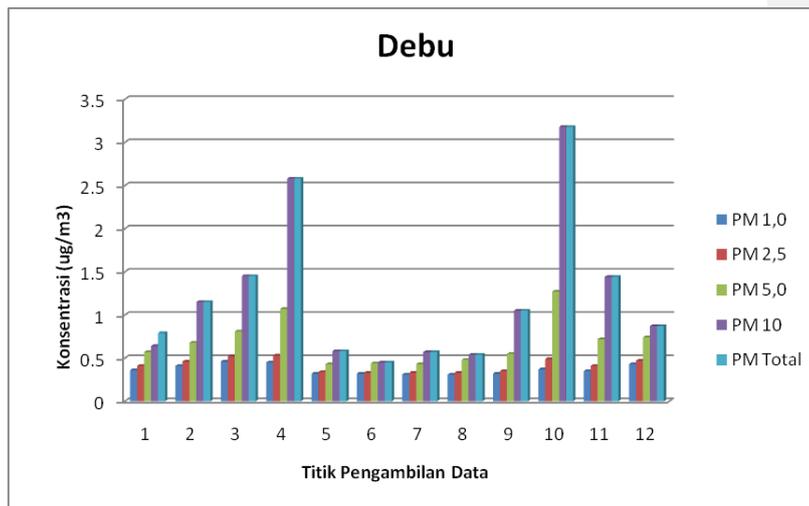


Grafik 4.10. Konsentrasi HCN Dalam Ruangan Percetakan

4.1.2.11. Debu

Hasil pengukuran debu, suhu dan kelembaban dalam ruangan percetakan UT terdapat pada table 5.1 dibawah. Hasil pengukuran debu diperoleh dari ukuran diameter $1,0 \mu\text{m}$, $2,5 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$, $10,0 \mu\text{m}$ dan debu total. Pengukuran juga dilakukan pada titik yang sama dengan pengukuran kontaminan kimia lainnya.

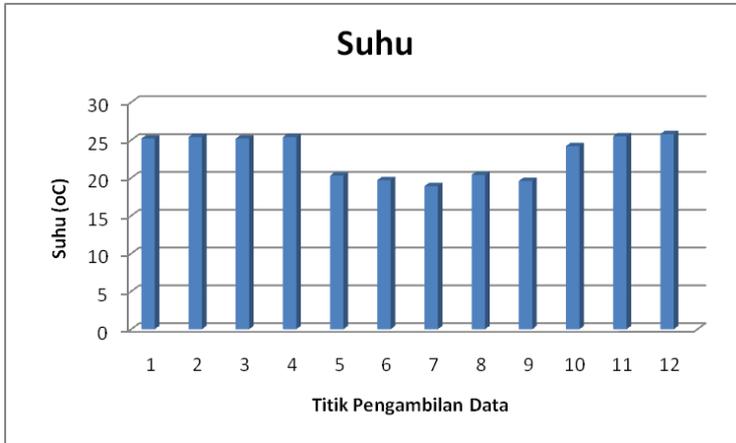
Nilai hasil pengukuran untuk debu dalam ruangan berada dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002.



Grafik 4.11. Konsentrasi Debu Dalam Ruang Percetakan

4.1.2.12. Suhu

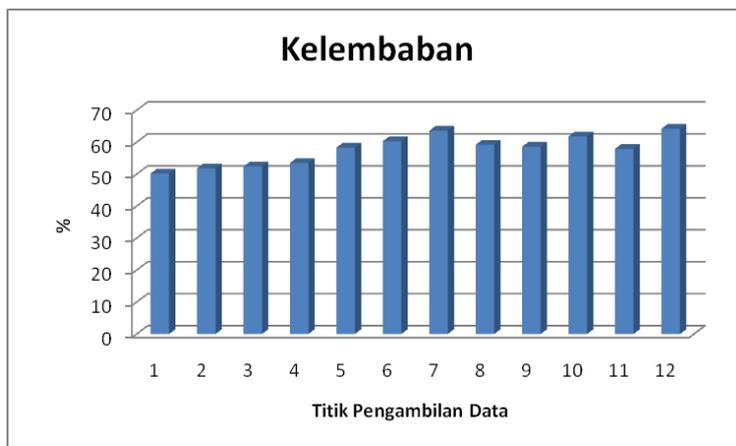
Hasil pengukuran suhu pada setiap titik pengukuran masih dibawah angka 28 °C. Nilai ambang batas suhu menurut Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 adalah berkisar antara 18°C - 28 °C. Dengan demikian hasil pengukuran berada dibawah nilai ambang batas



Grafik 4.12. Suhu Dalam Ruang Percetakan

4.1.2.13. Kelembaban

Hasil pengukuran kelembaban relatif untuk beberapa titik pengukuran ditemukan diatas 60 % yaitu pada titik 6, 7, 10 dan 12. Berdasarkan Surat Keterangan Menteri Kesehatan No.1405/Menkes/SK/XI/2002 nilai kelembaban relatif berkisar antara 40% - 60%. Dengan demikian dalam ruangan percetakan UT terdapat beberapa ruang/titik angka kelembaban relatif masih ada yang melebihi nilai ambang batas yang dipersyaratkan.



Grafik 4.13. Kelembaban Dalam Ruang Percetakan

Tabel 4.2 Konsentrasi Debu, Suhu dan Kelembaban

Instrument Model: HH 3016 IAQ

Instrument Serial #: 071144004

Downloaded On: 19/03/2013 15:45:58

Particle Data: Differential

TPM = Total PM = Total Debu

Particle Density: 2,500 g/ml

Data Duration: 19/03/2013

Time	Location (Name)	PM1,0 (ug/m ³)	PM2,5 (ug/m ³)	PM5,0 (ug/m ³)	PM10,0 (ug/m ³)	TPM (ug/m ³)	Time (s)	Volume (m ³)	Temperature (C)	Relative Humidity (%)
19/03/2013 10:41:41	UT_01	0,37	0,40	0,57	0,77	0,77	60	0,003	25,2	50,3
19/03/2013 10:42:51	UT_01	0,35	0,40	0,57	0,57	0,57	60	0,003	25,2	50,1
19/03/2013 10:44:01	UT_01	0,37	0,42	0,57	0,57	1,03	60	0,003	25,2	50,3
19/03/2013 10:48:07	UT_02	0,39	0,43	0,67	0,67	1,13	60	0,003	24,9	50,3
19/03/2013 10:49:17	UT_02	0,42	0,45	0,67	0,67	0,67	60	0,003	25,2	52,5
19/03/2013 10:50:27	UT_02	0,43	0,49	0,71	0,71	1,64	60	0,003	25,2	52,5

19/03/2013 10:53:18	UT_03	0,45	0,51	0,97	0,97	1,90	60	0,003	25,2	52,7
19/03/2013 10:54:28	UT_03	0,46	0,52	0,74	0,94	1,86	60	0,003	25,2	53,2
19/03/2013 10:55:38	UT_03	0,46	0,53	0,73	0,73	0,73	60	0,003	25,2	52,3
19/03/2013 11:00:36	UT_04	0,46	0,57	1,23	1,81	3,66	60	0,003	25,4	53,7
19/03/2013 11:01:46	UT_04	0,45	0,52	0,86	1,45	1,91	60	0,003	25,4	53,4
19/03/2013 11:02:56	UT_04	0,45	0,50	1,14	1,72	2,18	60	0,003	25,4	53,4
19/03/2013 11:29:28	UT_05	0,33	0,34	0,46	0,46	0,46	60	0,003	21,1	55,6
19/03/2013 11:30:38	UT_05	0,32	0,33	0,41	0,41	0,87	60	0,003	20,0	59,4
19/03/2013 11:31:48	UT_05	0,32	0,35	0,42	0,42	0,42	60	0,003	19,7	60,1
19/03/2013 11:38:14	UT_06	0,33	0,34	0,41	0,41	0,41	60	0,003	19,7	62,0
19/03/2013 11:39:24	UT_06	0,31	0,33	0,40	0,40	0,40	60	0,003	19,7	60,7
19/03/2013 11:40:34	UT_06	0,31	0,33	0,53	0,53	0,53	60	0,003	19,7	60,1
19/03/2013 11:45:33	UT_07	0,32	0,33	0,47	0,47	0,47	60	0,003	18,9	63,4
19/03/2013 11:46:43	UT_07	0,31	0,32	0,37	0,37	0,37	60	0,003	18,9	64,0
19/03/2013 11:47:53	UT_07	0,31	0,34	0,41	0,41	0,88	60	0,003	18,9	63,3

19/03/2013 11:53:34	UT_08	0,30	0,32	0,44	0,44	0,44	60	0,003	20,3	60,3
19/03/2013 11:54:44	UT_08	0,32	0,35	0,50	0,50	0,50	60	0,003	20,5	59,0
19/03/2013 11:55:54	UT_08	0,32	0,34	0,49	0,68	0,68	60	0,003	20,5	58,3
19/03/2013 12:01:56	UT_09	0,32	0,34	0,56	0,95	1,41	60	0,003	19,5	58,3
19/03/2013 12:03:06	UT_09	0,32	0,34	0,52	0,52	0,52	60	0,003	19,7	58,7
19/03/2013 12:04:16	UT_09	0,33	0,38	0,58	0,77	1,23	60	0,003	19,5	58,9
19/03/2013 12:14:37	UT_10	0,37	0,50	1,30	1,50	2,42	60	0,003	24,1	61,6
19/03/2013 12:15:47	UT_10	0,37	0,50	1,38	2,16	4,01	60	0,003	24,1	61,6
19/03/2013 12:16:57	UT_10	0,36	0,47	1,13	1,71	3,10	60	0,003	24,6	62,3
19/03/2013 12:24:25	UT_11	0,35	0,41	0,71	1,10	1,10	60	0,003	25,7	57,2
19/03/2013 12:25:35	UT_11	0,35	0,40	0,69	0,88	2,27	60	0,003	25,4	57,8
19/03/2013 12:26:45	UT_11	0,36	0,42	0,76	0,96	0,96	60	0,003	25,4	58,9
19/03/2013 12:39:47	UT_12	0,41	0,46	0,80	0,80	0,80	60	0,003	25,7	64,7
19/03/2013 12:40:57	UT_12	0,43	0,46	0,73	1,12	1,12	60	0,003	26,0	64,9
19/03/2013 12:42	UT_12	0,44	0,48	0,70	0,70	0,70	60	0,003	25,7	62,9

Average	0,37	0,42	0,68	0,84	1,23	60,0	0,003	22,9	57,7
TLV(NAB)		65		150	150			18-28	40-60
Maximum	0,46	0,57	1,38	2,16	4,01	60	0,003	26,0	64,9
Minimum	0,30	0,32	0,37	0,37	0,37	60	0,003	18,9	50,1
Standard Deviation	0,05	0,08	0,27	0,46	0,93	0,0	0,000	2,8	4,6
Instrument Malfunction	No	NA	NA						
Flow Status	Yes	NA	NA						

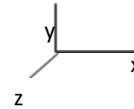
4.1.2.14. Pergerakan Udara

Pengukuran dilakukan dengan alat *anemometer* pada saluran udara keluar, namun hasil pengukuran menunjukkan angka nol di semua titik di lantai 1 percetakan UT, dengan demikian tidak ada aliran udara melalui ventilasi yang terdapat dalam ruangan tersebut. Ini menunjukkan bahwa ventilasi dalam ruangan percetakan UT tidak bisa bekerja dengan baik sehingga udara dalam ruangan relative diam dan diduga udara bergerak keluar masuk hanya melalui pintu saat dibuka atau ditutup atau melalui celah pintu. Begitu pula berdasarkan hasil pengukuran pada permukaan *exhaust fan*, alat juga tidak mampu mencatat pergerakan udara.

Data pergerakan udara berikut yang disajikan dalam Tabel 4.3.1 untuk ketinggian 2 m dari lantai dan Tabel 4.3.2. untuk ketinggian 3 meter dari lantai dengan sistem *grid* 1 x 1 meter adalah data hasil pengukuran alat saat diletakan di depan AC *floorstanding* yang berada dalam ruang mesin cetak besar.

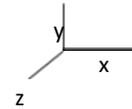
Hasil pencatatan juga tidak diperoleh data yang lengkap agar bisa menganalisis distribusi pergerakan udara dalam ruangan percetakan UT.

Tabel 4.3.1.Data Pergerakan Udara (m/s) Ruang Percetakan UT 2012



x,y=2																																
z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										

Tabel 4.3.2. Data Pergerakan Udara (m/s) Ruang Percetakan UT



		x,y=3																													
z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
1	0	0	0	0	0	-3,0	0	0	-3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,1	0	-0,1	0	0	0	0	0	0	0	0									
3	0	0	0	0	-3,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,2	0	-1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0
7	0	0	0	0	-2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,8	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,2	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BAB V PEMBAHASAN

5.1 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang bisa dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan penelitian berikutnya yaitu:

1. Penelitian hanya memberi gambaran kualitas udara dalam ruang percetakan UT dari parameter kimia dan fisik yang diukur serta apakah hasil pengukuran sudah memenuhi dengan apa yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/Menkes /SK/XI/ 2002.
2. Penelitian ini ini tidak mencari tahu apakah ada hubungan antara konsentrasi kontaminan kimia dan parameter fisik pada udara dalam ruangan percetakan dengan kejadian keluhan SBS yang dirasakan pekerja dalam ruangan.
3. Waktu penelitian yang sangat singkat yaitu hanya dilakukan dalam satu hari saja karena jadwal kegiatan percetakan naskah ujian yang sangat sibuk/penuh dan waktu penggunaan peralatan juga terbatas karena peralatan yang digunakan tidak dimiliki UT namun merupakan pinjaman dari BATAN.
4. Disamping itu ruangan percetakan ujian UT sangat dibatasi kepada setiap orang yang keluar masuk kedalam ruangan walaupun karyawan UT sekalipun karena hal ini untuk menjaga kerahasiaan jangan sampai terjadi kebocoran soal ujian.

5. Data pergerakan udara dalam ruangan percetakan UT sangat sulit, alat tidak mampu mencatat pergerakan udara di dalam ruangan yang diakibatkan pergerakan udaranya lambat sekali. Lagi pula *exhaust fan* yang terpasang dalam gedung tidak berfungsi dengan baik. Dalam ruangan yang berisi mesin cetak besar, pergerakan udaranya juga lemah namun suhunya memang terasa dingin karena angka menunjukkan 18°C. Secara umum pengkondisian udara ruang percetakan menggunakan AC sentral. Namun pada ruang mesin cetak besar/tinta kering terdapat 2 buah AC

Floorstanding dan 2 sistem *exhaust fan*. Setelah dilakukan pengukuran pada beberapa titik strategis dengan menggunakan *anemometer* relatif tidak terlihat pergerakan udara di dalam ruang percetakan.

Berikut ini adalah data rangkuman hasil pengukuran konsentrasi kontaminan kimia dan parameter fisik dalam ruang percetakan UT pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Rangkuman Data Hasil Pengukuran di Ruang Percetakan UT

No	Konsentrasi	Titik Pengukuran												NAB
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	O ₂ (ppm)	21	21	20,9	20,8	21,1	20,9	21,1	21	21	20,8	20,8	20,9	-
2	Amonia(ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,3	0,2	0,1	-
3	NO ₂ (ppm)	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	4,536
4	SO ₂ (ppm)	8,5	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0	0	2
5	H ₂ S(ppm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,81
6	CO(ppm)	1,8	1,6	1,4	1,2	1,3	0,8	1,1	0,9	0,9	0,6	0,5	1,3	25
7	VOC(ppm)	0,62	0,65	0,61	0,60	0,37	0,43	0,40	0,47	0,36	0,77	0,67	0,80	0,3
8	CO ₂ (ppm)	727	659	661	888	687	649	641	665	655	699	581	515	5000
9	O ₃ (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,162
10	HCN(ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,05
11	Debu (µg/m ³)													
	1 µm	0,36	0,41	0,46	0,45	0,32	0,32	0,31	0,31	0,32	0,37	0,35	0,43	65
	2,5 µm	0,41	0,46	0,52	0,53	0,34	0,33	0,33	0,33	0,35	0,49	0,41	0,47	65
	5 µm	0,57	0,68	0,81	1,07	0,43	0,44	0,43	0,48	0,55	1,27	0,72	0,74	150
	10 µm	0,64	0,68	0,88	1,66	0,43	0,45	0,42	0,54	0,75	1,79	0,98	0,87	150
	Total	0,79	1,15	1,45	2,58	0,58	0,45	0,57	0,54	1,05	3,18	1,44	0,87	150
12	Suhu (°C)	25,2	25,4	25,2	25,4	20,3	19,7	18,9	20,4	19,6	24,2	25,5	25,8	18-28
13	Kelembaban relatif (%)	50,2	51,8	52,4	53,5	58,3	60,3	63,6	59,2	58,6	61,8	57,9	64,2	40-60
14	Pergerakan Udara (m/det)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15-0,25

Keterangan :

Titik pengukuran 1, 2, dan 3 di dekat mesin pembungkus

Titik pengukuran 4 di dekat tumpukan kertas

Titik pengukuran 5, 6, 7, 8, 9 di dekat mesin cetak tinta bubuk

Titik pengukuran 10, 11, di ruang penyimpanan naskah pendukung ujian

Titik pengukuran 12 di ruang pengepakan naskah ujian

NAB : Nilai Ambang Batas

5.2. Analisis

5.2.1 Konsentrasi Oksigen

Berdasarkan azas Le-Chatelier, dengan berkurangnya gas oksigen berarti kadar HbO₂ di dalam darah menurun. HbO₂ merupakan oksihemoglobin yang berperan dalam membawa oksigen ke seluruh jaringan tubuh termasuk otak. Akibat yang ditimbulkan dari keadaan tersebut, suplai oksigen ke seluruh jaringan akan berkurang. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya rasa mual dan pusing, serta perasaan tidak nyaman pada tubuh.

5.2.2 Konsentrasi Amonia (NH₃)

Gas NH₃ sama halnya dengan H₂S yaitu gas yang berbau busuk dan toksik bagi manusia. Baunya bisa mengganggu aktivitas pekerja dalam ruangan. Dampak yang ditimbulkan akibat keracunan Amonia akan menimbulkan bau yang tidak sedap/menyengat, merusak sistem pernafasan, bronchitis dan indera penciuman.

5.2.3 Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂)

Hasil pengukuran NO₂ tertinggi diperoleh pada titik lokasi 7 dan 8 yaitu 0,01 ppm, sedangkan pada titik lokasi lainnya hasil pengukuran diperoleh nol. Nilai ambang batasnya untuk kesehatan manusia berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 yaitu sebesar 5600 µg/m³ atau setara dengan 4,536 ppm. Dengan demikian konsentrasi NO₂ masih berada jauh dibawah nilai ambang batas. Hasil pengukuran ini diperoleh dari hasil pembakaran tinta mesin cetak besar yang sedang beroperasi. Efek kesehatan yang bisa timbul apabila melebihi nilai ambang batas yaitu bisa meracuni paru-paru.

5.2.4 Konsentrasi Sulfur Dioksida (SO₂)

Hasil pengukuran SO₂ hanya diperoleh pada titik lokasi 1, 4, 5, 7 dan 9, sedangkan pada titik lokasi lainnya tidak diperoleh angkanya. Data pengukuran pada titik lokasi 1, 4, 5, 7 dan 9 juga diperoleh kecil yaitu 0,1 ppm atau setara 100 µg/m³. Nilai ambang batasnya untuk kesehatan manusia berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 yaitu sebesar 5200 µg/m³. Ini berarti

konsentrasi SO_2 dalam ruangan percetakan masih jauh berada dibawah nilai ambang batas. Hasil pengukuran ini diperoleh karena hasil pembakaran tinta mesin cetak besar dan hasil pembakaran dari mesin *wrapping* (pembungkus plastik). Efek kesehatan bila manusia terpajan SO_2 adalah dapat menimbulkan iritasi pada saluran pernafasan sehingga menimbulkan gejala batuk dan sesak nafas.

5.2.5 Konsentrasi H_2S

Gas yang menghasilkan bau busuk atau tidak sedap dan bisa merupakan toksik bagi manusia dan meningkatkan kerentanan terhadap penyakit. Bau tidak sedap juga dapat mengganggu aktivitas para pekerja yang berada dalam ruangan. Gas H_2S yang berbau busuk dapat tercium walaupun dalam konsentrasi sangat rendah (Charlena et all). Nilai ambang batas yang diperbolehkan selama 8 jam adalah 10 ppm. Efek kesehatan yang akan ditimbulkan jika konsentrasinya berlebihan adalah batuk-batuk, iritasi mata dan indera penciuman sudah tidak berfungsi, pembengkakan mata dan rasa kekeringan di tenggorokan.

5.2.6 Konsentrasi Karbon Monoksida (CO)

Hasil pengukuran konsentrasi karbon monoksida dalam ruangan percetakan UT sangat beragam namun yang paling angkanya pada titik lokasi 1 yaitu sebesar 1,8 ppm. Walaupun hasil yang diperoleh beragam namun hasilnya masih jauh dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Kepmenkes No 1405 tahun 2002 yaitu sebesar 25 ppm. Walau saat ini hasil pengukuran CO masih jauh dibawah nilai ambang batas namun perlu juga diwaspadai, karena kemampuan CO untuk bisa berikatan dengan haemoglobin. Sifat ini menghasilkan pembentukan karboksi haemoglobin dan bisa menyebabkan terhambatnya kerja molekul sel pigmen membawa oksigen keseluruh tubuh. Efeknya akan menimbulkan kepala berat, muntah, lemas, mudah pingsan, jantung berdenyut lemah, pernafasan lambat, serta memungkinkan terjadi kematian.

5.2.7 VOCs

Konsentrasi VOCs sangat beragam pula pada ruang percetakan dan angka tertinggi diperoleh pada titik lokasi 1 yaitu sebesar 0,8 ppm dan terendah pada titik pengukuran 5 yaitu sebesar 0,37 ppm. Hasil ini disebabkan karena mesin cetak dalam ruangan menggunakan cairan kimia sebagai pembersih mesin cetak saat mesin dioperasikan. Pengukuran ini tidak bisa mengetahui senyawa apa yang terdapat dalam penelitian ini karena alat yang digunakan untuk mengukur tidak bisa mengetahui senyawa yang terkandung pada bahan kimia yang dipakai dalam ruangan percetakan UT. Berdasarkan EPA nilai ambang batas dari VOCs adalah sebesar 0,20 mg/m³ atau setara dengan 200 ppm. Gangguan kesehatan akibat pajanan VOCs cukup bervariasi tergantung dari jenis senyawanya seperti iritasi mata, hidung, tenggorokan, sakit kepala, mual, kehilangan koordinasi sampai dengan kerusakan ginjal, hati dan system syarafpusat.

5.2.8 Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂)

Hasil pengukuran CO₂ diperoleh angka berkisar antara 515 ppm sampai dengan 888 ppm untuk 12 titik pengukuran sedangkan nilai ambang batasnya untuk kesehatan manusia yaitu 5000 ppm berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002. Dengan demikian hasil pengukuran masih dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan. Hasil pengukuran ini diperoleh karena hasil pembakaran tinta mesin cetak. Kelebihan CO₂ akan meningkatkan suhu udara pada suatu ruangan sekitar kita yang disebut dengan efek rumah kaca. Dengan demikian suhu udara didaerah tercemar CO₂ itu naik dan otomatis suhunya menjadi semakin panas dari waktu ke waktu. Hal ini disebabkan karena CO₂ akan berkonsentrasi dengan debu, dan titik air yang membentuk awan yang dapat ditembus cahaya namun tidak dapat melepaskan panas luar awan tersebut. Gas CO₂ pada konsentrasi tertentu dapat membuat pusing.

5.2.9 Konsentrasi Ozon (O₃)

Hasil pengukuran Ozon dengan menggunakan alat *Toxic Gas Monitoring* pada tujuh titik pada percetakan tersebut menunjukkan angka nol. Dengan demikian tidak terdapat Ozon dalam ruang percetakan tersebut. Biasanya

kontaminan ini dihasilkan dari hasil pengoperasian alat listrik dengan tegangan tinggi seperti mesin fotocopy dan lain-lain. Tidak terdapatnya Ozon saat pengukuran diduga karena disebabkan mesin foto copy tidak terdapat dalam ruangan percetakan UT lantai 1. Efek kesehatan apabila terpajan Ozon sama dan melebihi 0,3 ppm adalah iritasi hidung, tenggorokan, pusing dan kehilangan koordinasi.

5.2.10 HCN

Gas asam cianida (HCN) merupakan gas yang sangat beracun. Hal tersebut dibuktikan bahwa manusia yang menghirup HCN berkadar 20-40 ppm sudah mulai menunjukkan gejala keracunan. Gejalanya antara lain fatigue, sakit kepala, vertigo, muntah, kejang dan koma serta bisa menyebabkan kematian.

5.2.11 Debu

Partikulat debu merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbesar di udara dengan diameter yang sangat kecil. Partikulat debu tersebut akan berada diudara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Selain berpengaruh negatif terhadap kesehatan, partikel debu juga dapat menyebabkan iritasi pada mata dan dapat menghalangi daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara. Partikel debu pada umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbeda dengan ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari mana sumber emisinya. Namun dalam penelitian ini alat yang digunakan tidak mampu membedakan partikel debu yang diukur dan mengandung senyawa apa pada debu tersebut serta juga tidak bisa menghitung konsentrasi debu yang terhirup oleh pekerja dalam ruang percetakan UT dan hanya mengukur konsentrasi debu dalam ruang percetakan saja.

Hasil pengukuran konsentrasi debu dalam ruang percetakan UT untuk ke kima ukuran masih relatif rendah . Pengukuran dilakukan pada 12 titik lokasi dengan ukuran debu masing-masing 0,5 μm , 1 μm , 2,5 μm , 5 μm dan 10 μm . Konsentrasi nilai ambang batas yang ditetapkan Keputusan Menteri Kesehatan

No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 untuk debu total adalah $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi partikulat debu total di semua titik pengukuran masih dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan.

Risiko yang mungkin terjadi akibat terhirup debu sangat tergantung pada ukurannya. Ukuran debu yang berbahaya bagi kesehatan umumnya berkisar antara $0,1 \mu\text{m}$ sampai dengan $10 \mu\text{m}$. Pada umumnya ukuran debu sekitar $5 \mu\text{m}$ merupakan partikulat udara yang dapat langsung masuk kedalam paru-paru dan mengendap di alveoli. Ukuran partikulat debu lebih besar dari $5 \mu\text{m}$ juga berbahaya karena dapat mengganggu saluran pernafasan bagian atas dan menyebabkan iritasi. Keadaan ini akan lebih bertambah parah apabila terjadi reaksi sinergistik dengan SO_2 yang terdapat di udara.

5.2.12 Suhu

Alat pendingin dalam ruangan percetakan menggunakan AC sentral. Suhu dalam ruangan percetakan sedikit berbeda dalam ruangan. Pada titik 1 s.d 4 berkisar 25°C , sedangkan pada titik lokasi 5,6,7,8,9 relatif sama dan berkisar 19°C dan pada titik 10,11 dan 12 kembali sekitar 25°C . Namun angka ini masih berada dalam angka kenyamanan suhu ruangan berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002 antara $18-28^\circ\text{C}$.

Suhu akan berpengaruh pula pada pekerja, oleh sebab itu suhu yang nyaman dirasakan oleh pekerja tentu akan berpengaruh pada produktivitas. Suhu pada titik lokasi 5, 6, 7, 8 dan 9 lebih rendah karena dalam ruangan tersebut ditambahkan lagi mesin pendingin tambahan yang dipasang di tiga titik ruangan.

5.2.13 Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif dalam ruangan percetakan untuk beberapa titik pengukuran masih ada yang melebihi nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes/SK/XI/ 2002. Efek dari jika kelembaban relatif tinggi akan mempengaruhi efek korosif dari peralatan mesin yang ada dalam ruangan. Selain itu kelangsungan hidup mikro organisme akan meningkat pada kelembaban $> 60\%$ dan dapat menyebabkan gangguan pernafasan seperti

asthma. Pada tingkat kelembaban yang tinggi, permukaan lantai akan menjadi dingin dapat mempercepat pertumbuhan jamur dan pengumpulan debu (Bi Nardi 2003)

5.2.14 Pergerakan Udara

Hasil pengukuran di semua titik tempat aliran udara keluar diperoleh angka nol. Ini berarti tidak ada pergerakan udara sama sekali di ruang percetakan, hal ini disebabkan oleh sistem ventilasinya tidak bekerja dengan baik. Jika hal ini dibiarkan terus maka akan mengganggu kesehatan pekerja dalam ruangan karena kontaminan kimia akan menumpuk dalam ruangan dan udara semakin lembab dalam ruangan. Pergerakan udara bersifat lokal terjadi pada 2 buah AC *Floorstanding* berupa hembusan *fan* AC dan sedotan dari 2 sistem *exhaust fan* sangat lemah, yaitu di ruang penyimpanan bahan pendukung ujian dan ruang penataan.

BAB.VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

1. Telah diperoleh data kondisi lingkungan kerja fisik (suhu, kelembaban relative dan pergerakan udara) serta kontaminan kimia (O_2 , NH_3 , NO_2 , SO_2 , H_2S , CO , VOC (*volatile organic compounds*), CO_2 , O_3 , HCN , konsentrasi debu partikulat melalui indentifikasi pengukuran di dalam ruangan kerja percetakan naskah ujian dan bahan pendukung ujian UT.
2. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh data konsentrasi kontaminan kimia berada dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes /SK /XI/ 2002. Parameter fisik seperti suhu juga berada dalam nilai ambang batas kenyamanan.
3. Namun kelembaban relatif, dibeberapa titik pengukuran terutama pada titik 6,7,10 dan 12 telah melebihi batas maksimal kenyamanan dan kesehatan yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes /SK /XI/ 2002. Hal ini jika dibiarkan akan berpotensi mengganggu kesehatan pekerja dan juga berpotensi mempercepat proses menjadi korosif peralatan mesin dalam ruangan yang terbuat dari besi.
4. Hasil pengukuran VOC untuk semua titik pengukuran diperoleh angkanya melebihi nilai ambang batas yang dipersyaratkan Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/ Menkes /SK /XI/ 2002. Jika ini dibiarkan tentu akan berpotensi mengganggu kesehatan pekeerja dalam ruangan percetakan UT.
5. Pergerakan udara tidak sama sekali diperoleh hasil pengukurannya, dengan demikian ventilasi (*exhaust fan*) dalam ruangan percetakan tidak bekerja dengan baik walau di dalamnya sudah terpasang ventilasi (*exhaust fan*) yang gunanya untuk mengalirkan udara keluar ruangan. Hal ini tentu menyebabkan kelembaban udara dalam ruangan menjadi tinggi dan kontaminan lainnya berpotensi akan menumpuk dalam ruangan percetakan UT. Hal ini kalau dibiarkan tentu akan berpotensi mengganggu kesehatan manusia.

6. Oleh karena tidak diperolehnya aliran udara maka kami dari tim peneliti tidak bisa menganalisis dan mensimulasi pergerakan udara yang mengandung kontaminan dalam percetakan UT.

6.2. Saran dan rekomendasi

Sehubungan dengan tidak adanya pergerakan udara dalam ruangan percetakan dan untuk mengontrol polutan dalam ruangan maka perlu dilakukan beberapa hal;

1. Ventilasi udara (*exhaust fan*) dalam ruangan segera diperbaiki agar dapat bekerja dengan baik dan mampu menyaring udara luar yang masuk kedalam ruangan dan dapat mengeluarkan udara dalam ruangan ke luar ruangan, sehingga polutan yang berpotensi mengganggu kesehatan bisa keluar dari dalam ruangan.
2. Membersihkan debu yang sudah terdeposit diseluruh ruangan dengan cara memvacumnya sebelum terjadi konsentrasi debu yang melebihi nilai ambang batas. Cara ini dapat mencegah kerusakan yang mungkin terjadi saat peralatan dibersihkan seperti kertas, *file* dan mesin cetak dari pada menggunakan kain basah. Dengan hilangnya debu tersebut juga berarti menghilangkan media bagi berkembangnya bakteri patogen di ruang percetakan.
3. Debu dalam ruangan saat pengukuran masih berada dibawah nilai ambang batas namun hal ini terjadi diduga karena pada saat pengukuran belum dilakukan pemotongan kertas, penataan dan pengepakan naskah ujian.
4. Bila kelembaban relatif udara $> 60\%$, ruangan perlu menggunakan alat *dehumidifier*, dan bila $< 40\%$ ruangan perlu menggunakan *humidifier* misalnya mesin pembentuk aerosol.
5. Memasang indikator temperatur dan kelembaban di titik yang lain untuk memonitor tingkat temperatur dan kelembaban di ruangan.
6. Menempatkan bahan kimia ditempat yang betul-betul aman sehingga berada jauh dari pekerja dalam ruangan dan jangan sampai menggunakan bahan kimia yang berlebihan dalam ruangan percetakan UT seperti senyawa kimia yang mudah menguap sebagai pembersih lantai, *furniture*

serta pewangi ruangan. Hal ini dimaksudkan agar bau/kontaminan kimia tidak mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan.

7. Setiap karyawan seharusnya mengenakan masker dan sarung tangan ketika berada dalam ruangan untuk menghindari terhirupnya/tertelannya butiran kontaminan kimia kedalam tubuh.
8. Perlu diberikan pendidikan dan pelatihan pada pekerja dalam ruangan, agar semua pekerja mengerti tentang bahaya kontaminan kimia dalam ruangan dan pentingnya udara bersih dalam ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashrae Standard, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality Approved by the ASHRAE Standards Committee June 26, 2002; by the ASHRAE Board of Directors June 27, 2002; and by the American National Standards Institute April 2, 2003.*
- Barbara A Plog, Paricia J Quinlan, National Safety Council, 2002, *Gasses, Vapors, and Solvents by George P Fulton, Ms, CIH revised by S Khaterine Hammond, PhD, CIH (p149-167). Handbook Fundamentals of Industrial Hygiene, 5th edition.*
- Charlena, Irma H Suparto, Aldi Eka Praja, Pengaruh Kapur Terhadap Pelepasan Gas H₂S dan Unsur Hara Pada Manur Ayam Petelur, Departemen Kimia FMIPA IPB.
- Congronghe, † Lidiamorawska*, † Andlentaplin ‡ *Particle Emission Characteristics of Office Printers International Laboratory for Air Quality and Health, Queensland University of Technology, Brisbane, QLD 4001, Australia, and Queensland Department of Public Works, Brisbane, QLD 4001, Australi*, Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 6039-6045
- Duniantri Wenang Sari, Fatma Lestari, Eko Pudjadi and Mila Tejamaya, *Indoor Air Quality Measurement of Airbone Particulate Matter of Three Building in Jakarta, Indonesia, 2009*
- Himpunan Peraturan di Bidang Pengendalian Dampak Lingkungan No 41 Tahun 1999 Tanggal 26 Mei 1999.
- Elizabeth L. Anderson, and Roy E. Albert, *Risk Assessment and Indoor Air Quality, Lewis Publishers, 1999*
- Environmental Health Criteria 188, 1997, Nitrogen oxides (second edition), WHO, Geneva.*
- Environmental Health Criteria 213, 1999, Carbon monoxide (second edition), WHO, Geneva.*
- Environmental Protection Agency, 1991, Air quality: a guide for building owners and building manager, USA: CDC-NIOSH.*
- Environmental Protection Agency, 1991, Indoor air facts no. 4 (revised) sick building syndrome, Washington.*
- Environmental Protection Agency (EPA-402-K-97-003), 1997, An office building occupants guide to indoor air quality, EPA, Washington.*
- Fardiaz, Srikandi, 1992, Polusi air dan udara, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

- FASTS Occasional Paper Series Number 5, 2002, Indoor air quality in Australia: a strategy for action.*
- Fatma Lestari, *Bahaya Kimia, Sampling & Pengukuran Kontaminan Kimia di Udara*, Penerbit Buku Kedokteran, EGC, 2009.
- H E Burroughs, CIAQP, and Shirley J Hansen.Ph.D, *Managing Indoor Air Quality, fourth edition, The Fairmont Press, Inc, 2008*
- John D Spengler, Jonathan M.Samet, John F Mc Carthy, *Indoor Air Quality Handbook, Mc Graw Hill, 2001.*
- Kathleen Hess-Kosa, *Indoor Air Quality Sampling Methodologies*, Lewis Publishers, 2002.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri.
- Maman Suherman, Hubungan antara konsentrasi kontaminan kimia (CO₂, NO₂, SO₂, NH₃, H₂S) pada udara dalam ruangan dengan kejadian keluhan *Sick Building Syndrome* (SBS) pada tiga gedung bertingkat di Jakarta tahun 2009.
- Morgan, C. T., King, R. A, & Weisz, J. R. (1986). *Introduction to Psychology (7th ed.)*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Naoki Kagia,_, Shuji Fujiib, Youhei Horibab, Norikazu Namikic, Yoshio Ohtanic, Hitoshi Emic, Hajime Tamurad, Yong Shik Kime *Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers*
- Suharyo Widagdo, Kualitas Udara dalam ruang kerja, Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir, BATAN, 2009.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulnaser Sayma, *Computational Fluid Dynamics*, Ventus Publishing ApS, 2009

Commented [F4]: Nama belakang harus ditulis duluan. Check di seluruh naskah

Alexandre Chorin, *A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics*, Department of Mathematics University of California, Berkeley Berkeley, California 94720-3840, USA

Alexy Kolesnikov, *Use of Computational Fluid Dynamics to Predict Airflow and Contamination Concentration Profiles Within Laboratory Floor Plan Environment*, Melville, New York

Commented [F5]: Tak ada tahun terbit

Ashrae Standard, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality Approved by the ASHRAE Standards Committee June 26, 2002; by the ASHRAE Board of Directors June 27, 2002; and by the American National Standards Institute April 2, 2003.*

Atila Novoselac, *Transient Simulation of Airflow and Pollutant Dispersion Under Mixing Flow and Buoyancy Driven Flow Regimes in Residential Buildings*. ©2008. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (www.ashrae.org). ASHRAE Transactions, Vol. 114, Part 2.

Commented [F6]: Apakah ini jurnal? Kalau ya, berapa nomor halaman awal dan nomor halaman akhirnya?

Barbara A Plog, Paricia J Quinlan, National Safety Council, 2002, *Gasses, Vapors, and Solvents* by George P Fulton, Ms, CIH revised by S Khaterine Hammond (p149-167). *Handbook Fundamentals of Industrial Hygiene*, 5th edition.

Duniantri Wenang Sari, Fatma Lestari, Eko Pujadi and Mila Tejamaya, *Indoor Air Quality Measurement of Airborne Particulate Matter of Three Building in Jakarta, Indonesia*, 2009

Elizabeth L. Anderson, and Roy E. Albert, *Risk Assessment and Indoor Air Quality*, Lewis Publishers, 1999

H E Burroughs, CIAQP, and Shirley J Hansen, Ph.D, *Managing Indoor Air Quality*, fourth edition, The Fairmont Press, Inc, 2008

- Fatma Lestari, *Bahaya Kimia, Sampling & Pengukuran Kontaminan Kimia di Udara*, Penerbit Buku Kedokteran, EGC, 2009.
- John D Spengler, Jonathan M.Samet, John F Mc Carthy, *Indoor Air Quality Handbook*, Mc Graw Hill, 2001.
- Kathleen Hess-Kosa, *Indoor Air Quality Sampling Methodologies*, Lewis Publishers, 2002.
- Mukono, Pengaruh Kualitas Udara Dalam Ruangan Ber AC Terhadap Gangguan Kesehatan, <http://mukono.blog.unair.ac.id/>.
- Naoki Kagia,_, Shuji Fujiib, Youhei Horibab, Norikazu Namikic, Yoshio Ohtanic, Hitoshi Emic, Hajime Tamurad, Yong Shik Kime *Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers*
- P.G.S. Rutten en Pror.Ir, J.A. Wisse Prof.Ir, *The Measurement and Simulation of Indoor Air Flow*
- Steven J Emmerich, *Use of Computational Fluid Dybnamics to Analyze Indoor Air Quality Issues*, National Intitute of Standards and Technology Gaithersburg MD 20889
- Suharyo Widagdo, Kualitas Udara dalam ruang kerja, Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir, BATAN, 2009.

LAMPIRAN

1. Data hasil pengukuran gas pada ruang percetakan UT pada tanggal 19 Maret 2013

dengan menggunakan alat Toxic Gas Monitoring - Gray Wolf (satuan dalam ppm)

Lokasi	O ₂	NH ₃	NO ₂	SO ₂	H ₂ S	CO	TVOC	CO ₂	O ₃	HCN
1	21	0	0	0,1	0,1	1,8	0,62	727	0	0
2	21	0	0	0	0,1	1,6	0,65	659	0	0
3	20,9	0	0	0	0,1	1,4	0,61	661	0	0
4	20,8	0	0	0,1	0,1	1,2	0,60	888	0	0
5	21,1	0	0	0,1	0	1,3	0,37	687	0	0
6	20,9	0	0	0	0	0,8	0,43	649	0	0
7	21,1	0	0,01	0,1	0	1,1	0,40	641	0	0
8	21	0	0,01	0	0	0,9	0,47	665	0	0
9	21	0,1	0	0,1	0	0,9	0,36	655	0	0
10	20,8	0,3	0	0	0,1	0,6	0,77	699	0	0
11	20,8	0,2	0	0	0,1	0,5	0,67	581	0	0
12	20,9	0,1	0	0	0,1	1,3	0,8	515	0	0

2. Foto saat pengukuran