



**TUGAS AKHIR - SF 184801**

**PENGEMBANGAN SISTEM PEREDUKSI GAS CO  
DAN CO<sub>2</sub> BERBASIS *ELECTROSTATIC*  
*PRECIPITATOR* (ESP) JENIS PLAT SEJAJAR**

**Muhamad Rifki Hidayat  
NRP 0111154000012**

**Dosen Pembimbing :  
lim Fatimah, M.Si  
Diky Anggoro, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**



**TUGAS AKHIR - SF 184801**

**PENGEMBANGAN SISTEM PEREDUKSI GAS  
CO DAN CO<sub>2</sub> BERBASIS *ELECTROSTATIC  
PRECIPITATOR* (ESP) JENIS PLAT SEJAJAR**

**Muhamad Rifki Hidayat  
NRP 0111154000012**

**Dosen Pembimbing :  
Iim Fatimah, M.Si  
Diky Anggoro, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**

*"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"*



**FINAL PROJECT - SF 184801**

***DEVELOPMENT OF CO AND CO<sub>2</sub> GASES  
REDUCTOR SYSTEM BASED ON PARALLEL  
PLATE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR  
(ESP)***

**Muhamad Rifki Hidayat  
NRP 0111154000012**

**Advisors :  
lim Fatimah, M.Si  
Diky Anggoro, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCES AND DATA ANALYTICS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**

*"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGEMBANGAN SISTEM PEREDUKSI GAS CO DAN  
CO<sub>2</sub> BERBASIS *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP)  
JENIS PLAT SEJAJAR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains pada  
Bidang Studi Fisika Instrumentasi Elektronika  
Program Studi S1 Departemen Fisika  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Muhamad Rifki Hidayat**

NRP. 0111154000012

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

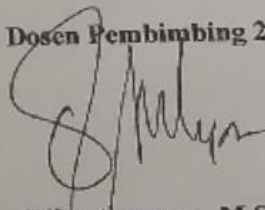
**Dosen Pembimbing 1**



**Iim Fatimah M.Si**

NIP.19870108 201504 2 002

**Dosen Pembimbing 2**



**Diky Anggoro, M.Si**

NIP.19850809 201404 1 003



*"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"*

# **PENGEMBANGAN SISTEM PEREDUKSI GAS CO DAN CO<sub>2</sub> BERBASIS *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP)**

## **JENIS PLAT SEJAJAR**

**Nama Mahasiswa** : Muhamad Rifki Hidayat  
**NRP** : 011115400012  
**Departemen** : Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data,  
Insitut Teknologi Sepuluh Nopember  
**Dosen Pembimbing** : 1. Iim Fatimah, M.Si  
2. Diky Anggoro, M.Si

### **Abstrak**

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi polutan agar tidak terlepas ke lingkungan dalam jumlah besar. Salah satu upaya dilakukan yaitu penggunaan *Electrostatic Precipitator* (ESP). Dengan memanfaatkan ionisasi pada *Electrostatic Precipitator* (ESP), polutan dapat direduksi dengan jumlah seminimal mungkin pada tegangan dan kecepatan aliran udara tertentu. Dalam penelitian ini, telah dilakukan pengukuran reduksi *Electrostatic Precipitator* (ESP) sebagai reduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub>. Pengukuran reduksi dengan mengalirkan sampel asap yang ditampung pada tabung *inlet* menuju *Electrostatic Precipitator* (ESP) dan sampel asap yang keluar dari *Electrostatic Precipitator* (ESP) akan ditampung pada wadah *outlet*. Kadar Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada kedua tabung saat sebelum dan sesudah dialirkan dibandingkan untuk mendapatkan nilai reduksi. Sehingga didapatkan pengukuran tertinggi yaitu reduksi CO tertinggi yang sebesar reduksi 80.72% saat tegangan 25 kV dan debit gas sebesar 2 L/menit. Sedangkan reduksi CO<sub>2</sub> tertinggi yang didapatkan pada jenis ESP plat sejajar dengan Reduksi 79.09 % saat tegangan 25 kV dan debit gas sebesar 2 L/menit. Kemampuan Reduksi ESP berbanding lurus terhadap tegangan listrik. Kemampuan Reduksi ESP berbanding terbalik terhadap debit gas.

**Kata Kunci** : *Electrostatic Precipitator*, Ionisasi, Medan Listrik, Reduksi



*"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"*

**DEVELOPMENT OF CO AND CO<sub>2</sub> GASES REDUCTOR SYSTEM  
BASED ON PARALLEL PLATE ELECTROSTATIC  
PRECIPITATOR (ESP)**

**Name** : Muhamad Rifki Hidayat  
**NRP** : 0111154000012  
**Department** : Physics, Faculty of Sciences and Data Analytics,  
Institut Teknologi  
Sepuluh Nopember  
**Advisors** : 1. Iim Fatimah, M.Si  
2. Diky Anggoro, M.Si

**Abstract**

*Many efforts have been made to reduce pollutants for prevent large scale emission into the environment. One of them is usage of Electrostatic Precipitator (ESP). Using ionization in the Electrostatic Precipitator (ESP), pollutants can be reduced to a minimum amount at certain voltage and velocity of air flow. In this research, Electrostatic Precipitator (ESP) efficiency measurements for reduction of CO and CO<sub>2</sub> gas have been done. reduction measurement by flowing smoke samples that are accommodated in the inlet tube to the Electrostatic Precipitator (ESP) and smoke samples which coming out of the Electrostatic Precipitator (ESP) will be accumulated in the outlet tube. Concentrations of CO and CO<sub>2</sub> gases in the two tubes before and after being flowed are compared to get the value of reduction . So that the highest measurement is obtained, the highest CO reduction of Electrostatic Precipitator (ESP) are 80.72% when the voltage are 25 kV and air flow are 2 Litres / min. While the highest CO<sub>2</sub> reduction of Electrostatic Precipitator (ESP) are 79.09% efficiency when the voltage are 25 kV and the air flow are 2 L / min. The reduction ability of ESP is directly proportional to the voltage. The reduction ability of ESP is inversely related to gas discharge*

**Keywords** : *Electrostatic Precipitator, Electric Field, Ionization, Reduction*

*"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah. Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjuk-Nya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) yang berjudul **“Pengembangan Sistem Pereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub> Berbasis Electrostatic Precipitator (ESP) Jenis Plat Sejajar”** secara optimal dan tepat waktu. Tugas Akhir ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas motivasi, bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ibu Iim Fatimah, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu membagi ilmu serta memberikan masukan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Bapak Diky Anggoro, M.Si selaku Ketua Laboratorium Instrumentasi Elektronika dan dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi ilmu, pengalaman, hingga memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
3. Bapak dan Ibu tercinta, dan segenap keluarga yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga saat ini.
4. Penghuni Laboratorium Instrumentasi Elektronika yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi Elektronika. Aamiin.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Electrostatic Precipitator</i> .....	5
2.2 Efisiensi Penangkapan pada ESP.....	7
2.3 Ionisasi .....	8
2.4..Lucutan Korona .....	9
2.5 Reaksi Reduksi CO dan CO <sub>2</sub> .....	9
2.6 Pengisian Kapasitor .....	10
BAB III METODOLOGI.....	11
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	11
3.2 Alat dan Bahan .....	12
3.3 Langkah Kerja .....	16
3.3.1 Perancangan Sistem Pengukuran Kemampuan Reduksi	

ESP .....	16
3.3.2 Perancangan sensor CO dan CO <sub>2</sub> .....	19
3.3.3 Mapping Kadar Gas dan ADC pada Sensor .....	20
3.3.4 Uji Akurasi dan Presisi pada sensor dan HVPS .....	21
3.3.5 Uji pengukuran Kemampuan Reduksi ESP .....	22
3.4. Pengujian Hubungan Variabel Bebas yang Mempengaruhi Kemampuan Reduksi ESP .....	23
3.4.1 Tegangan Listrik sebagai Variabel Bebas .....	23
3.4.2 Debit gas sebagai Variabel Bebas .....	24
3.4.3 Pengaruh Efisiensi Penangkapan ESP pada Reduksi Gas .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>29</b>
4.1 <i>Mapping</i> Kadar Gas Pada Sensor .....	29
4.1.1 <i>Mapping</i> Linearitas Kadar Gas CO Pada Sensor MQ-9 .....	29
4.2 Akurasi dan Presisi pada Sensor dan HVPS .....	32
4.2.1 Akurasi <i>High Voltage Power Supply</i> .....	33
4.2.3 Akurasi dan Presisi Sensor CO <sub>2</sub> MQ-135 .....	36
4.3 Hasil Pengukuran Reduksi Pada ESP .....	38
4.3.1 Kemampuan Reduksi ESP pada Reduksi Gas CO .....	38
4.3.2 Kemampuan Reduksi ESP pada Reduksi Gas CO <sub>2</sub> .....	44
4.3.3 Perbandingan Reduksi pada Gas CO dan CO <sub>2</sub> .....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>57</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>93</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Kerja ESP .....	5
Gambar 2.2 Bentuk Elektroda ESP .....	6
Gambar 2.3 Letak Geometri ESP .....	7
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	11
Gambar 3.2 <i>High Voltage Power Supply</i> (HVPS).....	12
Gambar 3.3 <i>Electrostatic Precipitator</i> .....	12
Gambar 3.4 Sensor MQ-9.....	14
Gambar 3.5 Sensor MQ-135.....	14
Gambar 3.6 <i>Carbon Monoxide Meter</i> .....	15
Gambar 3.7 Pompa Vakum.....	15
Gambar 3.8 <i>Flowmeter</i> .....	16
Gambar 3.9 Asap Kendaraan Bermotor .....	16
Gambar 3.10 Bagian ESP .....	17
Gambar 3.11 Penampang Plat .....	17
Gambar 3.12 Konfigurasi Plat.....	18
Gambar 3.13 Rangka Kaca dan Limas ESP .....	18
Gambar 3.14 Rancangan Penggunaan ESP Sebagai Pereduksi Gas CO dan CO <sub>2</sub> .....	18
Gambar 3.15 Skema Rangkaian Sensor .....	19
Gambar 3.16 Pengukuran ADC sensor MQ-9 terhadap CO meter KW06-292 .....	20
Gambar 3.17 Pengukuran Akurasi HVPS .....	20
Gambar 4.1 Mapping ADC terhadap kadar Gas CO Sensor MQ-9 .....	29
Gambar 4.2 Linearitas ADC terhadap kadar Gas CO Rentang 1.. .....	30
Gambar 4.3 Linearitas ADC terhadap kadar Gas CO Rentang 2	30
Gambar 4.4 Linearitas ADC terhadap kadar Gas CO Rentang 3	31
Gambar 4.5 Linearitas ADC terhadap kadar Gas CO Rentang 4	31
Gambar 4.6 Grafik Kalibrasi <i>High Voltage Power Supply</i> .....	33
Gambar 4.7 Grafik Presisi sensor MQ-9 .....	36
Gambar 4.8 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Tegangan Listrik 11 kV Variasi Debit .....	39



Gambar 4.9 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan tegangan 15 kV Variasi Debit .....	39
Gambar 4.10 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Tegangan Listrik 20 kV Variasi Debit.....	40
Gambar 4.11 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Tegangan Listrik 25 kV Variasi Debit .....	40
Gambar 4.12 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Debit 2 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	41
Gambar 4.13 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Debit 4 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	41
Gambar 4. 14 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Debit 6 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	42
Gambar 4. 15 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Debit 8 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	42
Gambar 4. 16 Reduksi pada Gas CO dengan Debit 10 L/menit Variasi Tegangan Listrik .....	43
Gambar 4. 17 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 11 kV Variasi Debit.....	44
Gambar 4. 18 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 15 kV Variasi Debit .....	45
Gambar 4. 19 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 20 kV Variasi Debit .....	45
Gambar 4. 20 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 25 kV Variasi Debit .....	46
Gambar 4. 21 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Debit 2 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	47
Gambar 4. 22 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Debit 4 L/menit Variasi Tegangan Listrik .....	47
Gambar 4. 23 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Debit 6 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	48
Gambar 4. 24 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Debit 8 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	48

Gambar 4. 25 Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO <sub>2</sub> dengan Debit 10 L/menit Variasi Tegangan Listrik.....	49
Gambar 4. 26 Perbandingan Reduksi pada Gas CO dan CO <sub>2</sub> dengan Debit Gas 2 L/menit .....	50
Gambar 4. 27 Perbandingan Reduksi pada Gas CO dan CO <sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 25 kV.....	51

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Energi Ionisasi Beberapa Gas.....	8
Tabel 4.1 Hasil Akurasi <i>High Voltage</i> .....	32
Tabel 4.2 Hasil Akurasi Sensor MQ-9 .....	34
Tabel 4.3. Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Kadar Gas CO Referensi 20 ppm.....	35
Tabel 4.4 Perhitungan Akurasi Sensor MQ-135 .....	36
Tabel 4.5 Perhitungan Presisi Sensor MQ-135 pada Kadar Gas CO <sub>2</sub> Referensi 400,7 ppm .....	37

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran dan Perhitungan .....	61
Lampiran 2. <i>Code Arduino</i> .....	90
Lampiran 3. Dokumentasi Pengambilan Data .....	92

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembakaran merupakan reaksi kimia eksotermis dengan menggabungkan hidrokarbon dan oksigen ( $O_2$ ) sehingga menghasilkan kalor, karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan uap air. Namun pada umumnya, pembakaran yang sering terjadi merupakan pembakaran tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna merupakan proses pembakaran yang menghasilkan tambahan gas berbahaya antara lain karbon monoksida ( $CO$ ) yang terjadi akibat ketidaksetimbangan reaksi antara hidrokarbon dengan oksigen pada udara terbuka. Polutan yang ditimbulkan dari hasil pembakaran seperti karbon dioksida dan karbon monoksida sangat berbahaya apabila dibuang dalam jumlah besar. Karbon dioksida dapat menimbulkan efek rumah kaca yang berlanjut ke pemanasan global. Karbon monoksida sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena menimbulkan keracunan apabila dihirup.

Salah satu metode dalam menangani polutan tersebut yaitu melalui proses ionisasi. Ionisasi adalah proses berkurang atau bertambahnya elektron pada atom atau molekul sehingga terbentuk sebuah ion. Pada proses ionisasi dalam menangani polutan  $CO$  dan  $CO_2$ , molekul  $CO$  dan  $CO_2$  akan mengalami kehilangan atau bertambahnya sebuah elektron sehingga menyebabkan reaksi kimia yang mengubah molekul tersebut menjadi molekul yang baru sehingga polutan  $CO$  dan  $CO_2$ . Untuk menimbulkan ionisasi diperlukan beberapa cara mulai dari dipanaskan, dicampur dengan bahan kimia, dan dilewatkan pada medan listrik. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk proses ionisasi yaitu menggunakan medan listrik. Salah satu perangkat yang mampu menimbulkan medan listrik yaitu *Electrostatic Precipitator* (ESP).

*Electrostatic Precipitator* (ESP) pada umumnya digunakan sebagai penangkap partikel berukuran mikron. Penggunaan ionisasi pada ESP umumnya menciptakan ion bermuatan positif untuk melekat pada partikel debu atau partikel padat lainnya



sehingga bisa tertarik menuju plat pengumpul. Namun dalam penelitian ini, *Electrostatic Precipitator* (ESP) sebagai metode pereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub>. Dengan konsep medan listrik kuat, maka akan terjadi ionisasi dalam jumlah besar sehingga Gas CO dan CO<sub>2</sub> berkurang akibat ionisasi pada medan listrik.

Dalam penelitian ini, kemampuan pereduksi *Electrostatic Precipitator* (ESP) perlu diuji. Dengan variasi tegangan dan debit gas yang mengalir untuk mengetahui Reduksi dalam mereduksi CO dan CO<sub>2</sub>. Selain itu juga membandingkan antara Gas CO dan CO<sub>2</sub> saat terionisasi di dalam ESP. Sehingga bisa didapatkan pengembangan *Electrostatic Precipitator* (ESP) dalam mengurangi Gas CO dan CO<sub>2</sub>. Pengukuran Reduksi dilakukan dengan membandingkan kadar gas yang keluar terhadap kadar gas yang masuk pada ESP.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisa kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengukur kemampuan reduksi *Electrostatic Precipitator* (ESP) ?
2. Bagaimana kemampuan *Electrostatic Precipitator* (ESP) dalam mereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada aliran udara tertentu ?
3. Bagaimana kemampuan *Electrostatic Precipitator* (ESP) dalam mereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada tegangan tinggi tertentu?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Merancang sistem pereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub> berbasis *Electrostatic Precipitator* (ESP) jenis plat sejajar.
2. Mengetahui kemampuan *Electrostatic Precipitator* (ESP) dalam mereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada aliran udara tertentu.

3. Mengetahui kemampuan *Electrostatic Precipitator* (ESP) dalam mereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada tegangan tinggi tertentu

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aliran fluida dalam penelitian ini dianggap laminar.
2. Suhu dan tekanan dianggap tidak mempengaruhi.
3. Tabung *inlet* dan *outlet* tidak sepenuhnya kosong dan masih terdapat polutan.
4. Penelitian hanya berfokus pada Gas CO dan CO<sub>2</sub>.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah mengembangkan *Electrostatic Precipitator*(ESP) plat sejajar sebagai sistem pereduksi CO dan CO<sub>2</sub>.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

##### **BAB I : Pendahuluan**

Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

##### **BAB II : Tinjauan Pustaka**

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori dan konsep dasar penunjang penelitian mengenai teknologi *Electrostatic Precipitator* plat sejajar sebagai pereduksi CO dan CO<sub>2</sub>.

##### **BAB III : Metodologi**

Bab Metodologi berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

##### **BAB IV : Hasil dan Pembahasan**

Bab Hasil dan Pembahasan ini berisi inti dari penulisan laporan Tugas Akhir tentang pengembangan sistem pereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub> berbasis *Electrostatic Precipitator* (ESP) jenis plat sejajar.

**BAB V : Kesimpulan**

Bab Kesimpulan ini berisi kesimpulan umum dari hasil analisa dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

**LAMPIRAN :Lampiran berisi beberapa data dan dokumentasi penelitian.**

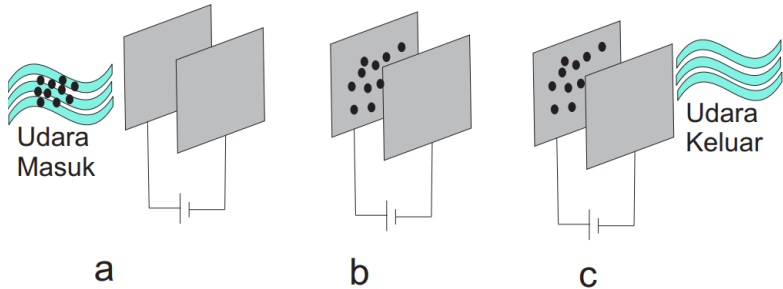
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Electrostatic Precipitator*

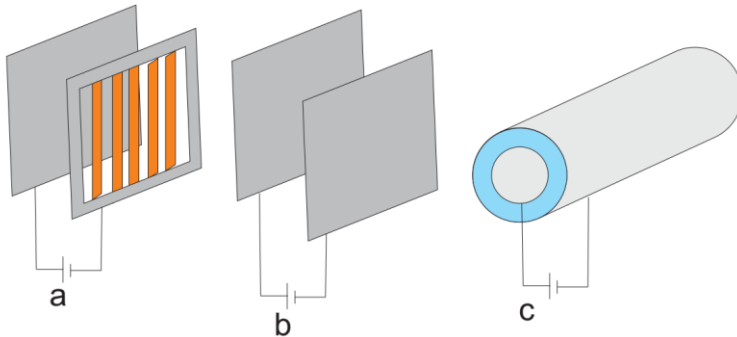
*Electrostatic Precipitator* (ESP) adalah teknologi yang banyak digunakan untuk pengumpulan debu atau asap yang berasal dari industri. Pengumpulan debu dicapai dengan memanfaatkan medan listrik untuk mengumpulakan partikel debu yang terlarut dalam aliran gas. Dengan adanya medan listrik maka menimbulkan ion bermuatan untuk menempel pada partikel debu tersebut. Proses pengumpulan dicapai melalui tiga langkah berikut proses :

- 1) Tahap pertama proses melibatkan pemuatan partikel debu seperti pada Gambar 2.1
- 2) Tahap kedua dari proses ini pengumpulan partikel bermuatan
- 3) Tahap akhir melibatkan pelepasan materi yang dikumpulkan / diendapkan untuk pembuangan atau penggunaan lainnya.(Gerald & Ruper,2018)



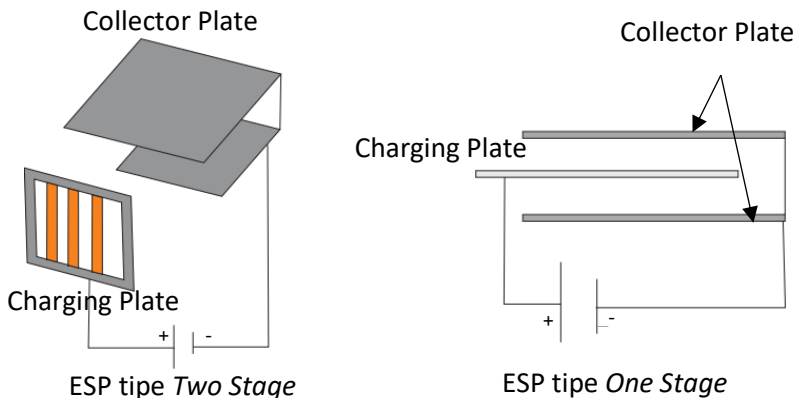
**Gambar 2.1** Mekanisme kerja ESP a) udara masuk yang membawa partikel. b) partikel dimuati dengan medan listrik. c) udara keluar tanpa membawa partikel dan partikel tertangkap pada plat ESP.

*Electrostatic precipitator* memiliki banyak tipe elektroda kolektor (kolektor) dibagi menjadi tipe silinder, tipe *wire* dan tipe plat seperti pada Gambar 2.2. Berdasarkan arah aliran dibagi menjadi aliran gas vertikal dan aliran gas horizontal. Berdasarkan



**Gambar 2.2.** Bentuk elektroda ESP. a) *Wire Plate precipitator*  
 b) *Flat Plate Precipitator* c) *Tubular Precipitator*

Letak geometri elektrodanya dibagi menjadi *one stage* dan *two stage* seperti Gambar 2.3. Sistem *one stage* didesain dengan cara elektroda pemberi muatan dan elektroda kolektor berada pada daerah yang sama sehingga proses pemberian muatan dan penangkapan partikel berada pada medan listrik yang sama. Sistem *two stage* didesain dengan peletakan elektroda pemberi muatan dan elektroda kolektor ditempatkan pada daerah berbeda sehingga proses pemberian muatan dan penangkapan partikel berada pada medan listrik yang berbeda. Pada sistem penyaringan industri sering digunakan *one stage* tipe plat dengan aliran gas horizontal. *One stage* lebih baik digunakan untuk menekan proses penangkapan kembali pada partikel. Sedangkan jenis *two stage* dapat digunakan untuk mengumpulkan kabut partikel dan partikel adhesif. Dimana pada tipe ini dapat ditambahkan luasan kolektor dengan cara mengurangi jarak antar elektroda, dan juga ukuran ESP dapat dikurangi. (Mizuno, 2000)



**Gambar 2.3.** Letak geometri elektroda ESP.

## 2.2 Efisiensi Penangkapan pada ESP

Persamaan yang paling awal untuk memprediksi efisiensi pengumpulan *Electrostatic Precipitator* (ESP) adalah Persamaan Deutsch-Anderson. Pada Persamaan 2.1 bentuk Persamaan Deutch Anderson sebagai Persamaan Reduksi penangkapan ESP.

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-\omega A}{Q}\right) \quad (2.1)$$

$\eta$  adalah efisiensi Penangkapan .  $\omega$  adalah kecepatan migrasi partikel (m/s) .  $A$  adalah luasan total penangkapan ( $m^2$ ) .  $Q$  adalah debit gas ( $m^3 /s$ ). Untuk mencari kecepatan migrasi partikel ( $\omega$ ) dapat digunakan Persamaan 2.2.

$$\omega = \frac{2qE_p C_c}{3\pi d_p \mu} \quad (2.2)$$

$q$  adalah besarnya muatan partikel (*Coloumb*).  $E_p$  adalah medan listrik pada area penangkapan (V/m).  $C_c$  adalah Faktor koreksi slip Cunningham.  $\mu$  adalah viskositas gas ( $N.s/m^2$ ).  $d_p$  adalah diameter partikel (m). (Crowder, 2012)

### 2.3 Ionisasi

**Tabel 2.1** Tabel Ionisasi pada gas. energi yang diperlukan untuk eksitasi ( $V_*$ ), energi yang diperlukan untuk ionisasi ( $V_I$ ) dan reaksi yang terjadi. (Braithwaite, 2000)

Gas	$V_*$ (eV)	$V_I$ (eV)	Ionization process
H <sub>2</sub>	7.0	15.37	H <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		18	H <sub>2</sub> → H <sup>+</sup> + H + e <sup>-</sup>
		26	→ H <sup>+</sup> + H + kinetic
		46	→ H <sup>+</sup> + H <sup>+</sup> + kinetic
H		13.6	H → H <sup>+</sup>
N <sub>2</sub>	6.3	15.57	N <sub>2</sub> → N <sub>2</sub> <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		24.5	→ N <sup>+</sup> + N + e <sup>-</sup>
O <sub>2</sub>	7.9	12.5	O <sub>2</sub> → O <sub>2</sub> <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		20	→ O <sup>+</sup> + O + e <sup>-</sup>
Ar	11.7	15.7	Ar → Ar <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
He	21.2	24.5	He → He <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
CO	6.2	14.1	CO → CO <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		22	→ C <sup>+</sup> + O + e <sup>-</sup>
		24	→ C + O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		44	→ CO <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
CO <sub>2</sub>	3.0	14	CO <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		19.6	→ CO + O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		20.4	→ CO <sup>+</sup> + O + e <sup>-</sup>
		28.3	→ C <sup>+</sup> + O + O + e <sup>-</sup>
NO	5.4	9.5	NO → NO <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		21	→ O <sup>+</sup> + N + e <sup>-</sup>
		22	→ O + N <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
NO <sub>2</sub>	—	11	NO <sub>2</sub> → NO <sub>2</sub> <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		17.7	→ NO + O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
N <sub>2</sub> O	—	12.9	N <sub>2</sub> O → N <sub>2</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		16.3	→ N <sub>2</sub> + O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		15.3	→ NO <sup>+</sup> + N + e <sup>-</sup>
		21.4	→ NO + N <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
H <sub>2</sub> O	7.6	12.59	H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
		17.3	→ HO <sup>+</sup> + H + e <sup>-</sup>
		19.2	→ HO + H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>
HCl	—	13.8	HCl → HCl <sup>+</sup>

Ionisasi didefinisikan sebagai proses terlepasnya elektron suatu atom atau molekul dari ikatannya. Energi yang dibutuhkan untuk melepas satu atau lebih elektron dari orbitnya pada sebuah atom atau molekul dapat didefinisikan sebagai energi ionisasi ( $E_i$ ).

Besarnya energi ionisasi dinyatakan dalam satuan elektron-volt (eV). Contoh ionisasi pada gas dapat dilihat pada Tabel 2.1. Pada proses tumbukan antara elektron dengan partikel-partikel gas tidak hanya proses ionisasi yang terjadi melainkan juga menyebabkan peristiwa-peristiwa yang lainnya. Kebalikan dari proses ionisasi adalah proses rekombinasi. Rekombinasi terjadi dengan cara pengikatan elektron oleh ion dan pengikatan antar atom menjadi molekul sehingga menjadi spesies netral atau ion negatif yang disertai pemancaran foton.(Nur,2011)

## 2.4 Lucutan Korona

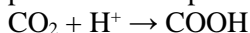
Lucutan (*Discharge*) didefinisikan sebagai aliran arus listrik yang melalui gas dan proses-proses ionisasi gas yang disebabkan oleh adanya medan listrik. Lucutan gas diawali proses ionisasi gas dalam medan listrik yang kuat. Ionisasi gas menghasilkan ion yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif. Masing-masing muatan listrik tersebut bergerak menuju elektroda yang sesuai sehingga terjadi aliran muatan listrik. Lucutan korona termasuk lucutan mandiri (*self-sustained*) yang merupakan suatu kasus khusus. Lucutan korona terbentuk pada medan listrik tak seragam (*non uniform*) yang kuat antar elektroda. Lucutan korona dipertahankan pada kuat medan tertentu, sehingga kuat medan tersebut belum cukup kuat untuk terjadi lucutan *arc* (lucutan yang timbul secara kontinu ketika sudah melebihi *voltage breakdown*). (Nur,2011)

## 2.5 Reaksi Reduksi CO dan CO<sub>2</sub>

Karbon monoksida akan mengalami dekomposisi akibat disosiasi elektron yang ditimbulkan oleh suatu ionisasi .Pada Persamaan 2.3 ditunjukkan perubahan pada karbon monoksida



Apabila Karbon dioksida bereaksi dengan ion hidrogen maka akan menimbulkan Asam Format (*Formic Acid*) dalam suatu proses ionisasi pada Persamaan 2.4







Pada proses ionisasi Karbon dioksida juga terbentuk Ozon ditunjukkan pada Persamaan 2.5



## 2.6 Pengisian Kapasitor

Kapasitor adalah perangkat listrik dibentuk dari dua pelat paralel yang dipisahkan oleh bahan isolasi yang disebut dielektrik. Kapasitor menyimpan energi dalam bentuk medan listrik yang menimbulkan adanya dua kutub pada dua plat. Medan listrik inilah yang akan menimbulkan adanya muatan pada kedua plat. Persamaan untuk pengisian kapasitor dapat dilihat pada Persamaan 2.6

$$V(t) = V_f \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (2.6)$$

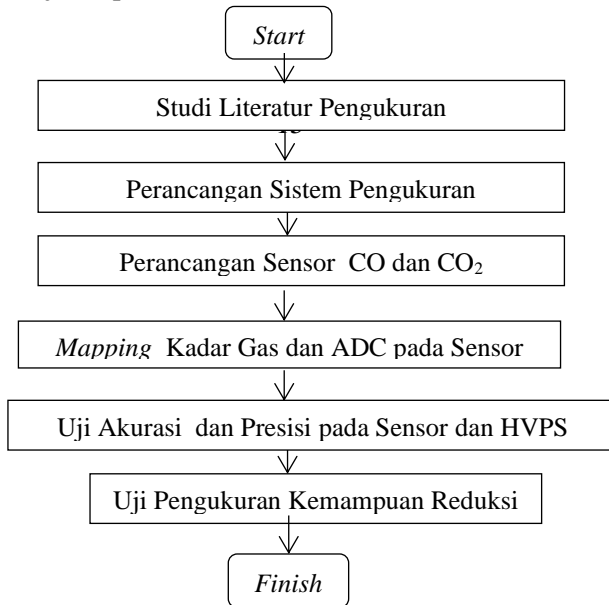
Dengan  $V(t)$  adalah fungsi tegangan kapasitor terhadap waktu yang diberikan (volt).  $V_f$  adalah tegangan maksimum pada plat kapasitor (volt).  $R$  adalah resistansi pada rangkaian RC (ohm).  $C$  adalah nilai kapasitansi (farad).  $t$  adalah waktu pengisian (sekon).(Floyd,2014)

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah. Langkah tersebut disajikan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian.

Berdasarkan diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa terdapat beberapa tahapan untuk menyelesaikan penelitian ini. Pertama kali yaitu melakukan studi literatur dan menyiapkan konsep sistem pengukuran yang dibangun hingga pembuatan sensor. Lalu dilakukan *mapping ADC* dan kadar gas pada sensor gas. Dilakukan uji presisi dan akurasi pada sensor gas dan HVPS. Kemudian dilakukan pengukuran kemampuan reduksi ESP.

### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam rancang bangun *Electrostatic Precipitator* adalah sebagai berikut ini:

1. *High Voltage Power Supply* (HVPS)

*High Voltage Power Supply* (HVPS) digunakan sebagai sumber tegangan DC yang akan dialirkan ke elektroda pada *Electrostatic Precipitator*. Ditunjukkan pada Gambar 3.2, ada dua bagian yaitu *switching supply* dan *Flyback trafo*.



**Gambar 3.2.** *High Voltage Power Supply* (HVPS).

2. *Electrostatic Precipitator* (ESP)

*Electrostatic Precipitator* (ESP) merupakan alat yang mampu menangkap partikel berukuran kecil. *Electrostatic Precipitator* (ESP) sebagai objek penelitian dalam menganalisa Reduksi yang diperoleh. Bentuk ESP yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3



**Gambar 3.3.** *Electrostatic Precipitator* (ESP).

3. *Multimeter*

Multimeter digunakan untuk digunakan untuk mengukur besar tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *High Voltage Power Supply*.

4. Tabung *inlet* dan *outlet*

Bagian-bagian yang terdapat pada tabung antara lain:

a. Pipa *PVC*

Pipa *PVC* nantinya akan dibuat sebagai tabung untuk menampung sampel asap dan sampel asap yang keluar dari ESP.

b. *Valve*

*Valve* digunakan sebagai kran untuk menutup atau mengalirkan sampel asap pada pengukuran Kemampuan Reduksi ESP.

c. Sensor MQ-9 (sensor Gas CO )

Sensor pada Gambar 3.4 sebagai pengukur kadar CO dalam suatu ruangan. Dalam penelitian digunakan untuk memperoleh data Kadar CO dalam wadah *inlet* dan outlet.



**Gambar 3.4.** Sensor MQ-9

(sumber gambar : *amazon.in*).

d. Sensor MQ135 (sensor Gas CO<sub>2</sub> )

Sensor ini sebagai pengukur kadar CO<sub>2</sub> dalam suatu ruangan. Dalam penelitian digunakan untuk memperoleh data Kadar CO<sub>2</sub> dalam wadah awal dan akhir



**Gambar 3.5.** MQ-135  
(sumber gambar : *amazon.in*).

e. Selang

Selang digunakan sebagai tempat untuk mengalirkan sampel asap. Selang yang digunakan pada penelitian ini menyesuaikan ukuran dengan valve tabung dan lubang pada ESP.

5. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan suatu perangkat elektronik yang berfungsi sebagai pengendali suatu rangkaian tertentu. Arduino berfungsi sebagai penerima sinyal analog maupun digital untuk kemudian diproses dan diterjemahkan menjadi suatu sinyal yang dapat diterima oleh sistem digital. Arduino uno dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler ATMEGA328 sebagai otaknya.

6. *Carbon Monoxide* meter Krisbow KW06-292

*Carbon Monoxide* meter Krisbow KW06-292 yang terlihat pada Gambar 3.6 digunakan sebagai alat ukur referensi yang digunakan untuk *mapping* ADC terhadap kadar CO (ppm) pada sensor MQ-9.



**Gambar 3.6.** *Carbon Monoxide* meter Krisbow KW06-292.

### 7. Pompa Vakum

Pompa vakum digunakan untuk menghisap sampel asap pada penelitian. Bentuk pompa vakum terlihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7.** Pompa Vakum.  
(sumber gambar : *tokopedia.com*).

### 8. PC / Laptop

PC / Laptop sebagai alat untuk merekam data yang diterima dari Arduino. Dalam merekam data, Laptop/PC menggunakan Microsoft Excel yang terhubung dengan add on PLX agar bisa menerima data *serial* dari Arduino.

### 9. *Flow Meter*

*Flow meter* digunakan sebagai pengatur debit aliran hisap pada pompa vakum Dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8.** Flow Meter.  
(sumber gambar : *tokopedia.com*).

Bahan atau spesimen yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Asap kendaraan bermotor

Asap kendaraan bermotor mengandung gas CO dan CO<sub>2</sub> sehingga dijadikan sebagai sumber sampel dalam penelitian. Dapat dilihat pada Gambar 3.9.



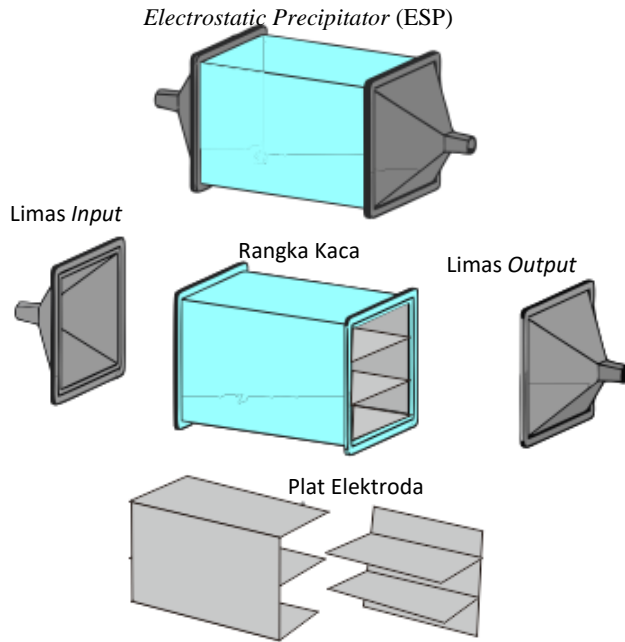
**Gambar 3.9.** Asap kendaraan bermotor.  
(sumber gambar : *Thealth.id*).

### **3.3 Langkah Kerja**

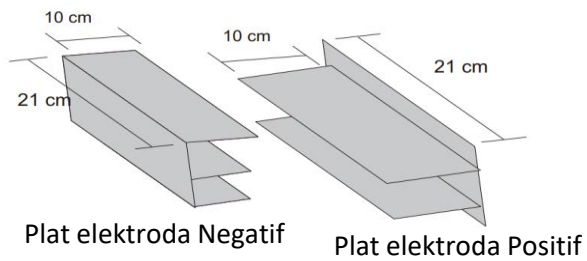
Langkah kerja pada penelitian ini terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut.

#### **3.3.1 Perancangan Sistem Pengukuran Kemampuan Reduksi ESP**

Dalam penelitian ini, Berikut ESP yang akan digunakan yaitu plat sejajar dengan *one stage*. untuk desain dan ukuran ESP dapat dilihat pada Gambar 3.10 hingga Gambar 3.13. Untuk skema sistem pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.14.

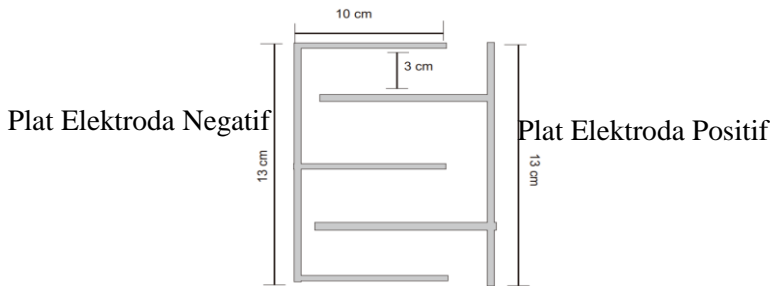


**Gambar 3.10.** Bagian ESP.

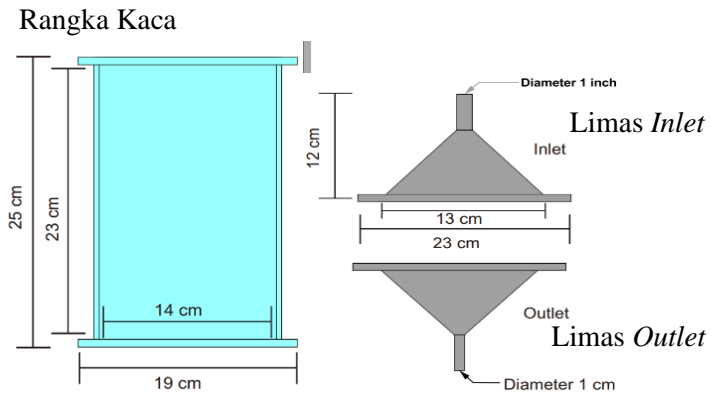


**Gambar 3.11.** Penampang Plat.

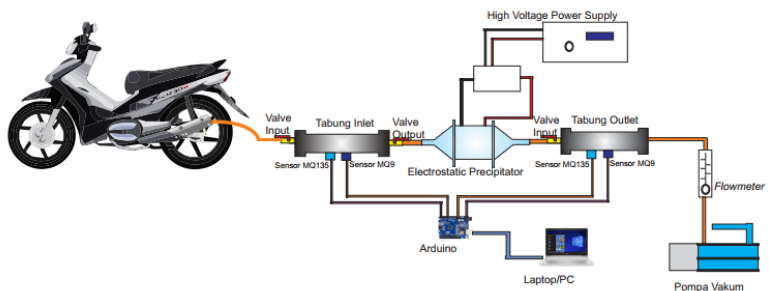




**Gambar 3.12.** Susunan Konfigurasi Plat.



**Gambar 3.13.** Rangka Kaca dan Limas ESP.



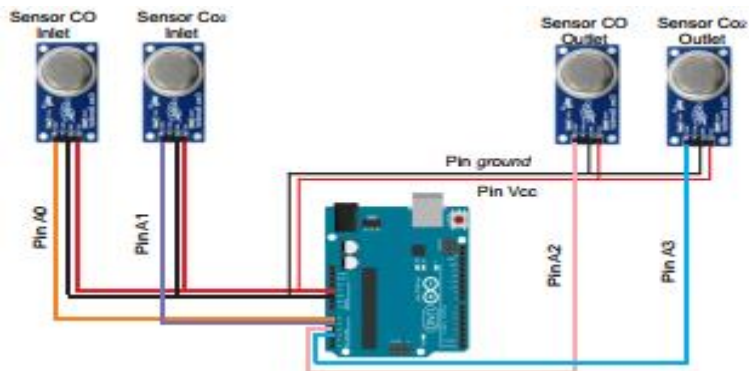
**Gambar 3.14.** Rancangan Penggunaan ESP Sebagai Pereduksi Gas CO dan CO<sub>2</sub>.

Terdapat 6 plat pada bagian dalam ESP, elektroda negatif dengan

3 plat dan elektroda positif dengan 2 plat . Jarak antar plat sejauh 3 cm dengan panjang plat 21 cm dan lebar 10 cm. Skema pengukuran yang digunakan yaitu pada Gambar 3.14. Dimana kedua tabung sebagai wadah gas dengan ukuran diameter 11,7 cm dan panjang 50 cm. Tabung *inlet* merupakan wadah yang menampung asap kendaraan sebelum menjalankan pengukuran dan Tabung *outlet* sebagai wadah yang menampung udara sisa penyaringan ESP. Pada setiap tabung memiliki sensor MQ-9 dan MQ-135 untuk memantau perubahan kadar Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada tabung tersebut.

### 3.3.2 Perancangan sensor CO dan CO<sub>2</sub>

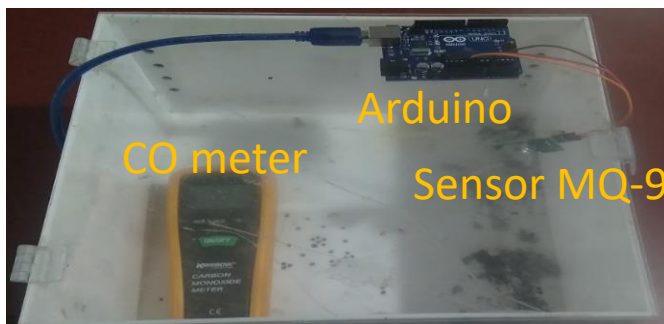
Dalam pengukuran Kemampuan Reduksi ESP diperlukan alat ukur khusus yang mampu mengukur secara kontinu dan data pengukuran dapat disimpan secara digital. Oleh karena itu sensor Arduino dipilih sebagai pengukuran dalam penelitian ini. Sensor MQ-9 dipilih sebagai sensor CO karena Rentang yang diperlukan dari 10 sampai 1000 ppm. Sensor Sensor MQ-135 dipilih sebagai sensor CO<sub>2</sub> karena Rentang yang diperlukan 10 sampai 10000 ppm. Untuk skema rangkaian sensor dapat dilihat pada Gambar 3.15.



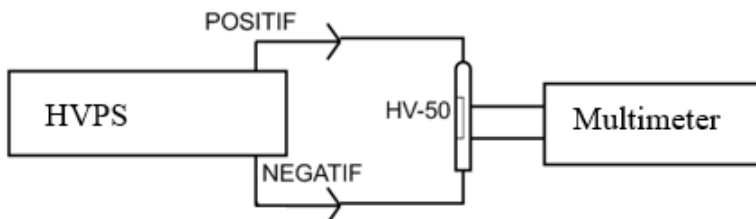
**Gambar 3.15.** Skema Rangkaian Sensor.

### 3.3.3 Mapping Kadar Gas dan ADC pada Sensor

Pada proses *Mapping* kadar gas ini perlu digunakan alat dan metode khusus dalam pengukuran kadar gas ini. Digunakan CO meter KW06-292 buatan Krisbow sebagai referensi kadar Gas CO untuk sensor MQ-9. Dengan memasukan CO meter KW06-292 dan MQ-9 ke dalam wadah tertutup dan diberi sampel asap seperti pada Gambar 3.19. Dengan membandingkan pembacaan nilai ADC pada sensor dan nilai yang ditampilkan pada layar CO meter maka akan didapatkan Rentang ADC sensor terhadap Rentang kadar Gas CO dalam satuan ppm (*part per million*). Pada Gambar 3.20 merupakan skema pengukuran HVPS dengan menggunakan probe HV-50 dan multimeter untuk membaca nilai tegangan listrik pada HVPS.



**Gambar 3.16.** Pengukuran ADC sensor MQ-9 terhadap CO meter KW06-292



**Gambar 3.17.** Pengukuran akurasi *High Voltage Power Supply*

Sedangkan pada sensor MQ-135 sebagai sensor CO<sub>2</sub>. Karena sensor MQ135 termasuk sensor resistif seperti MQ-9, semakin besar tegangan ADC sensor semakin besar kadar gas yang terukur. Maka digunakan sistem pengukuran secara matematis sebagai pengganti kalibrator dimana Rentang ADC sensor disesuaikan dengan Rentang kadar gas pada sensor MQ135 dengan Persamaan 3.1.

$$ppm = \left( \frac{R_{maks} - R_{min}}{r} \times adc \right) + R_{min} \quad (3.1)$$

Dengan ppm adalah kadar gas yang terukur pada sensor (ppm). R<sub>maks</sub> adalah Rentang kadar gas terbesar yang mampu diukur oleh sensor. R<sub>min</sub> adalah Rentang kadar gas terkecil yang mampu diukur oleh sensor. r adalah resolusi ADC pada mikrokontroler. ADC adalah nilai analog pada sensor. Berdasarkan penelitian jurnal *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)* dengan judul “*Air Quality Monitoring System based on Arduino Microcontroller*” dibuat oleh Navreetinder Kaur, Rentang pengukuran Gas CO<sub>2</sub> oleh sensor MQ135 adalah 10 – 10000 ppm dan Nilai Referensi kadar CO<sub>2</sub> pada udara terbuka adalah 400,7 ppm. Dengan substitusi nilai Rentang pengukuran gas berdasarkan jurnal terhadap Persamaan 3.1 dan resolusi mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino UNO sebesar 10 bit (0 s.d 1023) maka didapat Persamaan pengukuran ppm Gas CO<sub>2</sub> pada sensor MQ-135 pada Persamaan 3.2

$$ppm = \left( \frac{10000 - 10}{1023} \times adc \right) + 10$$

$$ppm = (9,765 \times adc) + 10 \quad (3.2)$$

### 3.3.4 Uji Akurasi dan Presisi pada sensor dan HVPS

Dalam pembuatan sebuah alat diperlukan suatu kalibrasi untuk mengetahui keakuratan dari alat tersebut. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan spesifikasi yang dimiliki oleh alat tersebut. Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan ataupun kepercayaan terhadap suatu alat. Pada Persamaan 3.3 digunakan untuk menghitung nilai *error* dan

tingkat keakuratan dari suatu kalibrasi alat ukur. Pada sensor gas MQ-9 menggunakan CO meter Krisbow KW06-292 sebagai referensi pengukuran kadar Gas CO. Pada sensor gas MQ-135 menggunakan satu Nilai Referensi yaitu nilai kadar gas di udara terbuka sebesar 400,7 ppm. Pada HVPS yang diukur besar tegangan keluaran menggunakan multimeter dengan probe HV-50 dan nilai tegangan yang muncul pada lcd *Arduino* sebagai Nilai Referensi.

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{referensi} - \text{pengukuran}}{\text{referensi}} \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

Setelah dilakukan uji akurasi, perlu juga dilakukan uji presisi untuk mengetahui standar deviasi nilai yang terukur dan untuk mengetahui *repeatability* dari nilai yang terukur. Kemudian dilakukan perhitungan standar deviasi dan presisi dari pengulangan data terukur tersebut dengan Persamaan 3.4 dan Persamaan 3.5

a. Standar Deviasi

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (3.4)$$

b. Presisi

$$I = \frac{\Delta}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3.5)$$

### 3.3.5 Uji Pengukuran Kemampuan Reduksi ESP

Pengukuran Kemampuan Reduksi ESP pada penelitian menggunakan sampel fase gas sehingga pengukuran menggunakan kadar gas dengan satuan ppm (*part per million*). Skema pengukuran pada penelitian ini yaitu pada gambar 3.17. Penggunaan pompa vakum sebagai sistem *exhaust* untuk memindahkan sampel polutan dari tabung *inlet* menuju tabung *outlet*. Penggunaan pompa vakum dipilih karena menarik polutan secara keseluruhan dibandingkan menggunakan kipas atau kompresor yang mendorong polutan tetapi menambah udara bebas yang akan merubah kadar gas pada tabung *inlet* dan tabung *outlet*. Program datalogging menggunakan Microsoft excel dengan bantuan *add on* PLX DAQ sebagai penghubung data serial dari *Arduino UNO*. Dalam pengukuran diawali dengan Pengaturan nilai

tegangan pada ESP dan nilai debit gas pada pompa vakum dengan alat ukur *Flowmeter* dan dimatikan. pengisian tabung *inlet* dengan kondisi *valve*/kran output tertutup dan *valve* output dalam kondisi terbuka. Pengisian berlangsung selama 10 detik. Setelah diisi, *valve* input pada tabung *outlet* dibuka dan *valve* input pada tabung *outlet* ditutup. Program *datalogging* mulai dijalankan. ESP dan pompa vakum mulai dinyalakan. Proses *exhausting* (penyedotan) berlangsung selama 30 detik. Setelah dilakukan *exhausting*, Data pada *datalogging* disimpan dan diolah dengan Persamaan 3.6.

$$\eta = \frac{(C'_{Inlet} - C_{Inlet}) - (C'_{Outlet} - C_{Outlet})}{C'_{Inlet} - C_{Inlet}} \times 100 \% \quad (3.6)$$

Dengan  $\eta$  sebagai Kemampuan Reduksi ESP dengan satuan (%).  $C'_{Inlet}$  adalah kadar gas pada tabung *inlet* sesudah *exhausting* dalam satuan ppm.  $C'_{Outlet}$  adalah kadar gas pada tabung *Outlet* sesudah *exhausting* dalam satuan ppm.  $C_{Outlet}$  adalah kadar gas pada tabung *Outlet* sebelum *exhausting* dalam satuan ppm.  $C_{Inlet}$  adalah kadar gas pada tabung *inlet* sebelum *exhausting* dalam satuan ppm.

### 3.4 Pengujian Hubungan Variabel Bebas yang Mempengaruhi Kemampuan Reduksi ESP

Pada pengukuran Kemampuan Reduksi ESP, variabel bebas yang mempengaruhi dalam penelitian ini yaitu tegangan listrik dan debit gas.

#### 3.4.1 Tegangan Listrik sebagai Variabel Bebas

Pada proses ionisasi di dalam ESP, diperlukan tegangan listrik yang besar untuk menimbulkan medan listrik yang besar. Apabila energi listrik pada medan listrik memiliki energi cukup untuk melakukan ionisasi suatu atom atau molekul, maka atom atau molekul tersebut akan mengalami ionisasi yang kuat. Karena ESP yang digunakan pada penelitian merupakan plat sejajar maka bisa diasumsikan sebagai plat kapasitor. Sehingga berlaku proses pengisian muatan atau *charging* dengan Persamaan 2.6

$$V(t) = V_f \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (2.6)$$

Molekul akan terionisasi apabila energi yang diberikan sesuai dengan energi ionisasi molekul tersebut. Dalam kapasitor, besar energi yang tersimpan pada Persamaan 3.7.

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (3.7)$$

Dengan  $W$  adalah energi yang tersimpan pada kapasitor (*Joule*),  $C$  adalah nilai kapasitansi pada kapasitor (*Farad*), dan  $V$  adalah beda potensial antara kedua plat kapasitor (*Volt*). Dengan asumsi keseluruhan energi pada ESP berubah bentuk menjadi energi ionisasi secara ideal maka didapatkan Persamaan 3.8 dan dimasukkan Persamaan 2.6.

$$W_{ESP} = W_{ionisasi}$$

$$\frac{1}{2} CV^2 = n \cdot W_{ionisasi}$$

$$\frac{1}{2} C (V(t))^2 = n \cdot W_{ionisasi}$$

$$\frac{1}{2} C \left( V_f \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \right)^2 = n \cdot W_{ionisasi} \quad (3.8)$$

Dengan  $W_{ESP}$  adalah energi listrik pada ESP (*Joule*),  $C$  adalah nilai kapasitansi pada ESP (*Farad*),  $V$  adalah tegangan listrik yang diberikan pada ESP (*Volt*),  $W_{ionisasi}$  adalah energi yang diperlukan untuk ionisasi pada molekul atau atom (*Joule*), dan  $n$  adalah banyaknya atom atau molekul yang terionisasi. Namun Persamaan 3.6 hanya berlaku untuk gas homogen. Sedangkan pada penelitian ini, sampel gas yang digunakan yaitu asap kendaraan sehingga bersifat heterogen (lebih dari satu jenis gas). Sehingga berlaku Persamaan 3.9.

$$\frac{1}{2} CV^2 = n_a \cdot W_a + n_b \cdot W_b + n_c \cdot W_c + \dots \quad (3.9)$$

Sehingga dari Persamaan tersebut menunjukkan besarnya tegangan listrik akan memberikan besarnya energi pada ESP untuk mengubah molekul atau atom menjadi ion. Pada penelitian ini digunakan 4 variasi tegangan listrik yaitu 11 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV.

### 3.4.2 Debit gas sebagai Variabel Bebas

Pada kondisi pengisian, akan tercapai waktu di mana sudah penuh yaitu di saat nilai tegangan pada plat kapasitor mendekati nilai tegangan listrik sumber. Namun dalam ESP, asap sebagai bahan dielektrikum mendapat perlakuan berupa *exhausting* (penyedotan) pada penelitian ini sehingga terjadi perpindahan asap yang menyebabkan kondisi *charging* belum bisa terpenuhi selama waktu *exhausting*. Hal ini menyebabkan beberapa atom atau molekul yang terionisasi larut dalam udara yang terhisap. Sehingga keluaran dari ESP pada penelitian adalah banyaknya atom atau molekul yang terionisasi terhadap volume udara yang keluar dari ESP. Ketika sampel gas dihisap maka molekul bergerak dengan laju aliran tertentu. Pada penelitian ini laju aliran molekul diatur dengan mengatur debit gas pada pompa vakum. Dengan tegangan listrik yang konstan, maka daya listrik pada ESP bernilai tetap. Waktu yang diperlukan molekul mengalir tergantung pada seberapa cepat laju aliran dan panjang plat yang dilewati. Sehingga didapatkan Persamaan 3.8.

$$t_{tempuh} = \frac{L_{ESP}}{v_{aliran}} = \frac{L_{ESP}}{Q/A}$$

Dengan  $t_{tempuh}$  adalah waktu yang ditempuh (detik).  $L_{ESP}$  adalah panjang ESP (m).  $Q$  adalah debit gas ( $m^3/detik$ ).  $A$  adalah luas penampang pada ESP ( $m^2$ ). Dengan semakin lama suatu partikel bergerak dalam medan listrik yang tetap maka semakin besar energi listrik yang diterima sehingga mengalami ionisasi. Sehingga didapatkan Persamaan 3.9

$$W_{diterima} = P_{ESP} \cdot t_{tempuh} = P_{ESP} \cdot \frac{L_{ESP}}{Q/A} \quad (3.9)$$

Dengan  $P_{ESP}$  adalah daya listrik pada ESP (*watt*) dan  $W_{diterima}$  adalah energi yang diterima oleh aliran udara selama melewati ESP (*Joule*). Dari Persamaan tersebut menunjukkan besarnya debit gas akan memberikan sedikit waktu pada ESP untuk mengubah molekul atau atom menjadi ion dengan daya listrik yang dimiliki. Pada penelitian ini digunakan 5 variasi debit gas yaitu 2 L/menit, 4 L/menit, 6 L/menit, 8 L/menit, dan 10 L/menit.



### 3.4.3 Pengaruh Efisiensi Penangkapan ESP pada Reduksi Gas

Pada umumnya ESP digunakan untuk menangkap partikel padat dengan ukuran mikron ( $10^{-6}$  m). Namun dalam penelitian ini, objek yang diamati yaitu Gas CO<sub>2</sub> dan CO yang berukuran lebih kecil dibandingkan partikel padat yang biasa ditangkap ESP. Dengan menggunakan Persamaan Deutch Anderson pada Persamaan 2.1 untuk melakukan perhitungan persentase molekul gas yang mampu ditangkap. Pada perhitungan ini digunakan molekul Gas CO<sub>2</sub> dan menggunakan pengukuran maksimum yaitu dimana tegangan listrik tertinggi yaitu 25 kV dan debit gas terendah yaitu 2 L/menit. Diameter molekul oksigen berdasarkan referensi jurnal Scencedirect dengan judul "*Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*" yang ditulis oleh H.P.S. Abdul Khalil sebesar  $3.34 \times 10^{-8}$  cm. Untuk slip factor Cunningham pada molekul CO<sub>2</sub> sebesar 0.92 berdasarkan jurnal Scencedirect dengan judul "*MOMENTUM SLIP CORRECTION FACTOR FOR SMALL PARTICLES IN NINE COMMON GASES*" ditulis oleh Daniel J. Rader

Dengan diketahui

Permitivitas pada vakum =  $8.85 \times 10^{-18}$  F/m

Tekanan (P) = 1 atm

Jari-jari partikel (a) =  $3.34 \times 10^{-8}$  cm : 2 =  $1.17 \times 10^{-8}$  cm  
 =  $1.17 \times 10^{-10}$  m

Voltage (V) = 25 kV

Jarak antar plat = 3 cm =  $3 \times 10^{-2}$  m

Viskositas udara 100°C =  $2.1 \times 10^{-5}$  N.S/m<sup>2</sup>

Kuat medan listrik (E) = V/d = 25 kV/ $3 \times 10^{-2}$  m = 833 kV/m

debit gas masuk = 2 L/menit =  $3,3 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/detik

Lebar pipa masuk = 1 inch =  $2.54 \times 10^{-2}$  m

Luasan ESP = 13 cm x 13cm =  $1.69 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>

Luas pipa masuk =  $5.06 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>

Kecepatan aliran udara =  $Q/A = 10.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik} \div 1.69 \times 10^{-2} \text{ m}^2 = 3.54 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

Pada *single stage electrostatic precipitator* besar  $E_c$  dan  $E_p$  adalah sama, dengan menggunakan Persamaan kecepatan partikel drift sebagai berikut

$$\omega = \frac{2K_0 P a E_c E_p}{3\mu}$$

$$= \left( \frac{2 \times 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m} \times 1.17 \times 10^{-10} \text{ m} \times (833333 \text{ V})^2}{3 \times 2.1 \times 10^{-5} \text{ N.S/m}^2} \right)$$

$$\omega = 2,282 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

kemudian dikalikan dengan faktor slip Cunningham sebesar 0.92

$$\omega' = \omega(1 + C_c)$$

$$\omega' = 2,282 \times 10^{-5} (1 + 0,92) = 4,381 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Kemudian dimasukan pada Persamaan 2.1 dan menggunakan salah satu luas plat elektroda yang digunakan sebesar  $A = 10 \times 21 = 210 \text{ cm}^2 = 2,1 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\eta = 1 - \exp \frac{-\omega A}{Q}$$

$$\eta = 1 - \exp \frac{-4,381 \times 10^{-5} \cdot 2,1 \times 10^{-2}}{3,3 \times 10^{-5}}$$

$$\eta = 1 - 0.997215983$$

$$\eta = 0.002784017 = 0.2784017 \%$$

Nilai yang didapatkan dari hasil perhitungan sangat kecil sehingga Reduksi penangkapan ESP tidak berpengaruh besar dibandingkan ionisasi pada molekul sebagai pereduksi kadar gas dalam penelitian ini. Namun bisa menjadi faktor tambahan berkurangnya molekul CO dan CO<sub>2</sub> selama penelitian ini.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

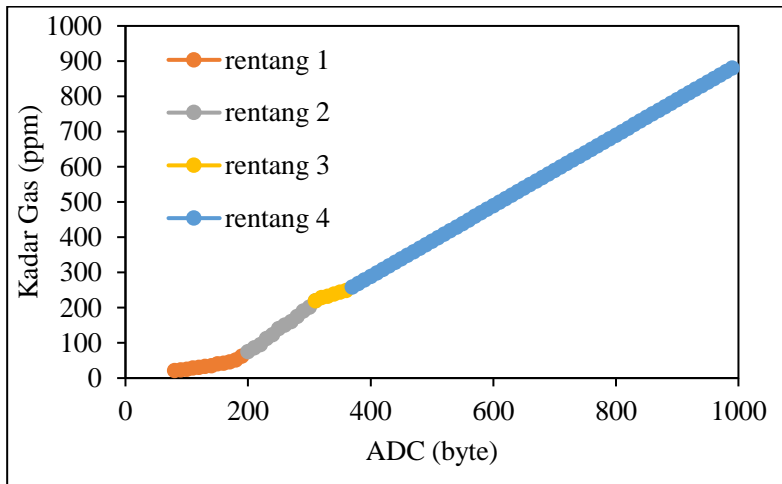
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

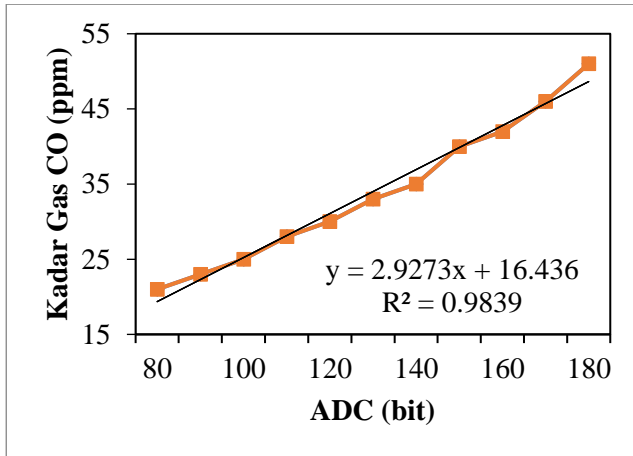
#### 4.1 Mapping Kadar Gas Pada Sensor

##### 4.1.1 Mapping Linearitas Kadar Gas CO pada Sensor MQ-9

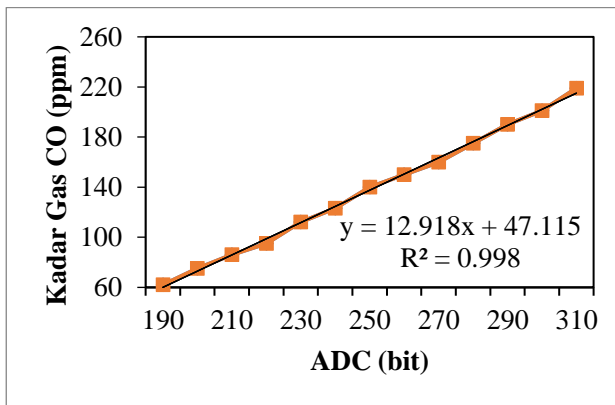
Rentang sensor MQ-9 pada penelitian ini digunakan 10 sampai dengan 1000 ppm. Penyesuaian yang digunakan pada sensor MQ-9 ini digunakan linearitas tiap antara rentang tertentu menggunakan fungsi *mapping* pada arduino. Fungsi *mapping* digunakan pada tiap kenaikan yang linear dari Rentang ADC sehingga didapat keseluruhan. Pada Gambar 4.1 merupakan keseluruhan dari ADC sensor MQ-9 terhadap kadar gas CO yang terukur oleh CO meter. Pada gambar 4.2 hingga 4.5 merupakan penjabaran rentang dari Gambar 4.1.



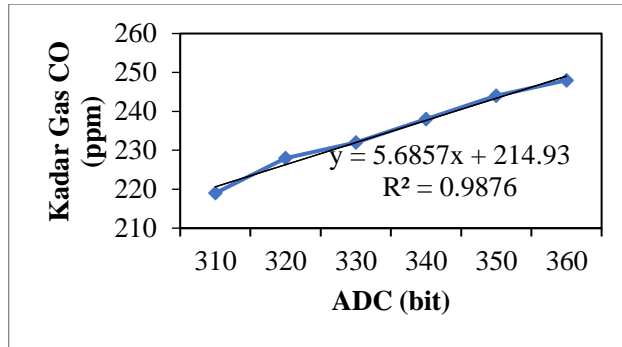
**Gambar 4.1** Mapping ADC terhadap Kadar Gas CO Sensor MQ-9.



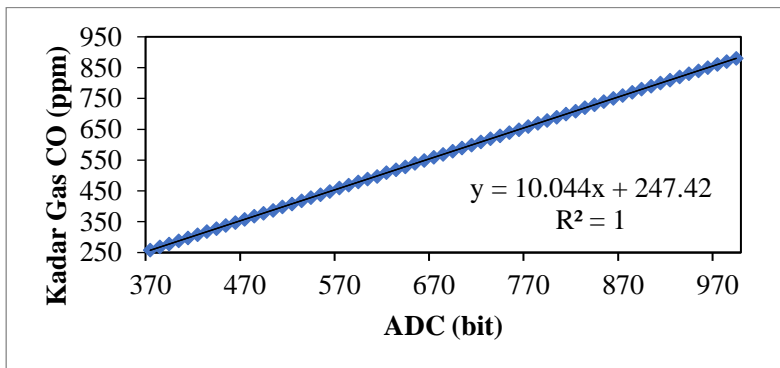
**Gambar 4.2.** Linearitas ADC terhadap Kadar Gas CO Rentang 1.



**Gambar 4.3.** Linearitas ADC terhadap Kadar Gas CO Rentang 2.



**Gambar 4.4.** Linearitas ADC terhadap kadar Gas CO Rentang 3.



**Gambar 4.5.** Linearitas ADC terhadap kadar Gas CO Rentang 4.

Penyesuaian Rentang berdasar grafik dan data yang terlampir pada lampiran Tabel 1. Sebagai berikut :

- 1) Rentang kadar gas 19 – 62 ppm diwakilkan pada rentang ADC 80 – 190
- 2) Rentang kadar gas 63 – 220 ppm diwakilkan pada rentang ADC 191 – 310
- 3) Rentang kadar gas 221 – 241 ppm diwakilkan pada rentang ADC 311 – 360

- 4) Rentang kadar gas 242 – 880 ppm diwakilkan pada rentang ADC 361 – 990
- 5) Untuk Rentang ADC 991 – 1023 diwakilkan sebagai rentang kadar 881 – 1000 ppm
- 6) Untuk Rentang ADC 0 – 79 diwakilkan sebagai rentang kadar 10 -18 ppm (nilai terkecil pada sensor MQ-9)

Sehingga bisa didapatkan rentang untuk perintah pada *Arduino code*. Arduino code pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 2.

## 4.2 Akurasi dan Presisi pada Sensor dan HVPS

### 4.2.1 Akurasi *High Voltage Power Supply*

Dalam perancangan suatu alat perlu dilakukan uji akurasi untuk mengetahui bagaimana keakuratan dari alat tersebut. Pada pembuatan alat ini, dilakukan akurasi terhadap data tegangan pada *high voltage power supply*. Untuk mendapatkan nilai keakuratan, maka perlu dihitung nilai error. Berikut contoh perhitungan untuk mendapatkan keakuratan pada tegangan 12 kV. Perhitungan akurasi menggunakan nilai rata-rata hasil pengukuran dari 5 kali pengulangan.

$$\text{Error} = \left| \frac{V_{\text{referensi}} - \text{pengukuran}}{\text{referensi}} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error} = \left| \frac{12 - 12.58}{11} \right| \times 100\% = 0.00042\%$$

$$\text{Keakuratan} = 100\% - \text{Error}$$

$$\text{Keakuratan} = 100\% - 0.00049\% = 99.99951\%$$

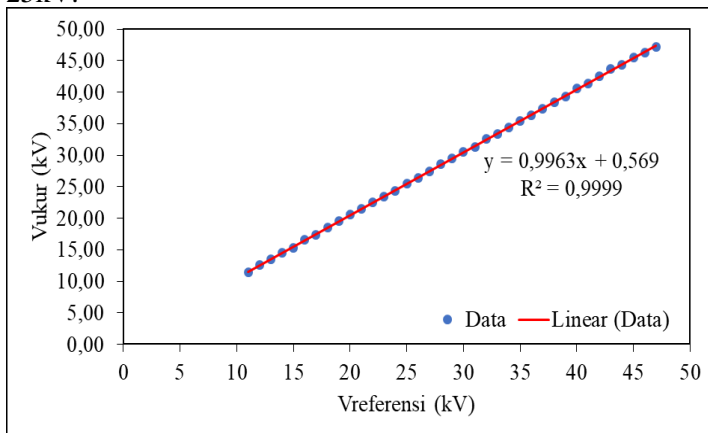
Untuk pengukuran tegangan yang lain, diperoleh nilai keakuratan pada tabel berikut.

**Tabel 4.1** Hasil Akurasi *High Voltage*

Vreferensi (kV)	Vukur (kV)	Error (%)	Keakuratan (%)
11	11.47	0.00042	99.99958
12	12.58	0.00049	99.99951
13	13.51	0.00040	99.99960

14	14.58	0.00042	99.99958
15	15.35	0.00024	99.99976
Rata-Rata		0.00039	99.99961

Berdasarkan hasil uji akurasi pada Tabel 4.1, menunjukkan bahwa rata-rata error pada high voltage sebesar 0,00039% dan keuratannya 99,99961%. Selain Tabel 4.1, secara keseluruhan eror pada HVPS yang dibuat sebesar 0.00019% dan nilai keakuratannya sebesar 99.99981% yang disajikan pada Lampiran 1 Tabel 2. Artinya, bahwa high voltage menunjukkan akurasi yang sangat bagus dan sesuai yang diinginkan.. Dalam penelitian ini, digunakan empat variasi tegangan yaitu 11 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25kV.



**Gambar 4.6** Grafik Kalibrasi High Voltage.

Gambar 4.6 merupakan grafik kalibrasi *High Voltage Power Supply* yang didapatkan dari hasil perhitungan data pada Lampiran 1 Tabel 1. Data pada lampiran 1 memiliki tegangan minimal sebesar 11 kV dan tegangan maksimal sebesar 47 kV.

#### 4.2.2 Akurasi dan Presisi Sensor CO MQ-9

Dalam perancangan suatu alat perlu dilakukan uji akurasi untuk mengetahui bagaimana keakuratan dari alat tersebut. Pada pembuatan alat ini dilakukan akurasi terhadap data CO meter



Krisbow dan data sensor MQ-9 Berikut ini contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai akurasi pada kadar Gas CO. Perhitungan akurasi menggunakan nilai rata-rata hasil pengukuran dari 10 kali pengulangan.

$$Akurasi = \left| \frac{\text{referensi} - \text{pengukuran}}{\text{referensi}} \right| \times 100\%$$

$$Akurasi = \left| \frac{20 - 20.1}{20} \right| \times 100\% = 5,9\%$$

Untuk pengukuran kadar gas yang lain, dapat dilihat pada lampiran. Sehingga diperoleh nilai akurasi pada tabel berikut.

**Tabel 4.2.** Tabel Hasil Akurasi Sensor MQ-9

Kadar Gas CO (ppm)		Error (%)	Keakuratan (%)
Referensi	Alat Ukur		
20	20.1	0.005	99.9950
45	39.8	0.116	99.8844
61	60.5	0.008	99.9918
78	80.8	0.036	99.9641
104	102.9	0.011	99.9894
207	203.1	0.019	99.9812
305	304.5	0.002	99.9984
405	407.7	0.007	99.9933
508	508.1	0.000	99.9998
598	608.5	0.018	99.9824
709	716.5	0.011	99.9894
800	816.2	0.020	99.9798
893	888.6	0.005	99.9951
992	988.4	0.003	99.9966

Rata-Rata	0.019	99.981
-----------	-------	--------

Berdasarkan hasil uji akurasi pada Tabel 4.2, menunjukkan bahwa rata-rata error pada sensor MQ-9 sebesar 0.019% dan nilai keakuratan sebesar 99.981 %. Setelah dilakukan uji akurasi, perlu juga dilakukan uji presisi untuk mengetahui standard deviasi sumber arus dan untuk mengetahui *repeatability* dari nilai kadar Gas CO sensor MQ-9. Dengan contoh perhitungan standar deviasi dan presisi pada data Tabel 4.3

**Tabel 4.3.** Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Kadar Gas CO Referensi 20 ppm

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
20	20,10	-0.10	0.01	2.9
20		-0.10	0.01	
20		-0.10	0.01	
21		0.90	0.81	
19		-1.10	1.21	
20		-0.10	0.01	
20		-0.10	0.01	
20		-0.10	0.01	
21		0.90	0.81	
20		-0.10	0.01	

Kemudian dilakukan perhitungan standard deviasi dan presisi dari pengulangan data tersebut.

a. Standar Deviasi

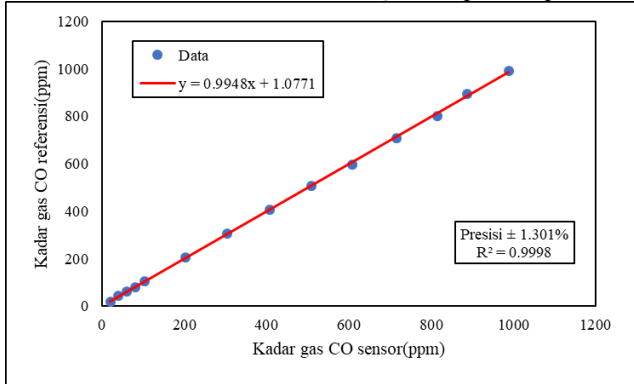
$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{2.9}{(10-1)}} = 0.567$$

b. Presisi

$$I = \frac{\Delta}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0.567}{20,10} \times 100\% = 2.82\%$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti pada contoh perhitungan di

atas. Maka dapat dilanjutkan pada data lainnya di lampiran tabel 3 sampai dengan tabel 16 maka diperoleh nilai presisi keseluruhan kadar Gas CO sensor MQ-9 seperti pada Gambar 4.3



**Gambar 4.7.** Grafik Presisi sensor MQ-9.

#### 4.2.3 Akurasi dan Presisi Sensor CO<sub>2</sub> MQ-135

Dalam perancangan suatu alat perlu dilakukan uji akurasi untuk mengetahui, bagaimana keakuratan dari alat tersebut. Pada pembuatan alat ini dilakukan akurasi terhadap Nilai Referensi kadar CO<sub>2</sub> pada udara terbuka sebesar 400,7 ppm dan data sensor MQ-9 dengan pengulangan sebanyak 10 kali. Berikut ini perhitungan untuk mendapatkan nilai akurasi pada kadar Gas CO<sub>2</sub>.

$$Akurasi = \left| \frac{\text{referensi} - \text{pengukuran}}{\text{referensi}} \right| \times 100\%$$

$$Akurasi = \left| \frac{400,7 - 390}{400,7} \right| \times 100\% = \%$$

.Sehingga diperoleh nilai akurasi pada tabel 4.4

**Tabel 4.4** Perhitungan Akurasi Sensor MQ-135

Kadar Gas CO <sub>2</sub> (ppm)	Error (%)	Keakuratan (%)

Referensi	Alat Ukur		
400.7	381	0.04916396	99.95084
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	400	0.00174694	99.99825
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	381	0.04916396	99.95084
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	390	0.02670327	99.9733
400.7	400	0.00174694	99.99825
Rata-Rata		0.02628733	99.97371

Berdasarkan hasil uji akurasi pada Tabel 4.2, menunjukkan bahwa rata-rata error pada sensor MQ-135 sebesar 0.02628733% dan nilai keakuratan sebesar 99.97371 %. Setelah dilakukan uji akurasi, perlu juga dilakukan uji presisi untuk mengetahui standard deviasi sumber arus dan untuk mengetahui *repeatability* dari nilai kadar Gas CO<sub>2</sub> sensor MQ-9. Karena terbatasnya Nilai Referensi maka digunakan satu tabel presisi pada kadar Gas CO<sub>2</sub> referensi yaitu pada kondisi udara terbuka 400,7 ppm.

**Tabel 4.5** Perhitungan Presisi Sensor MQ-135 pada Kadar Gas CO<sub>2</sub> Referensi 400,7 ppm

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
381	389.20	-8.20	67.24	255.6
390		0.80	0.64	
390		0.80	0.64	

400		10.80	116.64
390		0.80	0.64
381		-8.20	67.24
390		0.80	0.64
390		0.80	0.64
390		0.80	0.64
390		0.80	0.64

Kemudian dilakukan perhitungan standard deviasi dan presisi dari pengulangan data tersebut.

a. Standar Deviasi

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{255,6}{(10-1)}} = 5.055$$

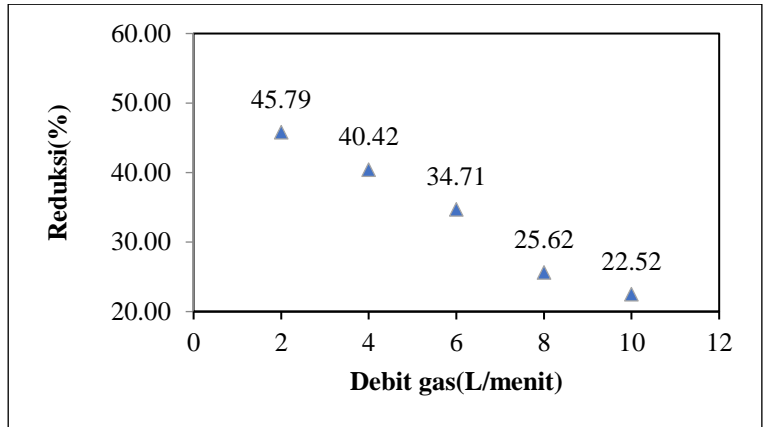
b. Presisi

$$I = \frac{\Delta}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{5.055}{255.6} \times 100\% = 1.97\%$$

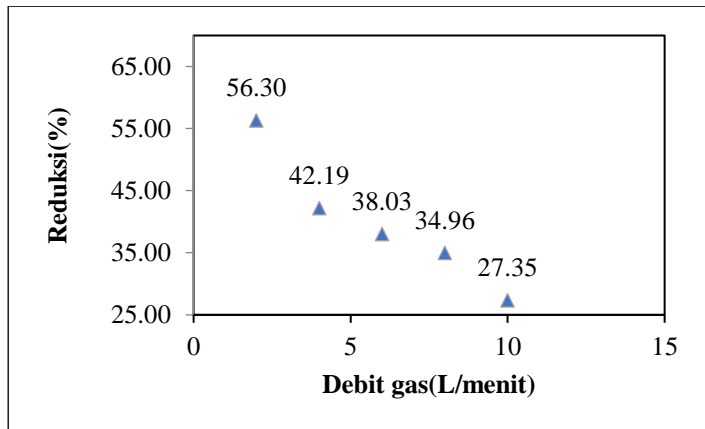
### 4.3 Hasil Pengukuran Reduksi Pada ESP

#### 4.3.1 Kemampuan Reduksi ESP pada Reduksi Gas CO

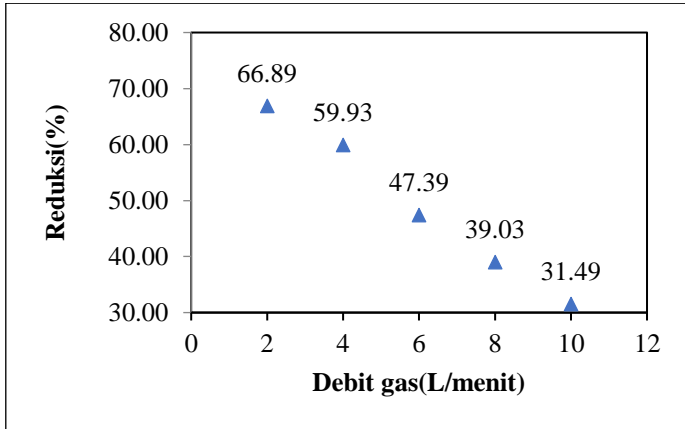
Pada pengukuran Reduksi ini telah dipengaruhi oleh variasi tegangan dan debit gas. Data hasil pengukuran ditampilkan pada lampiran. Berikut grafik hubungan antara Reduksi pada tegangan tetap dengan variasi debit gas yang dihisap.



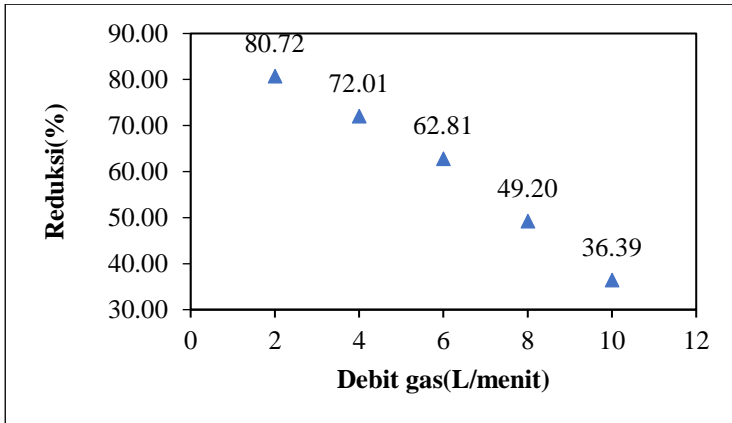
**Gambar 4.8** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Tegangan Listrik 11 kV Variasi Debit Gas.



**Gambar 4.9** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Tegangan Listrik 15 kV Variasi Debit Gas.



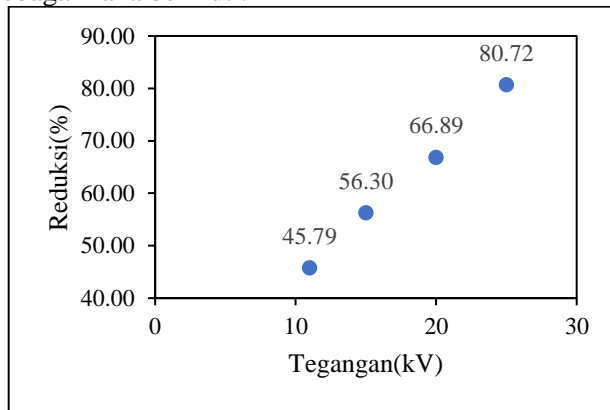
**Gambar 4.10** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Tegangan Listrik 20 kV Variasi Debit Gas.



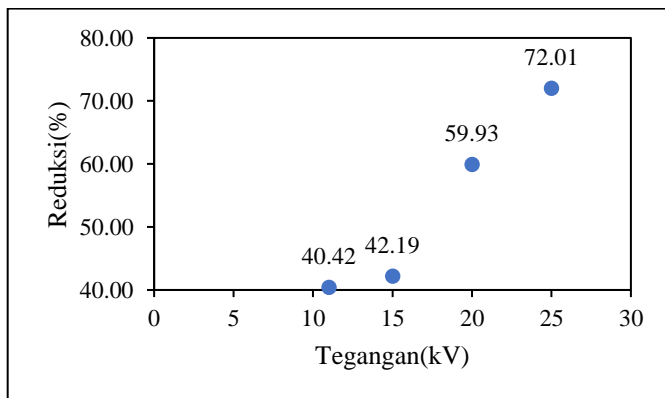
**Gambar 4.11** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Tegangan Listrik 25 kV Variasi Debit Gas.

Debit yang digunakan pada penelitian ini adalah 2L/menit, 4L/menit, 6L/menit, 8 L/menit, dan 10 L/menit . Pada gambar 4.1 hingga gambar 4.4 membuktikan bahwa terjadi penurunan Reduksi

pada saat besar debit gas hisap dinaikkan. Reduksi tertinggi dari keempat grafik tersebut diperoleh pada saat debit 2 L/menit. Dan keempat grafik menunjukkan Reduksi terendah pada saat debit 10 L/menit. Dengan data yang sama pada ESP, terbentuk grafik hubungan antara reduksi pada debit masuk tetap dengan variasi tegangan sebagaimana berikut.



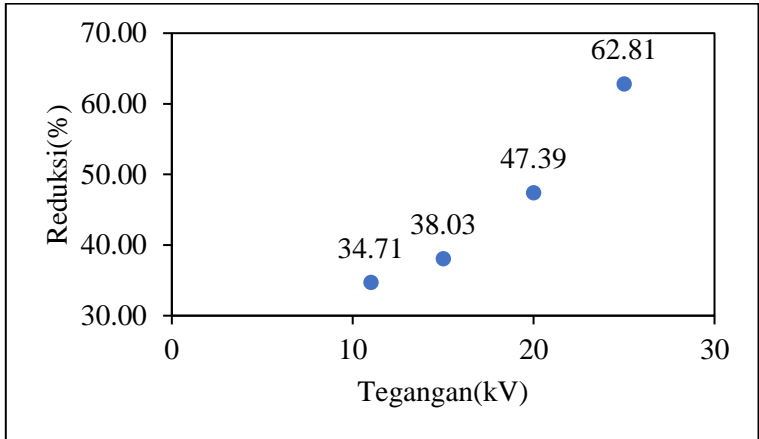
**Gambar 4.12** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan debit 2 L/menit Variasi Tegangan Listrik.



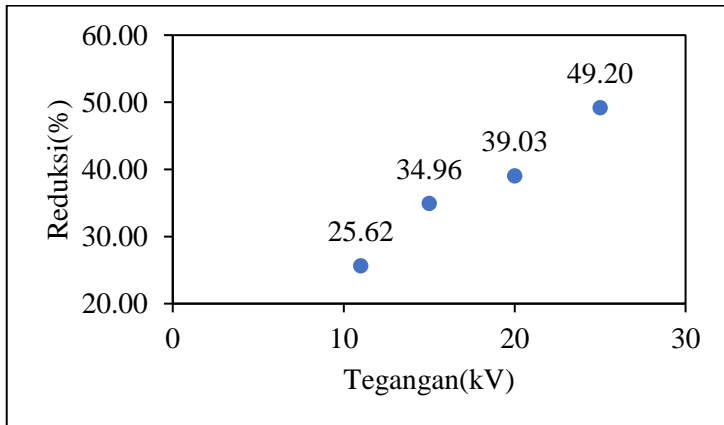
**Gambar 4.13** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan



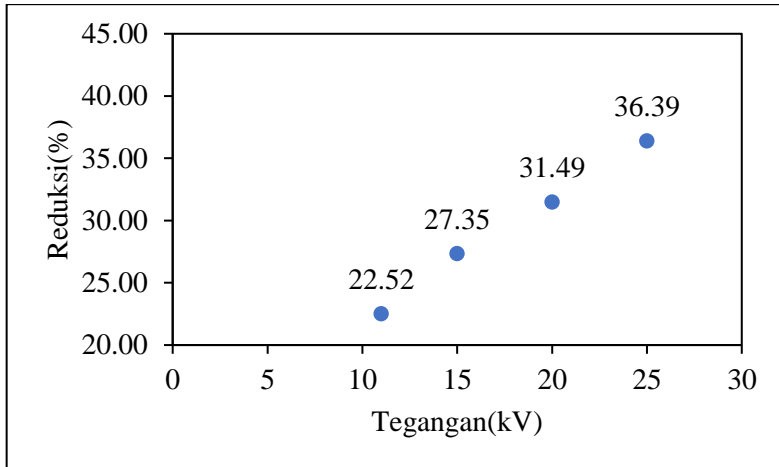
Debit 4 L/menit variasi tegangan.



**Gambar 4.14** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Debit 6 L/menit Variasi Tegangan Listrik.



**Gambar 4.15** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO dengan Debit 8 L/menit Variasi Tegangan Listrik.



**Gambar 4.16** Reduksi pada Gas CO dengan Debit 10 L/menit Variasi Tegangan Listrik.

Grafik hasil dari hubungan efisiensi dengan variasi tegangan pada debit masuk tetap menunjukkan kenaikan Reduksi ketika tegangan dinaikkan. Dari hasil keempat grafik menunjukkan Reduksi tertinggi berada pada tegangan 25 kV dan keempat grafik menunjukkan Reduksi terendah pada saat tegangan 11 kV.

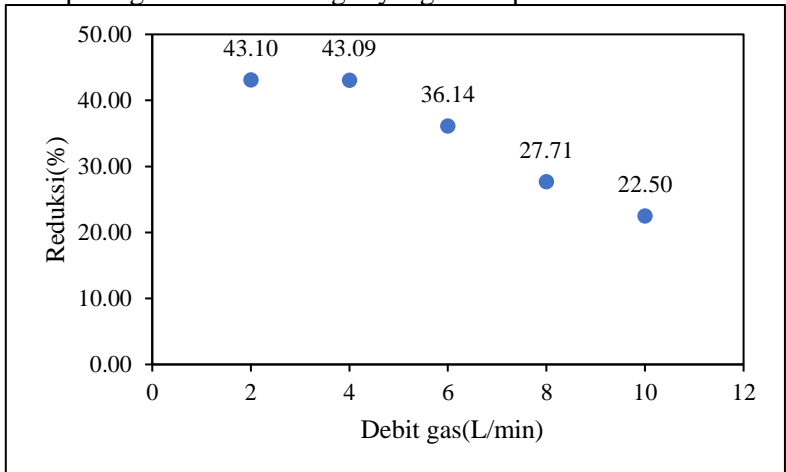
Grafik hasil dari hubungan Reduksi dengan variasi tegangan pada debit masuk tetap menunjukkan kenaikan Reduksi ketika tegangan dinaikkan. Dari hasil keempat grafik menunjukkan Reduksi tertinggi berada pada tegangan 25 kV dan keempat grafik menunjukkan Reduksi terendah pada saat tegangan 11 kV. Grafik hasil dari hubungan efisiensi dengan variasi tegangan pada debit masuk tetap menunjukkan kenaikan Reduksi ketika tegangan dinaikkan. Dari hasil grafik menunjukkan Reduksi tertinggi berada pada tegangan 25 kV dan Reduksi terendah pada saat tegangan 11 kV. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa hal ini disebabkan oleh besarnya energi listrik akibat tegangan listrik yang besar sehingga menimbulkan banyaknya molekul CO mencapai energi ionisasi dan terionisasi. Dengan banyaknya molekul yang terionisasi maka kadar gas yang keluar dari ESP semakin

berkurang atau tereduksi.

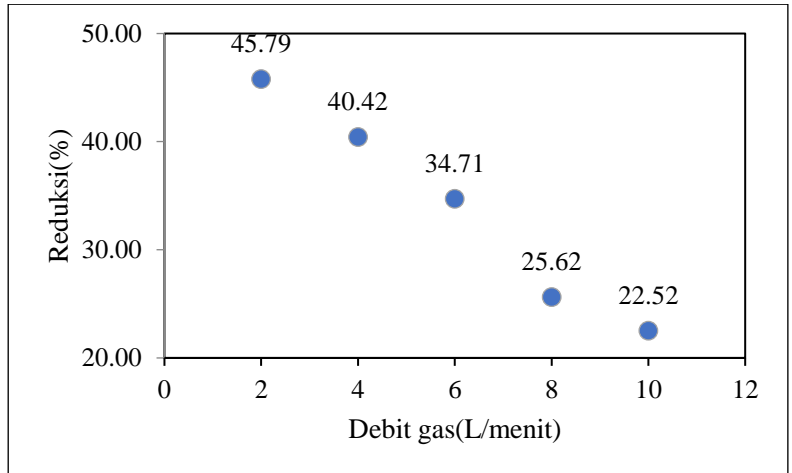
Dari hasil pengukuran juga menunjukkan semakin besar debit semakin kecil yang direduksi. Sudah dijelaskan sebelumnya bahwa yang berpengaruh adalah laju aliran udara melewati ESP. Dengan semakin cepat laju aliran udara maka molekul gas yang dibawa semakin cepat bergerak sehingga waktu untuk menerima energi semakin kecil. Hal ini menyebabkan tidak semua molekul mencapai energi untuk ionisasi. Hal ini dapat dilihat pada grafik antara debit gas 2 l/menit variasi tegangan dan debit gas 10 l/menit variasi tegangan baik pada Gas CO. Perbedaan pada keduanya sangat signifikan.

#### 4.3.2 Kemampuan Reduksi ESP pada Reduksi Gas CO<sub>2</sub>

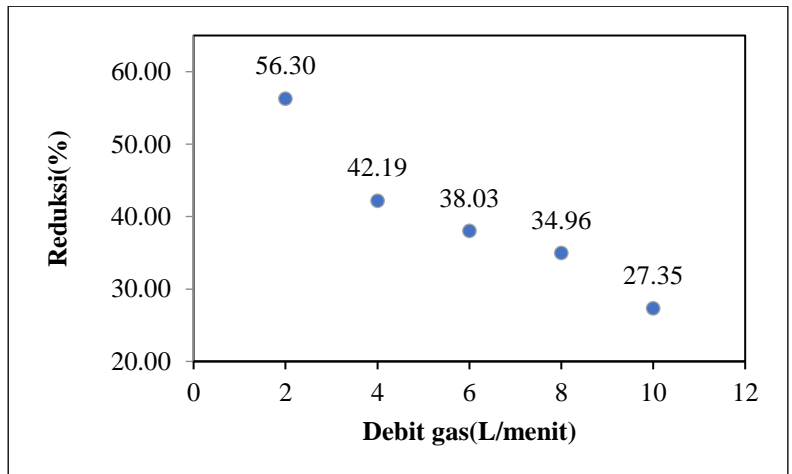
Pada pengukuran Reduksi ini telah dipengaruhi oleh variasi tegangan dan debit gas. Data hasil pengukuran ditampilkan pada lampiran. Berikut grafik hubungan antara Reduksi pada tegangan tetap dengan variasi debit gas yang dihisap.



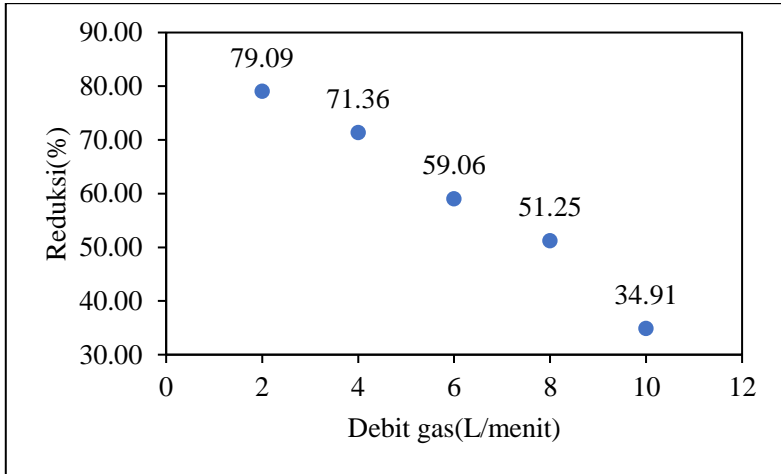
**Gambar 4.17** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 11 kV Variasi Debit Gas.



**Gambar 4.18** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 15 kV Variasi Debit Gas.



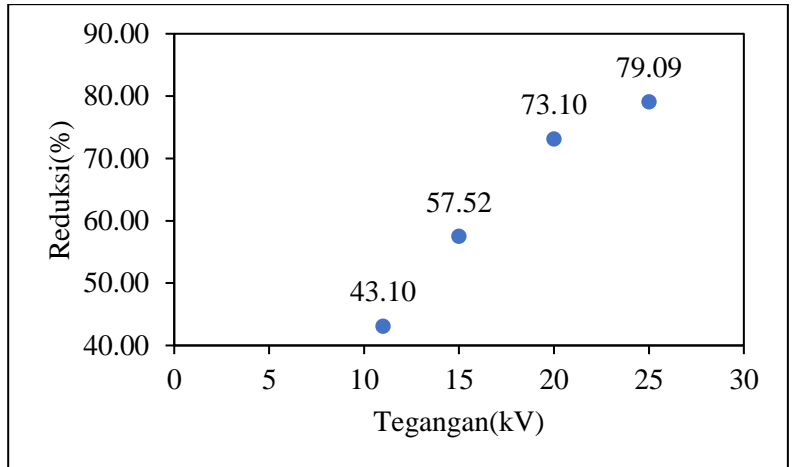
**Gambar 4.19** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 20 kV Variasi Debit Gas.



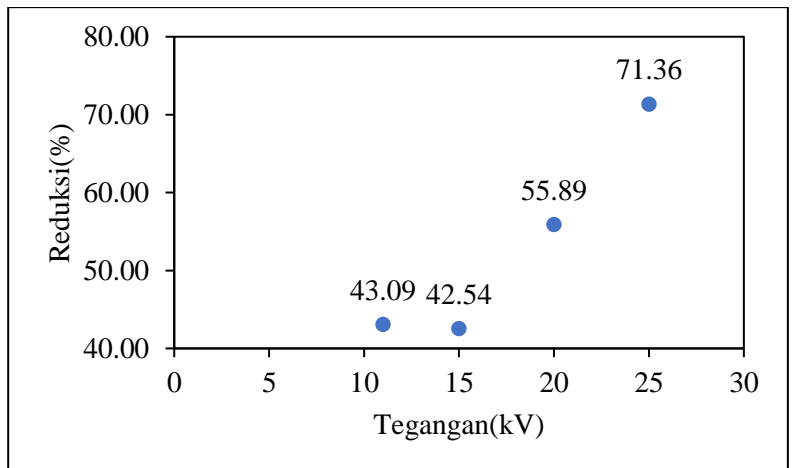
**Gambar 4.20** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 25 kV Variasi Debit Gas.

Debit yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 L/menit, 4 L/menit, 6 L/menit, 8 L/menit, dan 10 L/menit. Pada gambar 4.1 hingga gambar 4.4 membuktikan bahwa terjadi penurunan Reduksi pada saat besar debit gas hisap dinaikkan. Reduksi tertinggi dari keempat grafik tersebut diperoleh pada saat debit 2L/menit. Dan keempat grafik menunjukkan Reduksi terendah pada saat debit 10 L/menit.

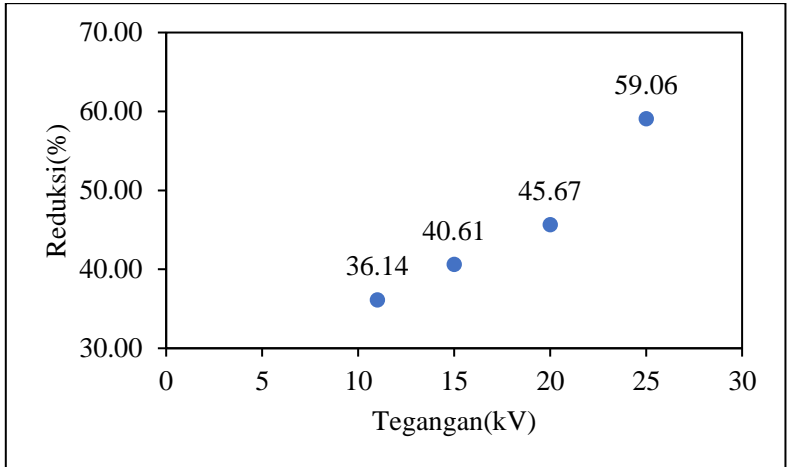
Dengan data yang sama pada ESP dibuatlah grafik hubungan antara Reduksi pada debit masuk tetap dengan variasi tegangan sebagaimana berikut .



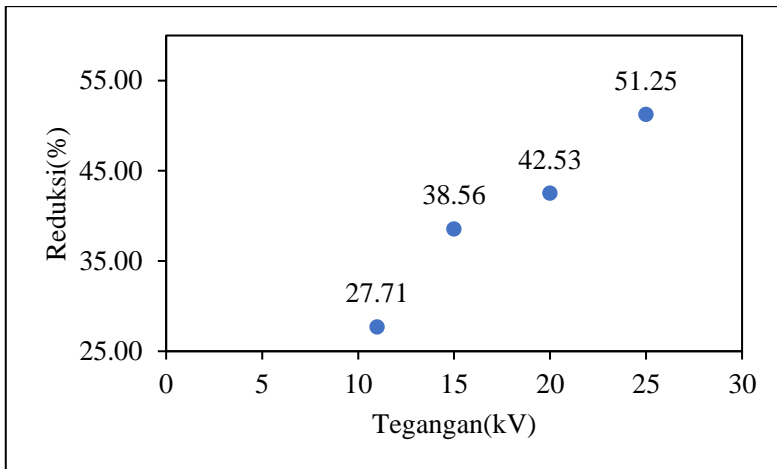
**Gambar 4.21** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan debit 2 L/menit Variasi Tegangan Listrik.



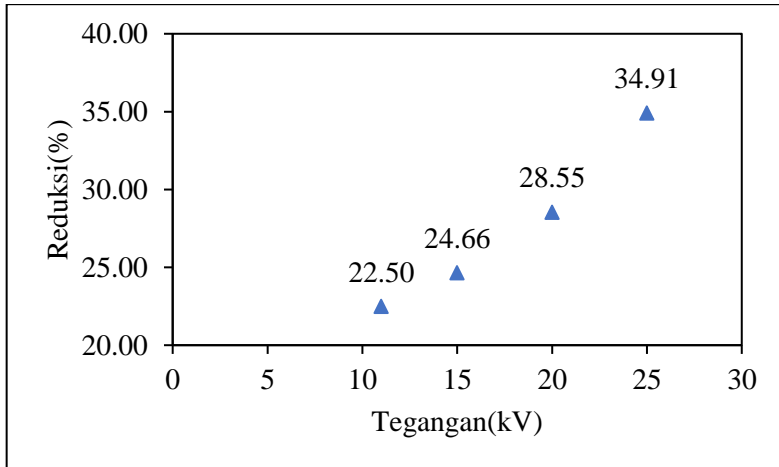
**Gambar 4.22** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan debit 4 L/menit Variasi Tegangan Listrik.



**Gambar 4.23** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan debit 6 L/menit Variasi Tegangan Listrik.



**Gambar 4.24** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan debit 8 L/menit Variasi Tegangan Listrik.



**Gambar 4.25** Kemampuan Reduksi ESP pada Gas CO<sub>2</sub> dengan debit 10 L/menit Variasi Tegangan Listrik.

Grafik hasil dari hubungan Reduksi dengan variasi tegangan pada debit masuk tetap menunjukkan kenaikan Reduksi ketika tegangan dinaikan. Dari hasil keempat grafik menunjukkan Reduksi tertinggi berada pada tegangan 25 kV dan keempat grafik menunjukkan Reduksi terendah pada saat tegangan 11 kV. Grafik hasil dari hubungan reduksi dengan variasi tegangan pada debit masuk tetap menunjukkan kenaikan Reduksi ketika tegangan dinaikan. Dari hasil grafik menunjukkan Reduksi tertinggi berada pada tegangan 25 kV dan Reduksi terendah pada saat tegangan 11 kV. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa hal ini disebabkan oleh besarnya energi listrik akibat tegangan listrik yang besar sehingga menimbulkan banyaknya molekul CO<sub>2</sub> mencapai energi ionisasi dan terionisasi. Dengan banyaknya molekul yang terionisasi maka kadar gas yang keluar dari ESP semakin berkurang atau tereduksi.

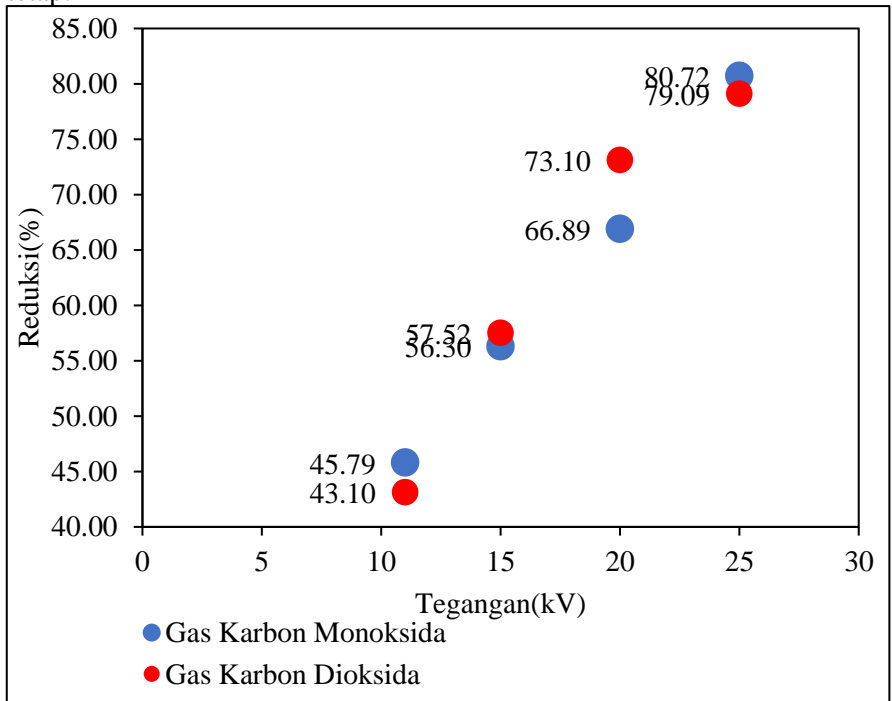
Dari hasil pengukuran juga menunjukkan semakin besar debit semakin kecil yang direduksi. Sudah dijelaskan sebelumnya bahwa yang berpengaruh adalah laju aliran udara melewati ESP. Dengan



semakin cepat laju aliran udara maka molekul gas yang dibawa semakin cepat bergerak sehingga waktu untuk menerima energi semakin kecil . hal ini menyebabkan tidak semua molekul mencapai energi untuk ionisasi. Hal ini dapat dilihat pada grafik antara debit gas 2 L/menit variasi tegangan dan debit gas 10 L/menit variasi tegangan baik pada Gas CO<sub>2</sub>. Perbedaan pada keduanya sangat signifikan.

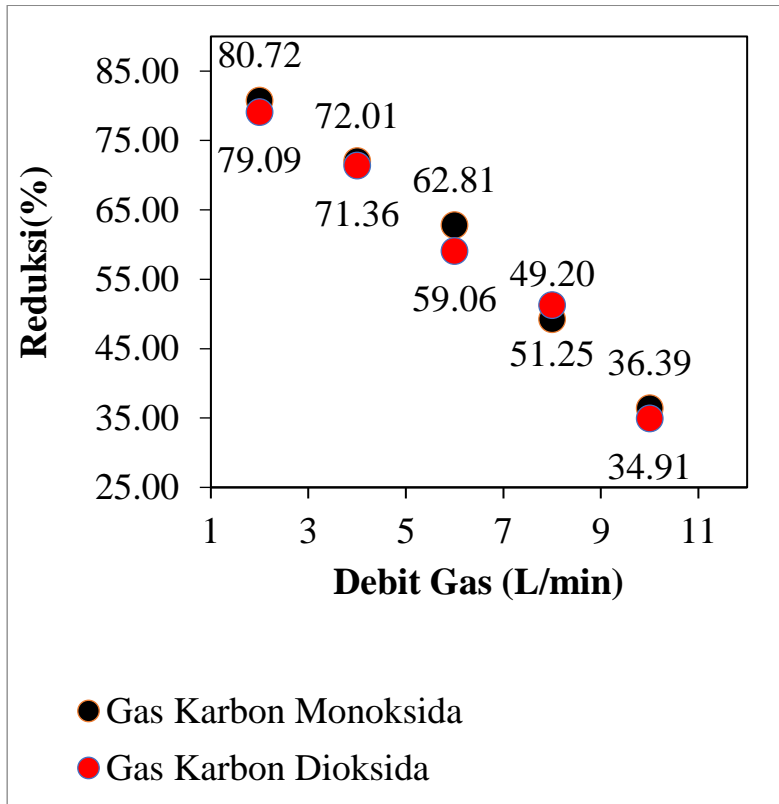
#### 4.3.3 Perbandingan Reduksi pada Gas CO dan CO<sub>2</sub>

Pada penelitian ini, perlu adanya perbandingan antara Gas CO dan CO<sub>2</sub> dalam sistem reduksi yang telah dibuat. Dapat dilihat pada gambar Grafik 4.26 sebagai contoh perbandingan dalam debit tetap.



**Gambar 4.26** Perbandingan Reduksi pada Gas CO dan CO<sub>2</sub> dengan Debit 2 L/menit.

Dapat dilihat pada gambar Grafik 4.27 sebagai contoh perbandingan dalam tegangan listrik tetap.



**Gambar 4.27** Perbandingan Reduksi pada Gas CO dan CO<sub>2</sub> dengan Tegangan Listrik 25 kV.

Pada Grafik 4.26 menunjukkan perbedaan reduksi antara Gas CO dan CO<sub>2</sub> dengan variasi tegangan listrik. Perbedaan reduksi tidak terlalu besar. Pada Tabel 2.1 menunjukkan bahwa energi ionisasi pada reaksi terendah CO<sub>2</sub> sebesar 14 eV dan CO sebesar 14.1 eV. Dengan selisih energi ionisasi sedikit maka selisih jumlah

molekul yang terionisasi juga sedikit. Namun hal tersebut dapat dipengaruhi oleh kesetimbangan pada reaksi kimia. Pada kesetimbangan kimia di penelitian ini yaitu Persamaan 2.3 di mana perubahan  $\text{CO}_2$  menjadi  $\text{CO}$ . Pada proses kesetimbangan kimia,  $\text{CO}_2$  sebagai reaktan dan  $\text{CO}$  sebagai produk. Apabila konsentrasi reaktan melebihi produk maka reaksi terbentuknya produk akan terjadi selama ada energi dan bahan reaktan yang diberikan. Apabila konsentrasi produk melebihi reaktan, maka terjadi reaksi terbalik di mana produk akan menjadi reaktan selama ada bahan dan energi yang diberikan. Adanya reaksi kimia yang menimbulkan molekul baru seperti asam format dan ozon yang memerlukan molekul Gas  $\text{CO}$  dan  $\text{CO}_2$  sehingga beberapa molekul Gas  $\text{CO}$  dan  $\text{CO}_2$  yang terionisasi membentuk molekul baru. Karena menggunakan sampel asap kendaraan, sangat dimungkinkan adanya reaksi dengan molekul lain seperti  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , dan polutan pencemar lainnya. Namun fokus pada penelitian ini yaitu berkurangnya Gas  $\text{CO}$  dan  $\text{CO}_2$ , maka gas polutan tersebut bisa dijadikan pengembangan penelitian selanjutnya dengan menambahkan pengukuran khusus.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa.

1. Sistem pengukuran Reduksi *Electrostatic Precipitator* yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai pengembangan ESP plat sejajar dalam reduksi polutan Gas CO dan CO<sub>2</sub>.
2. Kemampuan Reduksi ESP berbanding lurus terhadap tegangan listrik.
3. Kemampuan Reduksi ESP berbanding terbalik dengan debit gas.

#### 5.2 Saran

1. Dalam melakukan kalibrasi sensor Gas CO<sub>2</sub> alangkah baiknya menggunakan alat ukur atau kalibrator khusus Gas CO<sub>2</sub>.
2. Adanya penambahan sensor yang mendeteksi output lain seperti sensor Ozon, sensor NO<sub>x</sub>, sensor oksigen dan sensor gas lainnya untuk mendukung pengembangan selanjutnya.
3. Penambahan rangkaian pengaman untuk *Switching supply* pada *High Voltage Power Supply* dari medan listrik yang berlebihan yang ditimbulkan oleh *flyback transformer*.
4. Pengosongan pada tabung *inlet* dan *outlet* dilakukan lebih lama untuk mendapatkan kondisi tabung tanpa konsentrasi gas manapun.

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Braithwaite, N St J., 2000. "Introduction to gas discharges". Oxford: The Open University.
- Chauke, Gerald & Gouws, Rupert., 2018. "Effect of High Frequency Power Supplies on the Electrostatic Precipitator Collection Efficiency as Compared to Conventional Transformer Rectifiers". Potchefstroom: North-West University.
- Crowder, Jerry W., Keener, Tim., Harrison, P. Douglas., Smith, Tim., 2012. "APTI 413: Control of Particulate Matter Emissions". Virginia: Air Pollution Training Institute.
- Floyd, Thomas L. & Buchla, David L. 2014. "Electronics Fundamentals Circuits, Devices and Applications Eight Edition". London: Pearson Education Limited.
- Levanov, A. V., Gramov, A. R., Antipenka, E. E., Lunin, V. V., 2000. "The formation of formic acid upon low-temperature condensation of CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> and CO-H<sub>2</sub>O gas mixtures dissociated in electric discharge". Moscow. Russian Chemical Bulletin.
- Mizuno, A., 2000. Electrostatic precipitation. IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 7, 615–624. doi:10.1109/94.879357
- Nur, Muhammad. 2011. "Fisika Plasma dan Aplikasinya." Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Pengukuran dan Perhitungan

**Tabel 1.** Data Kalibrasi *High Voltage*

V <sub>referensi</sub> (kV)	V <sub>ukur</sub> (kV)					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
11	11,18	11,63	11,75	11,32	11,45	11,47
12	12,62	12,20	12,65	12,76	12,69	12,58
13	13,75	13,78	13,11	13,59	13,34	13,51
14	14,49	14,90	14,52	14,75	14,25	14,58
15	15,58	15,21	15,31	15,41	15,26	15,35
16	16,48	16,73	16,53	16,78	16,55	16,61
17	17,60	17,51	17,31	17,25	17,29	17,39
18	18,65	18,54	18,33	18,80	18,34	18,53
19	19,38	19,72	19,91	19,38	19,55	19,59
20	20,46	20,55	20,89	20,32	20,69	20,58
21	21,20	21,35	21,43	21,89	21,85	21,54
22	22,49	22,25	22,34	22,78	22,91	22,55
23	23,35	23,33	23,47	23,44	23,48	23,41
24	24,40	24,48	24,31	24,13	24,62	24,39
25	25,31	25,46	25,74	25,38	25,37	25,45
26	26,32	26,30	26,38	26,31	26,37	26,34
27	27,59	27,11	27,83	27,17	27,59	27,46
28	28,60	28,55	28,89	28,65	28,29	28,60
29	29,49	29,35	29,30	29,38	29,78	29,46
30	30,56	30,65		30,45	30,16	30,52



31	31,50	31,60	31,33	31,13	31,26	31,36
32	32,48	32,70	32,46	32,75	32,40	32,56
33	33,42	33,38	33,49	33,13	33,28	33,34
34	34,49	34,14	34,75	34,13	34,51	34,40
35	35,77	35,37	35,32	35,46	35,39	35,46
36	36,42	36,37	36,51	36,33	36,20	36,37
37	37,80	37,20	37,10	37,10	37,40	37,32
38	38,30	38,60	38,30	38,50	38,40	38,42
39	39,40	39,50	39,20	39,30	39,30	39,34
40	40,80	40,90	40,60	40,60	40,30	40,64
41	41,60	41,30	41,30	41,20	41,30	41,34
42	42,40	42,80	42,50	42,50	42,40	42,52
43	43,30	43,70	43,90	43,90	43,60	43,68
44	44,80	44,40	44,20	44,10	44,30	44,36
45	45,80	45,90	45,40	45,10	45,30	45,50
46	46,80	46,10	46,20	46,30	46,30	46,34
47	47,10	47,20	46,80	47,30	47,50	47,18

**Tabel 2.** Hasil Akurasi *High Voltage*.

Vreferensi (kV)	Vukur (kV)	Error (%)	Keakuratan (%)
11	11.47	0.00042	99.99958
12	12.58	0.00049	99.99951
13	13.51	0.00040	99.99960
14	14.58	0.00042	99.99958
15	15.35	0.00024	99.99976
16	16.61	0.00038	99.99962
17	17.39	0.00023	99.99977
18	18.53	0.00030	99.99970
19	19.59	0.00031	99.99969

20	20.58	0.00029	99.99971
21	21.54	0.00026	99.99974
22	22.55	0.00025	99.99975
23	23.41	0.00018	99.99982
24	24.39	0.00016	99.99984
25	25.45	0.00018	99.99982
26	26.34	0.00013	99.99987
27	27.46	0.00017	99.99983
28	28.60	0.00021	99.99979
29	29.46	0.00016	99.99984
30	30.52	0.00017	99.99983
31	31.36	0.00012	99.99988
32	32.56	0.00017	99.99983
33	33.34	0.00010	99.99990
34	34.40	0.00012	99.99988
35	35.46	0.00013	99.99987
36	36.37	0.00010	99.99990
37	37.32	0.00009	99.99991
38	38.42	0.00011	99.99989
39	39.34	0.00009	99.99991
40	40.64	0.00016	99.99984
41	41.34	0.00008	99.99992
42	42.52	0.00012	99.99988
43	43.68	0.00016	99.99984
44	44.36	0.00008	99.99992
45	45.50	0.00011	99.99989
46	46.34	0.00007	99.99993
47	47.18	0.00004	99.99996
Rata-Rata		0.00019	99.99981

**Tabel 3.** Pengambilan Data Kadar Gas CO terhadap ADC

byte	Kadar gas (ppm)										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
80	19	20	22	20	21	22	22	21	19	20	21
90	21	22	24	22	24	25	25	23	21	22	23
100	24	25	25	25	26	26	29	26	24	25	25
110	26	27	27	27	29	30	31	28	26	26	28
120	28	31	31	29	31	31	31	30	29	29	30
130	31	31	33	31	34	36	36	33	31	31	33
140	33	35	36	35	36	36	37	35	34	35	35
150	37	40	42	38	42	42	43	40	38	38	40
160	39	42	42	42	42	44	46	42	40	41	42
170	43	44	44	43	49	49	56	46	43	43	46
180	46	50	52	49	53	56	61	52	46	46	51
190	51	63	66	62	67	67	79	64	51	54	62
200	66	76	79	68	79	81	87	76	66	68	75
210	77	83	86	83	89	94	95	86	79	83	86
220	87	94	96	94	98	99	105	96	92	93	95
230	103	114	114	112	114	117	119	113	105	110	112
240	113	122	125	120	125	125	138	124	114	120	123
250	129	141	142	139	142	145	152	141	130	138	140
260	139	146	155	145	155	157	165	151	141	142	150
270	149	163	163	163	157	161	170	161	153	161	160
280	165	177	177	174	177	179	185	176	167	173	175
290	181	191	191	185	197	197	200	191	181	185	190
300	191	199	200	197	206	207	212	201	196	196	201
310	207	221	222	221	222	229	230	220	209	210	219

320	217	227	233	223	233	235	240	229	221	222	228
330	215	228	231	224	233	236	242	229	218	222	232
340	224	238	241	234	243	246	252	239	227	232	238
350	233	247	247	241	249	250	252	245	236	241	244
360	234	248	251	244	253	256	263	249	237	241	248
370	243	259	261	254	263	266	273	259	247	251	258
380	253	269	272	264	274	277	284	269	256	261	268
390	262	279	282	274	284	287	294	279	266	271	278
400	272	289	292	284	294	297	305	289	276	281	288
410	282	299	302	294	304	308	315	299	285	291	298
420	291	309	312	304	315	318	326	309	295	300	308
430	301	319	322	314	325	328	336	319	305	310	318
440	310	329	333	324	335	339	347	329	314	320	328
450	320	339	343	334	345	349	357	339	324	330	338
460	329	349	353	344	356	359	368	350	334	340	348
470	339	360	363	354	366	370	378	360	343	350	358
480	348	370	373	364	376	380	389	370	353	359	368
490	358	380	383	374	386	390	399	380	363	369	378
500	368	390	394	384	396	401	410	390	372	379	388
510	377	400	404	394	407	411	420	400	382	389	398
520	387	410	414	403	417	421	431	410	392	399	408
530	396	420	424	413	427	432	441	420	401	409	418
540	406	430	434	423	437	442	452	430	411	418	428
550	415	440	444	433	448	452	462	440	421	428	438
560	425	450	455	443	458	463	473	450	430	438	448
570	434	461	465	453	468	473	483	460	440	448	459
580	444	471	475	463	478	483	494	470	450	458	469
590	453	481	485	473	489	493	504	480	459	468	479
600	463	491	495	483	499	504	515	490	469	477	489

610	473	501	505	493	509	514	525	501	479	487	499
620	482	511	516	503	519	524	536	511	488	497	509
630	492	521	526	513	529	535	546	521	498	507	519
640	501	531	536	523	540	545	557	531	508	517	529
650	511	541	546	533	550	555	567	541	517	527	539
660	520	551	556	543	560	566	578	551	527	536	549
670	530	562	567	553	570	576	588	561	537	546	559
680	539	572	577	563	581	586	599	571	546	556	569
690	549	582	587	573	591	597	609	581	556	566	579
700	558	592	597	582	601	607	620	591	566	576	589
710	568	602	607	592	611	617	630	601	575	586	599
720	578	612	617	602	621	628	641	611	585	595	609
730	587	622	628	612	632	638	651	621	595	605	619
740	597	632	638	622	642	648	662	631	605	615	629
750	606	642	648	632	652	659	672	642	614	625	639
760	616	652	658	642	662	669	683	652	624	635	649
770	625	663	668	652	673	679	693	662	634	645	659
780	635	673	678	662	683	689	704	672	643	654	669
790	644	683	689	672	693	700	714	682	653	664	679
800	654	693	699	682	703	710	725	692	663	674	689
810	663	703	709	692	714	720	735	702	672	684	699
820	673	713	719	702	724	731	746	712	682	694	709
830	683	723	729	712	734	741	756	722	692	704	720
840	692	733	739	722	744	751	767	732	701	713	730
850	702	743	750	732	754	762	777	742	711	723	740
860	711	753	760	742	765	772	788	752	721	733	750
870	721	763	770	751	775	782	798	762	730	743	760
880	730	774	780	761	785	793	809	772	740	753	770
890	740	784	790	771	795	803	819	783	750	763	780

900	749	794	800	781	806	813	830	793	759	773	790
910	759	804	811	791	816	824	840	803	769	782	800
920	769	814	821	801	826	834	851	813	779	792	810
930	778	824	831	811	836	844	861	823	788	802	820
940	788	834	841	821	847	855	872	833	798	812	830
950	797	844	851	831	857	865	882	843	808	822	840
960	807	854	862	841	867	875	893	853	817	832	850
970	816	864	872	851	877	886	903	863	827	841	860
980	826	875	882	861	887	896	914	873	837	851	870
990	835	885	892	871	898	906	924	883	846	861	880
1000	945	895	902	881	908	916	934	903	856	871	901
1010	954	905	912	891	918	927	945	913	866	881	911
1020	994	995	993	991	998	997	995	992	975	991	992

**Tabel 4.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 20 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
20	20.10	-0.10	0.01	2.9
20		-0.10	0.01	
20		-0.10	0.01	
21		0.90	0.81	
19		-1.10	1.21	
20		-0.10	0.01	
20		-0.10	0.01	
20		-0.10	0.01	
21		0.90	0.81	
20		-0.10	0.01	
Standard Deviasi		0.5676		
Presisi(%)		2,824		

**Tabel 5.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 45 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
40	39.80	0.20	0.04	3,6
40		0.20	0.04	
39		-0.80	0.64	
40		0.20	0.04	
39		-0.80	0.64	
40		0.20	0.04	
39		-0.80	0.64	
41		1.20	1.44	
40		0.20	0.04	
40		0.20	0.04	
Standard Deviasi		0,6324		
Presisi(%)		1,589		

**Tabel 6.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 61 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$		
60	60.50	-0.50	0.25	20,5		
59		-1.50	2.25			
62		1.50	2.25			
61		0.50	0.25			
60		-0.50	0.25			
63		2.50	6.25			
58		-2.50	6.25			
60		-0.50	0.25			
62		1.50	2.25			
60		-0.50	0.25			
Standard Deviasi		1.509230856				
Presisi(%)		2.494596457				

**Tabel 7.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 78 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
78	80.80	-2.80	7.84	29.6
80		-0.80	0.64	
82		1.20	1.44	
83		2.20	4.84	
84		3.20	10.24	
80		-0.80	0.64	
81		0.20	0.04	
81		0.20	0.04	
80		-0.80	0.64	
79		-1.80	3.24	
Standard Deviasi		1.813529401		
Presisi(%)		2.244467081		

**Tabel 8.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 104 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
101	102.90	-1.90	3.61	64,9
107		4.10	16.81	
102		-0.90	0.81	
104		1.10	1.21	
100		-2.90	8.41	
101		-1.90	3.61	
102		-0.90	0.81	
103		0.10	0.01	
108		5.10	26.01	
101		-1.90	3.61	
Standard Deviasi		2.685351208		
Presisi(%)		2.609670756		



**Tabel 9.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 207 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
201	203.10	-2.10	4.41	54,9
205		1.90	3.61	
202		-1.10	1.21	
201		-2.10	4.41	
202		-1.10	1.21	
203		-0.10	0.01	
201		-2.10	4.41	
209		5.90	34.81	
203		-0.10	0.01	
204		0.90	0.81	
Standard Deviasi		2.469817807		
Presisi(%)		1.216059974		

**Tabel 10.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 305 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
301	304.50	-3.50	12.25	150,5
302		-2.50	6.25	
301		-3.50	12.25	
310		5.50	30.25	
312		7.50	56.25	
307		2.50	6.25	
306		1.50	2.25	
301		-3.50	12.25	
304		-0.50	0.25	
301		-3.50	12.25	
Standard Deviasi		4.08928		
Presisi(%)		1.34295		

**Tabel 11.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 405 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
414	407.70	6.30	39.69	166,1
412		4.30	18.49	
410		2.30	5.29	
408		0.30	0.09	
401		-6.70	44.89	
410		2.30	5.29	
405		-2.70	7.29	
410		2.30	5.29	
405		-2.70	7.29	
402		-5.70	32.49	
Standard Deviasi		4.295993		
Presisi(%)		1.053714		

**Tabel 12.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 508 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
510	508.10	1.90	3.61	126,9
508		-0.10	0.01	
503		-5.10	26.01	
506		-2.10	4.41	
509		0.90	0.81	
510		1.90	3.61	
512		3.90	15.21	
507		-1.10	1.21	
514		5.90	34.81	
502		-6.10	37.21	
Standard Deviasi		3.754997		
Presisi(%)		0.739027		

**Tabel 13.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 598 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
613	608.50	4.50	20.25	374,5
617		8.50	72.25	
603		-5.50	30.25	
602		-6.50	42.25	
610		1.50	2.25	
620		11.50	132.25	
608		-0.50	0.25	
602		-6.50	42.25	
603		-5.50	30.25	
607		-1.50	2.25	
Standard Deviasi		6.450667		
Presisi(%)		1.060093		

**Tabel 14.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 709ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
719	716.50	2.50	6.25	184,5
721		4.50	20.25	
719		2.50	6.25	
718		1.50	2.25	
709		-7.50	56.25	
715		-1.50	2.25	
719		2.50	6.25	
708		-8.50	72.25	
720		3.50	12.25	
717		0.50	0.25	
Standard Deviasi		4.527693		
Presisi(%)		0.631918		

**Tabel 15.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 800 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
811	816.20	-5.20	27.04	143,6
814		-2.20	4.84	
819		2.80	7.84	
821		4.80	23.04	
813		-3.20	10.24	
817		0.80	0.64	
819		2.80	7.84	
822		5.80	33.64	
815		-1.20	1.44	
811		-5.20	27.04	
Standard Deviasi		3.994441		
Presisi(%)		0.489394827		

**Tabel 16.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 893 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
886	888.60	-0.60	0.36	282,4
889		2.40	5.76	
881		-5.60	31.36	
888		1.40	1.96	
899		12.40	153.76	
895		8.40	70.56	
884		-2.60	6.76	
890		3.40	11.56	
887		0.40	0.16	
887		0.40	0.16	
Standard Deviasi		5.601587077		
Presisi(%)		0.630383421		

**Tabel 17.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan Presisi Sensor MQ-9 pada Nilai Referensi 992 ppm Gas CO

x	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$
985	988.40	-3.60	12.96	294.80
993		4.40	19.36	
992		3.40	11.56	
980		-8.60	73.96	
985		-3.60	12.96	
980		-8.60	73.96	
994		5.40	29.16	
987		-1.60	2.56	
994		5.40	29.16	
994		5.40	29.16	
Standard Deviasi		5.723247		
Presisi(%)		0.579042		

**Tabel 18.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 11 kV dan Debit gas 2 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
	Pengulangan ke-	1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	31	30	30	34	34
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	178	181	179	182	177
	<i>inlet</i> CO	969	975	972	975	974
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	938	948	938	938	937
Sesudah (ppm)	<i>outlet</i> CO	128	125	127	119	128
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	264	266	267	264	264

	<i>inlet</i> CO	808	798	797	800	797
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	793	789	789	789	786
Perubahan (ppm)	<i>outlet</i> CO	97	95	97	85	94
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	86	85	88	82	87
	<i>inlet</i> CO	-161	-177	-175	-175	-177
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	-145	-159	-149	-149	-151
Reduksi (%)	CO	39.75	46.33	44.57	51.43	46.89
	CO <sub>2</sub>	40.69	46.54	40.94	44.97	42.38
Reduksi rata-rata (%)	CO	45.79				
	CO <sub>2</sub>	43.10				

**Tabel 19.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 11 kV dan Debit gas 4 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	33	36	30	30	27
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	202	209	194	204	196
	<i>inlet</i> CO	903	899	909	910	906
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	930	934	933	933	933
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	214	200	210	192	214
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	384	396	396	387	395
	<i>inlet</i> CO	610	616	624	605	604

	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	607	600	601	590	590
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	181	164	180	162	187
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	182	187	202	183	199
	<i>inlet</i> CO	-293	-283	-285	-305	-302
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	-323	-334	-332	-343	-343
Reduksi (%)	CO	38.23	42.05	36.84	46.89	38.08
	CO <sub>2</sub>	43.65	44.01	39.16	46.65	41.98
Reduksi rata-rata (%)	CO	40.42				
	CO <sub>2</sub>	43.09				

**Tabel 19** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 11 kV dan Debit gas 6 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	70	27	38	29	25
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	166	172	178	184	166
	<i>inlet</i> CO	926	918	908	917	912
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	916	920	895	919	920
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	327	318	323	314	332
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	459	466	468	453	454
	<i>inlet</i> CO	480	458	463	486	467

	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	474	468	452	452	482
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	285	291	285	285	307
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	290	294	290	269	288
	<i>inlet</i> CO	-445	-460	-445	-431	-445
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	-443	-452	-443	-467	-438
Reduksi (%)	CO	35.96	36.74	35.96	33.87	31.01
	CO <sub>2</sub>	34.54	34.96	34.54	42.40	34.25
Reduksi rata-rata (%)	CO	34.71				
	CO <sub>2</sub>	36.14				

**Tabel 21.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 11 kV dan Debit gas 8 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	23	31	42	44	38
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	227	178	169	157	207
	<i>inlet</i> CO	977	986	981	906	987
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	978	939	889	913	957
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	485	477	445	522	575
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	695	646	543	577	649
	<i>inlet</i> CO	353	391	410	269	292
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	334	353	277	352	351



Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	462	446	403	478	537
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	468	468	374	420	442
	<i>inlet</i> CO	-624	-595	-571	-637	-695
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	-644	-586	-612	-561	-606
Reduksi (%)	CO	25.96	25.04	29.42	24.96	22.73
	CO <sub>2</sub>	27.33	20.14	38.89	25.13	27.06
Reduksi rata-rata (%)	CO	25.62				
	CO <sub>2</sub>	27.71				

**Tabel 22.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 11 kV dan Debit gas 10 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	51	34	53	41	26
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	192	193	239	182	165
	<i>inlet</i> CO	901	991	965	964	976
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	870	926	979	898	917
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	604	631	618	616	591
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	821	712	753	719	730
	<i>inlet</i> CO	222	243	201	183	257
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	227	192	214	126	230
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	553	597	565	575	565

	<i>outletCO2</i>	629	519	514	537	565
	<i>inletCO</i>	-679	-748	-764	-781	-719
	<i>inletCO2</i>	-643	-734	-765	-772	-687
Reduksi (%)	CO	18.56	20.19	26.05	26.38	21.42
	CO2	2.18	29.29	32.81	30.44	17.76
Reduksi rata-rata (%)	CO	22.52				
	CO2	22.50				

**Tabel 23.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 15 kV dan Debit gas 2 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outletCO</i>	21	27	23	21	29
	<i>outletCO2</i>	194	193	193	195	194
	<i>inletCO</i>	916	916	910	913	915
	<i>inletCO2</i>	981	984	984	984	984
Sesudah(ppm)	<i>outletCO</i>	96	95	94	96	93
	<i>outletCO2</i>	266	266	264	265	264
	<i>inletCO</i>	756	748	745	758	754
	<i>inletCO2</i>	811	817	817	817	817
Perubahan(ppm)	<i>outletCO</i>	75	68	71	75	64
	<i>outletCO2</i>	72	73	71	70	70

	<i>inletCO</i>	-160	-168	-165	-155	-161
	<i>inletCO2</i>	-170	-167	-167	-167	-167
Reduksi (%)	CO	53.13	59.52	56.97	51.61	60.25
	CO2	57.65	56.29	57.49	58.08	58.08
Reduksi rata-rata (%)	CO	56.30				
	CO2	57.52				

**Tabel 24.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 15 kV dan Debit gas 4 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outletCO</i>	38	37	30	41	41
	<i>outletCO2</i>	215	201	203	198	199
	<i>inletCO</i>	962	961	956	965	965
	<i>inletCO2</i>	925	926	927	911	924
Sesudah(ppm)	<i>outletCO</i>	232	231	233	224	224
	<i>outletCO2</i>	405	404	395	400	392
	<i>inletCO</i>	621	616	637	639	639
	<i>inletCO2</i>	581	589	586	570	581
Perubahan(ppm)	<i>outletCO</i>	194	194	203	183	183
	<i>outletCO2</i>	190	203	192	202	193
	<i>inletCO</i>	-341	-345	-319	-326	-326

	<i>inlet</i> CO2	-344	-337	-341	-341	-343
Reduksi (%)	CO	43.11	43.77	36.36	43.87	43.87
	CO2	44.77	39.76	43.70	40.76	43.73
Reduksi rata-rata (%)	CO	42.19				
	CO2	42.54				

**Tabel 25.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 15 kV dan Debit gas 6 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	38	37	30	41	41
	<i>outlet</i> CO2	215	201	203	198	199
	<i>inlet</i> CO	962	961	956	965	965
	<i>inlet</i> CO2	925	926	927	911	924
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	232	231	233	224	224
	<i>outlet</i> CO2	405	404	395	400	392
	<i>inlet</i> CO	621	616	637	639	639
	<i>inlet</i> CO2	581	589	586	570	581
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	194	194	203	183	183
	<i>outlet</i> CO2	190	203	192	202	193
	<i>inlet</i> CO	-341	-345	-319	-326	-326
	<i>inlet</i> CO2	-344	-337	-341	-341	-343

Reduksi (%)	CO	43.11	43.7 7	36.3 6	43.8 7	43.8 7
	CO2	44.77	39.7 6	43.7 0	40.7 6	43.7 3
Reduksi rata-rata (%)	CO	42.19				
	CO2	42.54				

**Tabel 26.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 15 kV dan Debit gas 8 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	37	23	49	22	26
	<i>outlet</i> CO2	198	168	191	192	178
	<i>inlet</i> CO	939	941	941	823	931
	<i>inlet</i> CO2	922	907	889	912	892
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	458	367	422	402	426
	<i>outlet</i> CO2	600	551	609	562	527
	<i>inlet</i> CO	346	292	316	300	350
	<i>inlet</i> CO2	262	313	280	245	287
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	421	344	373	380	400
	<i>outlet</i> CO2	402	383	418	370	349
	<i>inlet</i> CO	-593	-649	-625	-523	-581
	<i>inlet</i> CO2	-660	-594	-609	-667	-605

Reduksi (%)	CO	29.01	47.00	40.32	27.34	31.15
	CO <sub>2</sub>	39.09	35.52	31.36	44.53	42.31
Reduksi rata-rata (%)	CO	34.96				
	CO <sub>2</sub>	38.56				

**Tabel 27.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 15 kV dan Debit gas 10 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum (ppm)	outletCO	37	46	24	104	24
	outletCO <sub>2</sub>	216	180	182	159	152
	inletCO	981	931	947	911	912
	inletCO <sub>2</sub>	880	929	983	902	950
Sesudah(ppm)	outletCO	586	573	587	571	591
	outletCO <sub>2</sub>	722	717	747	758	746
	inletCO	187	198	216	267	132
	inletCO <sub>2</sub>	173	196	208	154	197
Perubahan(ppm)	outletCO	549	527	563	467	567

	<i>outlet</i> C O2	506	537	565	599	594
	<i>inlet</i> CO	-794	-733	-731	-644	-780
	<i>inlet</i> CO 2	-707	-733	-775	-748	-753
Reduksi (%)	CO	30.856 42	28.103 68	22.982 22	27.484 47	27.307 69
	CO2	28.429 99	26.739 43	27.096 77	19.919 79	21.115 54
Reduksi rata- rata (%)	CO	27.35				
	CO2	24.66				

**Tabel 28.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 20 kV dan Debit gas 2 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	30	32	30	31	32
	<i>outlet</i> CO2	154	156	154	155	157
	<i>inlet</i> CO	944	949	958	927	947
	<i>inlet</i> CO2	988	988	992	989	996
Setelah(ppm)	<i>outlet</i> CO	99	97	96	101	101
	<i>outlet</i> CO2	211	211	211	211	211
	<i>inlet</i> CO	742	738	739	740	738
	<i>inlet</i> CO2	785	785	780	784	781

Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	69	65	66	70	69
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	57	55	57	56	54
	<i>inlet</i> CO	-202	-211	-219	-187	-209
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	-203	-203	-212	-205	-215
Reduksi (%)	CO	65.842	69.194	69.863	62.567	66.986
	CO <sub>2</sub>	71.921	72.906	73.113	72.683	74.884
Reduksi rata-rata (%)	CO	66.89				
	CO <sub>2</sub>	73.10				

**Tabel 29.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 20 kV dan Debit gas 4 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	25	23	29	27	26
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	158	158	158	161	161
	<i>inlet</i> CO	899	897	897	891	896
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	940	942	932	932	947
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	150	152	146	148	150
	<i>outlet</i> CO <sub>2</sub>	290	290	287	279	287
	<i>inlet</i> CO	588	585	585	582	602
	<i>inlet</i> CO <sub>2</sub>	653	664	644	644	642
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	125	129	117	121	124



	<i>outletCO2</i>	132	132	129	118	126
	<i>inletCO</i>	-311	-312	-312	-309	-294
	<i>inletCO2</i>	-287	-278	-288	-288	-305
Reduksi (%)	CO	59.81	58.65	62.50	60.84	57.82
	CO2	54.01	52.52	55.21	59.03	58.69
Reduksi rata-rata (%)	CO	59.93				
	CO2	55.89				

**Tabel 30.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 20 kV dan Debit gas 6 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outletCO</i>	46	37	32	46	29
	<i>outletCO2</i>	211	200	202	202	205
	<i>inletCO</i>	922	922	920	862	914
	<i>inletCO2</i>	944	941	942	942	944
Sesudah(ppm)	<i>outletCO</i>	271	268	273	279	282
	<i>outletCO2</i>	432	440	443	443	445
	<i>inletCO</i>	449	449	484	453	449
	<i>inletCO2</i>	507	502	514	514	498
Perubahan(ppm)	<i>outletCO</i>	225	231	241	233	253
	<i>outletCO2</i>	221	240	241	241	240

	<i>inletCO</i>	-473	-473	-436	-409	-465
	<i>inletCO2</i>	-437	-439	-428	-428	-446
Reduksi (%)	CO	52.43	51.16	44.72	43.03	45.59
	CO2	49.43	45.33	43.69	43.69	46.19
Reduksi rata-rata (%)	CO	47.39				
	CO2	45.67				

**Tabel 31.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 20 kV dan Debit gas 8 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outletCO</i>	43	66	38	34	34
	<i>outletCO2</i>	184	199	202	185	181
	<i>inletCO</i>	927	937	952	936	982
	<i>inletCO2</i>	926	896	882	912	928
Sesudah(ppm)	<i>outletCO</i>	411	405	418	439	402
	<i>outletCO2</i>	592	558	584	493	559
	<i>inletCO</i>	373	327	368	291	313
	<i>inletCO2</i>	277	285	252	244	287
Perubahan(ppm)	<i>outletCO</i>	368	339	380	405	368
	<i>outletCO2</i>	408	359	382	308	378
	<i>inletCO</i>	-554	-610	-584	-645	-669

	<i>inlet</i> CO2	-649	-611	-630	-668	-641
Reduksi (%)	CO	33.57	44.43	34.93	37.21	44.99
	CO2	37.13	41.24	39.37	53.89	41.03
Reduksi rata-rata (%)	CO	39.03				
	CO2	42.53				

**Tabel 32.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 20 kV dan Debit gas 10 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	47	24	24	39	26
	<i>outlet</i> CO2	162	218	166	186	179
	<i>inlet</i> CO	933	996	979	970	975
	<i>inlet</i> CO2	925	881	895	907	985
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	550	550	516	550	526
	<i>outlet</i> CO2	690	722	695	650	670
	<i>inlet</i> CO	190	252	229	252	233
	<i>inlet</i> CO2	231	134	213	179	307
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	503	526	492	511	500
	<i>outlet</i> CO2	528	504	529	464	491
	<i>inlet</i> CO	-743	-744	-750	-718	-742
	<i>inlet</i> CO2	-694	-747	-682	-728	-678

Reduksi (%)	CO	32.30	29.30	34.40	28.83	32.61
	CO2	23.92	32.53	22.43	36.26	27.58
Reduksi rata-rata (%)	CO	31.49				
	CO2	28.55				

**Tabel 33.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 25 kV dan Debit gas 2 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outletCO</i>	26	26	26	29	29
	<i>outletCO2</i>	160	160	159	159	160
	<i>inletCO</i>	993	994	996	980	997
	<i>inletCO2</i>	957	957	965	960	948
Sesudah(ppm)	<i>outletCO</i>	69	65	69	69	69
	<i>outletCO2</i>	207	207	207	206	207
	<i>inletCO</i>	780	771	772	778	794
	<i>inletCO2</i>	734	734	732	730	728
Perubahan(ppm)	<i>outletCO</i>	43	39	43	40	40
	<i>outletCO2</i>	47	47	48	47	47
	<i>inletCO</i>	-213	-223	-224	-202	-203
	<i>inletCO2</i>	-223	-223	-233	-230	-220
Reduksi (%)	CO	79.81	82.51	80.80	80.20	80.30

	CO2	78.92	78.92	79.40	79.57	78.64
Reduksi rata-rata (%)	CO	80.72				
	CO2	79.09				

**Tabel 34.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 25 kV dan Debit gas 4 l/menit

Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	26	26	26	24	26
	<i>outlet</i> CO2	186	189	186	186	186
	<i>inlet</i> CO	945	906	944	944	939
	<i>inlet</i> CO2	951	988	981	985	985
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	116	116	125	122	125
	<i>outlet</i> CO2	295	291	295	291	291
	<i>inlet</i> CO	594	584	601	601	597
	<i>inlet</i> CO2	603	612	614	604	603
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	90	90	99	98	99
	<i>outlet</i> CO2	109	102	109	105	105
	<i>inlet</i> CO	-351	-322	-343	-343	-342
	<i>inlet</i> CO2	-348	-376	-367	-381	-382
Reduksi (%)	CO	74.4	72.0	71.1	71.4	71.1
	CO2	68.7	72.9	70.3	72.4	72.5
Reduksi rata-rata	CO	72.0				

(%)	CO2	71.4
-----	-----	------

**Tabel 35.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 25 kV dan Debit gas 6 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	39	46	31	28	29
	<i>outlet</i> CO2	208	203	203	200	200
	<i>inlet</i> CO	991	953	986	986	989
	<i>inlet</i> CO2	876	887	854	840	902
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	201	201	199	181	199
	<i>outlet</i> CO2	389	391	391	390	388
	<i>inlet</i> CO	541	542	545	545	558
	<i>inlet</i> CO2	411	407	415	423	410
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	162	155	168	153	170
	<i>outlet</i> CO2	181	188	188	190	188
	<i>inlet</i> CO	-450	-411	-441	-441	-431
	<i>inlet</i> CO2	-465	-480	-439	-417	-492
Reduksi (%)	CO	64.00	62.29	61.90	65.31	60.56
	CO2	61.08	60.83	57.18	54.44	61.79
Reduksi rata-rata	CO	62.81				

(%)	CO2	59.06
-----	-----	-------

**Tabel 36.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 25 kV dan Debit gas 8 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outlet</i> CO	41	37	26	25	27
	<i>outlet</i> CO2	195	202	175	215	163
	<i>inlet</i> CO	905	951	944	890	907
	<i>inlet</i> CO2	859	907	893	975	912
Sesudah(ppm)	<i>outlet</i> CO	321	343	336	362	355
	<i>outlet</i> CO2	480	467	483	496	475
	<i>inlet</i> CO	311	336	332	273	274
	<i>inlet</i> CO2	318	307	278	372	291
Perubahan(ppm)	<i>outlet</i> CO	280	306	310	337	328
	<i>outlet</i> CO2	285	265	308	281	312
	<i>inlet</i> CO	-594	-615	-612	-617	-633
	<i>inlet</i> CO2	-541	-600	-615	-603	-621
Reduksi (%)	CO	52.86	50.24	49.35	45.38	48.18
	CO2	47.32	55.83	49.92	53.40	49.76
Reduksi rata-rata	CO	49.20				

(%)	CO2	51.25
-----	-----	-------

**Tabel 37.** Tabel Pengukuran dan Perhitungan pada Tegangan Listrik 25 kV dan Debit gas 10 l/menit

pengulangan ke-		1	2	3	4	5
Sebelum ( ppm)	<i>outletCO</i>	67	31	41	47	49
	<i>outletCO2</i>	172	175	183	195	198
	<i>inletCO</i>	856	906	919	869	914
	<i>inletCO2</i>	919	936	990	902	987
Sesudah(ppm)	<i>outletCO</i>	505	483	485	493	511
	<i>outletCO2</i>	629	678	657	678	664
	<i>inletCO</i>	179	197	165	198	195
	<i>inletCO2</i>	239	181	261	163	226
Perubahan(ppm)	<i>outletCO</i>	438	452	444	446	462
	<i>outletCO2</i>	457	503	474	483	466
	<i>inletCO</i>	-677	-709	-754	-671	-719
	<i>inletCO2</i>	-680	-755	-729	-739	-761
Reduksi (%)	CO	35.30	36.25	41.11	33.53	35.74



	CO2	32.79	33.38	34.98	34.64	38.76
Reduksi rata-rata (%)	CO	36.39				
	CO2	34.91				

## Lampiran 2. Code Arduino

```

#include "Arduino.h"
#include "MovingAverage.h"
int inletco;
int outletco;
int inletco2;
int outletco2;
MovingAverage <int> test(10);
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARSHEET");
  Serial.println("LABEL,Time,outletCO,outletCO2,inletCO,inletCO2"); }

void loop(){
  int cooutlet = analogRead(A2);
  int co2outlet = analogRead(A3);
  int coinlet = analogRead(A0);
  int co2inlet = analogRead(A1);

  if (coinlet>=0 && coinlet<=79){
    inletco = map(coinlet, 0, 79, 10, 18); }
  if (coinlet>=80 && coinlet<=190){
    inletco = map(coinlet, 80, 190, 19, 62); }
  if (coinlet>=191 && coinlet<=310){
    inletco = map(coinlet, 191, 310, 63, 220); }
  if (coinlet>=311 && coinlet<=360){

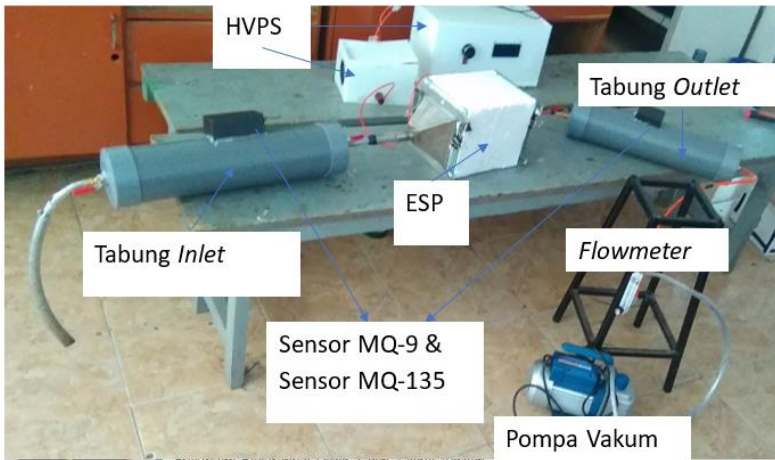
```

```

inletco = map(coinlet, 311, 360, 221, 241); }
if (coinlet>=361 && coinlet<=990){
  inletco = map(coinlet, 361, 990, 242, 880); }
if (coinlet>=991 && coinlet<=1023){
  inletco = map(coinlet, 991, 1023, 881, 1000); }
if (cooutlet>=0 && cooutlet<=79){
  outletco = map(cooutlet, 0, 79, 10, 18); }
if (cooutlet>=80 && cooutlet<=190){
  outletco = map(cooutlet, 80, 190, 19, 62); }
if (cooutlet>=191 && cooutlet<=310){
  outletco = map(cooutlet, 191, 310, 63, 220); }
if (cooutlet>=311 && cooutlet<=360){
  outletco = map(cooutlet, 311, 360, 221, 241); }
if (cooutlet>=361 && cooutlet<=990){
  outletco = map(cooutlet, 361, 990, 242, 880); }
if (cooutlet>=991 && cooutlet<=1023){
  outletco = map(cooutlet, 991, 1023, 881, 1000); }
int outletco2= (9.765*co2outlet)+10;
int inletco2= (9.765*co2inlet)+ 10;
test.~MovingAverage();
Serial.print("DATA,TIME");
Serial.print(",");
Serial.print(outletco);
Serial.print(",");
Serial.print(outletco2);
Serial.print(",");
Serial.print(inletco);
Serial.print(",");
Serial.println(inletco2);
delay(1000);}

```

### Lampiran 3. Dokumentasi Pengambilan Data



**Gambar 1.** Rangkaian Alat

## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Muhamad Rifki Hidayat, dengan nama panggilan Rifki. Penulis dilahirkan di Blitar pada tanggal 10 Desember 1996. Penulis merupakan anak dari pasangan Muhammad Budi Utomo dan Indayati, anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu, TK Al Hidayah tahun 2003, SD Islam Babadan lulus tahun 2009, SMPN 1 Wlingi lulus tahun 2012, SMAN 1 Talun lulus 2015. Tahun 2015 diterima di Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNMPTN. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Pengalaman semasa kuliah yaitu sebagai Asisten Praktikum Elektronika Dasar 1 dan 2 serta Asisten Praktikum Fisika Laboratorium. Pernah menjabat sebagai staff PSDM Himasika (Himpunan Mahasiswa Fisika) ITS Kabinet periode 2016-2017 dan staff ahli PSDM Himasika (Himpunan Mahasiswa Fisika) ITS periode 2017-2018.

WA : +62 852 043 27645  
Email :rifkih369@gmail.com