

2016

# Pengaruh Posisi Sudut Inklinasi Jendela Tipe Gantung Atas Terhadap Konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam Ruang Kelas

Rosardy, Valencia

Universitas Sumatera Utara

---

<http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/20688>

*Downloaded from Repositori Institusi USU, Universitas Sumatera Utara*

**PENGARUH POSISI SUDUT INKLINASI JENDELA  
TIPE GANTUNG ATAS TERHADAP KONSENTRASI CO<sub>2</sub>  
DI DALAM RUANG KELAS**

**SKRIPSI**

**OLEH**

**VALENCIA ROSARDY  
120406102**



**DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2016**

**PENGARUH POSISI SUDUT INKLINASI JENDELA  
TIPE GANTUNG ATAS TERHADAP KONSENTRASI CO<sub>2</sub>  
DI DALAM RUANG KELAS**

**SKRIPSI**

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Dalam Departemen Arsitektur  
Pada Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Oleh

**VALENCIA ROSARDY  
120406102**

**DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2016**

## **PERNYATAAN**

### **PENGARUH POSISI SUDUT INKLINASI JENDELA TIPE GANTUNG ATAS TERHADAP KONSENTRASI CO<sub>2</sub> DI DALAM RUANG KELAS**

## **SKRIPSI**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, 23 Juni 2016

(Valencia Rosardy)

Judul Skripsi : PENGARUH POSISI SUDUT INKLINASI  
JENDELA TIPE GANTUNG ATAS TERHADAP  
KONSENTRASI CO<sub>2</sub> DI DALAM RUANG  
KELAS

Nama Mahasiswa : VALENCIA ROSARDY

Nomor Pokok : 120406102

Program Studi : Arsitektur

Menyetujui  
Dosen Pembimbing,

(Ir. Basaria Talarosha, M.T.)  
NIP 196501091995012001

Koordinator Skripsi,

Ketua Program Studi,

(Dr. Ir. Dwira N. Aulia, M.Sc.)  
NIP 196307161998022001

(Ir. N. Vinky Rachman, M.T.)  
NIP 19660622199701001

Tanggal Lulus : 23 Juni 2016

Telah diuji pada

Tanggal: 23 Juni 2016

---

**Panitia Penguji Skripsi**

Ketua Komisi Penguji : Ir. Basaria Talarosha, M.T.

Anggota Komisi Penguji : 1. Ir. Novrial M.Eng.  
2. Amy Marisa S.T., M.Sc., Ph.D.

## ABSTRAK

Kualitas udara di dalam ruang berperan penting dalam menunjang kesehatan, yang harus dijaga sejak dini. Buruknya kualitas udara di dalam ruang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Gas  $\text{CO}_2$  merupakan hal yang tidak dapat dihindari karena merupakan hasil dari metabolisme tubuh manusia (Schell, 2001). Pada umumnya, Anak-anak menghabiskan sebagian besar waktu mereka di sekolah. Sekitar 80-90% aktivitas anak-anak berada di dalam ruangan kelas, oleh karena itu kualitas udara di dalam ruang kelas harus diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh posisi sudut inklinasi jendela tipe gantung atas terhadap konsentrasi  $\text{CO}_2$  di dalam ruang kelas dengan mengkondisikan satu ruang kelas terhadap 3 posisi sudut inklinasi jendela yang berbeda yaitu  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $30^\circ$  serta pintu dibiarkan terbuka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi  $\text{CO}_2$  pada posisi sudut inklinasi jendela  $30^\circ$  lebih rendah daripada posisi sudut inklinasi jendela  $0^\circ$  dan  $10^\circ$ . Konsentrasi  $\text{CO}_2$  pada masing-masing pengkondisian posisi sudut inklinasi jendela tipe gantung atas mencapai standar kenyamanan ASHRAE dengan rata-rata pada rentang 570 – 787 ppm.

***Kata kunci:*** konsentrasi  $\text{CO}_2$ , jendela, ruang kelas

## **ABSTRACT**

*Indoor air quality room has an important role in supporting health which must be maintained since child. The poor indoor air quality can be caused by various factors, one of which is carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). CO<sub>2</sub> is unavoidable as a result of human metabolism (Schell, 2001). In general, children spend most of their time in school. Approximately 80-90% of children's activities are in the classroom, therefore the air quality in the classroom must be considered. This study aims to determine the effect of inclination on top hung-window over the concentration of CO<sub>2</sub> in the classroom with three condition of the window's inclination such as 0°, 10° and 30° and the door was left open. The results showed that the concentration of CO<sub>2</sub> in the window's inclination of 30° is lower than the window's inclination of 0° and 10°. The concentration of CO<sub>2</sub> at each of window's inclination are achieving ASHRAE comfort standards with an average in the range of 570-787 ppm.*

**Keywords:** *CO<sub>2</sub> concentration, window, classroom*



## KATA PENGANTAR

Penulis bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia - Nya dimampukan untuk menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Arsitektur pada Universitas Sumatera Utara (USU) Medan.

Penulis juga ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Basaria Talarosha, M.T., Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan meluangkan waktu dalam memberikan masukan dan pengarahan, serta meminjamkan alat CO<sub>2</sub> meter dan perlengkapan lainnya selama masa penelitian kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Novrial, M. Eng. dan Ibu Amy Marisa, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
3. Dr. Ir. Dwira N. Aulia, M.Sc. selaku dosen koordinator, serta seluruh staf pengajar Departemen Arsitektur atas bimbingan selama masa perkuliahan.
4. Bapak Ir. N. Vinky Rachman, M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Arsitektur dan Bapak Ir. Rudolf Sitorus M.L.A. selaku Sekretaris Program Studi Sarjana Teknik Arsitektur atas bimbingan selama perkuliahan dan bantuan dalam hal perizinan pelaksanaan penelitian.
5. Ibu M.Simaibang, S.Pd selaku Kepala Sekolah, guru beserta murid-murid Sekolah Dasar 066046 Kecamatan Medan Helvetia yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian dan mendapatkan data yang diperlukan.
6. Kedua orangtua serta saudara - saudara penulis yang tercinta, yang telah memberikan semangat dan bantuan untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan - rekan mahasiswa yang telah memberikan motivasi serta dorongan hingga selesainya skripsi ini.`
8. Seluruh pihak yang telah membantu, baik secara moril maupun materiil, yang tidak bisa disebutkan satu persatu dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sebagai bahan penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi semua pihak.

Medan, 23 Juni 2016  
Penulis,

**Valencia Rosardy**  
**120406102**

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I    PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1.      Latar Belakang.....	1
1.2.      Perumusan Masalah.....	2
1.3.      Tujuan Penelitian.....	3
1.4.      Manfaat Penelitian.....	3
1.5.      Batasan Masalah .....	3
1.6.      Kerangka Berpikir .....	4
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1.      Kualitas Udara di dalam Ruang.....	5
2.2.      Dampak Kualitas Udara di dalam Ruang .....	6
2.3.      Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara .....	7
2.3.1.    Polutan Udara .....	7
2.3.1.1. Polutan yang Bersumber dari Dalam.....	7
2.3.1.2. Polutan yang Bersumber dari Luar .....	12
2.3.1.3. Polutan Biologis .....	13

2.3.2.	Ventilasi.....	14
2.3.2.1.	Ventilasi Satu Sisi dan Ventilasi Silang .....	16
2.3.2.2.	Jendela .....	18
2.4.	Hubungan Tipe Jendela dengan Konsentrasi CO <sub>2</sub> .....	19
2.5.	Penelitian Terkait.....	20
2.5.1.	Pengukuran Konsentrasi CO <sub>2</sub> di Dalam Ruangan pada Pengkondisian Ventilasi yang Berbeda.....	20
2.5.2.	Referensi Peletakan Alat Ukur Konsentrasi CO <sub>2</sub> .....	21
2.6.	Sintesa Pustaka .....	23
<b>BAB III</b>	<b>METODA PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1.	Jenis Penelitian .....	25
3.2.	Variabel Penelitian .....	26
3.3.	Metoda Pengumpulan Data .....	26
3.3.1.	Data Primer.....	26
3.3.2.	Data Sekunder .....	27
3.4.	Populasi dan Sampel Penelitian.....	27
3.5.	Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	35
3.5.1.	Perincian Data Lokasi Penelitian.....	35
3.5.2.	Bangunan dan Ruang Kelas sebagai Objek Penelitian.....	38
3.5.3.	Tipe Jendela Objek Penelitian .....	39
3.5.4.	Kondisi Fisik Objek Penelitian.....	41
3.6.	Metoda Pengukuran.....	47
3.7.	Metoda Analisa Data .....	49
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>

4.1.	Analisa Perbandingan Konsentrasi CO <sub>2</sub> pada Posisi Sudut Inklinasi Jendela 0°, 10°, 30° .....	61
4.2.	Hubungan Antara Konsentrasi CO <sub>2</sub> dan Aktivitas Pengguna Ruang ....	64
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>67</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>68</b>

## DAFTAR TABEL

No	Judul	Hal
2.1	Efek Senyawa Gas CO <sub>2</sub> .....	11
2.2	Referensi Ketinggian Peletakan Alat Ukur CO <sub>2</sub> .....	22
3.1	Spesifikasi Alat Ukur yang Digunakan .....	25
3.2	Kriteria Pengambilan Sample Penelitian.....	29
3.3	Data SDN 060907 .....	37
3.4	Data Ketinggian Jendela dari Permukaan Lantai .....	43
3.5	Data Luas Bukaannya pada Ruang Kelas V .....	47
4.1	Rincian Pengkondisian Jendela pada Saat Penelitian .....	51
4.2	Rincian Data Hasil Pengukuran pada Posisi Sudut Inklinasi Jendela 0°, 10° dan 30° (Pengukuran hingga Jam 10.00) .....	62
4.3	Perbandingan Data Hasil Pengukuran pada Posisi Sudut Inklinasi 10° dan 30° .....	63

## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Hal
1.1	Kerangka Berpikir .....	4
2.1	<i>Single Sided Ventilation</i> .....	17
2.2	<i>Single Sided Ventilation, Double Openings</i> .....	17
2.3	<i>Cross Ventilation</i> .....	17
2.4	Tipe Buka-an pada Jendela .....	18
2.5	Efektivitas <i>Airflow</i> Terkait Tipe Buka-an pada Jendela .....	19
2.6	Standar Ketinggian Anak pada Posisi Duduk .....	23
3.1	Peta Kecamatan Medan Helvetia .....	35
3.2	Kawasan SDN 066046 .....	36
3.3	Lokasi SDN 066046 .....	36
3.4	Tata Guna Lahan Lokasi Penelitian .....	36
3.5	Key Plan Kawasan SDN 066046 .....	37
3.6	Suasana di SDN 066046 .....	38
3.7	Blok Massa SDN 066046 .....	39
3.8	Kondisi Kelas pada Massa A .....	39
3.9	Kondisi Kelas pada Massa B .....	39
3.10	Jendela pada Massa A .....	40
3.11	Jendela pada Massa B .....	40
3.12	Hak Angin Jendela Massa A .....	41
3.13	Hak Angin Jendela Massa B .....	41
3.14	Ground Plan SDN 066046 .....	41

3.15	Denah SDN 066046 .....	42
3.16	Tampak A SDN 066046 .....	42
3.17	Tampak B SDN 066046 .....	42
3.18	Potongan A-A SDN 066046.....	43
3.19	Potongan B-B SDN 066046 .....	43
3.20	Denah Ruang Kelas V SDN 066046 .....	44
3.21	Tampak Ruang Kelas V SDN 066046 .....	45
3.22	Potongan A-A Ruang Kelas V SDN 066046 .....	45
3.23	Potongan B-B Ruang Kelas V SDN 066046.....	45
3.24	Jendela Depan Ruang Kelas V SDN 066046 .....	46
3.25	Jendela Belakang Ruang Kelas V SDN 066046 .....	46
3.26	Peletakan Alat Ukur pada Ruang Kelas SDN 066046 .....	48
3.27	Kotak sebagai Tempat Peletakan Alat Ukur .....	49
4.1	Peletakan CO <sub>2</sub> Meter di Lokasi .....	50
4.2	Kondisi Jendela pada Ruang Kelas V .....	50
4.3	Pengkondisian Jendela pada Ruang Kelas V pada Saat Penelitian ....	51
4.4	Kondisi Teras Sekolah saat Jendela Dibuka pada Posisi Sudut Inklinasi 30°.....	57



## DAFTAR GRAFIK

No	Judul	Hal
4.1	Grafik Konsentrasi CO <sub>2</sub> pada Posisi Sudut 10° .....	52
4.2	Grafik Konsentrasi CO <sub>2</sub> pada Posisi Sudut 0° .....	55
4.3	Grafik Konsentrasi CO <sub>2</sub> pada Posisi Sudut 30° .....	58
4.4	Grafik Konsentrasi CO <sub>2</sub> di Dalam Ruang Kelas .....	61
4.5	Grafik Perbandingan Konsentrasi CO <sub>2</sub> pada Posisi Sudut Inklinasi Jendela 10° dan 30° .....	63
4.6	Grafik Konsentrasi CO <sub>2</sub> beserta Keterangan Aktivitas .....	65

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kualitas udara di dalam ruangan adalah kondisi kandungan udara di dalam ruangan yang dapat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni ruangan. Hasil penelitian dari *Environmental Protection Agency* menemukan bahwa polusi udara dalam ruang mencapai dua hingga lima kali lebih tinggi daripada polusi luar ruang dan beresiko mengganggu kesehatan manusia. Udara mengandung sejumlah oksigen dan campuran gas lainnya, dan ketika terdapat penambahan gas yang melewati nilai ambang batas yang diperbolehkan, maka kesehatan dapat terganggu (Mukono, 2000). Oleh sebab itu, kualitas udara dalam suatu ruang harus diperhatikan.

Buruknya kualitas udara dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain adalah jamur, debu, gas karbon monoksida (CO), gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dll. Dari sekian banyak faktor penyebab buruknya kualitas udara, gas CO<sub>2</sub> merupakan hal yang tidak dapat dihindari karena merupakan hasil dari metabolisme tubuh (Schell, 2001). Sekitar 5% udara yang dikeluarkan oleh manusia adalah gas CO<sub>2</sub>, sehingga bila berada di dalam ruangan yang memiliki ventilasi yang kurang baik dapat menyebabkan kenaikan CO<sub>2</sub> di dalam ruangan (Pudjiastuti, 1997). Seiring perkembangan teknologi, kemudahan dalam pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> sebagai indikator pengukuran pada sistem ventilasi yang digunakan pada zona padat pengguna, maka standar minimum yang

disarankan untuk penghuni ruangan dapat ditetapkan (Prill, 2000). Standar konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang tidak boleh melewati 1000 ppm (ASHRAE, 1989).

Kualitas udara dalam ruang berperan penting dalam menunjang kesehatan. Kesehatan merupakan aspek penting yang harus dijaga sejak dini. Dari anak-anak, remaja hingga dewasa, anak-anak paling rentan terhadap penyakit. Pada umumnya, Anak-anak menghabiskan sebagian besar waktu mereka di sekolah. Sekitar 80-90% aktivitas anak-anak berada di dalam ruangan kelas, sehingga sekolah harus menyediakan sebuah ruang kelas yang nyaman dari segi kualitas udaranya.

Kualitas udara dalam ruangan yang baik dapat tercapai bila ruangan tersebut memiliki sirkulasi udara yang baik (EPA, 2015). Sirkulasi udara dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah sistem ventilasi. Selain itu, ukuran, jumlah, posisi, dan pemilihan tipe jendela juga berpengaruh terhadap kualitas udara di dalam ruangan. Sesuai dengan Manual Pembangunan Gedung Sekolah, jendela sekolah harus dirancang dengan tipe jendela gantung atas, sedangkan menurut Grabe (2014), jendela gantung atas memiliki performa yang buruk dalam menetralkan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Sehingga pada skripsi ini, peneliti membahas tentang pengaruh posisi sudut inklinasi jendela terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas.

## **1.2. Perumusan Masalah**

-Apakah konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas pada lokasi penelitian memenuhi standar kenyamanan ( $\leq 1000$  ppm)?

-Bagaimana pengaruh sudut inklinasi jendela tipe gantung atas terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

-Mengetahui apakah konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas pada lokasi penelitian memenuhi standar kenyamanan ( $\leq 1000$  ppm).

-Mengetahui pengaruh sudut inklinasi jendela tipe gantung atas terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

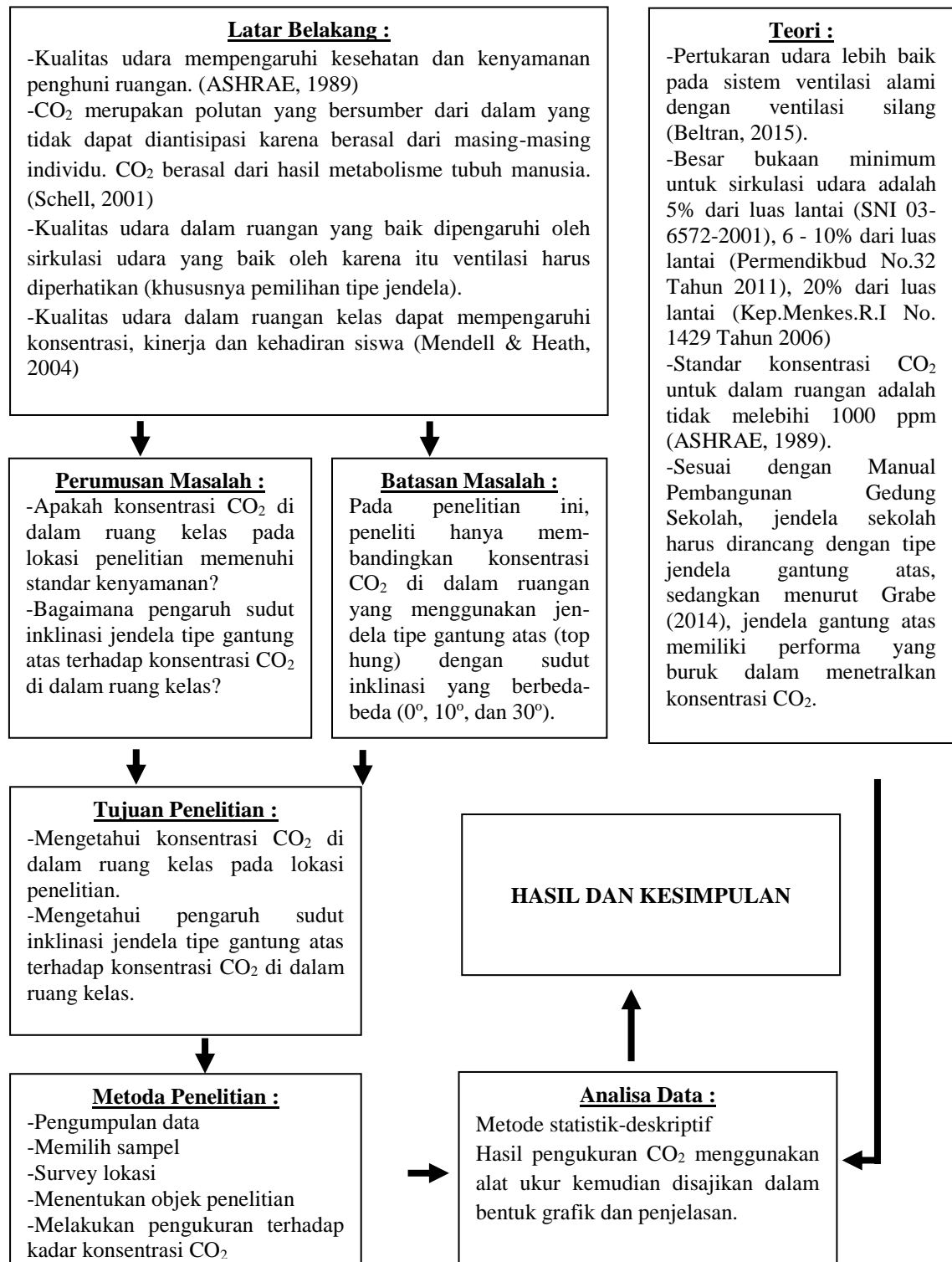
-Menambah wawasan tentang peranan jendela terhadap kualitas udara khususnya konsentrasi CO<sub>2</sub>, sehingga perancang bangunan lebih memperhatikan pemilihan tipe jendela dan posisi sudut inklinasi jendela ketika merancang sebuah bangunan khususnya sekolah.

### **1.5. Batasan Masalah**

-Penelitian dilakukan hanya pada sistem ventilasi silang.

-Penelitian hanya membandingkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan yang menggunakan jendela tipe gantung atas (*top hung*) dengan sudut inklinasi yang berbeda-beda (0°, 10, dan 30°).

## 1.6. Kerangka Berpikir



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir.

Sumber : Dokumentasi Pribadi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kualitas Udara di dalam Ruang**

Ilmu arsitektur tidak hanya sekedar tentang pemahaman struktur, konstruksi dan *engineering* dalam merancang bangunan, namun harus memiliki keterampilan merancang untuk memenuhi kebutuhan bangunan dalam berbagai aspek sehingga dapat menghasilkan suatu ruang yang artistik dan juga nyaman. Menciptakan suatu ruang yang nyaman menjadi sebuah tantangan dalam ilmu arsitektur. Kenyamanan suatu ruang dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya yaitu kualitas udara. Kualitas udara yang baik dapat dicapai dengan perencanaan sistem ventilasi yang baik. Sistem ventilasi ditujukan agar sirkulasi udara di dalam ruang dapat terjadi.

Ketika udara bersih tercemar oleh unsur-unsur yang melewati ambang batas yang telah ditentukan, dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan kenyamanan manusia (Mukono, 2000). Kandungan polutan dalam ruangan dinyatakan dengan istilah emisi dan konsentrasi. Emisi adalah polutan yang diukur per satuan luas (massa/luas/waktu). Konsentrasi adalah polutan dihitung per satuan volume/media, dan satuan yang digunakan yaitu ppm (*part per million*).

Pada pertengahan tahun 1960, penelitian tentang kualitas udara dalam ruang dimulai untuk pertama kalinya di Scandinavia, kemudian mulai membandingkan kualitas udara luar ruang dan kualitas udara dalam ruang

(Anonim, 2013). Tingkat polusi ruang luar (*outdoor*) mulai diperhatikan untuk memastikan agar terciptanya kualitas dalam ruang yang baik (Anonim, 2013). Lebih dari 90% aktivitas manusia berada pada ruang *indoor*, sehingga kualitas udara dalam ruang menjadi isu yang harus diperhatikan (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2013).

## **2.2. Dampak Kualitas Udara di dalam Ruang**

Kualitas udara di dalam ruangan berhubungan dengan kondisi kandungan udara di dalam ruangan yang dapat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni suatu ruangan (Satwiko, 2009). The World Health Organization (WHO) tahun 1984 (EPA,1991) menyebutkan bahwa lebih dari 30% dari seluruh jenis bangunan di seluruh dunia memiliki masalah IAQ yang signifikan, termasuk sekolah. Bangunan sekolah merupakan salah satu jenis bangunan yang harus diperhatikan dari segi kualitas udaranya, karena kualitas udara yang buruk berdampak pada kesehatan siswa-siswi di sekolah. Dari usia anak-anak, remaja hingga dewasa, anak-anak memiliki sistem kekebalan tubuh yang belum sempurna, sehingga paling rentan terhadap penyakit. Kualitas udara dalam ruangan kelas dapat mempengaruhi konsentrasi, kinerja dan kehadiran siswa (Mendell & Heath, 2004).

Kualitas udara yang buruk di ruang kelas dapat menyebabkan gangguan pernafasan, penularan penyakit melalui udara, dan menimbulkan alergi pada anak-anak, sehingga menurunkan persentase konsentrasi dan kinerja siswa yang berada di dalamnya (Mendell, 2007).

### 2.3. Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara

*The Occupational Health Clinics for Ontario Workers Inc* mempelajari tentang masalah dan faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruang (Anonim, 2005). Terdapat 2 faktor utama yang mempengaruhi kualitas udara yaitu ventilasi dan polutan. Selain faktor utama, faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruang yaitu jumlah orang, aktivitas dan durasi di dalam ruang (Sribanurekha).

Permasalahan yang berhubungan dengan ventilasi terdiri dari :

- Kenyamanan Thermal (temperatur, kelembaban, dan aliran udara)
- Outdoor Air Supply
- Desain sistem ventilasi, *maintenance* dan *operation*

Polutan dapat dibedakan menjadi :

- Polutan yang bersumber dari dalam
- Polutan yang bersumber dari luar
- Polutan biologis

#### 2.3.1. Polutan Udara

##### 2.3.1.1. Polutan yang Bersumber dari Dalam

Polusi udara di dalam ruang dapat terjadi karena adanya pelepasan gas atau partikel ke udara dari berbagai macam sumber. Pada umumnya polutan dari luar masuk ke dalam ruangan akibat pertukaran udara melalui ventilasi. Di dalam ruangan itu sendiri, polutan udara dapat berasal dari pengguna ruangan (manusia), penggunaan material bangunan dan cat dinding, material bangunan yang



mengandung asbes, perabotan yang mulai rusak, produk pembersih, serta partikel atau debu.

### **1) *Volatile Organic Compounds (VOC)***

VOC merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan dapat bereaksi pada suhu ruangan. VOC di dalam ruangan dapat mencapai seribu kali lipat dibandingkan dengan luar ruangan (EPA). VOC pada umumnya terkandung pada material bangunan seperti cat dinding dan kayu yang di-*press*, selain itu VOC juga terkandung di dalam produk kosmetik, pembersih, dan pestisida, serta spidol permanen yang digunakan pada sekolah-sekolah. Kandungan VOC yang melewati batas dapat menyebabkan sakit kepala, iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan, serta menyebabkan pusing. Dalam jangka waktu yang lama, VOC dapat menyebabkan kanker.

### **2) Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon merupakan gas yang sangat beracun dan mempunyai efek meskipun dalam konsentrasi rendah, sangat mudah bereaksi namun hanya mempengaruhi sebagian kecil udara di dalam ruang. Dari dalam ruangan, gas ozon berasal dari alat pembersih udara, udara dari luar ruangan, mesin printer, dan peralatan listrik yang bertegangan tinggi. Ozon juga dapat terbentuk dari hasil penguapan VOC dalam produk tertentu. Ozon dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung dan paru-paru. Menurut WHO dan panduan BB101 konsentrasi O<sub>3</sub> yang diizinkan yaitu 100 µg/m<sup>3</sup> selama rentang waktu 8 jam.

### 3) Karbon Monoksida (CO)

CO merupakan senyawa gas yang tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa, dan sukar larut dalam air, serum darah, dan plasma. Sumber utama polutan CO adalah asap rokok (tembakau) dan kendaraan. Dalam tubuh manusia, gas CO dapat beraksi dengan hemoglobin (Hb) membentuk COHb yang dapat mengganggu sistem pengangkutan oksigen dalam darah. Dampak buruk akibat kelebihan gas CO yaitu dapat menyebabkan kerusakan fungsi otak (konsentrasi 2.5% – 10%), kehilangan kesadaran secara perlahan (25% – 30%), dan pada saat COHb mencapai 60%, maka dapat menyebabkan kematian. Individu yang keracunan gas CO sering menunjukkan gejala kecapekan, sakit kepala, mual, kesulitan bernafas, meningkatnya debaran jantung, kejang-kejang, kelumpuhan, kehilangan kesadaran, iritasi, dan gangguan memori.

EPA menentukan standar rata-rata konsentrasi CO tidak boleh melewati 9 ppm selama 8 jam. Menurut lembaga pemerintahan Jerman (2008) untuk kondisi udara yang baik pada sekolah disarankan gas CO berkisar antara 60mg/m<sup>3</sup> selama 30 menit dan 15mg/m<sup>3</sup> selama 8 jam.

### 4) Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)

Pencemaran udara setiap tahun, sekitar 10% disebabkan oleh nitrogen oksida (NO). NO terbentuk dari pembakaran pada suhu tinggi, mengalami oksidasi lebih lanjut dengan oksigen atau ozon, kemudian menghasilkan NO<sub>2</sub>. Gas Nitrogen yang terdapat pada udara dapat masuk ke dalam ruangan dan akan mempengaruhi kualitas udara dalam ruang (Pudjiastuti, 1997).

WHO menyarankan agar kandungan NO<sub>2</sub> di udara sebesar 200µg/m<sup>3</sup> selama rata-rata 1 jam. Keracunan NO<sub>2</sub> cenderung dapat menyerang sistem pernafasan, menyebabkan gangguan pada media pendengaran, hidung, dan tenggorokan, serta menurunkan imun, sehingga menaikkan kemungkinan terjadi infeksi pada pernafasan.

### **5) Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)**

CO<sub>2</sub> merupakan polutan yang bersumber dari dalam yang tidak dapat diantisipasi karena berasal dari masing-masing individu. CO<sub>2</sub> berasal dari hasil metabolisme tubuh manusia (Schell, 2001). Gas CO<sub>2</sub> merupakan salah satu polutan udara yang umum. Secara fisik gas CO<sub>2</sub> sama seperti komponen udara lainnya yaitu tidak berwarna, tidak berbau, mudah larut di dalam air dan mempunyai massa jenis 1,5 kali massa jenis udara. CO<sub>2</sub> dihasilkan dari alam dan proses pembakaran bensin, minyak, batu bara dan kayu, serta hasil dari proses respirasi (pernafasan) manusia. CO<sub>2</sub> terbentuk dari hasil pembakaran hidrokarbon dengan oksigen yang berlebih. Di daerah pedesaan yang jauh dari kota dan industri mempunyai kandungan rata-rata 300 ppm. Sedangkan di kota dapat mencapai 600-700 ppm.

Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di dalam ruangan tergantung pada jumlah orang, lama ruangan dipergunakan, kegiatan dalam ruangan, dan pertukaran udara (Sribanurekha). Menurut EPA dan ASHRAE batas maksimum gas CO<sub>2</sub> dalam ruangan tidak boleh melewati 1.000 ppm untuk mencapai keadaan ruangan yang nyaman. Menurut OSHA (Occupational Safety and Health Administration), pada

dasarnya CO<sub>2</sub> tidak menimbulkan efek kesehatan yang berbahaya apabila berada pada konsentrasi diatas 550 ppm namun jika berada diatas 800 ppm, CO<sub>2</sub> dapat mengidentifikasi kurangnya udara segar bagi pengguna gedung.

Gas CO<sub>2</sub> menimbulkan dampak ringan seperti sakit kepala, sesak napas, dan bahkan kehilangan kesadaran hingga berdampak pada kematian. Dampak yang ditimbulkan oleh gas CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Efek Senyawa Gas CO<sub>2</sub>

Kadar CO <sub>2</sub> (%)	Interval Waktu	Efek yang ditimbulkan
2 %	Beberapa jam	Sakit kepala, sesak nafas dalam aktivitas ringan
3 %	1 jam	Sakit kepala ringan, berkeringat, dyspnea
4-5 %	Beberapa menit	Sakit kepala, pusing, tekanan darah meningkat, dsypnea yang tidak nyaman
6 %	1-2 menit	Gangguan penglihatan dan pendengaran
	≤ 16 menit	Sakit kepala, dyspnea
	Beberapa jam	Gemetar
7-10 %	Beberapa menit	Kehilangan kesadaran
	1.5 menit – 1 jam	Sakit kepala, detak jantung meningkat, dyspnea, pusing, berkeringat, bernafas dengan cepat
10-15 %	1 - Beberapa menit	Pusing, mengantuk, kejang parah pada otot, ketidaksadaran
16-30 %	Dalam 1 menit	Hilang kendali dalam melakukan aktivitas, pingsan, kejang, koma hingga kematian

Sumber : <http://www.epa.gov>

## 6) Debu dan Partikulat

Partikulat merupakan polutan yang berupa campuran dari partikel padat dan tetesan cairan yang terkandung di udara. Beberapa partikel dapat terlihat dengan mata telanjang karena memiliki ukuran yang cukup besar dan berwarna cukup gelap, contohnya adalah debu, kotoran dan asap. Beberapa partikel lainnya hanya dapat dilihat dengan menggunakan bantuan mikroskop.

Debu di dalam ruang merupakan hal yang paling umum terjadi. Debu

dapat hinggap dan menetap pada karpet dan tirai jendela serta perabotan di dalam ruang. Debu dapat diatasi dengan pembersihan ruangan secara berkala. Partikel debu yang terhirup dapat menyebabkan iritasi pada hidung dan tenggorokan serta menyebabkan bersin dan alergi pada pernafasan.

### **2.3.1.2. Polutan yang Bersumber dari Luar**

Polutan yang bersumber dari luar dapat berasal dari berbagai jenis proses pembakaran. Polutan dari luar ruangan dapat masuk ke dalam ruangan akibat sistem ventilasi dan infiltrasi yang buruk.

#### **1) Radon**

Beberapa jenis bahan bangunan yang beredar dipasaran terbuat dari bahan tambang, sisa pengolahan bahan tambang, atau sisa pengolahan bahan tambang yang berkadar radioaktif tinggi. Beberapa bahan tersebut antara lain adalah asbes, garnit, gipsum, batu bata dari limbah pabrik alumunia, cone block yang terbuat dari limbah abu batu bara, *acrated concrete*, *blast-furnace slag* dari limbah pabrik besi. Bahan tersebut mengandung radium berkonsentrasi tinggi sehingga menjadi sumber migrasi radon di dalam ruangan (Pudjiastuti, 1997).

Radon dapat menyebabkan kerusakan pada sel, gen dan DNA. Penelitian yang dilakukan pada para pekerja tambang memperoleh hasil bahwa senyawa ini dapat menyebabkan kanker paru-paru. Resiko menderita kanker paru-paru pada pekerja perokok lebih rendah daripada pekerja yang tidak pernah merokok. WHO belum menentukan batasan aman untuk radon, maka disarankan bagi penderita

kanker paru-paru akibat radon ( $\geq 75$  tahun), batasan diperkirakan sebesar:

- $0,6 \times 10^{-5}$  per Bq/m<sup>3</sup> → individu yang tidak pernah merokok
- $15 \times 10^{-5}$  per Bq/m<sup>3</sup> → individu perokok aktif
- Pada individu yang pernah merokok terdapat resiko medium

## **2) *Environmental Tobacco Smoke* (ETS)**

*Environmental Tobacco Smoke* (ETS) merupakan polutan yang berasal dari asap rokok. ETS merupakan polutan yang paling sering dikeluarkan oleh pengguna bangunan. Asap rokok memproduksi zat kimia seperti CO, NO, CO<sub>2</sub>, hidrogen sianida, dan fomaldehid, serta kandungan gas lainnya. Walaupun asap rokok telah dinetralkan oleh udara dalam ruangan namun produk sampingnya tetap mengandung zat beracun yang bersifat karsinogenik yang dapat membahayakan pengguna bangunan. (Pudjiastuti, 1997).

### **2.3.1.3. Polutan Biologis**

Mikroorganisme dapat hidup dimana dan kapan saja. Penyebaran lewat udara, mikroorganisme harus memiliki habitat untuk tumbuh dan berkembang biak (Tillman, 2007). Polutan biologis sering tumbuh pada sistem ventilasi yang terkontaminasi.

#### **1) Jamur**

Jamur merupakan mikroorganisme yang hidup pada area lembab pada bangunan, atau pada sistem ventilasi yang tidak bagus. Pertumbuhan jamur dapat

diminimalisir dengan menjaga kelembaban ruangan dibawah 50% dan mencegah adanya kebocoran air pada ruangan.

Jamur yang sering terdapat dalam ruangan yaitu *Aspergillus versicolor*, *A. parasiticus*, *A. flavus*, *Penicillium* spp., *Fusarium* spp., dll. Efek yang dapat ditimbulkan oleh jamur adalah asma, rhinitis, dan hipersensitivitas pneumonitis

## 2) Bakteri

Bakteri merupakan makhluk hidup yang tidak kasat mata dan dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan apabila berkembang biak di dalam suatu ruangan. Bakteri paling sering ditemui adalah bakteri *legionella* sp, ditemukan pada *cooling tower*, air mancur publik, dan keran yang sudah tidak terawat. *Legionella* sp cenderung berkembang biak pada air hangat dan tenang ( $25^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$ ).

### 2.3.2. Ventilasi

Ventilasi digunakan sebagai media untuk pertukaran udara, dimana proses masuknya udara segar dari luar dan keluarnya polutan dari dalam ruangan. Pertukaran udara dapat terjadi karena adanya perbedaan tekanan suhu dan udara sekitar. Melalui proses pertukaran udara, maka polutan udara di dalam ruangan dapat dinetralkan.

Pada umumnya terdapat 2 fungsi ventilasi pada bangunan atau suatu ruang, yaitu *inlet* dan *outlet*. Beltran (2015) menyatakan jika besar bukaan *outlet* sama dengan besar bukaan *inlet* (pada ketinggian yang sama), pertukaran udara yang terjadi akan lebih optimum.

Pada umumnya, ventilasi terbagi menjadi 2 jenis yaitu :

- Ventilasi alami dimana pergantian udara terjadi secara alami tanpa bantuan peralatan mekanis seperti kipas atau penyejuk/pendingin udara (AC).
- Ventilasi mekanis dimana penghawaan ruangan menggunakan bantuan peralatan mekanis yang bertujuan untuk memperoleh kenyamanan suhu ruangan.

Terdapat beberapa standar besar bukaan minimum pada ventilasi alami untuk sirkulasi udara, yaitu :

- 5% dari luas lantai (SNI 03-6572-2001)
- 6 - 10% dari luas lantai (Permendikbud No.32 Tahun 2011)
- 20% dari luas lantai (Kep.Menkes.R.I No.1429 Tahun 2006)

Ventilasi alami merupakan media terjadinya proses pertukaran udara segar dari luar ruangan dengan udara dalam ruangan tanpa bantuan peralatan mekanis.

Ventilasi alami dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

- Ventilasi horizontal

Ventilasi horizontal dimana aliran udara terjadi bila terdapat perbedaan suhu udara luar dan dalam ruangan, seperti: ventilasi satu sisi (*single-sided ventilation*) dan ventilasi silang (*cross ventilation*).

- Ventilasi vertikal

Ventilasi vertikal dikenal sebagai *stack-effect ventilation* dimana udara dengan berat jenis rendah akan mengalir ke atas, sedangkan udara dingin dengan berat jenis lebih tinggi (udara luar) akan mengalir ke bawah ruangan.

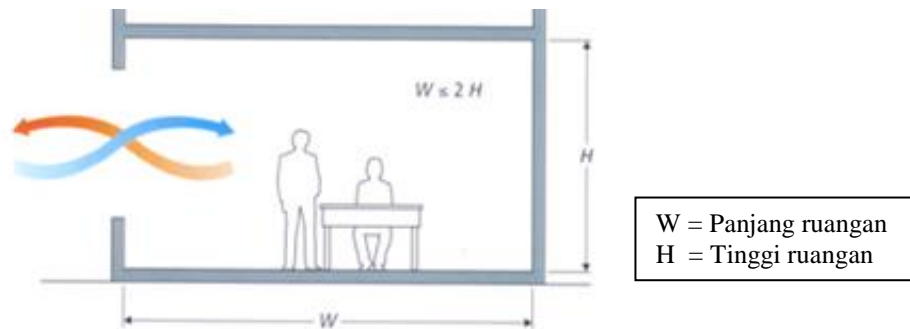


Sistem ventilasi dapat dirancang sehingga mendapatkan tingkat kenyamanan yang maksimal. Selain ventilasi, udara juga mengalir ke dalam ruang melalui bukaan-bukaan. Jendela merupakan salah satu bukaan yang dapat memaksimalkan sirkulasi udara. Perbedaan antara ventilasi dan jendela yaitu, ventilasi tidak dapat dibuka, sedangkan jendela dapat dibuka.

#### **2.3.2.1. Ventilasi Satu Sisi dan Ventilasi Silang**

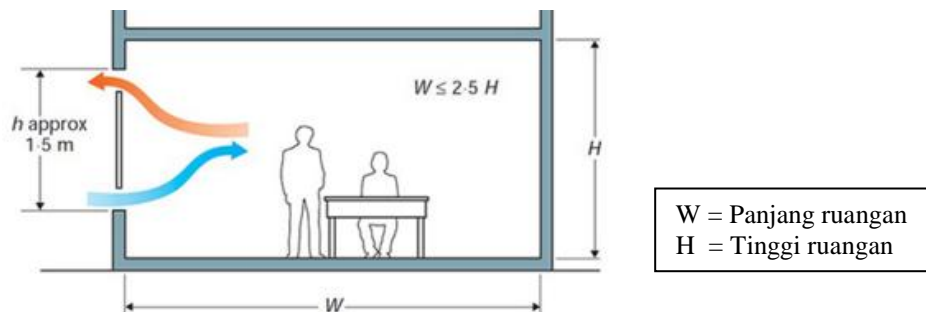
Pada sistem ventilasi satu sisi (*single sided ventilation*), ventilasi ditujukan untuk periode waktu yang singkat. Sistem ventilasi satu sisi tidak efektif untuk diterapkan di daerah beriklim tropis, karena pertukaran udara tidak terjadi dengan baik, sehingga udara dalam ruangan akan terasa tidak nyaman dan kurang baik untuk kesehatan. Pada musim panas, udara di dalam ruangan juga menjadi panas, maka jendela dibuka untuk menetralkan kembali suhu di dalam ruangan. Jendela dibuka untuk memastikan bahwa udara dari luar ruangan dapat masuk dengan cepat. Namun hal ini tidak efektif karena tidak terjadi pertukaran udara, sehingga di butuhkan 2 bukaan pada satu sisinya (*single sided ventilation double openings*) agar udara dapat bergantian keluar dan masuk.

Ventilasi silang (*cross ventilation*) terjadi jika ada bukaan pada kedua sisi (termasuk pintu). Udara masuk dari satu sisi kemudian keluar pada sisi lainnya. Ventilasi silang biasanya terjadi karena adanya perbedaan tekanan, selama udara melewati zona ruangan, temperatur udara akan naik dan udara dalam ruang akan kembali netral karena udara panas dan polutan dalam ruang bertukar dengan udara segar dari luar. Diantara sistem ventilasi satu sisi dan ventilasi silang, ventilasi silang merupakan tipe ventilasi yang paling ideal (Nugroho, 2013).



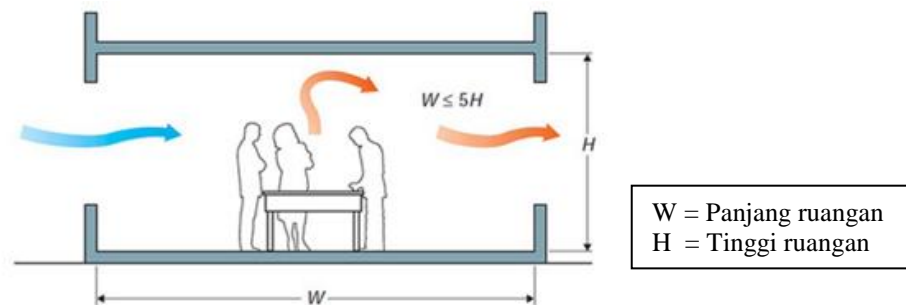
**Gambar 2.1** *Single Sided Ventilation.*

*Sumber : Dyke, 2014.*



**Gambar 2.2** *Single Sided Ventilation, Double Openings.*

*Sumber : Dyke, 2014.*



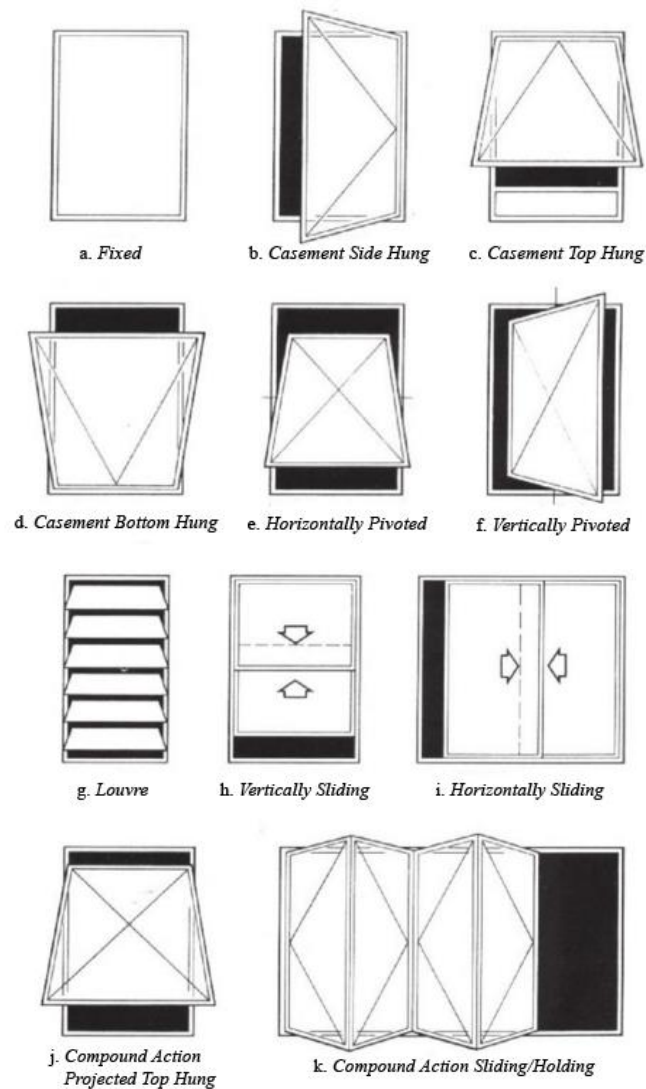
**Gambar 2.3** *Cross Ventilation.*

*Sumber : Dyke, 2014.*

#### 2.3.2.2. Jendela

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, jendela merupakan lubang yang dapat diberikan penutup, dan berfungsi sebagai tempat keluar masuknya

udara. Menurut Latifah (2015) dalam Fisika Bangunan 1, tipe jendela dapat dibedakan menjadi 11 jenis (Gambar 2.4).



**Gambar 2.4** Tipe Buka-an pada Jendela.

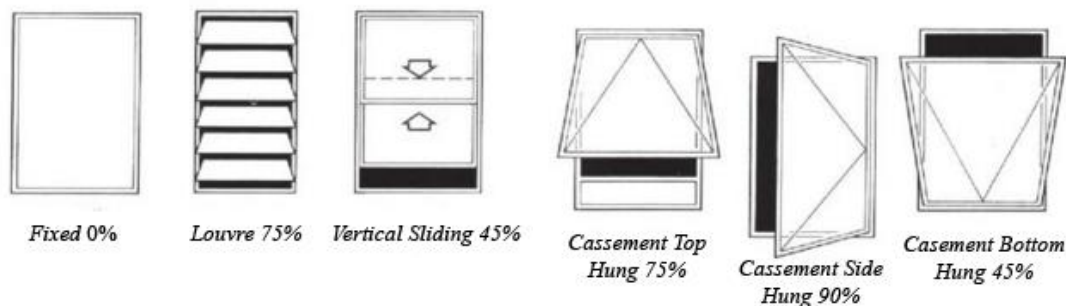
Sumber : Latifah, 2015 (dimodifikasi).

Berdasarkan tipe bukaan pada jendela pada gambar 2.4, arah gerak udara yang terjadi dalam ruang adalah sebagai berikut :

1. Ke arah atas ruang (*Casement top hung, horizontally pivoted, louvre, dan compound action projected top hung*)

2. Ke arah samping (*Casement side hung, vertically pivoted, vertically sliding, horizontally sliding, dan compound action sliding/folding*)
3. Ke arah bawah (*Casement bottom hung*)

Diantara berbagai jenis tipe jendela, *Casement Side Hung* merupakan tipe jendela yang paling efektif untuk laju udara (*airflow*/pergantian udara) dalam ruang.



**Gambar 2.5** Efektivitas *Airflow* Terkait Tipe Buka pada Jendela.

Sumber : Latifah, 2015 (dimodifikasi).

#### 2.4. Hubungan Tipe Jendela dengan Konsentrasi CO<sub>2</sub>

Grabe (2014) melakukan penelitian dengan mengkondisikan tipe jendela berbeda-beda dengan luas jendela yang sama (*double vertical slide, gantung samping, gantung bawah, gantung atas, horizontal pivot, dan vertical pivot*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jendela gantung atas dan gantung bawah memiliki performa yang tidak jauh berbeda dalam menetralkan konsentrasi CO<sub>2</sub>, namun memiliki performa yang paling buruk. Jendela *horizontal pivot* menunjukkan performa yang paling bagus dalam menetralkan CO<sub>2</sub> di dalam ruangan.

## **2.5. Penelitian Terkait**

### **2.5.1. Pengukuran Konsentrasi CO<sub>2</sub> di Dalam Ruangan pada Pengkondisian Ventilasi yang Berbeda**

Dalam jurnal berjudul *Effect of Different Ventilation Conditions on Indoor CO<sub>2</sub> Levels* oleh Sribanurekha dkk. yang berasal dari University of Moratuwa, Sri Lanka, penelitian dilakukan dengan pengkondisian ventilasi yang berbeda terhadap tingkat kadar konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan. Penelitian dilakukan dengan metode pembagian kuisisioner dan pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan. Ruangan dikondisikan dengan sistem ventilasi alami dan ventilasi mekanis pada 3 jenis bangunan, yaitu sekolah, perkantoran dan rumah sakit.

Proses pengukuran diawali dengan pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub>, temperatur dan kelembaban di luar dan di dalam ruangan. Sampel penelitian yaitu berupa aktivitas, jumlah pengguna ruangan dan jenis jendela. Kemudian penelitian dilakukan dengan mengkondisikan sistem ventilasi alami dengan 3 fase besar bukaan, yaitu : terbuka 100%, terbuka 50%, dan tertutup 100%. Pengukuran dilakukan selama 3 jam, dan diulang selama 2 kali agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Kemudian hasil pengukuran pada sistem ventilasi alami dan ventilasi buatan dibandingkan.

Pembagian kuisisioner dilakukan pada seluruh pengguna ruangan pada lokasi penelitian. Aspek utama yang diteliti adalah tingkat kepuasan dan permasalahan kesehatan pada lingkungan indoor. Hasil penelitian menggunakan kuisisioner ditemukan bahwa tingkat kepuasan berada pada ruangan dengan sistem

ventilasi alami lebih tinggi daripada sistem ventilasi mekanis.

Hasil penelitian setelah melakukan pengukuran adalah ditemukan bahwa kadar konsentrasi CO<sub>2</sub> berbanding terbalik dengan luas bukaan jendela. Ukuran, jumlah dan posisi jendela sangat berperan penting terhadap kualitas udara dalam ruangan. Perbedaan antara besar bukaan jendela 100% dan 50% tidak jauh berbeda, namun bila jumlah pengguna ruangan ditingkatkan, maka akan terdapat perbedaan kadar konsentrasi CO<sub>2</sub> yang jauh. Pada ruangan dengan sistem ventilasi mekanis, ditemukan bahwa AC central lebih bagus daripada AC split (kondisi tidak terawat). Kesimpulan pada penelitian ini ditemukan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> lebih tinggi pada ruangan dengan sistem ventilasi mekanis daripada ruangan dengan sistem ventilasi alami. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tidak adanya pertukaran udara pada sistem ventilasi mekanis.

### **2.5.2. Referensi Peletakan Alat Ukur Konsentrasi CO<sub>2</sub>**

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mahyuddin dan Awbi tentang tata cara untuk mengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam penelitian berkaitan dengan ventilasi, dijelaskan bahwa dari beberapa referensi penelitian yang ada, peletakan alat ukur pada ketinggian antara 0.75 - 1.80 meter, 1.00 - 1.20 meter menunjukkan angka yang paling diminati (menurut referensi dan kuisioner) (lihat Tabel 3.2). Menurut ASHRAE, ketinggian peletakan alat ukur disesuaikan dengan ketinggian zona bernafas.

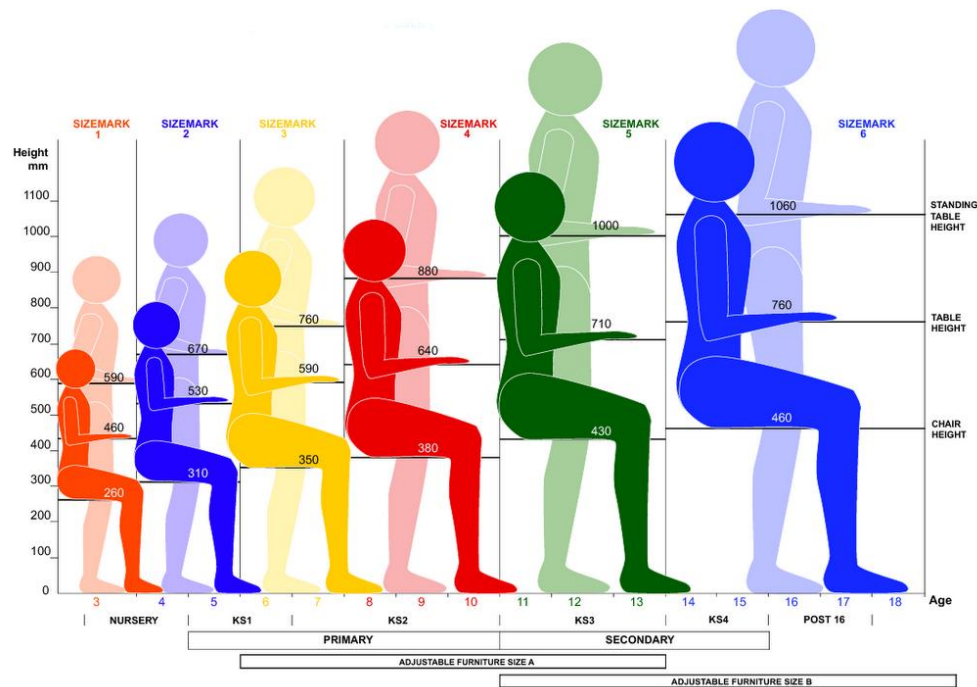
Dalam penelitian ini, pengguna ruangan merupakan anak-anak berusia 7 – 12 tahun dengan ketinggian rata-rata 120 cm untuk usia 7-9 tahun, dan untuk usia 10-12 tahun adalah 138 cm (laki-laki) dan 145 cm (perempuan) (Sumber:

Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi, 2004). Dalam posisi duduk, posisi kepala berada pada ketinggian 80-100 cm dari permukaan lantai (gambar 3.1).

**Tabel 2.2** Referensi Ketinggian Peletakan Alat Ukur CO<sub>2</sub>

Sumber	Ketinggian dari permukaan lantai (m)
ASHRAE 62.1, 2001	0.75 – 1.80 (600 mm dari dinding)
Taylor, 2005	0.90 – 1.80
ISO, 2004	1.00 – 1.50 (pada tengah ruangan)
ASTM D6245-07	2.00 dari pengguna ruangan
Willer et al. 2006	1.00
Fromme et al. 2007	
Weichenthal et al. 2008	
Chan et al. 2009	
Chung dan Hsu, 2001	1.20
Wong dan Huang, 2004	
Conceição dan Lúcio, 2006	
Guo dan Lewis, 2007	
Lee dan Chang, 2000	1.50
Lee et al. 2001	
Guo et al. 2008	
Chien et al. 2009	
Yang et al. 2009	
Shendell et al. 2004	Zona Bernafas
Miller et al. 2009	
Cheong dan Chong, 2001	-
He et al. 2005	
Zhao et al. 2006	
Chan et al. 2008	

*Sumber : Mahyuddin dan Awbi, 2012.*



**Gambar 2.6** Standar Ketinggian Anak pada Posisi Duduk.

*Sumber : The New British and European Standards for Chairs and Table for Educational Institutions, 2007.*

## 2.6. Sintesa Pustaka

Kualitas udara dipengaruhi oleh polutan yang terdapat pada dalam ruangan itu sendiri maupun polutan dari luar ruangan, oleh sebab itu pertukaran udara yang terjadi di dalam sebuah ruangan sangat berpengaruh atas baik buruknya kualitas udara. Ventilasi juga berpengaruh pada kualitas udara, khususnya ventilasi alami (sistem ventilasi satu sisi dan ventilasi silang). Sistem ventilasi silang dapat memberikan kualitas udara yang lebih baik karena pertukaran udara yang terjadi pada sistem ini lebih lancar. Berdasarkan teori, jika besar ventilasi telah memenuhi standar dan bersistem ventilasi silang maka hasil penelitian yang diperoleh seharusnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat memenuhi standar ASHRAE yaitu tidak melebihi 1000 ppm.



Pemilihan tipe jendela juga berpengaruh terhadap kualitas udara (konsentrasi CO<sub>2</sub>). Menurut Grabe (2014), tipe jendela gantung atas merupakan tipe jendela yang buruk dalam menetralkan konsentrasi CO<sub>2</sub> sedangkan menurut Manual Pembangunan Gedung Sekolah, jendela sekolah harus dirancang dengan tipe jendela gantung atas, sehingga dibutuhkan solusi untuk menetralkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas yaitu dengan meninjau pengaruh posisi sudut inklinasi jendela.

## BAB III


### METODA PENELITIAN

#### 3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan metode statistik deskriptif. Penelitian kuantitatif merupakan jenis penelitian yang berlandaskan kepada filsafat positivisme, dan digunakan untuk meneliti suatu populasi maupun sampel tertentu dengan menghasilkan data berupa angka/statistik (Sugiyono, 2009). Penelitian statistik deskriptif adalah suatu teknik analisis data dengan cara mendeskripsikan objek penelitian untuk memberikan pemahaman terhadap suatu situasi yang terjadi (Sinulingga, 2011).

Penelitian dibantu menggunakan alat ukur CO<sub>2</sub> meter data logger (Trotec BZ-30) untuk mengukur kadar konsentrasi CO<sub>2</sub>. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran akan dibandingkan dengan standar ASHRAE, kemudian ditarik kesimpulan.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Alat Ukur yang digunakan

	
Nama Alat Ukur	Trotec BZ-30 - CO <sub>2</sub> meter data logger
Fungsi Alat Ukur	Mengukur kadar konsentrasi CO <sub>2</sub>
Range Pengukuran	0 – 9.999 ppm CO <sub>2</sub>
Resolusi / Keakuratan Pengukuran	1 ppm ( $\pm 75$ ppm atau $\pm 5\%$ dari nilai pengukuran)
Dimensi / Berat	110 x 105 x 61 mm / 74 g
Sumber : <a href="https://www.trotec24.com/en-fi/measuring-instruments/data-loggers/bz30-co2-air-quality-data-logger.html">https://www.trotec24.com/en-fi/measuring-instruments/data-loggers/bz30-co2-air-quality-data-logger.html</a>	

### **3.2. Variabel Penelitian**

Variabel adalah segala sesuatu yang dapat memiliki nilai yang berbeda atau bervariasi (Sinulingga, 2011). Pada penelitian ini, terdapat 2 variabel, yaitu:

- Variabel bebas dimana variabel yang mempengaruhi pengukuran namun tidak dapat dikontrol, yaitu konsentrasi CO<sub>2</sub>
- Variabel terikat dimana merupakan faktor yang mempengaruhi pengukuran dan dapat dikontrol, yaitu sistem ventilasi, tipe jendela, dan sudut bukaan jendela.

Variabel terikat dikontrol pada kondisi yang sama agar hasil penelitian akurat (sistem ventilasi dan tipe jendela). Penelitian dilakukan dengan mengkondisikan sistem ventilasi silang dengan satu tipe jendela pada berbagai sudut bukaan.

### **3.3. Metoda Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan cara penelusuran melalui internet dan survei lokasi. Terdapat 2 jenis data pada umumnya yang dikumpulkan oleh peneliti, yaitu : data primer dan data sekunder.

#### **3.3.1. Data Primer**

Data primer merupakan data yang dikumpulkan oleh peneliti dari observasi dan pengukuran langsung di lapangan, serta dokumentasi foto.

Pengukuran langsung di lapangan dilakukan di dalam ruang kelas dengan sudut bukaan jendela yang berbeda. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan alat ukur (Tabel 3.1) pada lokasi penelitian selama beberapa hari (pada masa belajar dan istirahat) pada satu kelas dengan berbagai kondisi sudut bukaan

jendela. Pengkondisian bukaan pada jendela adalah dengan posisi sudut inklinasi jendela yang bervariasi, mulai dari  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Pengkondisian bukaan pada jendela dilakukan pada semua jendela yang dapat dibuka pada ruang kelas.

### **3.3.2. Data Sekunder**

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan peneliti dari penelusuran internet, survei lokasi dan wawancara. Data sekunder dalam penelitian ini berupa data sekolah, bentukan massa sekolah, luas sekolah, luas dan kondisi ruang kelas, dan jumlah siswa.

### **3.4. Populasi dan Sampel Penelitian**

Populasi adalah keseluruhan anggota yang membentuk objek untuk diteliti dalam suatu penelitian (Sinulingga, 2011). Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh Sekolah Dasar Negeri Medan yang tercatat di Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan. Terdapat 379 SDN yang terdapat pada 21 kecamatan di kota Medan, provinsi Sumatera Utara, Indonesia.

Sampel adalah sebuah subset dari populasi yang terdiri dari sejumlah elemen dari populasi yang ditarik melalui mekanisme tertentu sebagai sampel untuk tujuan tertentu (Sinulingga, 2011). Sampel penelitian ini didasarkan pada standar sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional No.24 Tahun 2007, yaitu :

- Memiliki minimum 6 dan maksimum 24 rombongan belajar
- Memiliki kapasitas kelas antara 28 – 32 orang siswa

- Memiliki minimal 1 ruang perpustakaan
- Terdapat pada satu kelompok permukiman permanen dalam jarak tempuh bagi peserta didik yang berjalan kaki maksimum 3 km melalui lintasan yang tidak membahayakan (kawasan permukiman penduduk).
- Bangunan sekolah telah berdiri selama lebih dari 20 tahun

Terdapat sebanyak 28 Sekolah Dasar Negeri di kota Medan, Sumatera Utara yang memenuhi syarat Peraturan Menteri Pendidikan Nasional No.24 Tahun 2007 (Tabel 3.3). Dari ke-28 sekolah tersebut, peneliti mencari sekolah yang memenuhi kriteria dengan cara survey langsung ke lokasi dan pengamatan. Kriteria yang ditentukan adalah sebagai berikut:







- Memiliki sistem ventilasi silang dengan tipe jendela gantung atas (*top hung*) dan jendela pada tampak depan dan belakang kelas (kedua sisi)
- Memiliki ruang kelas dengan ventilasi sebesar 20% (diambil dari standar yang paling tinggi)
- Memiliki ketinggian jendela yang lebih tinggi pada muka bangunan (area teras).

Menurut Manual Pembangunan Sekolah yang dikeluarkan oleh Departemen Pendidikan Nasional, jendela pada ruang kelas yang menghadap bagian muka bangunan memiliki ketinggian dinding yang lebih tinggi, hal ini bertujuan untuk menjaga privasi pada ruang kelas dari orang-orang yang melewati area teras.

**Tabel 3.2** Kriteria Pengambilan Sampel Penelitian

Kecamatan	Sekolah	Alamat	Sistem Ventilasi Silang	Jendela Gantung Atas	Ventilasi 20%	Ketinggian Jendela	Keterangan
Tuntungan	SDN 066038	Jl.Irigasi No.44	✓	✓	×	×	
Johor	SDN 060900	Jl.Brigjend Zein Hamid Km. 7 Gg. Tapian Nauli	✓	×	×	×	  <p>Side hung pada satu sisi</p>
Denai	SDN 065853	Jl.Tanggul Bongkar 9	✓	×	✓	×	 <p>Side hung pada kedua sisi</p>
Maimun	SDN 060907	Jl.Pasar Senen	✓	✓	✓	×	 <p>Top hung pada satu sisi</p>
Petisah	SDN 067954	JLKejaksaan No.37	✓	×	✓	×	 <p>Terdapat pada jalan besar, jendela louvre</p>

Barat	SDN 064013	Jl.karya II	-	-	-	-	Tidak ditemukan
Timur	SDN 064965	Jl.Sido Dame	✓	✓	×	×	
Timur	SDN 067098	Jl.Pendidikan	✓	×	×	×	  Side hung
Selayang	SDN 065013	JL.Setia Budi Gg. Inpres	✓	✓	✓	×	  Top hung pada satu sisi
Selayang	SDN 067245	Jl.Bunga Asoka	✓	✓	×	×	  Top hung pada satu sisi

Sunggal	SDN 060916	Jl.Sunggal	✓	×	✓	×	 <p>Terdapat pada jalan besar, jendela louvre</p>
Helvetia	SDN 064981	Jl.Cempaka	✓	×	✓	×	 <p>Jendela Louvre pada satu sisi</p>
Helvetia	SDN 066045	Jl.Melur 1	✓	✓	✓	×	 <p>Top hung pada satu sisi</p>
Helvetia	SDN 066046	Jl.Tanjung	✓	✓	✓	✓	  <p>Top hung pada kedua sisi</p>
Tembung	SDN 064037	Jl.Letda Sujono Gg Istirahat	✓	✓	×	×	 <p>Top hung pada kedua sisi</p>



Tembung	SDN 064973	Jl.bhayangkara 367 D	✓	✓	✓	×	  <p>Top hung pada kedua sisi</p>
Tembung	SDN 064974	Jl.Letda Sujono Gg.Abdul Halim Nur no.18	✓	✓	×	×	  <p>Koridor sekolah terdapat banyak bangku dan meja</p>
Deli	SDN 067254	Jl. Lk. V Kota Bangun	-	-	-	-	Tidak ditemukan
Amplas	SDN 067258	Jl.Swadaya	✓	×	✓	×	  <p>Jendela louvre campur top hung pada satu sisi</p>

Area	SDN 060794	Jl Ar Hakim Gg Taruna	✓	✓	x	x	  <p>Top hung pada kedua sisi</p>
Area	SDN 064958	Jl Ar Hakim Gg Rahayu	✓	✓	x	x	  <p>Top hung pada kedua sisi</p>
Belawan	SDN 064004	Jl.Pulau Nias	✓	x	✓	x	 <p>Jendela louvre pada kedua sisi</p>
Belawan	SDN 066669	Jl.Kelapa	✓	✓	x	x	 <p>Top hung pada satu sisi</p>

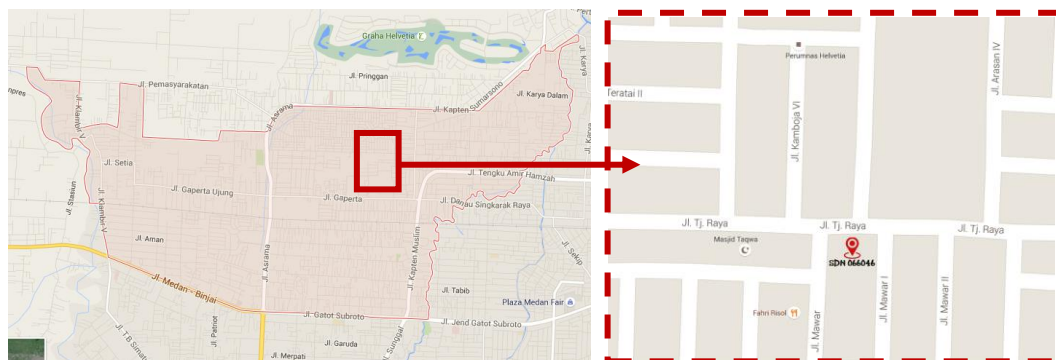
Belawan	SDN 065006	Jl. Penghubung	✓	×	×	×	  <p>Jendela louvre pada kedua sisi</p>
Labuhan	SDN 060953	Jl. Pancing IV	-	-	-	-	Tidak ditemukan
Labuhan	SDN 060949	Jl. KL. Yos Sudarso Km. 17.5	✓	✓	×	×	 <p>Terdapat pada jalan besar, top hung pada kedua sisi</p>
Labuhan	SDN 067265	Jl. Batang Kilat	✓	×	✓	×	  <p>Tampak depan top hung, tampak belakang jendela louvre</p>
Marelan	SDN 067261	Jl. Sehat P Indah	✓	×	✓	×	 <p>Jendela louvre pada kedua sisi</p>

Berdasarkan tabel 3.2, maka terdapat 1 sekolah yang memenuhi kriteria seperti yang telah dibahas sebelumnya, yaitu SDN 066046 Kecamatan Medan Helvetia. SDN 066046 memiliki jendela pada kedua sisi ruangan dan dengan ketinggian jendela 1.21 meter diatas permukaan lantai pada sisi yang menghadap area teras dan 0.90 meter diatas permukaan lantai untuk sisi lainnya. SDN 066046 memiliki ruang kelas sesuai dengan kriteria, oleh karena itu SDN 066046 terpilih menjadi objek penelitian.

### 3.5. Gambaran Umum Objek Penelitian

#### 3.5.1. Perincian Data Lokasi Penelitian

SDN 066046 berlokasi di Jalan Tanjung Perumnas Helvetia, Kecamatan Medan Helvetia. Sekolah ini memiliki luas lahan sebesar 3.991 m<sup>2</sup>, dengan bentuk bentukan massa berupa bentuk U. SDN 066046 berbatasan dengan sekolah SDN 064982 sehingga membentuk sebuah bentukan massa O.



**Gambar 3.1** Peta Kecamatan Medan Helvetia.

*Sumber : Google Maps, 2016.*



**Gambar 3.2** Kawasan SDN 066046.

*Sumber : Google Earth, 2016.*

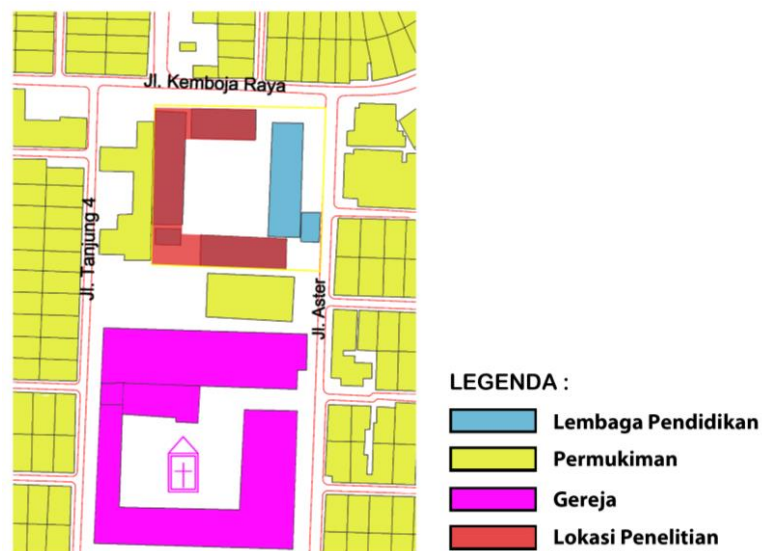


**Gambar 3.3** Lokasi SDN 066046.

*Sumber : Google Earth, 2016.*

Lokasi SDN 066046 berbatasan dengan :

- a. Sebelah Timur : SDN 064982
- b. Sebelah Barat : perumahan penduduk
- c. Sebelah Utara : perumahan penduduk
- d. Sebelah Selatan : gereja



**Gambar 3.4** Tata Guna Lahan Lokasi Penelitian.

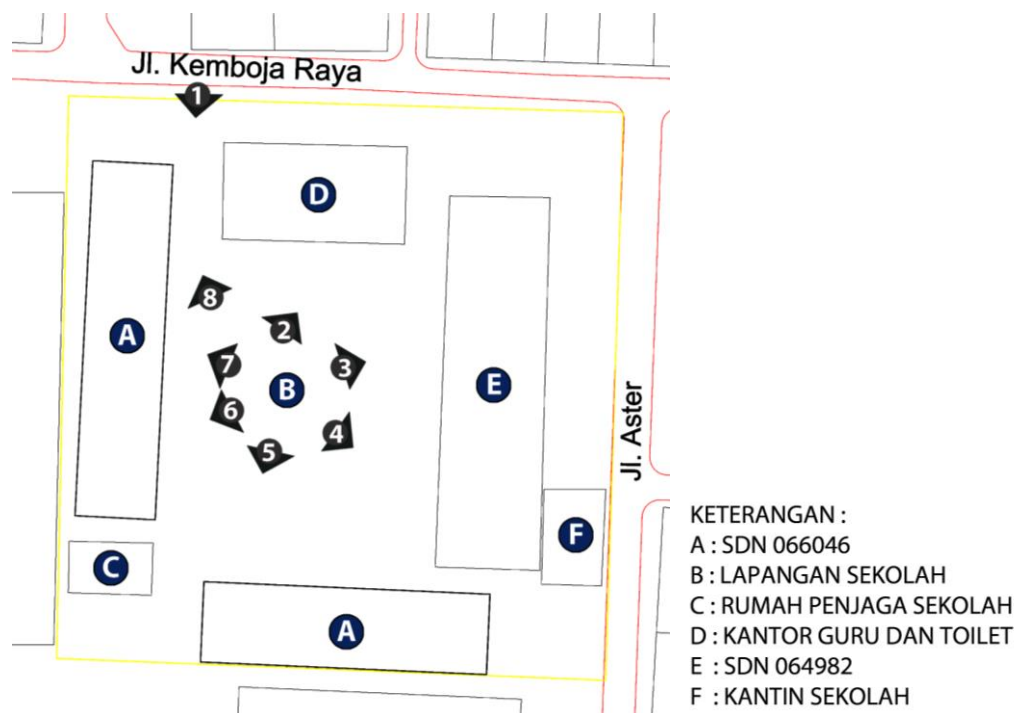
*Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2016.*

Berikut merupakan rincian data dari SDN 066046 dengan kelas jalan lingkungan di Kecamatan Medan Helvetia.

**Tabel 3.3** Data SDN 066046

SDN 066046	
NPSN	10220729
Tahun Pendirian	1992
Jam Operasional	07.30 – 12.05
Jumlah Siswa	302
Jumlah Rombel	10
Jumlah Kelas	9
Kapasitas Kelas	± 30

Sumber : <http://dapo.dikdas.kemdikbud.go.id/rpt/w/076000>



**Gambar 3.5** Key Plan Kawasan SDN 066046.

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2016.





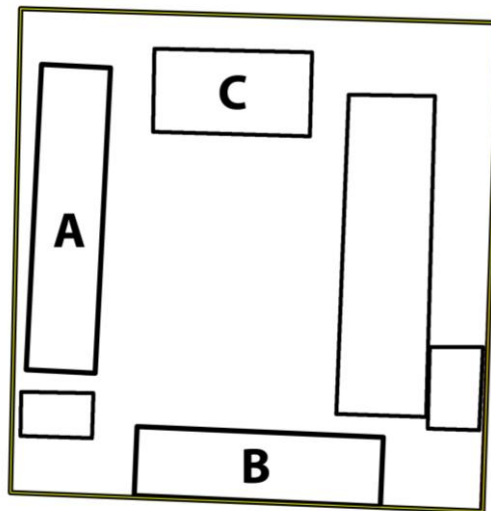
**Gambar 3.6** Suasana di SDN 066046

*Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2016.*

### **3.5.2. Bangunan dan Ruang Kelas sebagai Objek Penelitian**

Jumlah kelas SDN 066046 adalah 9 ruang kelas. SDN 066046 memiliki 3 massa bangunan, dengan 1 massa bangunan berlantai dua, dan dua massa lainnya berlantai 1, terdiri atas :

- massa pertama (A) berlantai satu, terdiri dari 5 ruang kelas
- massa kedua (B) berlantai dua, pada lantai 1 terdiri dari 4 kelas pada masing-masing lantai (1 ruang yang paling kiri merupakan sebuah ruang yang lebih kecil dari ruang lainnya, berfungsi sebagai kelas agama), pada lantai 2, SDN 066046 hanya memiliki 1 ruang kelas, dan 3 ruang kelas lainnya merupakan milik SDN 064982
- massa ketiga (C) merupakan kantor kepala sekolah dan guru, serta toilet sekolah.



**Gambar 3.7** Blok Massa SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.8** Kondisi Kelas pada Massa A

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.9** Kondisi Kelas pada Massa B

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

### 3.5.3. Tipe Jendela Objek Penelitian

Tipe jendela ruang kelas pada massa A dan massa B adalah sama yaitu tipe jendela gantung atas (*Top Hung*), namun pada massa A, tipe jendela yang digunakan adalah kombinasi antara jendela gantung atas dan *fixed*. Jendela pada massa A dan massa B memiliki ukuran yang berbeda. Jendela pada massa A



(Gambar 3.11) memiliki ketinggian dari permukaan lantai yang berbeda antara bagian depan (arah teras) dan bagian belakangnya, sedangkan jendela pada massa B (Gambar 3.12) memiliki ketinggian dari permukaan lantai yang sama.

Jendela pada massa A berada dalam kondisi dimana karena suatu alasan, pihak sekolah harus mengambil tindakan untuk memaku jendela bagian belakang sekolah agar tidak dapat dibuka. Hanya beberapa jendela saja yang dapat dibuka pada bagian belakang sekolah. Jendela pada massa B masih dalam kondisi dapat dibuka depan dan belakang namun memiliki hak angin yang hanya dapat dibuka dengan sudut yang terbatas (Gambar 3.14). Jendela pada massa A memiliki hak angin yang dapat dimodifikasi sudut bukaanannya, sehingga menjadi pilihan yang tepat dalam melakukan penelitian ini (Gambar 3.13).



**Gambar 3.10** Jendela pada Massa A

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.11** Jendela pada Massa B

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.12** Hak Angin Jendela  
Massa A

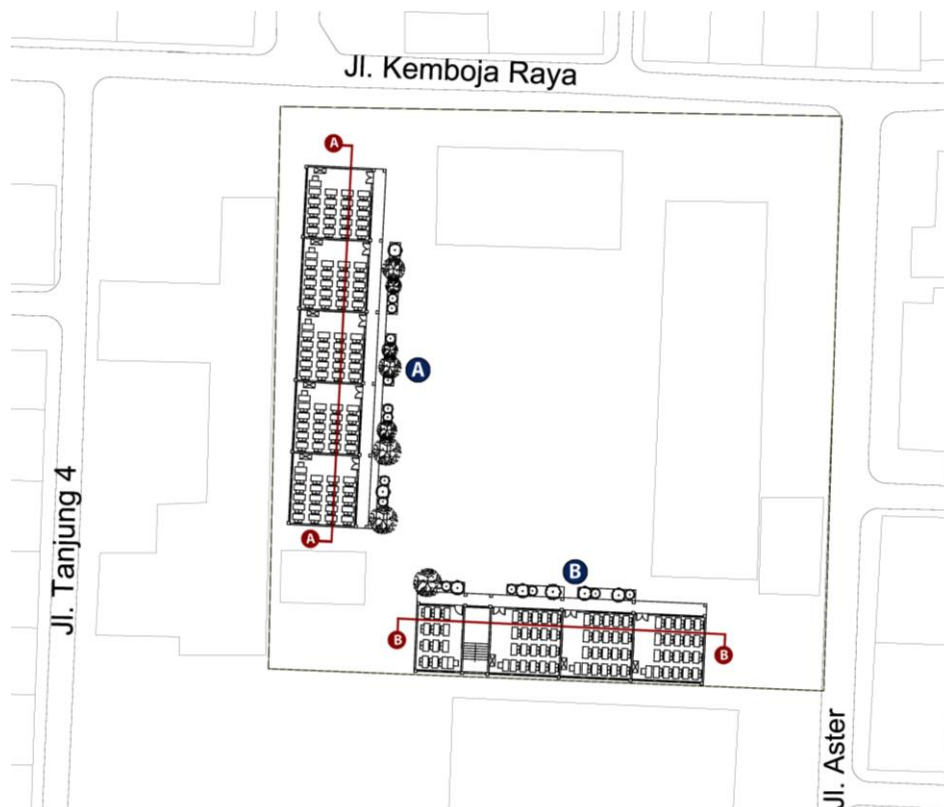
*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.13** Hak Angin Jendela  
Massa B

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

#### 3.5.4. Kondisi Fisik Objek penelitian



**Gambar 3.14** Ground Plan SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.15** Denah SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



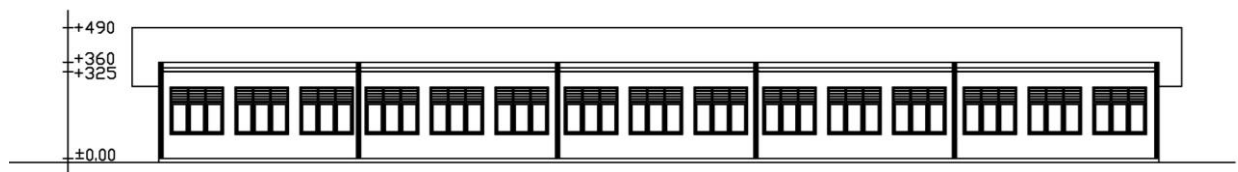
**Gambar 3.16** Tampak A SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



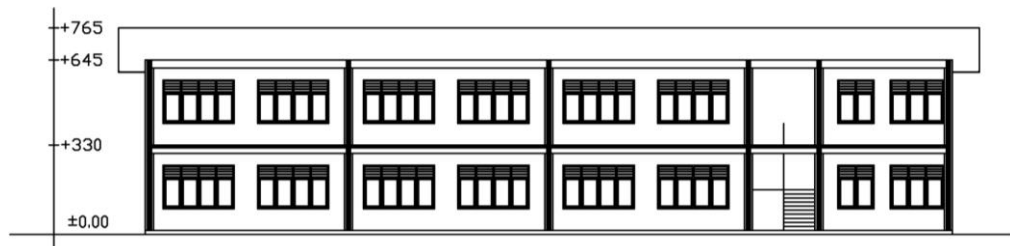
**Gambar 3.17** Tampak B SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.18** Potongan A-A SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.19** Potongan B-B SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Berdasarkan Manual Pembangunan Sekolah yang dikeluarkan oleh Departemen Pendidikan Nasional, maka ruang kelas pada massa A memenuhi syarat dimana jendela pada ruang kelas yang menghadap bagian muka bangunan (area teras) memiliki ketinggian dinding yang lebih tinggi dengan rincian sebagai berikut :

**Tabel 3.4** Data Ketinggian Jendela dari Permukaan Lantai

Bangunan	Bagian Depan Kelas	Bagian Belakang Kelas
Massa A	1.21 m	0.90 m
Massa B	0.80 m	0.80 m

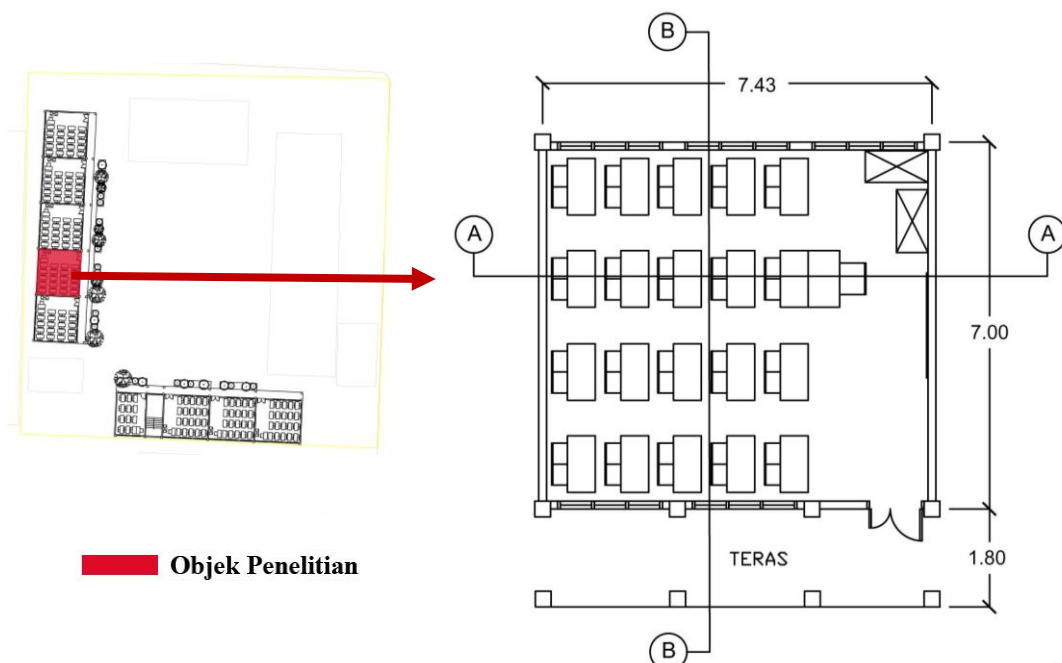
Ruang kelas yang terdapat pada bangunan massa A yaitu :

- Kelas I, ukuran 7 x 7.4 m
- Kelas III (2 ruang), ukuran 7 x 7.4 m
- Kelas V, ukuran 7 x 7.4 m
- Kelas VI, ukuran 7 x 7.4 m

Ruang kelas yang terdapat pada bangunan massa B yaitu :

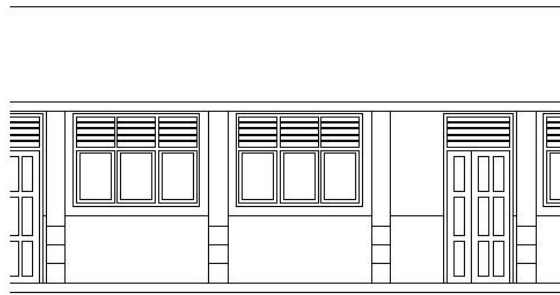
- Kelas II, ukuran 7 x 7.4 m
- Kelas III pada lantai 1, ukuran 7 x 7.4 m
- Kelas III pada lantai 2, ukuran 7 x 7.4 m
- Kelas IV, ukuran 7 x 7.4 m

Dari perincian data ruang kelas di atas, maka penelitian dilakukan pada ruang kelas V karena memiliki jadwal pelajaran yang paling lama pada bangunan massa A yaitu dari jam 7.30 - 12.05 pada hari Senin sampai Kamis, jam 7.30 – 10.40 pada hari Jumat, serta jam 7.30 – 10.00 pada hari Sabtu, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 74 Tahun 2008 Tentang Guru yaitu beban kerja guru adalah paling sedikit memenuhi 24 jam tatap muka dalam 1 minggu pada satu atau lebih satuan pendidikan. Berikut ini merupakan denah ruang kelas V pada SDN 066046.



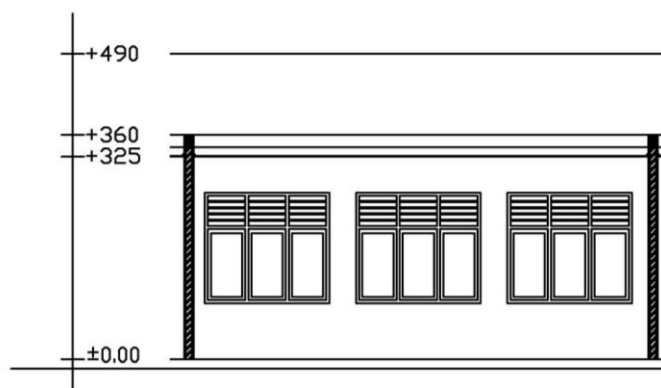
**Gambar 3.20** Denah Ruang Kelas V SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



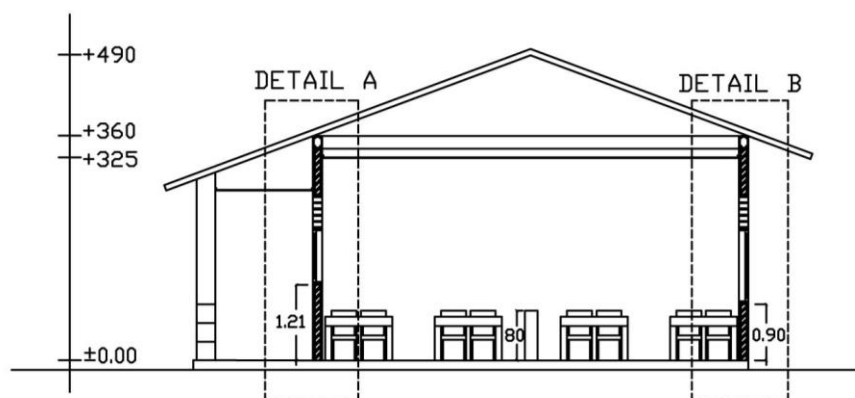
**Gambar 3.21** Tampak Ruang Kelas V SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



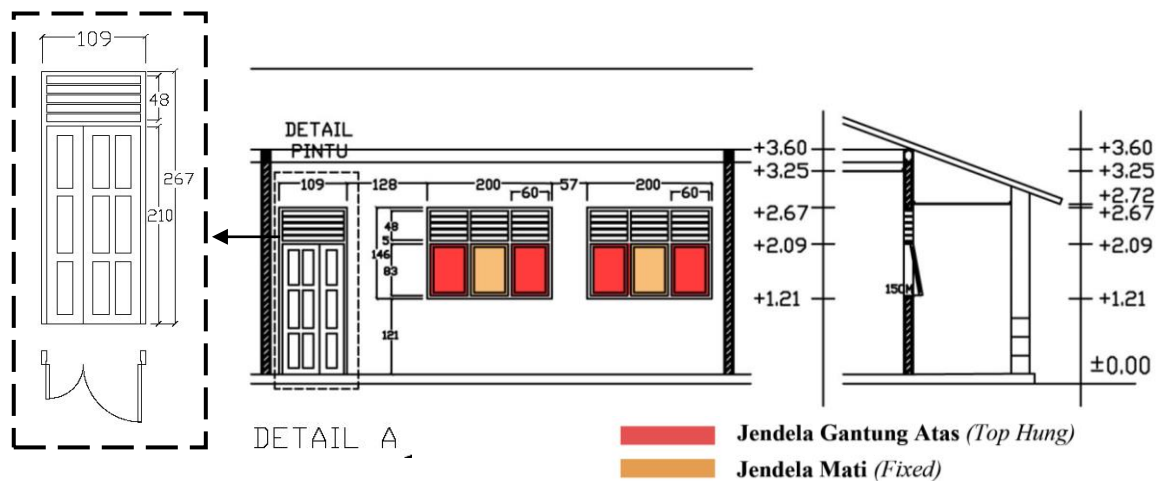
**Gambar 3.22** Potongan A-A Ruang Kelas V SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



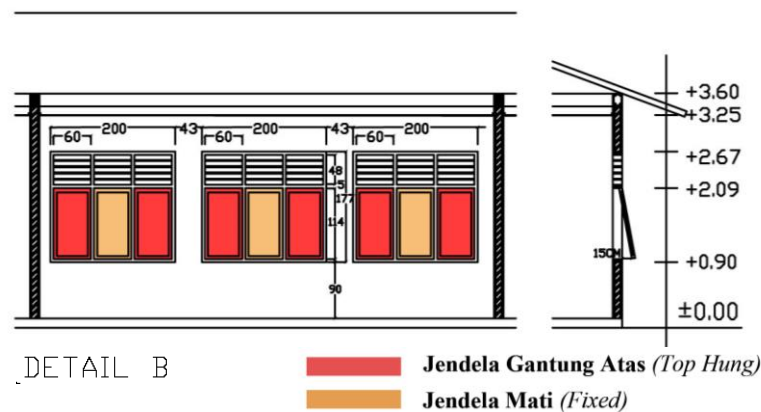
**Gambar 3.23** Potongan B-B Ruang Kelas V SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.24** Jendela Depan Ruang Kelas V SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.25** Jendela Belakang Ruang Kelas V SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Jendela pada ruang kelas V memiliki 2 set jendela (A) pada sisi depan (area teras) sekolah dan 3 set jendela (B) pada sisi belakang sekolah dengan ukuran ketinggian yang berbeda.

Ruang kelas V memiliki luas lantai sebesar 52 m<sup>2</sup>, oleh karena itu luas ventilasi dan jendela pada ruang kelas V memenuhi standard 20% dari luas lantai, dengan rincian sebagai berikut :

**Tabel 3.5** Data Luas Buka-an pada Ruang Kelas V

<b>Tipe</b>	<b>Panjang (m)</b>	<b>Lebar (m)</b>	<b>Jumlah Daun Jendela</b>	<b>Jumlah Daun Jendela Mati</b>	<b>Luas Jendela Gantung Atas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Luas Ventilasi (m<sup>2</sup>)</b>
<b>A</b>	0.83	0.60	6	2	1.99	0.30
<b>B</b>	1.14	0.60	9	3	4.10	0.30
<b>Total</b>					6.09	4.50
<b>Pintu</b>	2.10	1.09	1	-	2.29	0.55
<b>Total</b>					8.38	5.05

### 3.6. Metoda Pengukuran

Berikut merupakan metoda pengukuran terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> yang akan dilakukan di dalam ruang kelas :

-Sekolah terpilih dengan metode *purposive*, kemudian dilakukan survey langsung ke lokasi.

-Dilakukan wawancara dan pengamatan terhadap lokasi penelitian. Setelah itu ditetapkan bahwa penelitian dilakukan di ruang kelas V SD.

-Pengukuran dilakukan dengan pengkondisian pintu dan jendela terbuka (sudut inklinasi jendela yang berbeda-beda). Pengukuran dilakukan selama beberapa hari (pada masa belajar dan istirahat ; 07.30 – 12.05 kecuali hari Jumat 07.30 – 10.40 dan Sabtu jam 07.30 – 10.00) pada masing-masing posisi sudut inklinasi jendela.

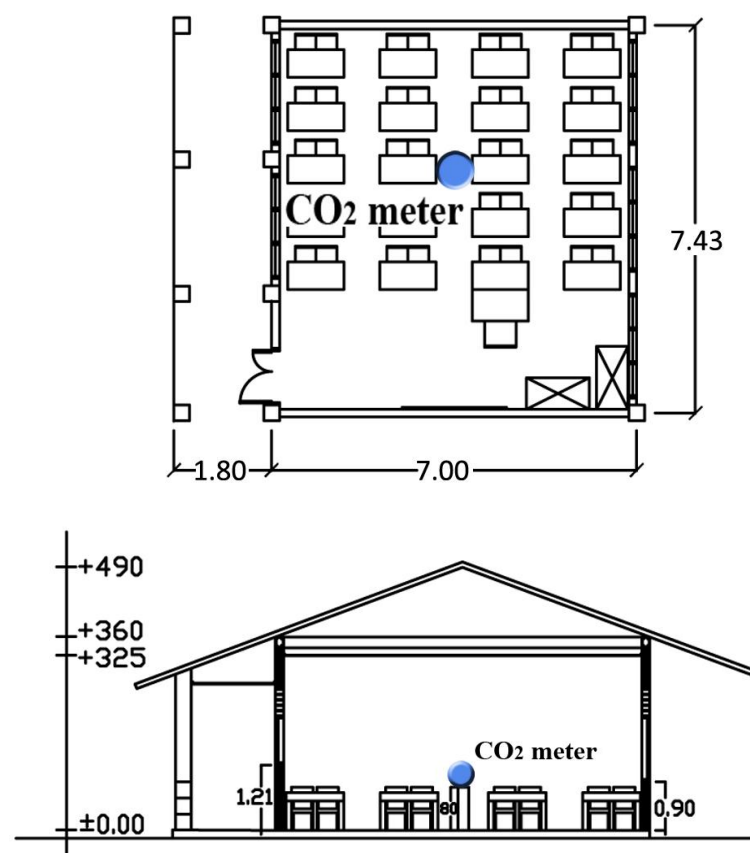
-Pengukuran dilakukan pada ketinggian zona bernafas sesuai dalam penelitian Shendell, dkk dan Miller, dkk dalam Mahyuddin dan Awbi (2012)). CO<sub>2</sub> meter diletakkan pada ketinggian 80 cm dari permukaan lantai sesuai dengan ketinggian



zona bernafas anak-anak pada lokasi penelitian (di atas sebuah kotak (Gambar 3.30)) dan berada di tengah ruangan (Gambar 3.29).

-Pengukuran dilakukan dengan meletakkan alat, kemudian alat diambil kembali setelah para siswa pulang sekolah.

-Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit, kemudian setelah data diperoleh, disajikan dalam bentuk grafik.



**Gambar 3.26** Peletakan Alat Ukur pada Ruang Kelas SDN 066046

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



**Gambar 3.27** Kotak sebagai Tempat Peletakan Alat Ukur

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

### **3.7. Metoda Analisa Data**

Setelah data terkumpul, hasil pengukuran disajikan dalam bentuk grafik. Grafik dibuat berdasarkan hasil pengukuran kadar konsentrasi CO<sub>2</sub> pada masing-masing kondisi sudut bukaan jendela, sehingga grafik tersebut dapat dibandingkan dan disimpulkan bahwa kualitas udara pada berbagai sudut bukaan jendela telah memenuhi standar ataupun belum. Masing-masing grafik dijelaskan secara deskriptif melalui penjabaran kalimat.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pengaruh posisi sudut inklinasi jendela tipe gantung atas terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> dilakukan di dalam ruang kelas V SDN 066046 yang berada di jalan tanjung, kecamatan Helvetia, dengan luas lahan  $\pm 3.991 \text{ m}^2$ . Pengukuran dilakukan dengan 1 buah CO<sub>2</sub> meter data logger dan diletakan di tengah-tengah para siswa.



**Gambar 4.1** Peletakan CO<sub>2</sub> Meter di Lokasi

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Pengkondisian pada saat pengukuran adalah semua jendela dibuka. Namun karena suatu kondisi, tidak semua jendela pada ruang kelas V di SDN 066046 dapat dibuka. Berikut ini merupakan kondisi jendela pada ruang kelas V :



■ Jendela dapat dibuka  
■ Jendela tidak dapat dibuka

**Gambar 4.2** Kondisi Jendela pada Ruang Kelas V

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Pengukuran dilakukan dengan mengkondisikan sudut inklinasi jendela pada  $0^\circ$ ,  $10^\circ$  (bukaan maksimal eksisting), dan  $30^\circ$  selama beberapa minggu dengan rincian sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Rincian Pengkondisian Jendela pada saat Penelitian

Sudut Inklinasi Jendela	Keterangan	Jumlah Hari	Tanggal
$0^\circ$	Semua Tutup	2	29 – 30 April 2016
$10^\circ$	Jendela Terbuka*	3	20, 21, dan 25 April 2016
$30^\circ$	Jendela Terbuka*	4	9 – 12 Mei 2016

\*) Keterangan :



**Gambar 4.3** Pengkondisi Jendela pada Ruang Kelas V pada Saat Penelitian

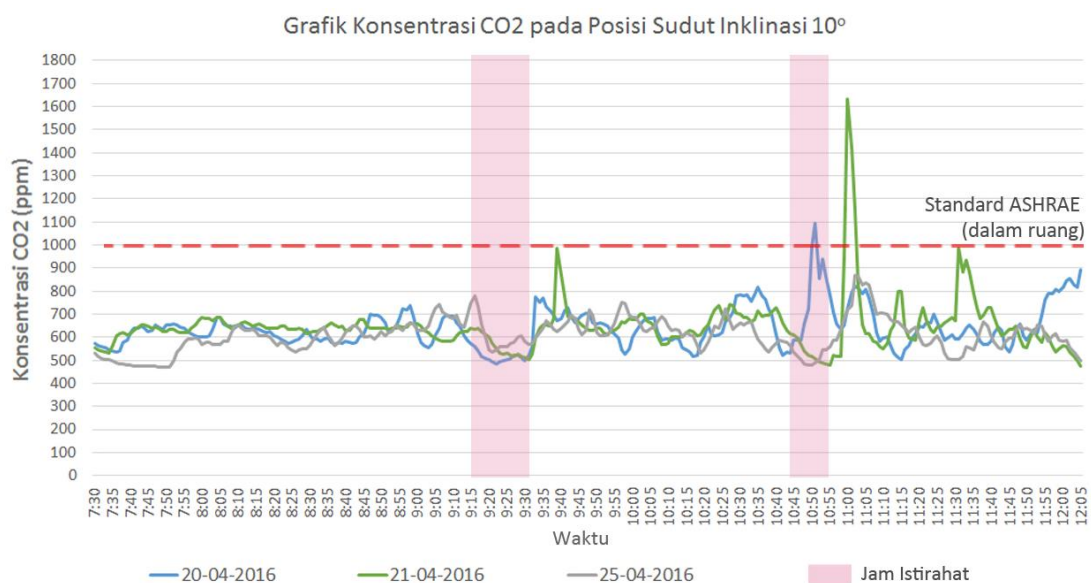
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.

### 1) Pengukuran pada Posisi Sudut Inklinasi Jendela 10°

Tanggal : 20, 21 dan 25 April 2016

Waktu : 07.30 – 12.05

Berikut merupakan grafik hasil pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 10° selama 3 hari pengukuran.



**Grafik 4.1** Grafik Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada Posisi Sudut 10°

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Range konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan pada saat posisi sudut inklinasi jendela 10° adalah 471 – 1631 ppm selama 3 hari pengukuran. Berikut merupakan fase kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 10° :

Hari 1 : 10.50 – 10.51 (1095 ppm)

Hari 2 : 09.39 (988 ppm) ; 10.59 – 11.02 (1631 ppm) ; 11.33 (936 ppm)

Hari 3 : tidak ada fase yang melewati nilai 1000 ppm

Konsentrasi CO<sub>2</sub> mencapai nilai maksimal yaitu 1631 ppm pada hari Kamis, tanggal 21 April 2016. Jika dilihat dari grafik, konsentrasi CO<sub>2</sub> pada lokasi penelitian pada posisi sudut inklinasi jendela 10° masih mencapai standard kenyamanan meskipun konsentrasi CO<sub>2</sub> naik turun secara drastis pada waktu-waktu tertentu saja. Rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> senilai 606 - 644 ppm selama 3 hari pengukuran. Jika dilihat dari pola grafik konsentrasi CO<sub>2</sub> pada saat jam istirahat, penurunan konsentrasi CO<sub>2</sub> terjadi pada saat jam istirahat dan konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik pada saat jam istirahat berakhir.

Nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> pada jam istirahat pertama (jam 09.15 – 09.30) :

Hari 1 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 574 ppm kemudian perlahan menurun pada nilai 484 ppm (jam 09.22), kemudian perlahan naik lagi pada jam 09.31 dengan nilai 520 ppm hingga 775 ppm mencapai puncaknya (jam 09.33).

Hari 2 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 637 ppm (konsentrasi CO<sub>2</sub> pada hari kedua pengukuran sedikit lebih tinggi). Kemudian terus menurun hingga nilai 503 ppm pada jam 09.31. Setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik hingga mencapai nilai 988 ppm pada jam 09.39.

Hari 3 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 746 ppm (konsentrasi CO<sub>2</sub> pada hari ketiga lebih tinggi daripada hari-hari sebelumnya). Kemudian menurun pada nilai 536 ppm pada jam 09.21, dan kembali naik lagi pada nilai 607 ppm pada jam 09.29, dan turun kembali pada nilai 570 ppm pada jam 09.31. Setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali pada range 600an ppm.

Nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> pada jam istirahat kedua (jam 10.45 – 10.55) :

Hari 1 : pada pukul 10.45, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 587 ppm kemudian perlahan naik hingga mencapai nilai 1095 ppm (jam 10.51), kemudian perlahan turun pada range nilai 700 - 800 ppm hingga pada jam 10.58 mencapai nilai 632 ppm, kemudian kembali naik pada nilai 832 ppm pada jam 11.02 dan kembali naik perlahan.

Hari 2 : pada pukul 10.45, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 611 ppm. Kemudian perlahan menurun pada nilai 480 ppm pada jam 10.55. Setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik dan mencapai nilai 1631 ppm pada jam 11.00 dan kemudian perlahan turun lagi pada menit-menit berikutnya.

Hari 3 : pada pukul 10.45, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 537 ppm, kemudian menurun pada nilai 480 ppm pada jam 10.49, dan kembali naik perlahan hingga jam 11.02 senilai 869 ppm dan kembali menurun pada menit-menit berikutnya.

Berdasarkan keterangan diatas, dapat dijelaskan bahwa aktivitas dan jumlah pengguna ruangan berpengaruh pada nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas. Dalam beberapa hari pengamatan, pada jam istirahat, para siswa mayoritas berada di luar ruang kelas dan bermain di luar kelas (halaman sekolah).

## 2) Pengukuran pada Posisi Sudut Inklinasi Jendela 0°

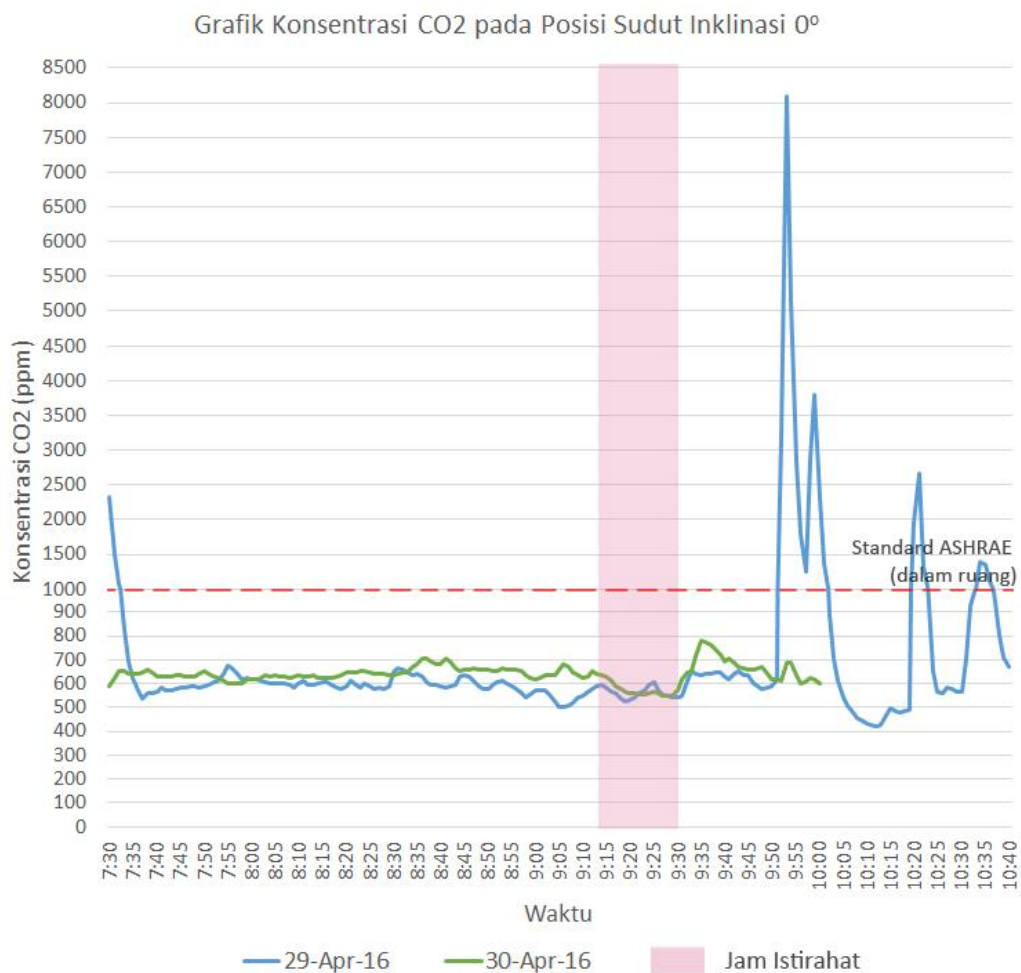
Tanggal : 29 dan 30 April 2016

Waktu : tanggal 29 jam 7.30 – 10.40

tanggal 30 jam 7.30 – 10.00

(sesuai dengan jadwal pelajaran sekolah)

Untuk pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0° hanya dilakukan selama 2 hari karena keterbatasan waktu (siswa akan melaksanakan ujian sekolah). Tanggal 29 dan 30 April 2016 merupakan hari Jumat dan Sabtu, sehingga jadwal pelajaran berakhir pada jam 10.40 (Hari Jumat) dan jam 10.00 (Hari Sabtu). Pengukuran disesuaikan dengan jadwal belajar siswa. Berikut merupakan grafik hasil pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0°



**Grafik 4.2** Grafik Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada Posisi Sudut 0°

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*



Range konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan pada saat posisi sudut inklinasi jendela 0° adalah 423 – 8087 ppm selama 2 hari pengukuran. Berikut merupakan fase kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 10° :

Hari 1 : 09.52 – 10.01 (8087 ppm)

10.20 – 10.22 (2665 ppm)

10.33 – 10.36 (1392 ppm)

Hari 2 : tidak ada fase yang melewati nilai 1000 ppm

Konsentrasi CO<sub>2</sub> mencapai nilai maksimal yaitu 8087 ppm pada hari Jumat, tanggal 29 April 2016. Jika dilihat dari grafik, konsentrasi CO<sub>2</sub> pada lokasi penelitian pada posisi sudut inklinasi jendela 0° masih mencapai standard kenyamanan dengan rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> senilai 639 - 785 ppm selama 3 hari pengukuran.

Pola grafik konsentrasi CO<sub>2</sub> pada saat jam istirahat, dimana penurunan konsentrasi CO<sub>2</sub> terjadi pada saat jam istirahat dan konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik pada saat jam istirahat berakhir masih dapat terlihat.

Pada hari Jumat dan Sabtu, jam istirahat hanya pada jam 09.15 – 09.30, dengan rincian konsentrasi CO<sub>2</sub> sebagai berikut :

Hari 1 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 593 ppm kemudian perlahan menurun pada nilai 524 ppm (jam 09.19), perlahan naik pada nilai 606 ppm (jam 09.25), kemudian menurun lagi pada nilai 542 ppm (jam 09.30), setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> naik dari nilai 549 ppm hingga mencapai puncaknya pada jam 09.43 (655 ppm).

Hari 2 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 629 ppm (konsentrasi CO<sub>2</sub>

pada hari kedua pengukuran sedikit lebih tinggi). Kemudian perlahan menurun pada range nilai 548 – 588 ppm hingga jam 09.30. Setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik mencapai range nilai 617 – 781 ppm dan mencapai nilai 781 ppm pada jam 09.35.

Berdasarkan keterangan diatas, masih dapat dijelaskan bahwa aktivitas dan jumlah pengguna ruangan berpengaruh pada nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas.

### 3) Pengukuran pada Posisi Sudut Inklinasi Jendela 30°

Tanggal : 8 - 12 Mei 2016

Waktu : 07.30 – 12.05

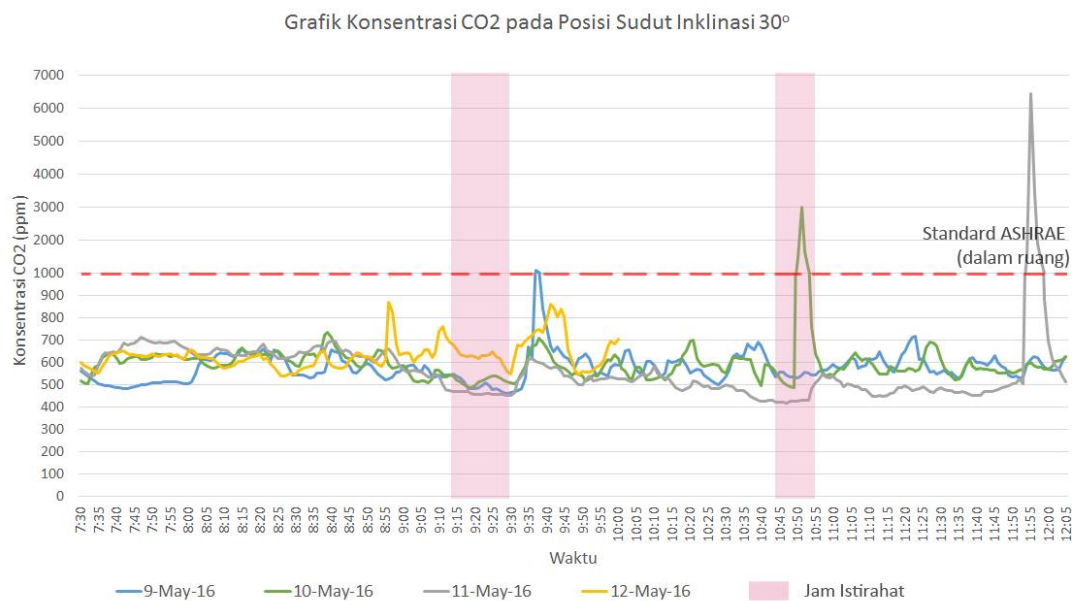
Untuk pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 30° dilakukan selama 4 hari. Pengkondisian bukaan pada jendela dibuka dengan sudut inklinasi 30° dengan bantuan kayu (Gambar 4.3).



**Gambar 4.4** Kondisi Teras Sekolah saat Jendela Dibuka pada Posisi Sudut Inklinasi 30°

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Berikut merupakan grafik hasil pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 30° :



**Grafik 4.3** Grafik Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada Posisi Sudut 30°

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Range konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan pada saat posisi sudut inklinasi jendela 30° adalah 420 – 6455 ppm selama 4 hari pengukuran. Berikut merupakan fase kenaikan Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 30° :

Hari 1 : 09.37 – 09.38 (1090 ppm)

Hari 2 : 10.50 – 10.53 (3004 ppm)

Hari 3 : 11.54 – 11.58 (6455 ppm)

Hari 4 : tidak ada fase yang melewati nilai 1000 ppm

Konsentrasi CO<sub>2</sub> mencapai nilai maksimal yaitu 6455 ppm pada hari Rabu, tanggal 11 Mei 2016 pada jam 11:55. Pada tanggal 12 Mei 2016, anak-anak

dipulangkan lebih awal oleh para guru karena keesokan harinya terdapat acara sosialisasi Ujian Nasional oleh pengawas ujian, sehingga pengukuran hanya sampai pada jam 10.00.

Jika dilihat dari grafik, konsentrasi CO<sub>2</sub> pada lokasi penelitian pada posisi sudut inklinasi jendela 30° masih mencapai standard kenyamanan, dengan rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> senilai 577 - 633 ppm selama 4 hari pengukuran.

Pola grafik konsentrasi CO<sub>2</sub> pada saat jam istirahat, dimana penurunan konsentrasi CO<sub>2</sub> terjadi pada saat jam istirahat dan konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik pada saat jam istirahat berakhir masih dapat terlihat.

Nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> pada jam istirahat pertama (jam 09.15 – 09.30) :

Hari 1 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 541 ppm kemudian perlahan menurun pada nilai 460 ppm (jam 09.29), kemudian perlahan naik lagi setelah jam istirahat berakhir hingga mencapai nilai 1090 ppm pada jam 09.37, dan perlahan kembali menurun..

Hari 2 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 523 ppm, kemudian perlahan menurun pada nilai 488 ppm pada jam 09.19, kemudian kembali naik sedikit pada range 514 – 540 ppm. Setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik mencapai nilai 711 ppm pada jam 09.38, dan perlahan kembali menurun.

Hari 3 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 469 ppm, kemudian menurun pada nilai 452 ppm hingga jam 09.30 (hanya mengalami penurunan 17 ppm), dan setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> hanya naik mencapai nilai 619 ppm pada jam 09.36.

Hari 4 : pada pukul 09.15, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 660 ppm (lebih tinggi dibandingkan 3 hari sebelumnya), kemudian terus menurun hingga pada nilai 548 ppm pada jam 09.30, dan setelah jam istirahat berakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> kembali naik hingga mencapai nilai 861 ppm pada jam 09.41.

Nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> pada jam istirahat pertama (jam 10.45 – 10.55) :

Hari 1 : pada pukul 10.45, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 556 ppm kemudian perlahan menurun pada nilai 530 ppm pada jam 10.50, kemudian perlahan naik lagi hingga jam istirahat berakhir hingga mencapai nilai 623 ppm pada jam 11.05, dan perlahan kembali menurun..

Hari 2 : pada pukul 10.45, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 530 ppm, kemudian menurun pada nilai 486 ppm pada jam 10.49, kemudian naik drastis pada jam 09.50 (1483 ppm) dan pada jam 09.51 (3004 ppm), kemudian menurun kembali pada range 500 – 600an ppm hingga jam istirahat berakhir dan memulai kembali kegiatan belajar-mengajar.

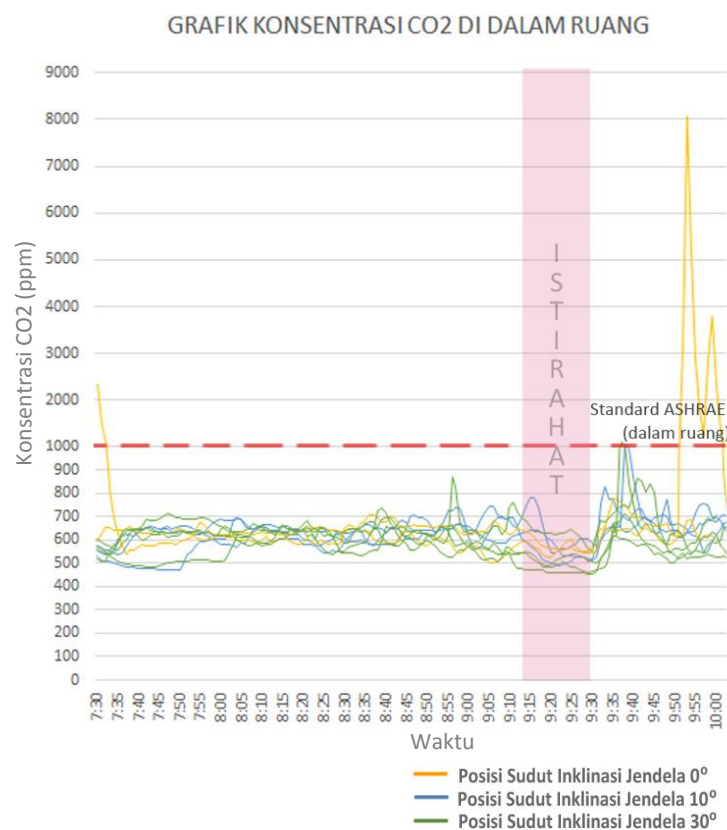
Hari 3 : pada pukul 10.45, nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 424 ppm (lebih rendah dibandingkan 2 hari sebelumnya), kemudian terlihat stabil pada range 420 – 430 ppm, dan menaik mulai jam 10.54 dari nilai 482 ppm hingga jam 11.00 sebesar 540 ppm (hanya mengalami sedikit kenaikan yaitu sebesar 58 ppm), kemudian kembali menurun perlahan.

Hari 4 : pengukuran tidak sampai pada jam istirahat kedua

Berdasarkan keterangan diatas, masih dapat dijelaskan bahwa aktivitas dan jumlah pengguna ruangan berpengaruh pada nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas.

#### 4.1. Analisa Perbandingan Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada Posisi Sudut Inklinasi Jendela 0°, 10°, 30°

Dari beberapa grafik yang telah dibahas sebelumnya, maka berikut merupakan grafik hasil penggabungan antara ketiga pengkondisian jendela pada saat dilakukan pengukuran. Grafik gabungan di bawah ini merupakan grafik perbandingan antara posisi sudut inklinasi 0° dengan 10° dan 30°. Grafik gabungan disesuaikan dengan kondisi jam yang sama pada setiap posisi sudut inklinasi (diambil sampai dengan jam 10 / waktu pengukuran yang paling singkat).



**Grafik 4.4** Grafik Konsentrasi CO<sub>2</sub> di Dalam Ruang Kelas

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Jika dilihat dari grafik 4.6, konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 30° lebih rendah dibandingkan dengan posisi sudut inklinasi jendela 10° dan 0°. Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0° mencapai nilai maksimal yang paling tinggi (8087 ppm) pada akhir grafik.

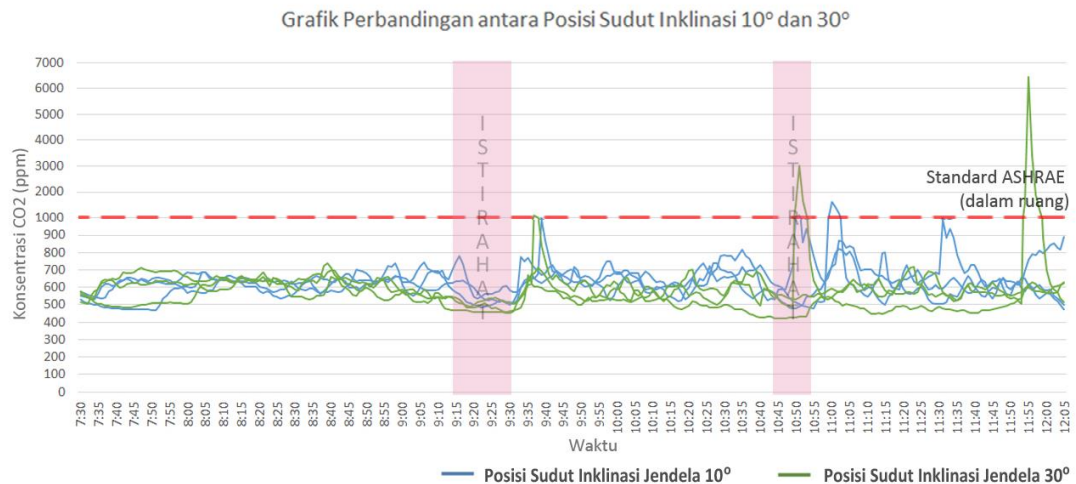
Berikut merupakan perbandingan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0° dengan 10° dan 30° dalam tabel.

**Tabel 4.2** Rincian Data Hasil Pengukuran pada Posisi Sudut Inklinasi 0°, 10° dan 30° (Pengukuran hingga Jam 10.00)

<b>Sudut Inklinasi Jendela</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Minimal (ppm)</b>	<b>Maksimal (ppm)</b>	<b>Rata-Rata (ppm)</b>
0°	Semua Tutup	503-548	781-8087	639-787
10°	Jendela Terbuka	471-503	775-988	601-632
30°	Jendela Terbuka	452-539	715-1090	570-633

Dilihat pada tabel 4.2, rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi 0°, 10° dan 30° tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0° lebih tinggi daripada posisi sudut inklinasi jendela 10° dan 30°. Nilai minimal konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0° adalah 503 ppm dan nilai maksimalnya mencapai 8087 ppm. Rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0° berada dalam range 639 – 787 ppm. Dapat dijelaskan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 0° paling tinggi dibandingkan posisi sudut inklinasi jendela 10° dan 30°.

Berikut merupakan perbandingan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 10° dan 30° dalam grafik.



**Grafik 4.5** Grafik Perbandingan Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela 10° dan 30°

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

**Tabel 4.3** Perbandingan Data Hasil Pengukuran pada Posisi Sudut Inklinasi 10° dan 30°

Sudut Inklinasi Jendela	Keterangan	Minimal (ppm)	Maksimal (ppm)	Rata-Rata (ppm)
10°	Jendela Terbuka	471-491	872-1631	616-657
30°	Jendela Terbuka	420-539	869-6455	577-633

Dilihat pada tabel 4.3, rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi 10° dan 30° tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Namun rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi 10° lebih tinggi daripada posisi sudut inklinasi 30°. Pada posisi sudut inklinasi 10°, konsentrasi CO<sub>2</sub> berada pada range 471 – 1631 ppm, sedangkan pada posisi sudut inklinasi 30°, konsentrasi CO<sub>2</sub> berada pada range 420 – 6455 ppm. Jika dilihat pada grafik 4.7, terlihat bahwa nilai 6455 ppm terjadi pada jam 11.55 yaitu beberapa menit menjelang jam

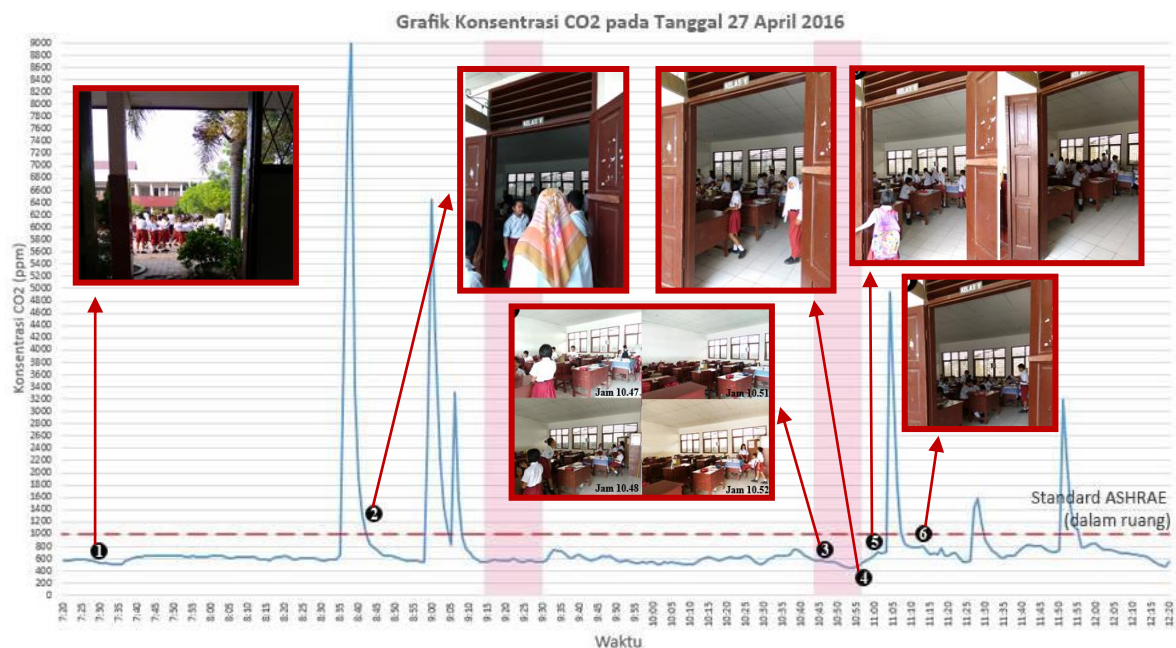


pelajaran sekolah selesai. Sedangkan pada posisi sudut inklinasi  $10^\circ$ , nilai 1631 ppm terjadi pada jam 11.00, beberapa menit setelah jam istirahat sekolah selesai.

Pada ketiga posisi sudut inklinasi jendela gantung atas, rata-rata konsentrasi  $\text{CO}_2$  masih mencapai nilai standar kenyamanan sesuai standar (ASHRAE, 1989) yaitu tidak melewati nilai 1000 ppm, walaupun konsentrasi  $\text{CO}_2$  pada ketiga kondisi ini dapat mencapai nilai maksimal melewati 1000 ppm. Namun hal ini disebabkan oleh aktivitas yang terjadi di dalam ruang, dimana aktivitas juga memengaruhi konsentrasi  $\text{CO}_2$  dalam ruang.

#### **4.2. Hubungan antara Konsentrasi $\text{CO}_2$ dan Aktivitas Pengguna Ruang**

Dari pengamatan selama beberapa hari di lokasi penelitian, aktivitas di dalam ruangan juga mempengaruhi konsentrasi  $\text{CO}_2$ . Pada grafik-grafik sebelumnya, terdapat kenaikan konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang sangat drastis pada waktu-waktu tertentu selama masa pengukuran. Setelah dilakukan pengamatan, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa aktivitas belajar-mengajar. Berikut merupakan contoh grafik dimana pada saat yang sama, aktivitas di dalam ruangan juga diperhatikan. Pengamatan aktivitas dilakukan pada tanggal 27 April 2016 dengan pengkondisian jendela pada posisi sudut inklinasi  $10^\circ$ .



**Grafik 4.6** Grafik Konsentrasi CO<sub>2</sub> beserta Keterangan Aktivitas

*Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016.*

Dari keterangan grafik diatas, dapat dilihat bahwa kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang melewati 1000 ppm juga dipengaruhi oleh aktivitas anak di dalam ruangan. Berikut merupakan keterangan berdasarkan grafik dan gambaran aktivitas (Grafik 4.6) :

1. Pada jam 7.27 sebelum memulai pelajaran sekolah, para siswa melakukan baris-berbaris di lapangan sekolah sehingga ruangan kosong. Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada jam 07.27 menunjukkan nilai 575 ppm. Dari jam 07.28 – 07.35, konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas terus menurun hingga 505 ppm. Kemudian para siswa kembali ke ruang kelas, sehingga konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas perlahan naik dalam range 600an ppm.
2. Pada jam 08.35, konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan nilai 665 ppm, kemudian semenit kemudian konsentrasi CO<sub>2</sub> naik drastis mencapai nilai 4139 ppm dan semakin

naik hingga nilai maksimal mencapai 9074 ppm (jam 08.38). Pada saat ini, tidak ada guru yang berada di ruang kelas, sehingga pada saat guru kembali ke ruang kelas, suasana kelas kembali tertib beberapa menit kemudian. Pada jam 08.40, konsentrasi CO<sub>2</sub> yang menunjukkan nilai 1918 ppm terus menurun hingga mencapai nilai 584 ppm pada jam 08.52.

3. Pada jam istirahat kedua (jam 10.45), konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan nilai 577 ppm, kemudian perlahan menurun hingga pada jam 10.51, kelas kosong dan konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan nilai 488 ppm hingga pada jam 10.53 mencapai nilai minimal yaitu 445 ppm. Kemudian konsentrasi CO<sub>2</sub> perlahan naik kembali mulai jam 10.54 hingga jam istirahat berakhir dan para siswa kembali masuk ke dalam ruang kelas (450 – 657 ppm).
4. Pada jam 10.58, suasana kelas kembali padat setelah berakhirnya jam istirahat, dan konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan nilai 569 ppm hingga mencapai nilai 700 ppm pada jam 11.01.
5. Pada jam 11.02, para siswa diminta agar mengumpulkan pekerjaan rumah (PR) sehingga para siswa berbondong-bondong berkumpul di baris depan ruang kelas. Pada saat ini, konsentrasi CO<sub>2</sub> naik drastis mencapai nilai 4946 pada jam 11.04, 3312 ppm pada jam 11.05, 1791 ppm pada jam 11.06, 1022 ppm pada jam 11.07 dan perlahan kembali menurun karena suasana kelas kembali tertib.
6. Pada jam 11.11, suasana kelas kembali tertib dan terdapat 1 siswa yang diminta guru untuk membaca di depan ruang kelas. Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada saat itu menunjukkan nilai 788 ppm, kemudian terus menurun hingga mencapai range 500-600an ppm hingga jam 11.26.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> pada SDN 066046 di dalam ruang kelas V memenuhi standar kenyamanan (tidak melebihi 1000 ppm sesuai dengan standar ASHRAE, 1989) ketika sedang belajar dengan tertib. Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada masing-masing pengkondisian posisi sudut inklinasi tipe jendela gantung atas (0°,10°,dan 30°) rata-rata pada rentang 570 – 787 ppm (memenuhi standar kenyamanan). Namun dalam waktu atau aktivitas tertentu, konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat mencapai nilai diatas 1000 ppm. Ini menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruang kelas juga dipengaruhi oleh aktivitas di dalam ruangan. Hal ini mendukung pernyataan Sribanurekha bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> juga dipengaruhi oleh aktivitas pengguna ruangan.

Pada ketiga kondisi sudut inklinasi jendela (0°,10°,dan 30°) tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu signifikan. Rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> pada posisi sudut inklinasi jendela tipe gantung atas 30° cenderung lebih rendah daripada posisi sudut inklinasi jendela tipe gantung atas 0° dan 10° yaitu 570 – 633 ppm. Pada posisi sudut inklinasi jendela tipe gantung atas 0° memiliki rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> senilai 639 – 787 ppm, dan pada posisi sudut inklinasi jendela tipe gantung atas 10° memiliki rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> senilai 616 - 657 ppm. Dari penelitian ini, dapat disarankan bahwa posisi sudut inklinasi tipe jendela gantung atas sebaiknya adalah dalam sudut bukaan 30° dengan mempertimbangkan kondisi area teras sekolah agar posisi jendela tidak mengganggu sirkulasi orang dalam beraktivitas di area teras.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2005. *Indoor Air Quality : A Guide For Joint Health & Safety Committees*. Occupational Health Clinics for Ontario Workers, Inc.
- Anonim. 2007. *The New British and European Standards for Chairs and Table for Educational Institutions*. Caledonian Furniture Manufacturing Ltd.
- Anonim. 2013. *Indoor Air Quality Handbook : A Practical Guide To Indoor Air Quality Investigations*. TSI Incorporated.
- ASHRAE. 1989. *ASHRAE Standard 62.1-1989: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Beltrán, R. David, et. al. 2015. *Assessment Of Different Natural Ventilation Strategies For An Educational Building On The Warm-Humid Climate Of Guayaquil, Ecuador*. Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability.
- Department for Education, Building Bulletin 101. 2006. *Ventilation of School Buildings : Regulations, Standards Design Guidance*. London : UK Department for Education and Employment.
- Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah. 2010. *Manual Pembangunan Gedung Sekolah*. Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional
- Dyke, Andrew. 2014. *Automatic Natural Ventilation: Simple or Complicated* (Online), (<http://www.abec.co.uk/info-centre/blog/blog/automatic-natural-ventilation-simple-or-complicated>, diakses 3 Maret 2016).

- EPA. 1991. *Sick Building Syndrome*. (Online), (<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=000002JA.TXT>, diakses 31 Mei 2016)
- EPA. 2013. *Technology Transfer Network : National Ambient Air Quality Standards* (Online), (<http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/>, diakses 29 Februari 2016).
- EPA. 2015. *Improving Indoor Air Quality* (Online), (<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/improving-indoor-air-quality>, diakses 2 Juni 2016).
- Grabe, Jorn Von, et. al. 2014. Window Ventilation Efficiency in the Case of Buoyancy Ventilation. *Energy and Buildings*, 72, pp. 203-211.
- Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan. Data Referensi Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan. (Online), (<http://referensi.data.kemdikbud.go.id/index11.php>, diakses 10 Maret 2016)
- Latifah, Nur Laela. 2015. *Fisika Bangunan 1*. Jakarta : Griya Kreasi (Penebar Swadaya Grup)
- Mahyuddin, Norhayati dan Awbi, H.B. 2012. *A Review of CO2 Measurement Procedures in Ventilation Research*. *International Journal of Ventilation* : ISSN 1473-3315
- Mendell, M.J., & Heath, G.A. 2004. *Do Indoor Environments in School Influence Student Performance? A Critical Review of The Literature*. *Indoor Air*, 15(1), pp.27–52.
- Mendell, M.J. 2007. *Indoor Residential Chemical Emissions as Risk Factors for Respiratory and Allergic Effects in Children: A Review*. *Indoor Air Journal*, 17, pp.259–277.

Mukono, H.J., 2000. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Surabaya : Airlangga University Press.

Nugroho, M.S. Priyono. 2013. *Pemanfaatan Potensi Angin Bagi Ventilasi Alami Gedung Baru Fakultas Kedokteran UMS*. Simposium Nasional RAPI XII.

Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia. 2007. Permendiknas No. 24 Tahun 2007: Tentang Standard Sarana dan Prasarana untuk Sekolah Dasar/Madrasah Ibtidaiyah (SD/MI), Sekolah Menengah Pertama/Madrasah Tsana Wiyah (SMP/MTs), dan Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah (SMA/MA). (Online), (<http://staff.unila.ac.id/radengunawan/files/2011/09/Permendiknas-No.-24-tahun-2007.pdf>, diakses pada tanggal 14 September 2015).

Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia. 2008. Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2008: Tentang Guru. (Online), (<http://www.slideshare.net/wellyindrianykurniyawan/pp-no-74-tahun-2008>, diakses pada tanggal 1 Mei 2016).

Prill, Rich. 2000. *Why Measure Carbon Dioxide Inside Buildings*. Washington State University Extension Energy Program.

Pudjiastuti, Lily. 1997. *Kualitas Udara Dalam Ruang*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Satwiko, P. 2009. Fisika Bangunan. Yogyakarta : CV. ANDI.

Schell, Mike, dan Inthout, Dan. 2001. *Demand Control Ventilation Using CO<sub>2</sub>*. ASHRAE journal.

Sinulingga, Sukaria. 2011. *Metode Penelitian*. Medan : USU Press

- Sribanurekha, V., Wijerathne, S.N., Wijepala, L.H.S., Jayasinghe, C. *Effects of Different Ventilation Conditions on Indoor CO<sub>2</sub> Levels*.
- Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Pendidikan, Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung : AlfaBeta.
- WHO. 2006. *WHO Air Quality Guidelines for particulate Matter, Ozone, Nitrogen dioxide and Sulfur dioxide*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- WHO. 2010. *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.