



TESIS - SK2402

**PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN  
KIMIA BERBASIS *SCIENCE, TECHNOLOGY,  
ENGINEERING AND MATHEMATICS (STEM)*  
DENGAN TOPIK SISTEM PENDETEKSI GAS  
KARBON DIOKSIDA**

LAILY YUNITA SUSANTI  
1413 203 001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. rer. nat. FREDY KURNIAWAN, M. Si.  
Prof. Dr. SURYA ROSA PUTRA, M. S.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN PENGAJARAN KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS - SK2402

**DEVELOPING OF SCIENCE, TECHNOLOGY,  
ENGINEERING AND MATHEMATICS (STEM)  
BASED CHEMISTRY LEARNING MEDIA ON  
CARBON DIOXIDE DETECTOR SYSTEM TOPIC**

LAILY YUNITA SUSANTI  
1413 203 001

SUPERVISOR

Dr. rer. nat. FREDY KURNIAWAN, M. Si.  
Prof. Dr. SURYA ROSA PUTRA, M. S.

MAGISTER PROGRAM  
CHEMISTRY DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015

## HALAMAN PENGESAHAN TESIS

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Sains (M. Si.)**  
di  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

oleh  
**Laily Yunita Susanti**  
**Nrp. 1413203001**

**Tanggal ujian : 09 Juli 2015**  
**Periode wisuda : September 2015**

Disetujui oleh:

1. **Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si.**  
**NIP. 19740428 199802 1 001**



(Pembimbing)

2. **Prof. Dr. Surya Rosa Putra, M. S.**  
**NIP. 19630928 198803 1 001**

(Pembimbing)

3. **Sri Fatmawati, M. Sc., Ph. D.**  
**NIP. 19801103 200212 2 001**



(Penguji)

4. **Nurul Widiastuti, M. Si., Ph. D.**  
**NIP. 19710425 199412 2 001**



(Penguji)

5. **Suprpto, M. Si., Ph.D.**  
**NIP. 19720919 199802 1 001**



(Penguji)

**Direktur Program Pascasarjana,**



**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.**  
**NIP. 19640405 199002 1 001**

# **PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN KIMIA BERBASIS *SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING AND MATHEMATICS (STEM)* DENGAN TOPIK SISTEM PENDETEKSI GAS KARBON DIOKSIDA**

Nama mahasiswa : Laily Yunita Susanti  
NRP : 1413203001  
Pembimbing : 1. Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si.  
2. Prof. Dr. Surya Rosa Putra, M. S.

## **ABSTRAK**

Pembelajaran kimia yang berbasis pada masalah (PBL) melibatkan aktivitas-aktivitas sains dalam proses perolehan pengetahuan dan pengembangan kemampuan berpikir pada peserta didik sehingga adanya laboratorium diperlukan sebagai sarana pembelajaran. Akan tetapi, sarana laboratorium sebagai pendukung aktivitas proses sains peserta didik terkadang belum dapat dimanfaatkan secara optimal baik karena keterbatasan alat maupun biaya. Selain itu, pembelajaran kimia pada pendidikan formal umumnya belum terintegrasi secara optimal dengan cabang ilmu lain sehingga diperlukan suatu pendekatan pembelajaran terintegrasi yang berbasis laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran untuk pembelajaran berbasis STEM berupa sistem pendeteksi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dilengkapi dengan modul interaktif STEM.

Penelitian ini diawali dengan pembuatan modul dan sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  yang tersusun atas sensor berbahan oksida logam semikonduktor  $\text{SnO}_2$ , CDM 4160. Sistem pendeteksi gas dikalibrasi dengan menggunakan flowmeter. Media pembelajaran STEM divalidasi dan diimplementasikan pada pembelajaran kimia SMA/SMK. Uji coba lapangan dilakukan pada siswa kelas X SMK untuk kelas eksperimen dan kontrol. Media yang dikembangkan pembelajaran sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  yang terintegrasi dengan bidang ilmu fisika, matematika, dan teknologi informasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  yang telah divalidasi oleh 3 dosen kimia dan 2 guru kimia SMA/SMK layak untuk digunakan sebagai media pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM, dengan skor kelayakan sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  sebesar 3,42 dan modul interaktif STEM sebesar 3,33. Uji coba lapangan dilakukan pada 33 siswa kelas eksperimen dan 33 siswa kelas kontrol di SMKN 5 Surabaya. Berdasarkan hasil uji coba lapangan, terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan baik pada aspek kognitif, afektif, dan psikomotor.

Kata kunci : gas karbondioksida, media pembelajaran kimia, sistem pendeteksi gas, *Science Technology Engineering and Mathematics (STEM)*.

# **DEVELOPING OF SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING AND MATHEMATICS (STEM) BASED CHEMISTRY LEARNING MEDIA ON CARBON DIOXIDE DETECTOR SYSTEM TOPIC**

Student name : Laily Yunita Susanti  
NRP : 1413203001  
Advisors : 1. Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si.  
2. Prof. Dr. Surya Rosa Putra, M. S.

## **ABSTRACT**

Learning chemistry based on the problem (PBL) involves scientific activities in the process of acquisition of knowledge and the development of thinking skills in learners so that laboratory is necessary as a learning tool. Yet, laboratory instruments to support science activities sometimes have not been optimally used because of limited equipment and costs. In addition, chemistry learning in formal education have not been optimally integrated with other disciplines so that it is necessary to apply integrated laboratory-based in chemistry learning. This study aims to develop a mini-scale laboratory equipment for STEM based learning in the form of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) detection system which is equipped with an interactive STEM module as chemistry learning media.

This research begun with the fabricating of carbon dioxide detection system which was composed of semiconductor SnO<sub>2</sub> based sensor, CDM 4160. Carbon dioxide gas detection system was calibrated by using flowmeter. STEM instructional media was validated and implemented in chemistry learning for high or vocational school. Field trial conducted on state vocational school students in grade X on experimental and control group. Learning media which was developed integrated with physics, mathematics, and technology information.

Results of this research showed that CO<sub>2</sub> detection system and interactive STEM interactive module which was validated by 3 lecturers and 2 chemistry teachers is valid to be used as STEM chemistry learning media, with the validity score of CO<sub>2</sub> detection system 3,42 and STEM interactive module 3,33. Field trial was done on 33 students of experimental group and 33 students of control group in State Vocational High School 5 Surabaya. Based on the result of field trial could be concluded that there was a significant difference in students learning outcome on cognitive, affective, and psychomotoric aspect between experimental and control group.

Keywords : carbon dioxide, chemistry learning media, gas detector, *Science Technology Engineering and Mathematics (STEM)*.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah swt atas rahmat, rezeki, dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Pengembangan Media Pembelajaran Kimia Berbasis *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) dengan Topik Sistem Pendeteksi Gas Karbon Dioksida. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister pada program studi Pascasarjana Pengajaran Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Atas terselesaikannya Tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Surya Rosa Putra, M. S., Ph. D. dan Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran dan pengarahan dalam penyusunan Tesis.
2. Dra. Nurul Widiastuti, M. Si., Ph. D. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan akademik selama kegiatan perkuliahan.
3. Prof. Mardi Santoso, Ph. D. selaku ketua prodi Pascasarjana Kimia ITS.
4. Keluarga yang telah memberikan dukungan materiil maupun non materiil.
5. Teman-teman S2 Pengajaran Kimia ITS yang telah berjuang bersama-sama dan teman-teman Laboratorium Kimia Instrumentasi yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan penelitian.
6. Semua pihak yang banyak membantu dalam pelaksanaan dan penyelesaian Tesis ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna perbaikan dalam Tesis ini, sehingga Tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>COVER</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Pembelajaran Kimia.....	7
2.2 <i>Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)</i> .....	8
2.2.1 Karakteristik Pembelajaran STEM .....	8
2.2.2 Media Pembelajaran STEM .....	9
2.3 Sensor Gas .....	10
2.4 Rangkaian Sistem Pendeteksi Gas Karbon Dioksida .....	12
2.4.1 Sensor Gas Karbon Dioksida .....	12
2.4.2.1 Struktur Sensor Gas Karbon dioksida .....	12
2.4.2.2 Prinsip Kerja Sensor Gas Karbon dioksida .....	13
2.4.2.3 Karakteristik Sensor Gas Karbon Dioksida.....	17
2.6 Gas Karbon Dioksida.....	18
2.6.1 Struktur dan Ikatan Karbon Dioksida .....	18

2.6.2	Karakteristik Gas Karbon Dioksida .....	18
2.6.3	Reaksi Kimia yang Menghasilkan Gas Karbon Dioksida.....	19
2.7	Pembelajaran Kimia Terintegrasi pada Sistem Pendeteksi Gas CO <sub>2</sub>	20
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>23</b>
3.1	Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.1.1	Alat Penelitian.....	23
3.1.2	Bahan Penelitian.....	23
3.2	Rancangan Penelitian.....	23
3.3	Prosedur Penelitian .....	24
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>25</b>
4.1	Fabrikasi Sistem Pendeteksi Gas CO <sub>2</sub> .....	25
4.2	Kalibrasi Sistem Pendeteksi Gas CO <sub>2</sub> .....	26
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>		<b>29</b>
5.1	Kesimpulan .....	29
5.2	Saran .....	30
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>31</b>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan antara Pembelajaran Berbasis Inkuiri dengan Pembelajaran Konvensional .....	8
Tabel 2.2. Pin pada Modul CDM 4160 .....	20
Tabel 3.1. Konfigurasi pin CDM 4160 dan mikrokontroler .....	38
Tabel 3.2. Kriteria Penskoran pada Angket dengan Skala Likert .....	43
Tabel 3.3. Jenjang Kriteria Validitas Untuk Analisis Data Validasi.....	44
Tabel 4.1. Pengujian kadar gas CO <sub>2</sub> terhadap tegangan keluaran sensor ( $\Delta$ EMF).....	51
Tabel 4.2. Saran perbaikan untuk modul interaktif STEM .....	56
Tabel 4.3. Hasil Validasi Sistem Pendeteksi Gas CO <sub>2</sub> .....	63
Tabel 4.4. Hasil Validasi Modul Interaktif STEM .....	65
Tabel 4.5. Hasil Uji Normalitas Kemampuan Awal Siswa.....	65
Tabel 4.6. Hasil Uji Homogenitas Kemampuan Awal Siswa .....	65
Tabel 4.7. Hasil Uji Hipotesis Kemampuan Awal Siswa .....	66
Tabel 4.8. Hasil Uji Normalitas Hasil Belajar Kognitif Siswa .....	67
Tabel 4.9. Hasil Uji Homogenitas Hasil Belajar Kognitif Siswa.....	67
Tabel 4.10. Perbedaan Kenaikan Nilai Kognitif Kelas Eksperimen Dan Kontrol .....	69
Tabel 4.11. Hasil Uji Normalitas Hasil Belajar Afektif Siswa .....	71
Tabel 4.12. Hasil Uji Homogenitas Hasil Belajar Afektif Siswa.....	71
Tabel 4.13. Hasil Uji Hipotesis Hasil Belajar Afektif Siswa.....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Interaksi antara bukti dengan teori pada pembelajaran kimia.....	8
Gambar 2.2. Sensor gas figaro CDM 4160 .....	18
Gambar 2.3. Dimensi CDM 4160 .....	19
Gambar 2.4. Proses adsorpsi oksigen oleh sensor tanpa adanya gas target .....	20
Gambar 2.5. Proses pendeteksian gas pereduksi oleh sensor .....	21
Gambar 2.6. Grafik resistansi sensor terhadap gas .....	23
Gambar 2.7. Grafik $\Delta$ EMF sensor terhadap gas .....	24
Gambar 2.8. Ketergantungan sensor terhadap kelembaban .....	24
Gambar 2.9. Arduino duemilanove .....	25
Gambar 2.10. Struktur molekul CO <sub>2</sub> .....	27
Gambar 2.11. Peta Konsep Integrasi Kimia dengan Fisika, Matematika, dan.....	30
Gambar 3.1. Rancangan penelitian dan pengembangan media pembelajaran sistem pendeteksi gas CO <sub>2</sub> .....	36
Gambar 3.2. Diagram blok rangkaian .....	37
Gambar 3.3. Pin CDM 4160 yang dihubungkan pada mikrokontroler .....	38
Gambar 3.4. Rancangan sistem pendeteksi gas CO <sub>2</sub> .....	39
Gambar 4.1. Rangkaian Sistem Pendeteksi Gas CO <sub>2</sub> .....	49
Gambar 4.2. Kurva Kalibrasi Sistem Pendeteksi Gas CO <sub>2</sub> .....	51
Gambar 4.3. Respon Sistem Pendeteksi Gas CO <sub>2</sub> .....	52
Gambar 4.4. Perbandingan Nilai Pre tes dan Pos tes Kelas Eksperimen.....	66
Gambar 4.5. Prosentase Hasil Penilaian Kognitif Siswa Kelas Eksperimen .....	68
Gambar 4.6. Perbandingan Nilai Pre tes dan Pos tes Kelas Kontrol.....	68
Gambar 4.7. Prosentase Hasil Penilaian Afektif Siswa Kelas Eksperimen .....	72
Gambar 4.8. Prosentase Hasil Penilaian Afektif Siswa Kelas Kontrol.....	73
Gambar 4.9. Prosentase Penilaian Siswa Mengenai Proses Pembelajaran .....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

Gambar A Skema Kerja .....	53
Gambar B Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian .....	56
Gambar C Komponen Penilaian dalam Pembelajaran STEM .....	56
Gambar D Subtansi Modul Interaktif STEM .....	57

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Ilmu kimia merupakan bagian dari sains sehingga dalam perwujudannya pembelajaran kimia tidak pernah terlepas dari proses pembelajaran sains. Pembelajaran sains berbasis pada masalah atau *problem-based learning* (PBL), yaitu metode pembelajaran berbasis pendekatan konstruktivis dimana siswa menjadi pusat pembelajaran dan memecahkan permasalahan dalam kehidupan berdasarkan pengetahuan yang dimiliki secara bersama-sama dalam grup atau tim (Juan dan Molina, 2011). Pembelajaran sains tidak hanya mempelajari seberapa banyak konten sains yang dapat diingat, namun juga menguasai kemampuan proses sains dan menerapkannya dalam suatu penelitian ilmiah (Jeenthong *et. al.*, 2014) serta mengembangkan kebiasaan berpikir secara ilmiah (Handelsman *et. al.*, 2010). Oleh karena pembelajaran sains berbasis pada masalah, maka pembelajaran sains yang ideal merupakan pembelajaran berbasis laboratorium (*Lab-based learning*) (Hofstein dan Lunetta, 2003).

Berkaitan dengan aktivitas siswa pada pembelajaran sains maka diperlukan laboratorium yang berfungsi sebagai tempat untuk memberikan pengalaman belajar dimana siswa berinteraksi dengan bahan dan atau dengan model secara langsung (Hofstein dan Lunetta, 2003; Handelsman *et. al.*, 2010). Serta sebagai sarana pendukung untuk berlangsungnya eksperimen (Hofstein dan Lunetta, 2003; Omosewo, 2006). Penelitian-penelitian terdahulu selama ini hanya berfokus pada pemanfaatan sarana laboratorium untuk riset ilmiah, tanpa menekankan pada pengembangan sarana berupa alat (instrumen) laboratorium (Anderson, 2013). Pemenuhan kebutuhan sarana laboratorium dalam bidang sains akan lebih efektif apabila dilakukan pengembangan sarana laboratorium. Laboratorium dapat diperkaya dengan perangkat berbasis teknologi, khususnya komputer, untuk memudahkan akuisisi data dan analisis (Omosewo, 2006).

Pembelajaran kimia terintegrasi erat kaitannya dengan kurikulum yang dikembangkan oleh pemerintah, yaitu kurikulum 2013. Kurikulum 2013 dirancang dengan tujuan agar siswa mampu mengembangkan sikap, pengetahuan, dan keterampilan serta menerapkannya dalam berbagai situasi di sekolah dan masyarakat. Kurikulum tersebut dikembangkan berdasarkan penyempurnaan pola pikir pembelajaran dari ilmu pengetahuan tunggal (*monodiscipline*) menjadi pembelajaran ilmu pengetahuan jamak (*multidisciplines*) atau pembelajaran terintegrasi. Pembelajaran terintegrasi sangat menguntungkan, karena siswa dituntut untuk berpikir secara mendalam dan kreatif karena terkait langsung dengan satu bidang ilmu dan bidang ilmu yang lain (Depdikbud, 2013). Berkaitan dengan pembelajaran kimia terintegrasi, terdapat suatu pendekatan dalam pembelajaran yang dapat mengintegrasikan ilmu kimia dengan ilmu lainnya (Lantz, 2009).

Pendekatan dalam pembelajaran yang dapat mengintegrasikan ilmu kimia dengan ilmu lainnya adalah *science, technology, engineering and mathematics* (STEM) (ITEA, 2009; Lantz, 2009; *Hanover Research*, 2011). STEM merupakan pendekatan dalam pembelajaran yang terintegrasi dengan berbagai disiplin ilmu. STEM memungkinkan siswa untuk mempelajari konsep akademik secara tepat dengan menerapkan 4 disiplin ilmu (sains, teknologi, keahlian teknik dan matematika). STEM meniadakan penghalang antara 4 disiplin ilmu dengan mengintegrasikan ilmu-ilmu tersebut dalam satu kesatuan pembelajaran yang menyeluruh. Oleh karena itu, STEM seringkali disebut sebagai pendekatan meta-disiplin (Lantz, 2009).

STEM memiliki beberapa karakteristik berkaitan dengan penerapannya dalam pembelajaran. Pembelajaran berbasis STEM terintegrasi dengan teknologi. Dalam pembelajaran digunakan alat-alat digital utamanya komputer (ITEA, 2009; Chi, H., dan Jain, H., 2011). Pembelajaran STEM berbasis pada kinerja (*performance-based*), berbasis inkuiri, dan berbasis pada masalah atau *problem-based learning* (ITEA, 2009). Pembelajaran berbasis STEM juga menuntut siswa untuk menjadi inovator (pembaharu), pemecah masalah, dan penemu yang percaya diri, sadar teknologi, serta mampu berpikir logis. Dalam proses pembelajaran berbasis STEM digunakan sistem penilaian formatif dan sumatif

berupa tes tulis untuk penilaian kompetensi pengetahuan dan tes kinerja untuk penilaian kompetensi keterampilan (Lantz, 2009).

Pembelajaran berbasis STEM dengan menggunakan media pembelajaran diterapkan dalam pendidikan formal. Barrett *et. al.* (2014) menggunakan modul meteorologi dan keteknikan untuk mengedukasikan bahaya meteorologi dan keteknikan dari angin tornado. Peningkatan skor rata-rata pertanyaan dalam instrumen adalah 40,2% setelah penerapan modul pembelajaran. Hinze *et.al.* (2013) meneliti penerapan pembelajaran berbasis STEM untuk pembelajaran pada mata kuliah Kimia Organik di Universitas Texas. Pembelajaran STEM dilakukan dengan memvisualisasikan bentuk molekul menggunakan *ball-and-stick models* dan program *electrostatic potensial maps* (EPMs). Penelitian lain dilakukan oleh Nugent *et. al.* (2010) dengan menerapkan teknologi robotik dan geospasial dalam pembelajaran. Berdasarkan penelitian ini, sistem pengukuran hasil belajar dalam pembelajaran STEM menggunakan pre tes, pos tes dan angket sikap untuk menilai motivasi siswa.

Berkaitan dengan pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM, diperlukan sarana laboratorium yang praktis dan mudah pengoperasiannya. Sarana laboratorium yang dapat dikembangkan sebagai penunjang pembelajaran berbasis STEM merupakan sarana laboratorium yang terintegrasi dengan teknologi secara aktual. Terdapat berbagai macam teknologi yang telah dikembangkan sebagai sarana edukasi, di antaranya penggunaan *software* komputer sebagai media belajar, game edukasi (Klopfer *et. al.*, 2009), teknologi sensor (Srisawasdi, 2012) pembelajaran online, dan virtual laboratorium (Johnson, *et. al.*, 2013). Penelitian ini menekankan pada penggunaan teknologi sensor sebagai media pembelajaran berbasis STEM. Teknologi sensor yang dikembangkan berupa sistem pendeteksi gas.

Teknologi sensor gas menjadi lebih signifikan karena aplikasi umumnya dalam beberapa bidang berikut, yaitu (1) produksi di industri (misalnya deteksi metana dalam penambangan); (2) industri otomotif (misalnya deteksi gas polutan dari kendaraan bermotor); (3) aplikasi medis (misalnya deret sensor untuk mensimulasi sistem kerja organ tubuh manusia); (4) pengawasan kualitas udara di dalam ruangan (misalnya deteksi gas karbon dioksida); dan (5) studi lingkungan

(misalnya monitoring gas rumah kaca) (Liu *et. al.*, 2012; Alam dan Saeed, 2013). Penggunaan sensor gas menyediakan beberapa keuntungan seperti biaya rendah, waktu respon yang cepat, memiliki antarmuka (*interface*) yang sederhana, mudah dioperasikan, sensitivitas yang tinggi, dan kemampuan untuk mendeteksi gas dalam jumlah besar (Wetchakun *et. al.*, 2011).

Penggunaan rangkaian sistem pendeteksi gas sebagai media pembelajaran mengintegrasikan beberapa bidang ilmu, yaitu bidang sains (kimia dan fisika), matematika dan teknologi. Interaksi antarmuka sensor dengan gas target atau gas yang dideteksi (berupa gas pereduksi ataupun pengoksidasi) akan menyebabkan terjadinya reaksi redoks antara gas target dengan permukaan sensor (Wetchakun *et. al.*, 2011; Liu, *et. al.*, 2012). Proses kimia yang berlangsung di dalam sensor akan menyebabkan adanya aliran elektron. Aliran elektron dalam sensor menyebabkan perubahan tegangan ataupun tahanan listrik sehingga proses ini melibatkan ilmu fisika (*Figaro Engineering Inc.*, 2004). Sedangkan proses visualisasi data digital keluaran sensor dalam bentuk tabel maupun grafik fungsi melibatkan ilmu matematika. Selanjutnya penggunaan program komputer *Microsoft Excel* untuk membuat aplikasi yang dapat memvisualisasikan data digital keluaran sensor melibatkan ilmu komputer (teknologi).

Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian ini mengembangkan media pembelajaran kimia berupa rangkaian sistem pendeteksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) hasil modifikasi dari sensor gas figaro CDM 4160 beserta modul STEM interaktif sehingga dapat diterapkan dalam pembelajaran kimia berbasis STEM.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pembelajaran kimia berbasis STEM berorientasi masalah atau *problem-based learning* (PBL) sehingga dalam pelaksanaannya diperlukan peralatan laboratorium yang terintegrasi dengan teknologi. Laboratorium yang terintegrasi dengan teknologi diperlukan sebagai tempat berlangsungnya aktivitas proses sains bagi siswa dan sebagai tempat berlangsungnya eksperimen. Namun demikian ketersediaan peralatan dan bahan laboratorium yang memenuhi kebutuhan siswa masih belum dapat dipenuhi secara optimal karena keterbatasan biaya maupun peralatan laboratorium. Oleh sebab itu, timbul perumusan masalah mengenai

bagaimana mengemas suatu media pembelajaran kimia berbasis laboratorium yang dapat memudahkan siswa untuk mengintegrasikan ilmu kimia ke dalam ilmu lain, khususnya sains, teknologi, keahlian teknik dan matematika sesuai esensi pembelajaran STEM.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran kimia berbasis STEM berupa rangkaian sistem pendeteksi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan modul STEM interaktif untuk pembelajaran kimia pada materi Reaksi Redoks dengan pengayaan Elektrokimia.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai sarana penyedia media pembelajaran kimia, yaitu media pembelajaran berbasis STEM. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pengajaran kimia karena membantu mengintegrasikan ilmu kimia ke dalam cabang ilmu lain.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembelajaran Kimia**

Pembelajaran kimia merupakan pembelajaran yang melibatkan komunikasi dua arah antara pendidik dan siswa untuk memahami dan mengaplikasikan konsep-konsep dalam kimia. Pembelajaran kimia yang bermakna dapat diciptakan melalui lingkungan belajar yang kondusif sehingga siswa dapat meningkatkan pemahaman secara mendalam mengenai berbagai fenomena kimia dalam kehidupan (Holbrook, 2005). Penggunaan pendekatan dan metode pembelajaran yang sesuai juga dapat meningkatkan aktivitas proses sains pada siswa dan mendorong siswa untuk mempelajari materi kimia pada level makro, submikro maupun simbolik. Pembelajaran kimia melibatkan aktivitas-aktivitas sains sehingga dalam pelaksanaannya dibutuhkan pendekatan konstruktivistik. Pendekatan konstruktivistik merupakan pendekatan dalam pembelajaran dimana pengetahuan tidak diperoleh siswa secara pasif, akan tetapi dibangun secara aktif melalui interaksi dengan objek-objek untuk memahami konsep (Coll dan Taylor, 2001).

Metode yang sesuai dengan pendekatan konstruktivistik dalam pembelajaran kimia adalah metode inkuiri dan pembelajaran berbasis masalah atau problem-based learning (PBL). Dalam metode inkuiri, siswa harus lebih memahami isi materi dan perolehan konsep dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Perbedaan antara pembelajaran berbasis inkuiri dengan pembelajaran konvensional ditunjukkan pada Tabel 2.1. Berdasarkan Tabel 2.1. dapat diketahui bahwa pembelajaran berbasis inkuiri yang menuntut siswa untuk aktif akan meningkatkan motivasi dan rasa ingin tahu siswa pada materi yang mereka pelajari. Sejalan dengan metode inkuiri, dalam PBL pendidik membimbing siswa dalam menerapkan pengetahuan yang mereka miliki untuk mengidentifikasi, menyelesaikan masalah, serta merefleksikan apa yang telah mereka pelajari melalui permasalahan yang telah mereka pecahkan (Juan dan Molina, 2011; Inel dan Balim, 2013).

## ***2.2 Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)***

### **2.2.1 Karakteristik Pembelajaran STEM**

STEM merupakan pendekatan interdisipliner yang membantu siswa untuk memahami secara mendalam tiap-tiap subjek materi yang menekankan sains, matematika, dan teknologi (ITEA, 2009; Lantz, 2009; Hanover Research, 2011). STEM memiliki beberapa karakteristik berkaitan dengan penerapannya dalam pembelajaran. STEM merupakan pembelajaran terintegrasi berbasis inkuiri (Lantz, 2009). Istilah inkuiri menekankan pada proses penerimaan informasi melalui investigasi (penyelidikan) dalam eksperimen. Tujuan dari pembelajaran inkuiri adalah siswa dapat memperoleh pengetahuan dan memahami konsep sendiri melalui proses investigasi dan penemuan yang mereka lakukan. Selain itu, pembelajaran berbasis inkuiri dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreativitas siswa. Bagi pendidik, pembelajaran inkuiri dapat meningkatkan kemampuan penguasaan kelas dan pendalaman materi melalui aktivitas yang diberikan kepada siswa (Shamsudin et al., 2013).

Pendekatan STEM berbasis pada masalah atau problem-based learning (ITEA, 2009). PBL merupakan metode pembelajaran berbasis pendekatan konstruktivis dimana siswa menjadi pusat pembelajaran dan memecahkan permasalahan secara bersama-sama dalam grup, sehingga pendidik bertindak sebagai fasilitator dalam pembelajaran (Juan dan Molina, 2011). Permasalahan yang diangkat dalam PBL merupakan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan kimia (Juan dan Molina, 2011; Inel dan Balim, 2013). Dalam penelitian ini, permasalahan yang akan digunakan untuk menunjang proses pembelajaran adalah berbagai reaksi kimia dalam kehidupan yang melibatkan gas karbon dioksida sebagai produk dan perhitungan konsentrasi gas.

Karakteristik lain pembelajaran STEM adalah mampu meningkatkan aktivitas siswa dalam kegiatan pembelajaran (Wismall, et. al., 2014). Selain karakteristik tersebut, STEM memacu siswa untuk menjadi inovator (pembaharu), pemecah masalah, dan inovator yang percaya diri, sadar teknologi, serta mampu berpikir logis. Sebagai pemecah masalah, siswa mampu merancang investigasi untuk mengumpulkan dan mengolah data, membuat kesimpulan serta menerapkannya dalam kondisi yang berbeda. Sebagai inovator, siswa mampu

menerapkan konsep matematika, teknologi dan sains dalam proses keteknikan (engineering). Sebagai logical thinkers, siswa mampu memahami dan menjelaskan penggunaan teknologi serta mengembangkan kemampuan yang diperlukan untuk mengintegrasikan sains dan matematika dengan teknologi (Lantz, 2009).

### **2.2.2 Media Pembelajaran STEM**

Pembelajaran kimia berbasis STEM terintegrasi dengan teknologi. Dalam pembelajaran digunakan alat-alat digital utamanya komputer (ITEA, 2009; Chi, H., dan Jain, H., 2011) dan media kartun konsep (Inel dan Balim, 2013). Selain itu, pembelajaran dapat berupa pembelajaran berbasis web (web-based learning), yaitu pembelajaran yang didukung oleh adanya koneksi internet sehingga dapat diakses oleh siswa maupun pendidik, penggunaan media pembelajaran interaktif, tablet, LCD proyektor, dan kamera digital dapat digunakan sebagai sarana penunjang pembelajaran (Lantz, 2009). Penelitian yang dilakukan oleh Chi, H. dan Jain, H. (2011) meneliti penggunaan komputer pada siswa yang bermajor STEM. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk meningkatkan kemampuan komputasi pada siswa yang berbasis sains, khususnya kimia, melalui alat visualisasi yang disebut ChemSketch. Di samping itu, penelitian tersebut juga bertujuan untuk membantu siswa memahami struktur molekul dan ikatan molekul melalui visualisasi bentuk molekul yang mereka buat dengan pemahaman yang mereka miliki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 85% siswa berpendapat bahwa komputasi/visualisasi melalui komputer sangat penting dan penggunaan media visualisasi sekaligus dapat meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi kimia yang mereka pelajari.

Penelitian ini menggunakan alat-alat digital berupa komputer atau laptop, dan sensor gas. Sebagai sumber belajar disusun modul penunjang proses pembelajaran berdasarkan sistem pendeteksi gas karbon dioksida yang dikembangkan. National Center for Vocational Education Research Ltd. dalam Depdiknas (2008) menyatakan bahwa modul merupakan bahan ajar yang digunakan untuk membantu pendidik ataupun instruktur dalam melaksanakan

kegiatan pembelajaran serta membantu siswa untuk belajar secara mandiri dalam memahami suatu materi. Setiap modul terdiri dari pertanyaan-pertanyaan menarik yang menyediakan kesempatan bagi siswa untuk membangun pengetahuan, memahami dan menerapkan konsep-konsep suatu materi. Berbagai pertanyaan, masalah, dan aktivitas yang disajikan dalam modul dirancang untuk digunakan di dalam kelas ataupun laboratorium sebagai media pembelajaran. Modul penunjang sistem pendeteksi gas dalam pembelajaran memiliki bagian-bagian diantaranya prosedur penggunaan media pembelajaran, petunjuk belajar (petunjuk siswa/pendidik), kompetensi yang akan dicapai siswa, content atau isi materi pembelajaran yang berkaitan dengan analisis gas karbon dioksida, lembar kerja praktikum, informasi pendukung, soal latihan evaluasi, dan kuesioner penilaian pembelajaran. Modul yang dikembangkan dalam penelitian disesuaikan dengan sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub>, dengan berbagai kegiatan praktikum yang dikembangkan sesuai esensi pembelajaran STEM.

### **2.3 Sensor Gas**

Sensor merupakan sistem deteksi yang memiliki mekanisme kerja mengubah suatu besaran fisis menjadi besaran fisis lainnya. Penggunaan teknologi sensor telah secara luas diteliti dan digunakan dalam berbagai bidang dengan manfaat tertentu. Teknologi sensor diaplikasikan untuk mendeteksi gas (Simakov et. al. et. al., 2009; Wetchakun et. al., 2011), produksi di industri (misalnya deteksi metana dalam penambangan), industri otomotif (misalnya deteksi gas polutan dari kendaraan bermotor, aplikasi medis (deret sensor untuk mensimulasi sistem kerja organ tubuh manusia, pengawasan kualitas udara di dalam ruangan (misalnya deteksi gas karbon dioksida), dan studi lingkungan (misalnya monitoring gas rumah kaca) (Liu et. al., 2102). Selain itu, sensor gas juga diaplikasikan pada bidang industri komersial termasuk pertanian, biomedik, lingkungan, pangan, farmasi dan bidang saintek lainnya (Alam dan Saeed, 2013).

Sensor gas yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah sensor berbasis oksida logam semikonduktor. Sensor gas oksida logam semikonduktor komersial yang pertama dikembangkan oleh Taguchi pada tahun 1971. Penemuan tersebut kemudian dikembangkan menjadi sebuah perusahaan yang memproduksi sensor

gas dengan tipe Taguchi Gas Sensor (TGS), yaitu Figaro Engineering inc. (Grossmann et. al., 2013). Sensor gas berbahan oksida logam semikonduktor menyediakan beberapa keuntungan seperti biaya rendah, waktu respon yang cepat, memiliki antarmuka (interface) yang sederhana, mudah dioperasikan, sensitivitas yang tinggi, dan kemampuan untuk mendeteksi gas dalam jumlah besar (Wetchakun et. al., 2011). Oleh karena beberapa keuntungan tersebut, sensor gas berbahan oksida logam semikonduktor banyak diterapkan dalam alarm (tanda bahaya) untuk gas yang bersifat eksplosif, monitoring konsentrasi gas beracun, kontrol proses pada dunia industri, kontrol masukan udara pada kabin (Grossmann et. al., 2013), dan deteksi gas-gas berbahaya seperti gas  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{CO}_2$  (Wetchakun et. al., 2011).

Liu et. al. (2012) mengklasifikasikan sensor gas berbahan oksida logam ke dalam dua jenis yaitu oksida logam transisi dan non-transisi. Oksida logam transisi (misalnya  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ , dan  $\text{ZnO}$ ) mengandung logam dengan bilangan oksidasi lebih dari satu, sedangkan oksida logam non-transisi (misalnya,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) mengandung logam dengan hanya satu bilangan oksidasi karena lebih banyak energi yang dibutuhkan untuk membentuk tingkat oksidasi lain dari logamnya. Sedangkan menurut Wetchakun et. al. (2011) terdapat dua jenis sensor oksida logam semikonduktor, yaitu tipe-n dan tipe-p. Sensor oksida logam semikonduktor tipe-n yang memiliki mayoritas pembawa berupa elektron (contohnya  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan sebagainya) dan tipe-p yang memiliki mayoritas pembawa berupa orbital kosong yang dapat ditempati elektron bebas ( $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$ , dan sebagainya). Perbedaan utama tipe-n dan tipe-p adalah jika temperatur meningkat, sensitivitas sensor oksida logam semikonduktor tipe-n pada gas sasaran meningkat, sedangkan tipe-p menurun. Oleh karena itu, oksida logam semikonduktor tipe-p memiliki suhu operasi lebih rendah daripada tipe-n.

Sensor berbahan oksida logam semikonduktor terutama diterapkan untuk mendeteksi gas melalui reaksi redoks antara gas sasaran dan permukaan oksida logam. Reaksi antara gas sasaran dengan permukaan oksida melibatkan proses transfer muatan antara keduanya dan mengubah konsentrasi pembawa muatan bebas pada material sensor. Proses ini menyebabkan terjadinya variasi tahanan listrik dari lapisan oksida logam. Variasi tahanan listrik tersebut dapat dideteksi

dengan mengukur perubahan kapasitansi, fungsi kerja, massa, ataupun sifat optik (Liu et. al., 2012; Grossmann et. al., 2013).

Beberapa indikator yang harus dipertimbangkan untuk mengevaluasi kinerja sensor gas oksida logam semikonduktor antara lain: (1) sensitivitas, yaitu nilai minimum konsentrasi volume gas target ketika gas dapat dideteksi; (2) selektivitas, yaitu kemampuan sensor gas untuk mengidentifikasi gas tertentu di antara campuran gas-gas lain; (3) waktu respon, yaitu periode waktu ketika konsentrasi gas mencapai nilai tertentu dengan ketika sensor menghasilkan sinyal peringatan; (4) konsumsi energi, yaitu apakah sensor membutuhkan tegangan dan arus yang tinggi dalam rangkaian; dan (5) reversibilitas, yaitu apakah bahan penginderaan dapat kembali ke keadaan semula setelah deteksi (Liu et. al., 2012).

#### **2.4.1 Rangkaian Sistem Pendeteksi Gas Karbon dioksida**

#### **2.4.2 Sensor Gas Karbon dioksida**

##### **2.4.2.1 Struktur Sensor Gas Karbon dioksida**

Sensor gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan sensor dengan tipe CDM 4160 yang diproduksi oleh perusahaan Figaro Engineering Inc. seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2:



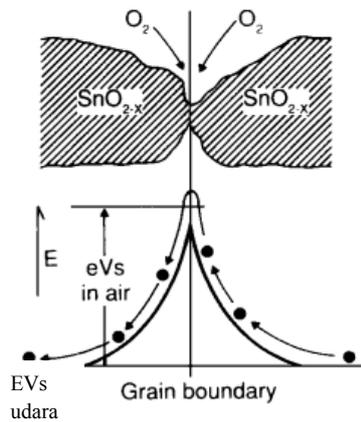
Gambar 2.2. Sensor gas figaro CDM 4160  
(Figaro Engineering Inc., 2004)

Berdasarkan Gambar 2.2., CDM 4160 merupakan unit baru yang menggunakan TGS 4160, jenis sensor gas figaro yang digunakan untuk deteksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan limit deteksi 400-4500 ppm. CDM 4160 berbentuk modul untuk memproses sinyal dengan mikrokomputer (Figaro Engineering Inc., 2004).

Material oksida logam yang digunakan sebagai bahan pembuatan TGS 4160 adalah timah(IV) oksida ( $\text{SnO}_2$ ). Sensor berbahan oksida logam  $\text{SnO}_2$  tergolong ke dalam semikonduktor tipe-n yang menunjukkan adanya penurunan tahanan sensor ketika dipaparkan pada gas pereduksi, sebaliknya terjadi peningkatan konduktivitas dan tahanan sensor ketika dipaparkan pada gas pengoksidasi (Wetchakun et. al., 2011; Grossmann et al., 2013).  $\text{SnO}_2$  dapat digunakan sebagai piezoelectrical transduser atau pengubah daya tekanan menjadi tegangan atau arus listrik. Pada sensor berbahan  $\text{SnO}_2$ , desorpsi panas dari partikel gas pada permukaan sensor atau pemisahan antara tingkat energi yang diinduksi oleh gas dan partikel oksigen pada selisih energi sensor berbahan film dapat diidentifikasi sebagai agen pengidentifikasi. Kemampuan identifikasi dari sensor gas semikonduktor tunggal berbasis film tipis  $\text{SnO}_2$  ditunjukkan oleh ketergantungan konduktivitas sensor pada konsentrasi gas (Simakov et. al., 2009).  $\text{SnO}_2$  sebagai bahan sensor gas lebih umum digunakan daripada oksida logam lainnya karena jumlahnya yang melimpah, murah, dan tidak berbahaya. Penggunaan oksida logam  $\text{SnO}_2$  untuk memonitoring kadar gas  $\text{CO}_2$  diteliti oleh Abderrahim et al. (2013). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor oksida logam  $\text{SnO}_2$  efektif dalam mengukur kadar  $\text{CO}_2$  di atmosfer.

#### **2.4.2.2 Prinsip Kerja Sensor Gas Karbon dioksida**

Secara umum, nilai gaya kelistrikan (tegangan ataupun tahanan) pada sensor bergantung pada banyak sedikitnya jumlah oksigen yang mengenai sensor. Perubahan jumlah oksigen yang mengenai lapisan timah(IV) oksida akan menyebabkan perubahan penghalang potensial pada batas butir (grain boundary) sensor. Perubahan penghalang potensial kemudian dapat menyebabkan perubahan nilai tahanan sensor. Proses adsorpsi oksigen pada permukaan sensor tanpa adanya gas karbon dioksida ditunjukkan oleh Gambar 2.4:



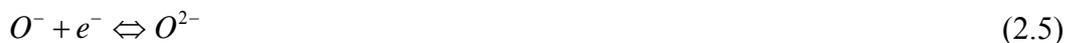
Batas butir kristal SnO<sub>2</sub>

Gambar 2.4. Proses adsorpsi oksigen oleh sensor tanpa adanya gas target (Figaro Engineering Inc., 2004)

Berdasarkan Gambar 2.4., apabila sensor berbahan oksida logam SnO<sub>2</sub> dipanaskan pada suhu operasional TGS 4160, oksigen akan diadsorpsi pada permukaan kristal SnO<sub>2</sub>. Adsorpsi oksigen oleh permukaan kristal ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut:



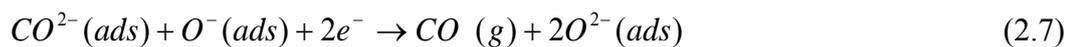
Proses tersebut terjadi karena pada saat oksigen diadsorpsi pada permukaan sensor, permukaan kristal mendonorkan elektron pada oksigen bermuatan negatif seperti ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut:



Ion-ion oksigen O<sub>2</sub><sup>-</sup>, O<sup>-</sup> dan O<sup>2-</sup> stabil dibawah suhu 100°C, antara 100°C dan 300°C, dan di atas 300°C (Wetchakun et. al., 2011).

Secara umum, ketika gas pereduksi diserap pada permukaan oksida logam maka level penghalang potensial akan mengalami penurunan. Sebaliknya, ketika gas pengoksidasi diserap pada permukaan oksida logam semikonduktor maka level penghalang potensial akan mengalami kenaikan (Figaro Engineering Inc., 2004).

Ketika sensor CDM 4160 dipanaskan pada suhu operasi dan dipaparkan pada gas CO<sub>2</sub>, gas CO<sub>2</sub> yang berlaku sebagai gas pengoksidasi akan diserap pada permukaan kristal SnO<sub>2</sub>. Adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada permukaan kristal menyebabkan pengurangan konsentrasi oksigen pada permukaan oksida logam semikonduktor sehingga terjadi proses reduksi gas CO<sub>2</sub>. Gas karbon dioksida bereaksi dengan ion oksigen teradsorpsi O<sup>-</sup> saat teradsorb pada permukaan oksida logam. Permukaan oksida logam akan mengalami oksidasi karena kekurangan elektron, sedangkan ion-ion oksigen penyusun struktur kisi kristal akan berikatan dengan gas karbon dioksida sehingga menyebabkan terjadinya vakansi oksigen atau ruang kosong (Wetchakun et. al., 2011). Reaksi reduksi gas karbon dioksida ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut:



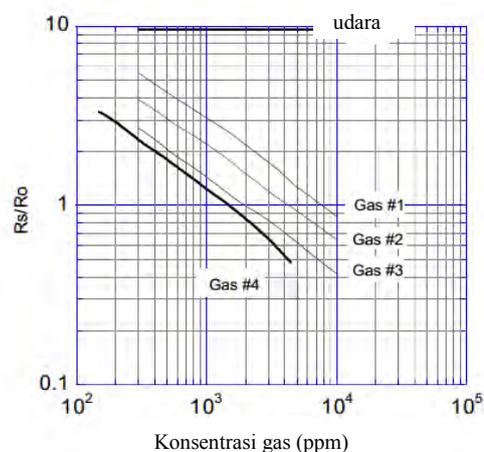
Berdasarkan reaksi tersebut, gas CO<sub>2</sub> menyebabkan oksigen dalam bentuk  $O_{ad}^-$  yang berada pada permukaan kristal sensor tertarik membentuk molekul CO. Reaksi tersebut membutuhkan elektron dari permukaan oksida logam sehingga mengakibatkan berkurangnya konsentrasi elektron pada permukaan semikonduktor SnO<sub>2</sub>. Hal tersebut menyebabkan rapat muatan negatif oksida menurun, sedangkan penghalang potensial dan nilai tahanan sensor mengalami kenaikan. Oleh karena itu, kenaikan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> akan meningkatkan nilai tahanan keluaran sensor gas CO<sub>2</sub>. Pada pendeteksian gas pereduksi oleh sensor TGS, hubungan antara tahanan dan konsentrasi gas dapat dinyatakan oleh persamaan berikut untuk konsentrasi gas dengan rentang tertentu:

$$R = A [C]^{-\alpha} \quad (2.8)$$

dengan R adalah resistansi (tahanan) sensor, C adalah konsentrasi gas, A adalah koefisien respon gas, dan  $\alpha$  adalah sensitivitas. Konstanta A dan  $\alpha$  tergantung pada tipe material sensor dan temperatur sensor (Figaro Engineering Inc., 2004).

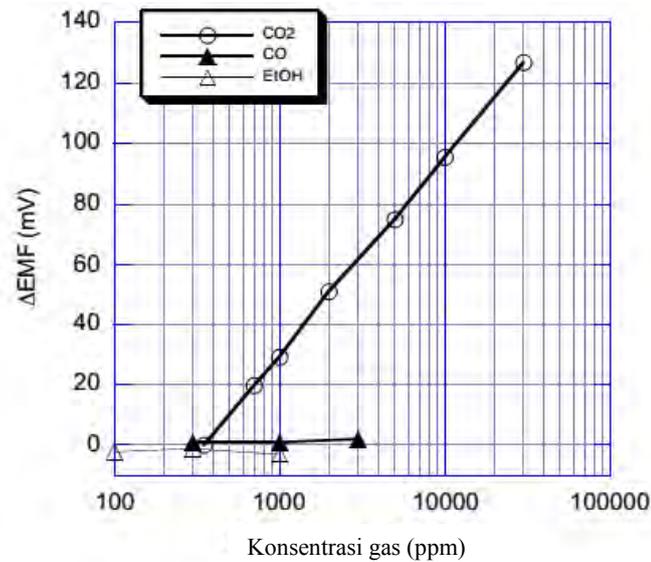
### 2.4.2.3 Karakteristik Sensor Gas Karbon Dioksida

Sensor gas CDM 4160 sebagai pendeteksi gas karbon dioksida memiliki beberapa karakteristik. Pertama, tahanan sensor bergantung pada tekanan parsial oksigen. Pengurangan tekanan parsial oksigen akan menurunkan tahanan sensor. Kedua, memiliki sensitivitas terhadap gas. Hubungan tahanan sensor dengan konsentrasi gas adalah linear pada skala logaritmik untuk konsentrasi gas dalam rentang tertentu (dari beberapa ppm sampai beberapa ribu ppm). Sensor ini akan menunjukkan kepekaan terhadap gas pengoksidasi maupun gas pereduksi yang dioptimalkan oleh rumusan material penginderaan dan temperatur sensor. Untuk gas pereduksi, hubungan antara konsentrasi gas dengan tahanan sensor ditunjukkan Gambar 2.6. Berdasarkan Gambar 2.6. tersebut, nilai tahanan sensor yang sebenarnya bervariasi tergantung pada berbagai jenis sensor sehingga karakteristik sensitivitas sensor terhadap gas dinyatakan sebagai rasio tahanan sensor dalam berbagai konsentrasi gas ( $R_s$ ) terhadap tahanan pada gas target dengan konsentrasi tertentu ( $R_o$ ).



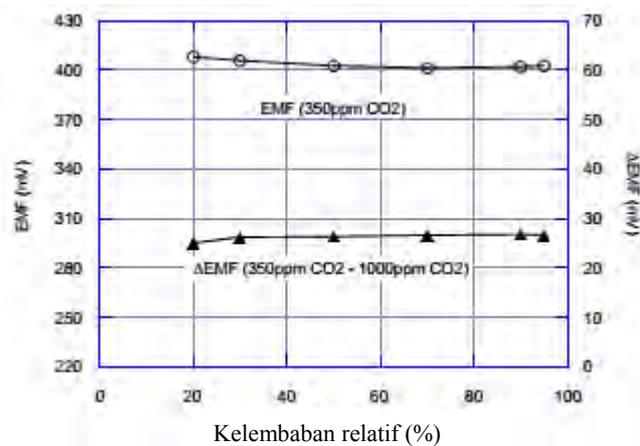
Gambar 2.6. Grafik resistansi sensor terhadap gas (Figaro Engineering Inc., 2004)

Sedangkan sensitivitas sensor gas karbon dioksida terhadap gaya kelistrikan ditunjukkan oleh Gambar 2.7. berikut:



Gambar 2.7. Grafik  $\Delta$ EMF sensor terhadap gas (Figaro Engineering Inc., 2004)

Gambar 2.7. menunjukkan bahwa konsentrasi gas CO<sub>2</sub> berbanding lurus dengan  $\Delta$ EMF (electromotive force).  $\Delta$ EMF merupakan gaya kelistrikan (dengan satuan volt) yang didapatkan dari selisih antara EMF pada konsentrasi gas tertentu dikurangi dengan EMF pada 400 ppm CO<sub>2</sub>. Ketiga, respon sensor berlangsung cepat. Keempat, sensor gas memiliki kergantungan pada suhu dan kelembaban. Ketergantungan sensor gas karbon dioksida pada kelembaban ditunjukkan pada Gambar 2.8:



Gambar 2.8. Ketergantungan sensor terhadap kelembaban (Figaro Engineering Inc., 2004)

Berdasarkan Gambar 2.8., kelembaban relatif sensor CO<sub>2</sub> dapat mempengaruhi nilai ΔEMF sensor. Selain itu, kelembaban menyebabkan penurunan R<sub>s</sub> sebagai uap air yang teradsorpsi di permukaan sensor. Prinsip deteksi sensor gas karbon dioksida didasarkan pada adsorpsi kimia dan desorpsi gas pada permukaan sensor. Akibatnya, suhu lingkungan akan mempengaruhi karakteristik sensitivitas dengan mengubah laju reaksi kimia. Kelima, sensor gas memiliki stabilitas dan daya tahan baik. CDM 4160 bersifat stabil dari waktu ke waktu sehingga cocok digunakan untuk operasi tanpa biaya perawatan yang tinggi (Figaro Engineering Inc., 2004).

## 2.6 Gas Karbon Dioksida

### 2.6.1 Struktur dan Ikatan Karbon Dioksida

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Molekul karbon dioksida mengandung dua ikatan rangkap yang berbentuk linear. Struktur molekul CO<sub>2</sub> ditunjukkan oleh Gambar 2.10:



Gambar 2.10. Struktur molekul CO<sub>2</sub>  
(Mattson et. al., 2006)

Ikatan C=O pada molekul CO<sub>2</sub> ekuivalen dengan panjang 116.3 pm sehingga molekul CO<sub>2</sub> simetri. Karena molekulnya simetri, CO<sub>2</sub> memiliki momen dipol nol atau tidak bersifat dipol.

### 2.6.2 Karakteristik Gas Karbon Dioksida

Karbon dioksida memiliki beberapa sifat fisika untuk memudahkan cara membedakannya dengan gas lain. Karbon dioksida berwujud gas pada keadaan temperatur dan tekanan standar. Gas CO<sub>2</sub> memiliki massa molar 44,0095 g/mol. Gas tersebut memiliki karakteristik tidak berwarna dan tidak berbau pada konsentrasi rendah, namun pada konsentrasi tinggi berbau tajam dan seperti asam.

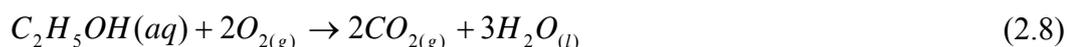
Selain itu, gas CO<sub>2</sub> tidak begitu reaktif dan tidak mudah terbakar. Kelarutan gas CO<sub>2</sub> dalam air adalah 3,48 g/L pada 0 °C dan 1,45 g/L pada 25 °C. Ketika gas CO<sub>2</sub> dilarutkan dalam air maka menghasilkan CO<sub>2</sub> (aq). Kerapatan jenis gas CO<sub>2</sub> 50% lebih besar daripada udara. Pada 25 °C dan 1 atm kerapatan jenis gas CO<sub>2</sub> sebesar 1.799 g/L, sedangkan udara 1.18 g/L (Mattson et. al., 2006).

Gas karbon dioksida merupakan komponen gas rumah kaca paling utama pada atmosfer bumi di samping metana (13%), nitrogen oksida (6%), dan fluorokarbon (13%). Gas CO<sub>2</sub> dapat diproduksi ulang melalui proses fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses pengubahan bentuk energi cahaya menjadi energi kimia oleh tumbuhan hijau dan organisme lain. Energi panas ditangkap dan digunakan untuk mengubah karbon dioksida, air dan mineral lain menjadi oksigen dan energi yang kaya akan senyawa organik (Wetchakun et. al., 2011).

### 2.6.3 Reaksi Kimia yang Menghasilkan Gas Karbon Dioksida

Reaksi kimia (chemical reaction) merupakan proses yang mengonversi sekelompok zat yang disebut reaktan (reactant) menjadi sekelompok zat baru yang dinamakan produk (product). Dengan kata lain, reaksi kimia adalah proses yang menghasilkan perubahan kimia. Adanya perubahan kimia ditandai dengan beberapa indikator seperti adanya perubahan warna, pembentukan endapan (padatan) dalam larutan jernih, evolusi gas, dan evolusi atau penyerapan kalor (Petrucci et. al., 2011).

Salah satu indikator terjadinya reaksi kimia adalah evolusi gas. Gas karbon dioksida dihasilkan melalui beberapa reaksi. Reaksi yang menghasilkan karbon dioksida adalah reaksi pembakaran sempurna hidrokarbon. Salah satu contohnya adalah reaksi pembakaran sempurna etanol dengan yang dinyatakan oleh persamaan reaksi berikut:



Contoh lain reaksi pembakaran hidrokarbon yang menghasilkan karbon dioksida adalah reaksi antara gula (sukrosa) yang dinyatakan oleh persamaan reaksi berikut:



## 2.7 Pembelajaran Kimia Terintegrasi pada Sistem Pendeteksi Gas CO<sub>2</sub>

Pembelajaran kimia berbasis STEM dengan sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> dapat diterapkan pada materi kimia Reaksi Redoks yang terdapat KD 3.2 dan 3.3 Kurikulum 2013 (Kemendikbud, 2013). Interaksi antarmuka sensor dengan gas target atau gas yang dideteksi akan menyebabkan terjadinya reaksi redoks antara gas target dengan permukaan sensor. Reaksi redoks yang terjadi pada proses pendeteksian gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan reaksi yang melibatkan transfer elektron antara oksidator (zat yang menerima elektron) dan reduktor (zat yang melepas elektron). Ketika gas CO<sub>2</sub> mengenai permukaan sensor, gas CO<sub>2</sub> bereaksi dengan ion oksigen teradsorpsi sehingga tereduksi menjadi molekul CO seperti ditunjukkan persamaan reaksi berikut:

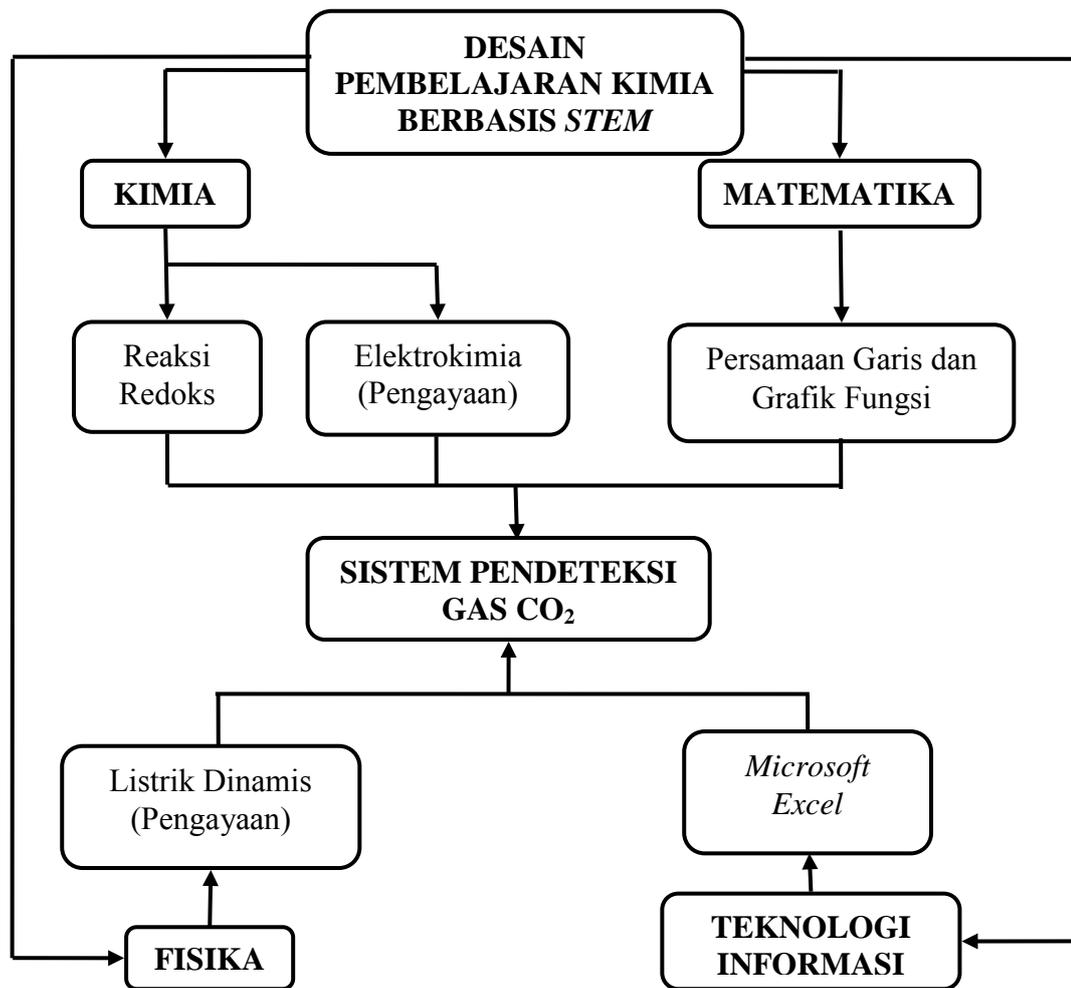


Sebaliknya, ion oksigen teradsorpsi (O<sup>-</sup>) pada permukaan oksida logam semikonduktor mengalami oksidasi untuk membentuk oksigen seperti ditunjukkan persamaan reaksi berikut:



Adanya reaksi redoks menimbulkan aliran elektron dari elektroda yang bermuatan positif ke elektroda yang bermuatan negatif dalam suatu sel reaksi redoks (Petrucci, 2011).

Pembelajaran kimia berbasis STEM dengan menggunakan mini-scale laboratory sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> terintegrasi dengan bidang ilmu lain yaitu fisika, matematika, dan teknologi informasi. Integrasi antara bidang ilmu kimia dengan bidang lainnya ditunjukkan pada Gambar 2.11.:



Gambar 2.11. Peta Konsep Integrasi Kimia dengan Fisika, Matematika, dan Teknologi Informasi pada Pembelajaran STEM (Kemendikbud, 2013)

Berdasarkan Gambar 2.11. integrasi penggunaan pembelajaran STEM dengan sistem pendeteksi gas pada ilmu fisika ditunjukkan oleh adanya rangkaian listrik dari sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> yang terdiri dari power supply DC 5 volt, op amp untuk penguat sinyal, resistor dan kapasitor (Figaro Engineering Inc., 2004).

Penggunaan teknologi sensor berkaitan erat dengan materi listrik pada ilmu fisika sesuai dengan KD 3.5, 3.6, dan 3.11 Kurikulum 2013 (Kemendikbud, 2013). Selain itu, proses kimia yang berlangsung di dalam sensor akan menyebabkan adanya aliran elektron. Aliran elektron dalam sensor menyebabkan perubahan tegangan ataupun tahanan listrik (Figaro Engineering Inc., 2004).

Hubungan antara tegangan dan tahanan listrik dinyatakan oleh Hukum Ohm dalam persamaan berikut:

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.12)$$

dengan  $V$  adalah tegangan listrik (volt),  $I$  adalah arus listrik (ampere), dan  $R$  adalah resistansi atau tahanan listrik ( $\Omega$  atau ohm). Persamaan tersebut menunjukkan bahwa besarnya kuat arus listrik sebanding dengan tegangan potensial, akan tetapi berbanding terbalik dengan tahanan listrik ( McWeeny, 2009).

Selanjutnya proses visualisasi data digital keluaran sensor dalam bentuk tabel maupun grafik fungsi melibatkan ilmu matematika. Pembelajaran dengan menggunakan sensor lebih menekankan pada kemampuan siswa untuk menginterpretasikan data kuantitatif dalam bentuk grafik daripada cara memperoleh ataupun menggambar grafik. Dalam matematika, terdapat beberapa jenis grafik fungsi diantaranya grafik fungsi persamaan garis lurus, fungsi trigonometri, fungsi periodik, fungsi nilai mutlak, dan fungsi logaritmik. Grafik hubungan antara konsentrasi sensor dengan  $\Delta EMF$  merupakan grafik fungsi persamaan garis lurus dengan persamaan  $y = mx + c$  (Surowski, 2009). Proses penginterpretasian grafik dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis, membantu konstruksi pengetahuan, dan mengembangkan konsep pada siswa (Aksela, 2011). Persamaan garis dan grafik fungsi dipelajari dalam KD 3.13 Kurikulum 2013 untuk kompetensi dasar Matematika (Kemendikbud, 2013). Penerapan sistem pendeteksi gas  $CO_2$  juga terintegrasi dengan teknologi informasi karena membantu memudahkan siswa untuk menyajikan data dalam bentuk grafik dengan menggunakan program Microsoft Excel.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.1.1 Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor figaro CDM 4160, piranti akuisisi data berupa mikrokontroler Arduino, flow meter, wadah sampel, pompa gas, selang plastik, komputer atau laptop, gelas kimia, tabung reaksi, dan penjepit tabung reaksi.

##### **3.1.2 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan untuk kalibrasi sensor adalah gas CO<sub>2</sub> UHP, gas N<sub>2</sub>. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan untuk simulasi percobaan kimia adalah akuades, gula dan etanol PA.

#### **3.2 Rancangan Penelitian**

Rancangan penelitian dan pengembangan media pembelajaran kimia dengan sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> mengadaptasi model *ADDIE* (*Analysis phase, Design phase, Development phase, Implementation phase, and Evaluation phase*) yang terdiri dari 5 fase. Pemilihan model *ADDIE* sebagai desain pengembangan dikarenakan berbagai model desain instruksional dalam penelitian pengembangan umumnya didasarkan pada 5 tahap yang terdapat dalam model *ADDIE*. Di samping itu, model *ADDIE* umum digunakan untuk pengembangan media pembelajaran.

#### **3.3 Prosedur Penelitian**

Pembuatan sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> disesuaikan dengan rancangan yang telah dibuat. Sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> kemudian dikalibrasi dengan menggunakan flowmeter. Gas CO<sub>2</sub> dikombinasikan dengan gas N<sub>2</sub> dengan perbandingan tertentu, difungsikan untuk mengeluarkan gas CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi sebesar 1000, 2000, 3000, dan 4000 ppm. Setelah perbandingan gas

CO<sub>2</sub>/ N<sub>2</sub> melalui sensor, dilakukan pengukuran perubahan tegangan keluaran sensor untuk masing-masing konsentrasi gas CO<sub>2</sub>. Berdasarkan data hasil kalibrasi dapat dibuat grafik konsentrasi gas CO<sub>2</sub> terhadap  $\Delta$ EMF (*electromotive force*) keluaran sensor (*Figaro Engineering inc.*, 2004). Grafik linear yang didapatkan kemudian ditentukan dalam bentuk persamaan matematika yaitu  $y = mx + c$ .

Sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> yang terkalibrasi kemudian diuji coba dengan kegiatan praktikum yang akan diberikan kepada siswa. Praktikum atau percobaan yang disimulasikan pada rangkaian sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> adalah reaksi-reaksi kimia yang menghasilkan gas CO<sub>2</sub>. Reaksi-reaksi tersebut adalah reaksi pembakaran etanol dan pembakaran gula dalam tabung reaksi. Ketika gas CO<sub>2</sub> dari hasil reaksi kimia mencapai permukaan sensor dan menghasilkan sinyal, maka akan dihasilkan grafik konsentrasi gas CO<sub>2</sub> terhadap tegangan keluaran atau  $\Delta$ EMF (*electromotive force*). Data keluaran sensor berupa tegangan dan konsentrasi CO<sub>2</sub> ditampilkan melalui aplikasi Arduino dan dapat disajikan dalam bentuk grafik yang dibuat dengan program Microsoft Excel.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Fabrikasi Sistem Pendeteksi Gas CO<sub>2</sub>

Sistem pendeteksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dikembangkan dari sensor gas keluaran *Figaro Engineering inc.*, yaitu CDM 4160, yang memiliki limit deteksi 400-4500 ppm. Sistem pendeteksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) tersusun atas sensor CDM 4160, wadah kaca, rangkaian akuisisi data, pompa udara, dan monitor. Rangkaian akuisisi data yang digunakan berupa mikrokontroler ATmega 328, Arduino Duemilanove, yang dilengkapi dengan *software* Arduino sebagai program yang berfungsi untuk menampilkan angka mentah yang nilainya ekuivalen dengan sinyal listrik yang dihasilkan dari pengukuran kadar gas karbon dioksida. Hasil pembuatan sistem pendeteksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ditunjukkan pada Gambar 4.1.:



Gambar 4.1. Rangkaian Sistem Pendeteksi Gas CO<sub>2</sub>

Berdasarkan Gambar 4.1., komponen sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> yang utama adalah sensor CDM 4160 yang berfungsi sebagai bahan penginderaan. Sensor CDM 4160 berbahan dasar oksida logam semikonduktor SnO<sub>2</sub>. Komponen lain yaitu wadah kaca berukuran 1500 m L yang berfungsi sebagai tempat untuk

melakukan reaksi-reaksi pembakaran yang menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dan mikrokontroler sebagai program pengolah data analog keluaran sensor menjadi data digital sehingga memudahkan pengguna untuk mengetahui hasil pengukuran kadar gas CO<sub>2</sub>. Selain beberapa komponen tersebut, terdapat monitor yang menampilkan data digital keluaran sensor dan pompa udara yang berfungsi untuk mengembalikan udara ke *ambient* (udara lingkungan sekitar) setelah pengukuran kadar gas CO<sub>2</sub>. Aliran gas ke dalam wadah kaca dikendalikan secara manual dengan menggunakan kran (*valve*).

Cara kerja sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> dideskripsikan sebagai berikut:

1. Pada saat sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> tidak dipaparkan pada gas CO<sub>2</sub>, *software* Arduino pada monitor akan menampilkan data digital yang menunjukkan *baseline* sensor.
2. Pada saat reaksi kimiawi yang menghasilkan gas CO<sub>2</sub> berlangsung pada wadah kaca, gas CO<sub>2</sub> pada wadah kaca terpapar pada sensor. Selanjutnya ADC pada mikrokontroler ATmega 328 melakukan pembacaan terhadap sensor CDM yang kemudian dikonversi dari nilai tegangan analog menjadi data digital.
3. *Software* Arduino yang ditampilkan pada monitor melakukan program pembacaan dan penyimpanan data hasil pengiriman oleh mikrokontroler. Pada *software* ini, data digital sensor ditampilkan dalam bentuk angka yang dapat dikonversi menjadi tegangan sensor dengan menggunakan formula berikut:

$$V = \frac{x}{1023} \times 5 \quad (4.1)$$

dengan V = tegangan keluaran sensor (volt)

$x$  = angka yang muncul pada Arduino

#### 4.2 Kalibrasi Sistem Pendeteksi Gas CO<sub>2</sub>

Sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> dikalibrasi dengan menggunakan 1000, 2000, 3000, dan 4000 ppm gas CO<sub>2</sub>. Pemilihan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> untuk kalibrasi didasarkan pada limit deteksi sensor CDM 4160 dengan limit deteksi 400-4500 ppm (Figaro Engineering inc., 2006). Variasi konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dilakukan dengan mengalirkan sejumlah gas CO<sub>2</sub> dengan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) ke sensor dengan

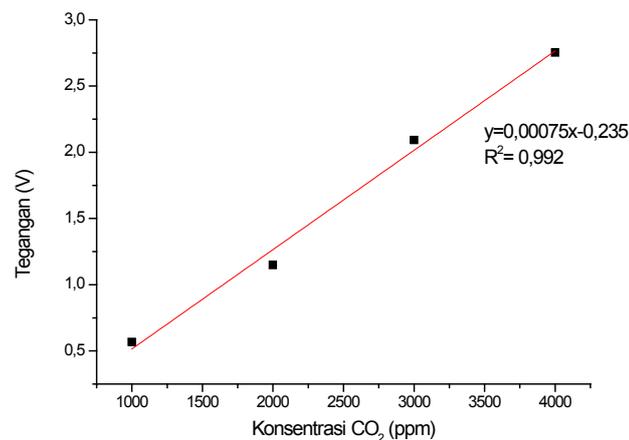
perbandingan tertentu sesuai konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang diinginkan. Hasil kalibrasi sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengujian kadar gas CO<sub>2</sub> terhadap tegangan keluaran sensor ( $\Delta$ EMF)

Kadar CO <sub>2</sub> (ppm)	Tegangan keluaran (volt)			tegangan rata-rata (volt)	Standar deviasi
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3		
1000	0,5474	0,5621	0,5914	0,5670	0,01829
2000	1,0850	1,1681	1,1926	1,1486	0,04602
3000	2,0528	2,0626	2,1603	2,0919	0,04855
4000	2,7175	2,7370	2,8055	2,7533	0,03772

Berdasarkan Tabel 4.1., dapat diketahui bahwa hasil pengukuran nilai tegangan keluaran sensor untuk setiap kadar CO<sub>2</sub> pada 3 kali pengulangan memiliki nilai yang berdekatan sehingga dapat disebut presisi. Presisi merupakan derajat kedekatan hasil pengukuran antara satu dengan lainnya. Suatu hasil pengukuran dikatakan mempunyai presisi tinggi apabila nilainya saling berdekatan atau mengumpul (Harvey, 2000). Pada Tabel 4.1., terdapat nilai standar deviasi pada setiap pengukuran kadar gas CO<sub>2</sub>. Semakin kecil nilai standar deviasi, maka nilai presisinya paling tinggi. Dengan demikian pengukuran 1000 ppm gas CO<sub>2</sub> dengan sistem pendeteksi gas merupakan pengukuran dengan nilai presisi paling tinggi untuk tiap pengulangan.

Hasil kalibrasi sensor dalam bentuk grafik ditunjukkan oleh Gambar 4.2:



Gambar 4.2. Kurva Kalibrasi Sistem Pendeteksi Gas CO<sub>2</sub>

Berdasarkan Gambar 4.2., konsentrasi gas CO<sub>2</sub> berbanding lurus dengan tegangan keluaran sensor. Pada saat sistem pendeteksi gas dipaparkan pada gas CO<sub>2</sub>, gas CO<sub>2</sub> yang berlaku sebagai gas pengoksidasi akan diserap pada permukaan kristal SnO<sub>2</sub> dan bereaksi dengan ion oksigen teradsorpsi O<sup>-</sup> sehingga menyebabkan adanya kekurangan elektron pada permukaan oksida elektron. Kurangnya konsentrasi elektron pada permukaan kristal SnO<sub>2</sub> menyebabkan rapat muatan negatif oksida menurun, sedangkan tegangan keluaran dan nilai tahanan sensor mengalami kenaikan. Hasil kalibrasi sensor gas CO<sub>2</sub> digunakan untuk memudahkan konversi nilai tegangan keluaran sensor menjadi konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dalam satuan ppm.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Media pembelajaran berbasis *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) terdiri dari sistem pendeteksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan modul interaktif STEM. Sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> dikalibrasi dengan menggunakan flowmeter pada konsentrasi 1000, 2000, 3000, dan 4000 ppm CO<sub>2</sub> sehingga menghasilkan persamaan kurva kalibrasi  $y=0,00075x-0,235$ . Media pembelajaran berbasis STEM yang telah dikembangkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran kimia terintegrasi pada materi Reaksi Redoks untuk Kelas X SMA/SMK semester genap. Media pembelajaran tersebut digunakan sebagai media percobaan pembakaran etanol dan gula untuk menggali konsep reduksi dan oksidasi pada siswa.

Media pembelajaran berbasis STEM dengan topik sistem pendeteksi gas karbon dioksida divalidasi dan diujicobakan pada siswa kelas X Kimia Analisis (KA) di SMKN 5 Surabaya. Hasil validasi ahli modul menunjukkan bahwa media pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM berupa sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> memiliki kriteria valid (layak digunakan untuk media pembelajaran) dengan skor 3,42 dan modul interaktif STEM memiliki kriteria valid (layak digunakan untuk media pembelajaran) dengan skor 3,33 (1-4). Sedangkan hasil uji coba lapangan menunjukkan adanya perbedaan hasil pencapaian kompetensi yang cukup signifikan (kognitif, afektif, dan psikomotor) antara siswa yang mengikuti pembelajaran reaksi redoks dengan pembelajaran STEM dan siswa yang mengikuti pembelajaran dengan metode konvensional. Rata-rata nilai kognitif siswa setelah pembelajaran berlangsung adalah 7,8 pada kelas eksperimen dan 7,4 (0-10) pada kelas kontrol. Sedangkan nilai afektif siswa pada kelas eksperimen memperoleh rata-rata nilai 3,32 dan siswa kelas kontrol memperoleh rata-rata nilai 3,09 (0-4).

## **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian, beberapa hal yang dapat disarankan adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas penggunaan media pembelajaran berbasis STEM dengan topik sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> di SMA.
2. Pengembangan media pembelajaran STEM dalam bentuk inovasi lain perlu dilakukan pada level sekolah menengah maupun perguruan tinggi untuk meningkatkan kegiatan pembelajaran yang bersifat multidisipliner.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abderrahim, H., Berrebia, M., Hamou, A., Kherief, H., Zanoun, Y., dan Zenata, K. (2011), "Measure of Carbon Dioxide Using A Gas Sensor of A Semiconductor Type Based on Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>)", *Journal of Material Environment and Science*, Vol. 2, No. 2, hal. 94-103.
- Agung, R., dan Susanto, I. (2012), "Rancang Bangun Prototipe Penghitung Jumlah Orang Dalam Ruang Terpadu Berbasis Mikrokontroler ATmega328P", *Teknologi Elektro*, Vol.11, No.1, hal. 41-49.
- Aksela, M. K. (2011), "Engaging Students for Meaningful Chemistry Learning Through Microcomputer-based Laboratory (MBL) Inquiry", *Educación Química EduQnúmero*, Vol. 9, hal. 30-37.
- Alam, H., dan Saeed, S. H. (2013), "Modern Applications of Electronic Nose: A Review", *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol.3, No.1, hal. 52-63.
- Anderson, R. G. W. (2013), "Chemistry Laboratories, and How They Might be Studied", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol.44, hal. 669-675.
- Arikunto, S. (2006), *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Arikunto, S. (2006), *Dasar-dasar Evaluasi Pembelajaran*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Arkün, S., dan Akkoyunlu, B. (2008), "A Study on The Development Process of A Multimedia Learning Environment According to The ADDIE Model and Students' Opinions of The Multimedia Learning Environment", *Interactive Educational Multimedia*, No. 17, hal. 1-19.
- Avargil, S., Herscovitzb, O., dan Dori, Y. J. (2013), "Challenges in The Transition to Large-scale Reform in Chemical Education", *Thinking Skills and Creativity*, Vol.10, hal. 189-207.
- Bahrudin, I. A., Muhammad, M., Nawawi, M. I. A., Saharudin, I. N., Din, H. M., Ali, M. A., dan Abdullah, M. E. (2011), "Development of Interactive Courseware for Learning Basic Computer System Components", *American Journal of Economics and Business Administration*, Vol. 3, No. 1, hal. 132-138.
- Barrett, B.S., Moran, A.L., dan Woods, J.E. (2014), "Meteorology Meets Engineering: An Interdisciplinary Stem Module For Middle and Early Secondary School Students", *International Journal of STEM Education*, hal. 1-6.

- Chappuis, S., dan Chappuis, J. (2007), "The Best Value in Formative Assessment", *Informative Assessment*, Vol. 65, No. 4, hal. 14-19.
- Chi, H., dan Jain, H. (2011), "Teaching Computing to STEM Students Via Visualization Tools", *Procedia Computer Science*, Vol.4, hal. 1937-1943.
- Coll, N. K., dan Taylor, T. G. N. (2001), "Using Constructivism to Inform Tertiary Chemistry Pedagogy", *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, Vol . 2, No. 3, hal. 215-226.
- Danks, S. (2011), "The ADDIE Model: Designing, Evaluating Instructional Coach Effectiveness", *ASQ Primary and Secondary Education Brief*, Vol. 4, No. 5, hal. 89-100.
- Depdikbud. (2008), *Pengembangan Perangkat Penilaian Psikomotor*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Depdikbud. (2013), *Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 66 Tahun 2013 tentang Standar Penilaian Pendidikan*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Depdikbud. (2013), *Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 69 Tahun 2013 tentang Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum Sekolah Menengah Atas/ Madrasah Aliyah*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Figaro Engineering Inc. (2004), *CDM4160: Pre-calibrated Module for Carbon Dioxide*, Japan.
- Figaro Engineering Inc. (2004), *Product and General Information for TGS Sensors*, Japan.
- Figaro Engineering Inc. (2004), *TGS 4160 for The Detection of Carbon Dioxide*, Japan.
- Grossmann, K., Weimar, U., dan Barsan, N. (2013), "Semiconducting Metal Oxides Based Gas Sensors", *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 88, hal. 261-280.
- Handelsman, Jo. May, D. E., Beichner, R., Bruns, P., Chang, A., DeHaan, R., Gentile, J., Lauffer, S., Stewart, J., Tilghman, S. M., Wood, W. B. (2010), "Scientific Teaching", *Science New Series*, Vol. 304, No. 5670, hal. 521-522.
- Hanover Research. (2011), *K-12 STEM Education Overview*, District Administration Practice, Washington, DC.

- Hassan, R., Yusof, N. H., dan Salleh, S. M. (2012), "Easy Electronic Software for Digital Logic Design", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 59, hal. 498-507
- Harvey, D. (2000), *Modern Analytical Chemistry*. The McGraw-Hill Companies, Inc, United States of America.
- Hinze, S. R., Rapp, D. N., Williamson, V. M., Shultz, M. J., Deslongchamps, G., Williamson, K. C. (2013), "Beyond ball-and-stick: Students' Processing of Novel STEM Visualizations", *Learning and Instruction*, Vol. 26, hal.12-21.
- Hofstein, A., dan Lunetta, V. N. (2003), *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Wiley Periodicals, Inc., United States of America.
- Holbrook, J. (2005), "Making Chemistry Teaching Relevant", *Chemical Education International*, Vol. 6, No. 1, hal. 1-12.
- Inel, D., dan Balim, A. G. (2013), "Concept Cartoons Assisted Problem Based Learning Method in Science and Technology Teaching and Students' Views", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 93, hal. 376-380.
- Islam, J. H., Harianto, dan Wibowo, M. C. (2013), "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Gas CO, CO<sub>2</sub>, dan SO<sub>2</sub> Sebagai Informasi Pencemaran Udara", *Journal of Control and Network Systems*, Vol. 2, No. 1, hal. 51-59.
- ITEA. (2009), *The Overlooked STEM Imperatives: Technology and Engineering K-12 Education*, International Technology Education Association, United States.
- Jeenthong, T., Ruenwongsa, P., dan Sriwattanarothai, N. (2014), "Promoting Integrated Science Process Skills Through Beta-live Science Laboratory", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 116, hal. 3292-3296.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., and Martín, S. (2013), *Technology Outlook for STEM+Education 2013-2018: An NMC Horizon Project Sector Analysis*. The New Media Consortium, Austin, Texas.
- Juan, Llorens, A., dan Molina. (2011), "Problem Based Learning In Introductory Organic Chemistry: A Laboratory Activity Based On The Anti-Sprouting Effect Of Essential Oils", *Australian Journal of Education Chemistry*, Vol. 71, No. 2, hal. 6-12.
- Kemendikbud. (2013), *Kompetensi Dasar Sekolah Menengah Atas/ Madrasah Aliyah*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.

- Klopfer, E., Osterwell, S., Groff, J., dan Haas, J. (2009), *Using of Technology Today in the Classroom: The instructional Power of Digital Games social Networking Simulations and How Teachers Can Leverage Them*, Massachusetts Institute of Technology.
- Lantz, H. B. (2009), *Science, Technology, Engineering, Mathematics (STEM) Education What Form? What Function?*, Intermediate Unit 1 and Carnegie Mellon, United States, hal. 1-11.
- Leite, L., dan Duorado, L. (2013), "Laboratory Activities, Science Education and Problem-Solving Skills", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 106, hal. 1677-1686.
- Liu, X., Cheng, S., Liu, H., Hu, S., Zhang, D., Ning, H. (2012), "A Survey on Gas Sensing Technology", *Sensors*, Vol. 12, hal. 9635-9665.
- Mattson, B., Anderson, M., dan Mattson, S. (2006), *Microscale Gas Chemistry, 4th Edition*, Department of Chemistry, Creighton University, Omaha, United States of America.
- McWeeny, R. (2009), *More Physics: Electric Charges and Fields-electromagnetism*. Universit`a di Pisa, Pisa, Italia.
- Nugent, G., Baker, B.S., Grandgenett, N., dan Adamchuk, V.I. (2010), "Impact of Robotics and Geospatial Technology Interventions on Youth STEM Learning and Attitudes", *Journal of Research on Technology in Education*, Vol.42, No.4, hal. 391-408.
- Omosowo, E. O. (2006), "The Laboratory Teaching Method in Science Based Disciplines", *African Journal of Educational Studies*, Vol. 4, No. 2, hal. 65-73.
- Petrucci, R. H., Harwood, W. S., Herring, F. G., dan Madura, J. D. (2011), *Prinsip-prinsip dan Aplikasi Modern Edisi Kesembilan Jilid 1*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Prasetyo, Y. D., Ikhsan, J., dan Sari, L. P. (2014), *The Development of Android-Based Mobile Learning Media As Chemistry Learning for Senior High School on Acid Base, Buffer Solution, and Salt Hydrolysis*, Proceeding of International Conference on Research, Implementation and Education of Mathematics and Sciences, hal. 113-119.
- Putra, R., P. (2013), *Rancang Bangun Instalasi Listrik Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino*. Tugas Akhir Diploma, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia.

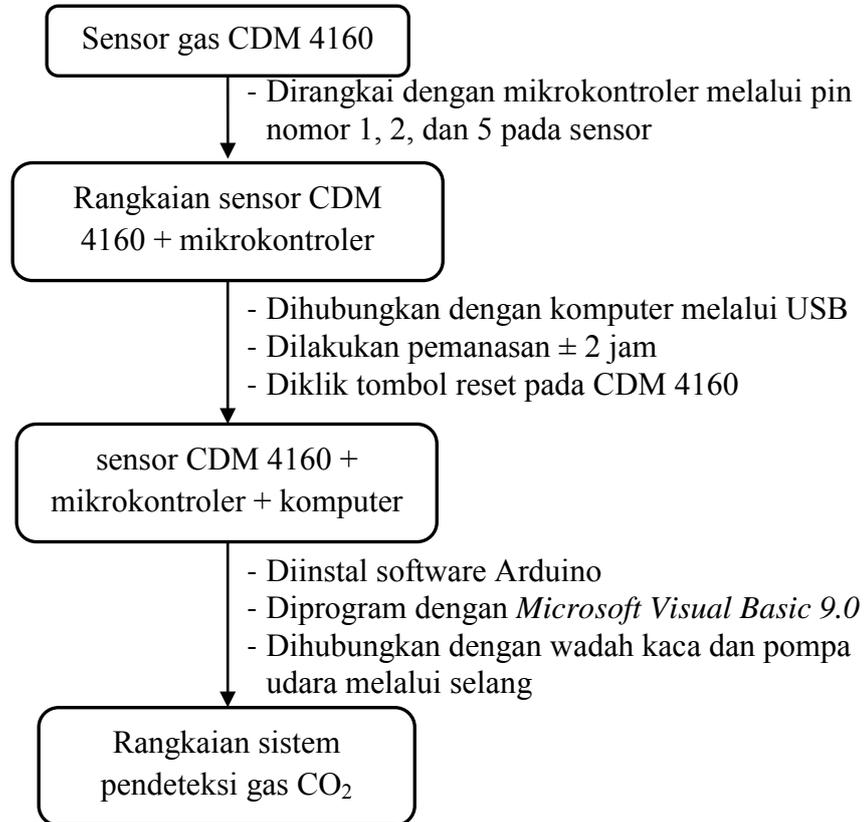
- Ratnawulan & Rusdiana , (2015). *Evaluasi Pembelajaran*. Bandung, CV. Pustaka Setia.
- Sari, Milya. (2012), “Usaha Mengatasi Problematika Pendidikan Sains di Sekolah dan Perguruan Tinggi”, *Jurnal Al-Ta’lim*, Vol. 1, No. 1, hal. 74-86.
- Saxton, E., Burns, R., Holveck, S., Kelley, S., Prince, D., Rigelman, N., dan Skinner, E. A. (2014), “A Common Measurement System For K-12 STEM Education: Adopting An Educational Evaluation Methodology that Elevates Theoretical Foundations and Systems Thinking”, *Studies in Educational Evaluation*, Vol. 40, hal. 18-35.
- Shamsudin, N. M., Abdullah, N., Yaamat, N. (2013), “Strategies of Teaching Science Using an Inquiry Based Science Education (IBSE) by Novice Chemistry Teachers”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 90, hal. 583- 592.
- Simakov, V., Voroshilov, A., Grebennikov, A., Kucherenko, N., Yakusheva, O., and Kisin, V. (2009), “Gas Identification by Quantitative Analysis of Conductivity-vs-Concentration Dependence for SnO<sub>2</sub> Sensors”, *Sensors and Actuators B Chemical*, Vol. 137, hal. 456–461.
- Srinatun. (2007), *Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Kadar CO<sub>2</sub> dan Implementasinya Pada Rumah Kaca Menggunakan Sensor TGS 4160*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro Semarang, Semarang.
- Srisawasdi, N. (2012), “Students’ Teacher Perceptions of Computerized Laboratory Practise for Science Teaching: A Comparative Analysis”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 46, hal. 4031-4038.
- Stetter, J. R., Strathmann, S. dan Penrose, W.R. (2000), “New Sensor Arrays and Sampling System for A Modular Electronic Nose”, *Sensor and Actuators B Chemical*, Vol. 75, No. 3, hal.:410-419.
- Stradiotto, N. R., Yamanaka, H., dan Maria Valnice B. Zanoni, M. V. B. (2003), “Electrochemical Sensors: A Powerful Tool in Analytical Chemistry”, *Journal of Brazil Chemical Society*, Vol. 14, No. 2, hal. 159-173.
- Sugriwan, I., Fuadi, A. J., Riadi, S., Rahmadiansyah, dan Tuhuloula, A. (2012), *Pengembangan Sistem Sensor Untuk Mengukur Parameter Gas Pada Produksi Biogas*. Prosiding Insinas, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Surowski, D. B. (2009), *Advanced High-School Mathematics*, Shanghai American School, Shanghai, China.

- Tim Puslitjaknov. (2008), *Metode Penelitian Pengembangan*, Pusat Penelitian Kebijakan dan Inovasi Pendidikan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Tsai, S. (2009), "Courseware Development for Semiconductor Technology and Its Application Into Instruction", *Computers and Education*, Vol. 52, hal. 834-847.
- Welty, G. (2008), "Strategy and Tactics for Pilot Implementation in the ADDIE Model," *Journal of GXP Compliance*, Vol. 12, No. 2, hal. 12-19.
- Wetchakun, K., Samerjai, T., Tamaekong, N., Liewhiran, C., Siriwong, C., Kruefu, V., Wisitsoraatb, A., Tuantranont, A., Phanichphant, S. (2011), "Semiconducting Metal Oxides As Sensors for Environmentally Hazardous Gases", *Sensors and Actuators B*, Vol. 160, No. 1, hal. 580-591.
- Zakaria, Z., Latip, J., dan Tantayanon, S. (2012), "Organic Chemistry Practices For Undergraduates Using A Small Lab Kit", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 59, hal. 508-514.

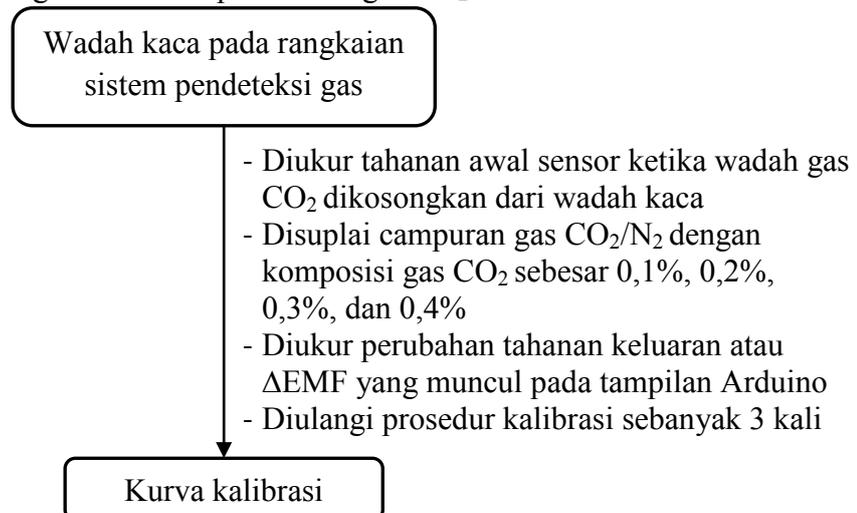
## LAMPIRAN

### A. Skema Kerja

#### A.1 Pembuatan Rangkaian Sistem Deteksi Gas CO<sub>2</sub>

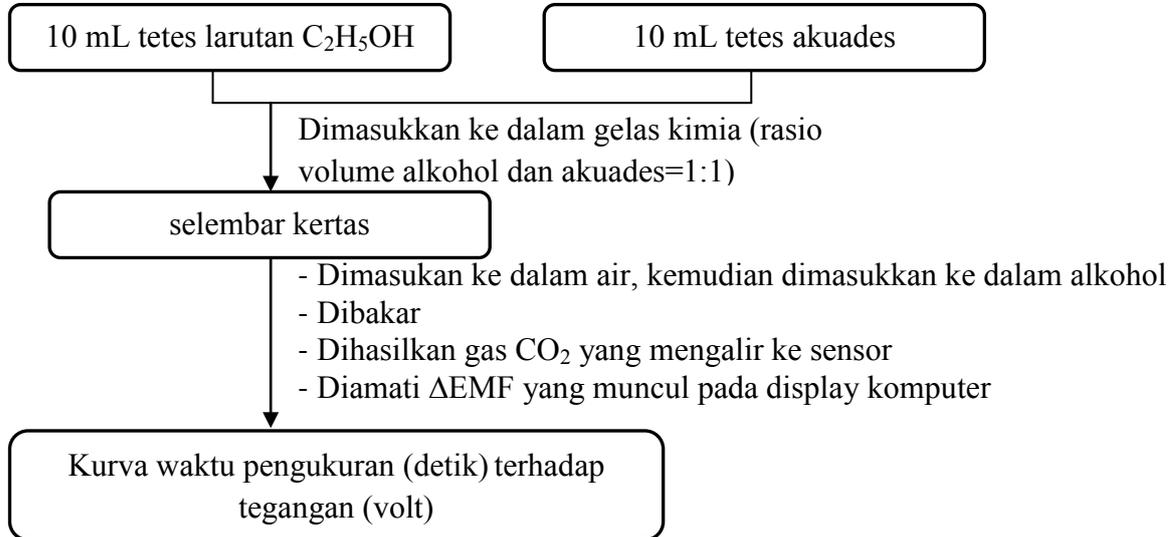


#### A.2. Kalibrasi Rangkaian sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub>

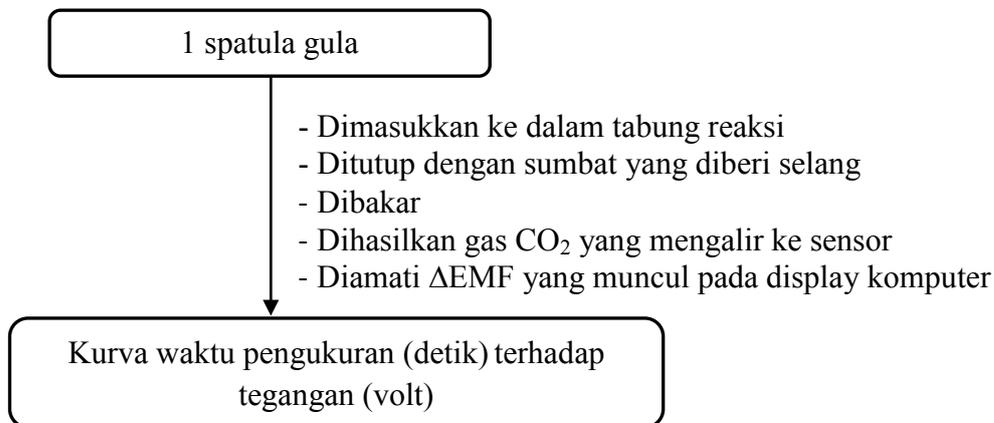


A.3. Simulasi eksperimen untuk rangkaian sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub>

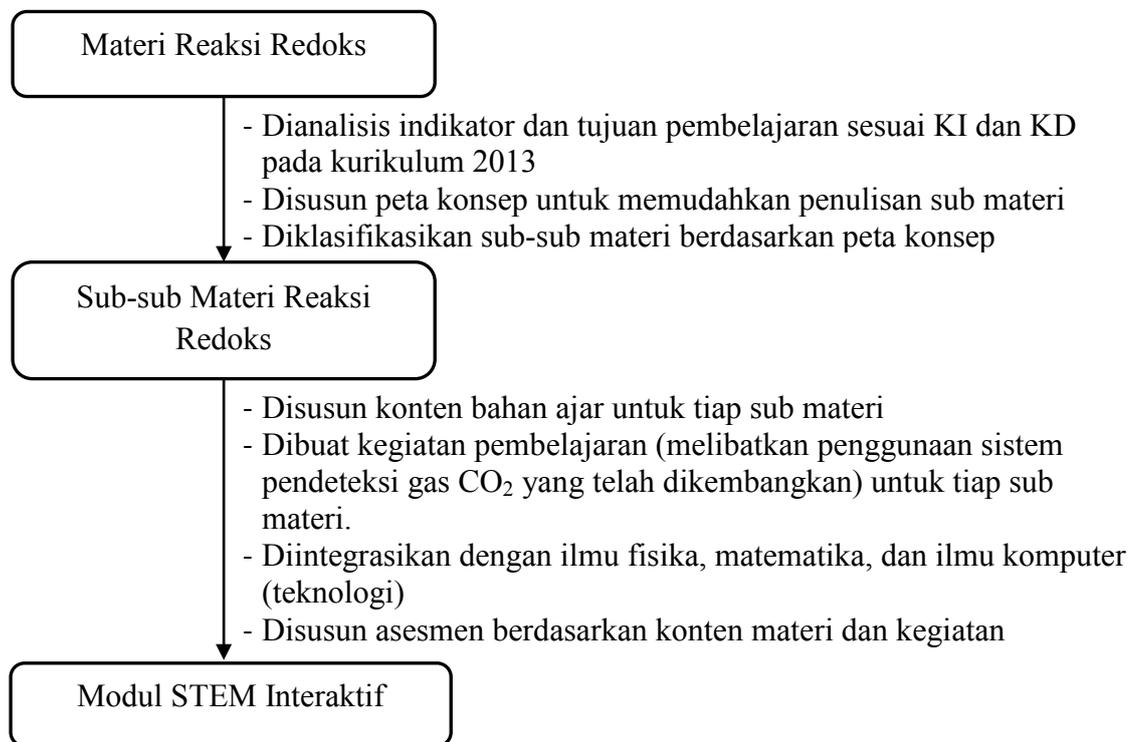
**Eksperimen 1**: Reaksi pembakaran etanol



**Eksperimen 1**: Reaksi pembakaran gula



#### A.4. Penyusunan Modul Interaktif STEM



## B. Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Aktivitas Penelitian	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1.	Studi literatur						
2.	Persiapan peralatan dan bahan penelitian						
3.	Penyusunan konsep modul STEM						
4.	Pembuatan dan kalibrasi sistem pendeteksi gas CO <sub>2</sub>						
5.	Penyusunan dan validasi modul STEM						
6.	Uji coba awal pengetahuan siswa						
7.	Uji coba lapangan skala kecil						
8.	Analisis data validasi						
9.	Penyusunan laporan (Thesis)						

## C. Komponen Penilaian dalam Pembelajaran STEM

No	Aspek yang dinilai	Teknik Penilaian	Bentuk Instrumen
1	Pengetahuan (kognitif)	Tes tertulis	Tes pilihan ganda (alasan observatif untuk jawaban yang dipilih siswa) dan esai
2	Keterampilan (psikomotor)	Tes kinerja	Lembar Observasi Kinerja
3	Sikap (afektif)	Penilaian sikap dengan skala Likert	Lembar Observasi Sikap dan penilaian diri ( <i>self-assesment</i> )

#### D. Hasil Perhitungan Tegangan Sensor pada Konsentrasi Tertentu Gas CO<sub>2</sub>

Nomor Percobaan	Konsentrasi Gas CO <sub>2</sub> (ppm)	Volume gas yang dialirkan ke sensor (mL)		Data mentah Arduino		Tegangan keluaran sensor (Volt)	
		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	awal	akhir	awal	akhir
Percobaan 1	1000	1	999	95	207	0,4643	1,0117
Percobaan 2		1	999	94	209	0,4594	1,0215
Percobaan 3		1	999	94	215	0,4594	1,0508
Percobaan 1	2000	2	998	94	316	0,4594	1,5445
Percobaan 2		2	998	95	334	0,4643	1,6325
Percobaan 3		2	998	94	338	0,4594	1,6520
Percobaan 1	3000	3	997	93	513	0,4545	2,5073
Percobaan 2		3	997	93	515	0,4545	2,5171
Percobaan 3		3	997	93	535	0,4545	2,6149
Percobaan 1	4000	4	996	93	649	0,4545	3,1720
Percobaan 2		4	996	93	653	0,4545	3,1916
Percobaan 3		4	996	94	668	0,4594	3,2649

Rumus konversi data mentah Arduino menjadi tegangan keluaran sensor:

$$V = \frac{x}{1023} \times 5$$

dengan V = tegangan keluaran sensor (volt)

$x$  = angka mentah yang muncul pada Arduino



## **BIODATA PENULIS**



Laily Yunita Susanti dilahirkan pada tanggal 9 Juni 1989 di kota Pasuruan, Jawa Timur. Ia merupakan putri pertama dari Taufik Subakdi dan Marijanti. Ia lulus pada tahun 2001 dari SDN Pekuncen Kota Pasuruan. Setelah lulus sekolah dasar, pendidikan dilanjutkannya di SMPN 2 Pasuruan dan SMAN 1 Pasuruan. Selepas SMA, ia diterima sebagai mahasiswa S1 Pendidikan Kimia di Universitas Negeri Malang (UM) melalui jalur PMDK. Pendidikan magister ditempuh pada akhir tahun 2013 di S2 Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan program Beasiswa Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) Dikti.

# PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN KIMIA BERBASIS *SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING, AND MATHEMATICS* (STEM) DENGAN TOPIK SISTEM PENDETEKSI GAS KARBON DIOKSIDA

Laily Yunita Susanti<sup>1</sup>, Fredy Kurniawan<sup>1\*</sup>, dan Surya Rosa Putra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pascasarjana Kimia, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,  
Surabaya 60111, Indonesia

\* email : fredy@chem.its.ac.id

## ABSTRAK

Pembelajaran kimia pada pendidikan formal umumnya belum terintegrasi secara optimal dengan cabang ilmu lain sehingga diperlukan pendekatan terintegrasi yang berbasis laboratorium, yaitu pembelajaran kimia berbasis STEM (*science, technology, engineering, and mathematics*). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran sistem pendeteksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan modul interaktif STEM. Sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> tersusun dari sensor gas oksida logam semikonduktor SnO<sub>2</sub>, mikrokontroler ATmega 328, dan program Arduino untuk proses akuisisi data. Sistem pendeteksi gas kemudian dikalibrasi dengan menggunakan flowmeter. Kalibrasi menunjukkan bahwa  $\Delta$ EMF sensor adalah 0,567; 1,149; 2,092; dan 2,753 volt pada konsentrasi gas CO<sub>2</sub> sebesar 1000, 2000, 3000, dan 4000 ppm. Modul interaktif STEM terintegrasi dengan fisika, matematika, dan teknologi informasi. Media pembelajaran STEM divalidasi dan diimplementasikan pada pembelajaran kimia SMA/ SMK materi reaksi redoks dengan pengayaan elektrokimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> yang telah divalidasi oleh 3 dosen kimia dan 3 guru kimia SMA/SMK layak untuk digunakan sebagai media pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM, dengan skor kelayakan sistem pendeteksi gas CO<sub>2</sub> sebesar 3,42 dan modul interaktif STEM sebesar 3,33.

Kata kunci : gas karbon dioksida, media pembelajaran kimia, sistem pendeteksi gas, *Science Technology Engineering and Mathematics (STEM)*.

## PENDAHULUAN

Pembelajaran kimia merupakan pembelajaran yang melibatkan komunikasi dua arah antara pendidik dan siswa untuk

memahami dan mengaplikasikan konsep-konsep dalam kimia. Pembelajaran kimia merupakan bagian dari sains di mana

pembelajaran berbasis pada masalah sehingga pembelajaran kimia yang ideal merupakan pembelajaran berbasis laboratorium (*lab-based learning*). Berkaitan dengan aktivitas siswa pada pembelajaran berbasis laboratorium maka diperlukan laboratorium yang berfungsi sebagai tempat untuk memberikan pengalaman belajar dimana siswa berinteraksi dengan bahan dan atau dengan model secara langsung [5].

Proses pembelajaran suatu bidang ilmu, khususnya kimia, akan lebih baik apabila diintegrasikan dengan bidang ilmu lain. Pembelajaran kimia terintegrasi erat kaitannya dengan kurikulum 2013 yang dirancang untuk pengembangan sikap, pengetahuan, dan keterampilan siswa serta menerapkannya dalam berbagai situasi di sekolah dan masyarakat. Pembelajaran terintegrasi sangat menguntungkan, karena siswa dituntut untuk berpikir secara mendalam dan kreatif karena terkait langsung dengan satu bidang ilmu dan bidang ilmu yang lain [2].

Berkaitan dengan pembelajaran kimia terintegrasi, terdapat suatu pendekatan dalam pembelajaran yang dapat mengintegrasikan ilmu kimia dengan ilmu lainnya [7].

Pendekatan dalam pembelajaran yang dapat mengintegrasikan ilmu kimia dengan ilmu lainnya adalah *science, technology, engineering and mathematics* (STEM) [6, 7, 3]. STEM merupakan pendekatan dalam pembelajaran yang terintegrasi dengan berbagai disiplin ilmu. STEM memungkinkan siswa untuk mempelajari konsep akademik secara tepat dengan menerapkan 4 disiplin ilmu (sains, teknologi, keahlian teknik dan matematika). Pembelajaran berbasis STEM terintegrasi dengan teknologi sehingga dalam pembelajaran digunakan alat-alat digital utamanya komputer [6, 1]. Pembelajaran STEM berbasis pada kinerja (*performance-based*), berbasis inkuiri, dan berbasis pada masalah atau *problem-based learning*. Pembelajaran berbasis STEM juga menuntut siswa untuk menjadi inovator (pembaharu),

pemecah masalah, penemu yang percaya diri, sadar teknologi, dan mampu berpikir logis [6, 7].

Penelitian ini mengembangkan media pembelajaran kimia berupa rangkaian sistem pendeteksi gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) hasil modifikasi dari sensor gas figaro CDM 4160 beserta modul interaktif STEM sehingga dapat diterapkan dalam pembelajaran kimia berbasis STEM.

## **METODE PENELITIAN**

### **2.1. Reagen dan Bahan**

Sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  dibuat dari sensor berbasis oksida logam semikonduktor CDM 4160 yang diproduksi oleh Figaro Engineering *inc.* Mikrokontroler ATmega 328 digunakan sebagai pengolah data analog didapatkan dari toko lokal. Gas  $\text{CO}_2$  dan gas  $\text{N}_2$  UHP yang diproduksi oleh PT Samator digunakan dalam proses kalibrasi sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$ . Selanjutnya, etanol PA dan sukrosa digunakan sebagai simulasi eksperimen dengan menggunakan sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$ .

### **2.2. Prosedur Pengembangan Media**

Sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  difabrikasi sesuai dengan desain yang telah dibuat kemudian dikalibrasi dengan menggunakan flowmeter. Gas  $\text{CO}_2$  dikombinasikan dengan gas  $\text{N}_2$  dengan perbandingan tertentu, difungsikan untuk mengeluarkan gas  $\text{CO}_2$  dengan konsentrasi sebesar 1000, 2000, 3000, dan 4000 ppm. Sejumlah tertentu gas  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  dialirkan melalui sensor kemudian dilakukan pengukuran perubahan tegangan listrik untuk masing-masing konsentrasi gas  $\text{CO}_2$ . Berdasarkan data hasil kalibrasi dapat dibuat grafik konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  terhadap  $\Delta\text{EMF}$  (*electromotive force*) keluaran sensor.

Sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  yang terkalibrasi kemudian diuji coba dengan kegiatan praktikum yang akan diberikan kepada siswa. Percobaan yang disimulasikan pada rangkaian sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  adalah reaksi redoks yang menghasilkan gas  $\text{CO}_2$ , yaitu pembakaran gula dan pembakaran etanol. Selanjutnya, penyusunan

modul STEM dilakukan berdasarkan analisis kurikulum sebagai dasar untuk menyusun aktivitas pembelajaran dalam bentuk praktikum, diskusi, dan studi literatur.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Sistem pendeteksi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dikembangkan dari sensor gas keluaran Figaro Engineering inc., yaitu CDM 4160, yang memiliki limit deteksi 400-4500 ppm. Sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  yang telah dikembangkan kemudian dikalibrasi dengan menggunakan 1000, 2000, 3000, dan 4000 ppm gas  $\text{CO}_2$ . Berdasarkan hasil kalibrasi konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  berbanding lurus dengan tegangan keluaran sensor. Pada saat sistem pendeteksi gas dipaparkan pada gas  $\text{CO}_2$ , gas  $\text{CO}_2$  yang berlaku sebagai gas pengoksidasi akan diserap pada permukaan kristal  $\text{SnO}_2$  dan bereaksi dengan ion oksigen teradsorpsi  $\text{O}^-$  sehingga menyebabkan adanya kekurangan elektron pada permukaan oksida elektron. Kurangnya konsentrasi elektron

pada permukaan kristal  $\text{SnO}_2$  menyebabkan rapat muatan negatif oksida menurun, sedangkan tegangan keluaran dan nilai tahanan sensor mengalami kenaikan. Hasil kalibrasi sensor gas  $\text{CO}_2$  digunakan untuk memudahkan konversi nilai tegangan keluaran sensor menjadi konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  dalam satuan ppm.

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa hasil validitas sistem pendeteksi gas dan modul interaktif STEM adalah sangat valid dengan skor berturut-turut 3,42 dan 3,33. Oleh karena itu, ditinjau dari keempat komponen penilaian media ajar, media pembelajaran dengan topik sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  layak digunakan sebagai bahan ajar dalam pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM.

## **KESIMPULAN**

Media pembelajaran berupa sistem pendeteksi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan modul interaktif STEM telah dikembangkan sebagai media pembelajaran kimia terintegrasi pada materi Reaksi

Redoks untuk Kelas X SMA/SMK semester genap. Media pembelajaran berbasis STEM divalidasi dan diujicobakan pada siswa kelas X Kimia Analisis (KA) di SMKN 5 Surabaya. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa media pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM memiliki kriteria sangat valid dengan skor 3,42 dan 3,33 (skala 1-4).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Instrumentasi, SMKN 5 Surabaya dan SMAN 16 Surabaya yang telah mewadahi penelitian. Demikian juga DIKTI yang telah memberikan biaya sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- [1] Chi, H., dan Jain, H. (2011), "Teaching Computing to STEM Students Via Visualization Tools", *Procedia Computer Science*, Vol.4, hal. 1937-1943.
- [2] Depdikbud. (2013), *Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 69 Tahun 2013 tentang Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum Sekolah Menengah Atas/ Madrasah Aliyah*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- [3] Hanover Research. (2011), *K-12 STEM Education Overview*, District Administration Practice, Washington, DC.
- [4] Hofstein, A., dan Lunetta, V. N. (2003), *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Wiley Periodicals, Inc., United States of America.
- [5] Holbrook, J. (2005), "Making Chemistry Teaching Relevant", *Chemical Education International*, Vol. 6, No. 1, hal. 1-12.
- [6] ITEA. (2009), *The Overlooked STEM Imperatives: Technology and Engineering K-12 Education*, International

Technology Education  
Association, United States.

- [7] Lantz, H. B. (2009), *Science, Technology, Engineering, Mathematics (STEM) Education What Form? What Function?*, Intermediate Unit 1 and Carnegie Mellon, United States, hal. 1-11.



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

# SIDANG TESIS

## **PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN KIMIA BERBASIS *SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING, MATHEMATICS* (*STEM*) DENGAN TOPIK SISTEM PENDETEKSI GAS KARBON DIOKSIDA**

**Oleh:**

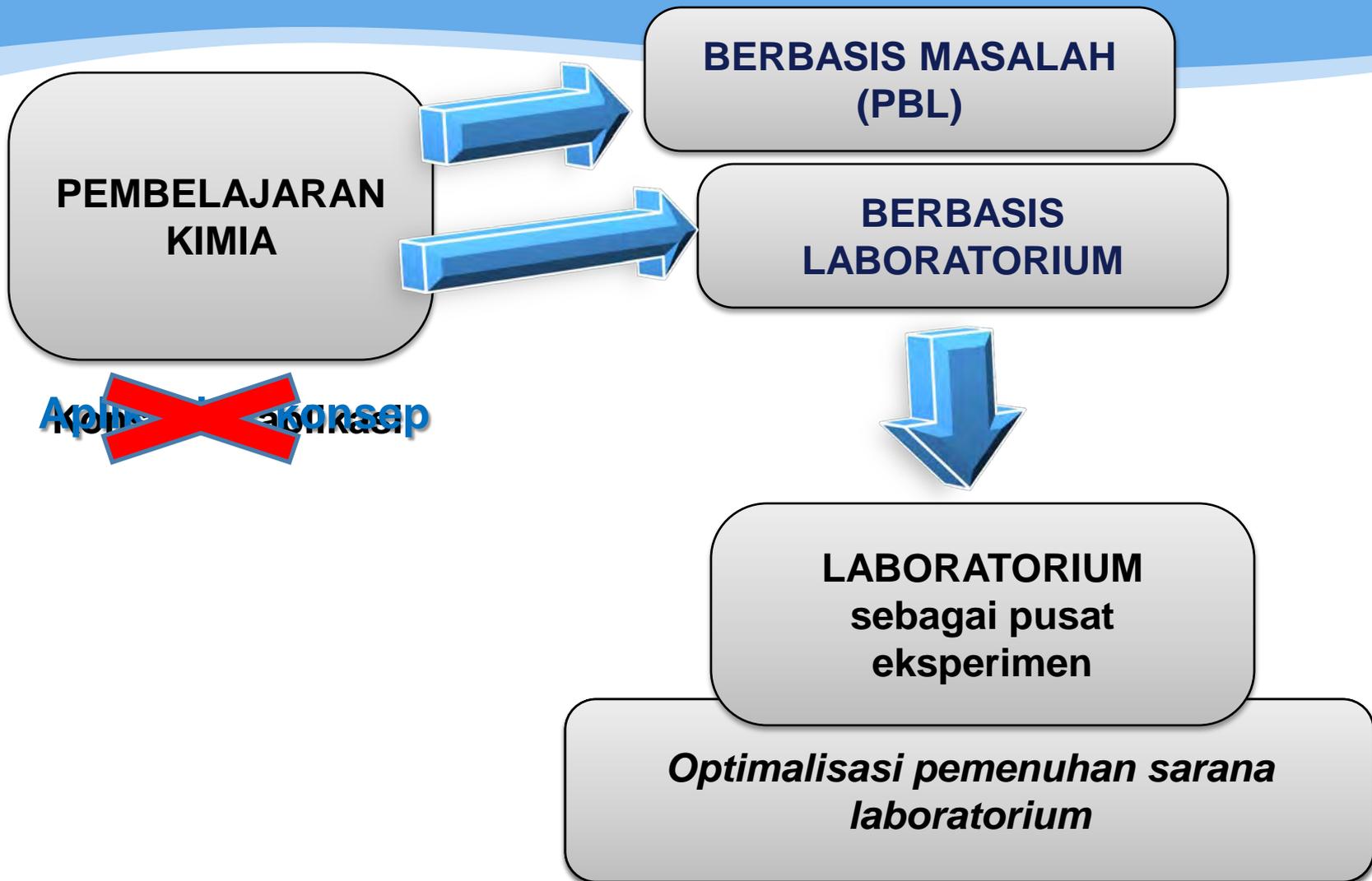
**LAILY YUNITA SUSANTI (1413203001)**

**Dosen Pembimbing:**

**Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si.**

**Prof. Surya Rosa Putra, M. S., Ph. D.**

# LATAR BELAKANG



# PERUMUSAN MASALAH

Pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM

*Problem-based learning*

Eksperimen

*Laboratory-based learning*

minimnya sarana  
laboratorium  
terintegrasi  
dengan teknologi

**MEDIA PEMBELAJARAN KIMIA BERBASIS STEM**

# TUJUAN PENELITIAN

Untuk mengembangkan media pembelajaran kimia berbasis STEM berupa rangkaian sistem pendeteksi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan modul STEM interaktif untuk pembelajaran kimia pada materi Reaksi Redoks dengan pengayaan Elektrokimia

## MANFAAT PENELITIAN

1. Sebagai sarana penyedia media pembelajaran kimia, yaitu media pembelajaran berbasis STEM.
2. Memberikan kontribusi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pengajaran kimia karena membantu mengintegrasikan ilmu kimia ke dalam cabang ilmu lain

# **METODOLOGI PENELITIAN**

## **ALAT & BAHAN PENELITIAN**

### **ALAT PENELITIAN:**

**sensor figaro CDM 4160,  
piranti akuisisi data berupa  
mikrokontroler Arduino, flow  
meter, wadah sampel, pompa  
gas, selang plastik,  
komputer atau laptop, gelas  
kimia, tabung reaksi, dan  
penjepit tabung**

### **BAHAN PENELITIAN:**

**gas CO<sub>2</sub>, gas N<sub>2</sub>, akuades,  
sukrosa (gula), dan etanol  
PA**

# HASIL DAN PEMBAHASAN

## KALIBRASI SISTEM PENDETEKSI GAS CO<sub>2</sub>

Tabel 4.1. Pengujian kadar gas CO<sub>2</sub> terhadap tegangan keluaran sensor ( $\Delta$ EMF)

Kadar CO <sub>2</sub> (ppm)	Tegangan keluaran (volt)			tegangan rata-rata (volt)	Standar deviasi
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3		
1000	0,5474	0,5621	0,5914	0,5670	0,01829
2000	1,0850	1,1681	1,1926	1,1486	0,04092
3000	1,0528	2,0626	2,1603	2,0919	0,04855
4000	2,7175	2,7370	2,8055	2,7533	0,03772

pengukuran 1000 ppm gas CO<sub>2</sub> dengan sistem pendeteksi gas merupakan pengukuran dengan nilai presisi paling tinggi untuk tiap pengukuran

Konsentrasi CO<sub>2</sub> (ppm)

# HASIL DAN PEMBAHASAN

## HASIL VALIDASI MEDIA PEMBELAJARAN

Validasi Sistem Pendeteksi Gas CO<sub>2</sub> dan Modul Interaktif STEM

Validasi Butir Soal Evaluasi Reaksi Redoks

Tabel 4.2. Tabel Hasil Validasi Sistem Pendeteksi Gas CO<sub>2</sub>

No	Aspek Penilaian	$\bar{x}$	SD	Kriteria
1	kelayakan isi	3,34	0,486	sangat valid
2	sajian	3,50	0,635	sangat valid
3	kegrafisan	3,17	0,452	valid
4	kebahasaan	3,59	0,527	sangat valid
Rata-rata =		3,42		

***Kriteria validitas sistem pendeteksi Gas CO<sub>2</sub> adalah sangat valid dengan skor 3,42***

Tabel 4.3. Tabel Hasil Validasi Modul Interaktif STEM

No	Aspek Penilaian	$\bar{x}$	SD	Kriteria
1	kelayakan isi	3,33	0,478	sangat valid
2	Sajian	3,25	0,565	sangat valid
3	Kegrafisan	3,33	0,753	sangat valid
4	kebahasaan	3,29	0,532	sangat valid
Rata-rata =		3,33		

***Kriteria validitas modul interaktif STEM adalah sangat valid dengan skor 3,33***

# HASIL DAN PEMBAHASAN

## HASIL UJI COBA LAPANGAN MEDIA PEMBELAJARAN

Hasil Belajar Kognitif

Hasil Belajar Afektif

Hasil Belajar Psikomotor

**Tabel 4.7. Hasil Uji Hipotesis Kemampuan Awal Siswa**

Rata-rata nilai kelas		Nilai probabilitas	Kesimpulan
eksperimen	kontrol		
78,67	79,12	0,619	tidak ada perbedaan yang signifikan

**Tabel 4.10. Perbedaan kenaikan nilai kognitif kelas eksperimen dan kontrol**

Kelas	Rata-rata Pre tes	Rata-rata Pos Tes	Selisih rata-rata nilai pre tes dan pos tes
Eksperimen	2,9	7,8	0,9
Kontrol	2,9	7,4	0,5

**Tabel 4.11. Hasil Uji Hipotesis Hasil Belajar Kognitif Siswa**

	$t_{hitung}$	Nilai probabilitas	Kesimpulan
Hasil Belajar	0,922	0,026	Ada perbedaan yang signifikan

# KESIMPULAN DAN SARAN

## Kesimpulan

- ➔ Media pembelajaran berbasis *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) sistem pendeteksi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan modul interaktif STEM → materi Reaksi Redoks untuk Kelas X SMA/SMK semester genap.
- ➔ Sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  dikalibrasi pada konsentrasi 1000, 2000, 3000, dan 4000 ppm  $\text{CO}_2$  sehingga menghasilkan persamaan kurva kalibrasi  $y=0,00075x-0,235$ .
- ➔ Hasil validasi ahli modul menunjukkan bahwa media pembelajaran kimia terintegrasi berbasis STEM berupa sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  memiliki kriteria sangat valid (skor 3,42) dan modul interaktif STEM memiliki kriteria sangat valid (skor 3,33) (skala 1-4).
- ➔ Rata-rata nilai kognitif siswa setelah pembelajaran berlangsung adalah 7,8 pada kelas eksperimen dan 7,4 (skala 0-10) pada kelas kontrol. Sedangkan nilai afektif siswa pada kelas eksperimen memperoleh rata-rata nilai 3,32 dan siswa kelas kontrol memperoleh rata-rata nilai 3,09 (skala 0-4).

## Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas penggunaan media pembelajaran berbasis STEM dengan topik sistem pendeteksi gas  $\text{CO}_2$  di SMA.
2. Pengembangan media pembelajaran STEM dalam bentuk inovasi lain perlu dilakukan pada level sekolah menengah maupun perguruan tinggi untuk meningkatkan kegiatan pembelajaran yang bersifat multidisipliner.