



TESIS - RE 185401

PENURUNAN EMISI DENGAN MENGGUNAKAN *SINGLE*  
VAKUM VENTURI PADA SISTEM *WET SCRUBBER*

SHOFIANA ISTIQOMAH  
03211750012008

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T

DOSEN Co-PEMBIMBING  
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020



TESIS - RE 185401

# PENURUNAN EMISI DENGAN MENGGUNAKAN *SINGLE* VAKUM VENTURI PADA SISTEM *WET SCRUBBER*

SHOFIANA ISTIQOMAH  
03211750012008

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T

DOSEN Co-PEMBIMBING  
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020



THESIS - RE 185401

# LOWERING EMISSION USING SINGLE VENTURY VACUUM IN THE WET SCRUBBER SYSTEM

SHOFIANA ISTIQOMAH  
03211750012008

SUPERVISOR  
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T

Co-SUPERVISOR  
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020

# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (MT)**

di  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**SHOFIANA ISTIQOMAH**  
**NRP: 03211750012008**

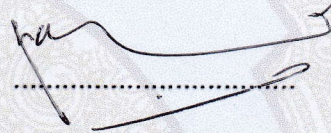
Tanggal Ujian: 13 Januari 2020

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:

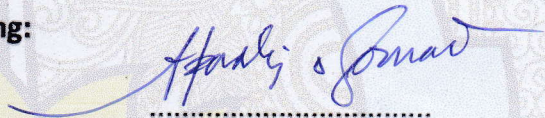
**Pembimbing:**

1. Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T  
NIP: 19660116 199703 1 001



**Co-Pembimbing:**

2. Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T  
NIP: 19751018 200501 1 003

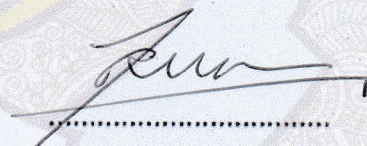


**Penguji:**

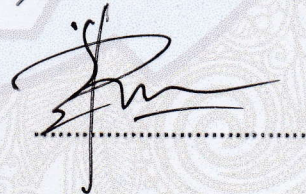
1. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM  
NIP: 19820119 200501 1 001



2. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T  
NIP: 19650508 199303 1 001



3. Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D  
NIP: 1980201712041



Kepala Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan



Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM  
NIP: 19820119 200501 1 001

## PENURUNAN EMISI DENGAN MENGGUNAKAN *SINGLE* VAKUM VENTURI PADA SISTEM *WET SCRUBBER*

Nama Mahasiswa : Shofiana Istiqomah  
NRP : 03211750012008  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T  
Ko-Pembimbing : Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T

### ABSTRAK

Pembakaran sampah plastik dengan menggunakan insenerator akan menghasilkan gas emisi yang akan merusak lingkungan jika dilepas begitu saja. Emisi ini bisa dikendalikan salah satunya dengan menggunakan teknologi pengendalian pencemaran udara berupa *wet scrubber*. Salah satu kriteria *wet scrubber* yang baik adalah efisiensi kontak *flue gas* dengan air absorber secara optimal. Untuk meningkatkan kontak antara *flue gas* dengan air *absorber* digunakan pipa vakum venturi dimana pipa ini akan menarik sebagian emisi gas menuju pipa untuk nantinya tercampur dengan air *absorber* yang melewati pipa. Selanjutnya, emisi gas dan air akan bersama-sama masuk ke *wet scrubber* dan melewati media didalamnya.

Penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi variabel yaitu variabel kecepatan aliran emisi gas sebesar 12 l/min, 14 l/min dan 16 l/min. Variabel debit air sebesar 15 l/min, 20 l/min dan 25 l/min. Serta tebal media dengan tebal 5 cm, 10 cm dan 15 cm. Parameter yang akan diteliti yaitu kandungan NO, CO dan SO<sub>2</sub> pada *input* dan *output wet scrubber*, suhu pada *inlet wet scrubber* serta kandungan air pada bak penampung air limbah yang akan diuji di akhir penelitian.

Hasil penelitian ini adalah pada variasi debit air, efisiensi tertinggi pada debit 20 l/min untuk *removal* gas NO (26.93%), pada debit 25 l/min untuk *removal* gas CO (32.38%) dan *removal* gas SO<sub>2</sub> (52.78%). Pada variasi aliran emisi gas, efisiensi tertinggi pada aliran 16 l/min untuk *removal* gas NO (25.82%) dan *removal* gas SO<sub>2</sub> (54.50%) serta aliran gas 14 l/min untuk *removal* gas CO (32.05%). Sedangkan pada variasi tebal media, efisiensi tertinggi pada tebal 10 cm untuk *removal* gas NO (30.19%) dan *removal* gas CO (33.34%) serta tebal 5 cm untuk *removal* gas SO<sub>2</sub> (55.27%).

**Kata kunci:** Vakum venturi, kecepatan aliran udara, debit air, emisi dan tebal media.

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**

## ***LOWERING EMISSION USING SINGLE VENTURI VACUUM IN THE WET SCRUBBER SYSTEM***

Student Name : Shofiana Istiqomah  
Student ID Number : 03211750012008  
Departement : Environmental Engineering  
Supervisor : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T  
Co-Supervisor : Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T

### **ABSTRACT**

Burning plastic waste using an incinerator will produce emissions of gas that will damage the environment if released. One of these emissions can be controlled by using air pollution control technology such as wet scrubber. One of the criteria for a good wet scrubber is the optimal efficiency of contact flue gas with water absorber. To increase the contact between the flue gas and the air absorber, a venturi vacuum pipe is used where this pipe will draw some of the gas emission to the pipe to later be mixed with the air absorber that passes through the pipe. Furthermore, gas and water emissions will jointly enter the wet scrubber and pass through the media inside.

This research was conducted in 3 variable variations, which are the gas emission flow rate of 12 l/min, 14 l/min and 16 l/min. Water discharge variables are 15 l/min, 20 l/min and 25 l/min. And the thickness of the media with a thickness of 5 cm, 10 cm and 15 cm. The parameters to be investigated are the SO<sub>2</sub>, NO and CO content in the wet scrubber input and output, the temperature at the wet scrubber inlet and the pH in the waste collection basin.

The results for variation of water discharge, the highest efficiency is at discharge 20 l/min for NO gas removal (26.93%), at discharge 25 l/min for CO gas removal (32.38%) and SO<sub>2</sub> gas removal (52.78%). In the variation of gas emission flow, the highest efficiency is at 16 l/min for NO gas removal (25.82%) and SO<sub>2</sub> gas removal (54.50%) and 14 l/min gas flow for CO gas removal (32.05%). Whereas in the variation of media thickness, the highest efficiency was 10 cm thick for NO gas removal (30.19%) and CO gas removal (33.34%) and 5 cm thick for SO<sub>2</sub> gas removal (55.27%).

**Keywords:** Venturi vacuum, air flow velocity, water discharge, emissions and media thickness.

**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan**



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia Nya serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa manusia dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul Penurunan Emisi Dengan Menggunakan *Single* Vakum Venturi Pada Sistem *Wet Scrubber*. Penulisan tesis ini digunakan sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan Magister Teknik program studi Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan ini terutama kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T selaku Dosen Pembimbing dan bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T selaku dosen Co-Pembimbing yang telah memberikan arahan, motivasi, perhatian dan do'a nya kepada penulis selama pengerjaan tesis ini.
3. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat ITS melalui program Hibah Penelitian Dana Lokal ITS 2019 yang telah menandai pelaksanaan penelitian.
4. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM, bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T dan ibu Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pengarah dalam menyelesaikan tesis ini.
5. Bapak Mohammad Affan Samudra selaku Laboran Laboratorium Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

6. Orang Tua penulis yang sangat penulis hormati dan sayangi yaitu Bapak Sucipto, Ibu Siti Mukaromah dan Mama Miftachul Alfiyah yang selalu memberikan kasih sayang, mendoakan, memberikan semangat dan memperhatikan penulis selama ini.
7. Suami tercinta (Mas Farizal Reza Ardiansah) dan buah hati tercinta (akan lahir) yang selalu mendoakan, memberikan semangat, perhatian dan cinta kasihnya selama ini.
8. Adik-adik penulis yang penulis sayangi (Febrian Dwi K, Fara Iga Farizal, Syifahana Atika, Syinta Yusfi dan Khanza Azalia) yang selalu mendoakan penulis dimanapun mereka berada.
9. Yulanda Kurnia Pradani yang selama ini menjadi teman seperjuangan dan teman sekamar yang saling membantu selama mengerjakan tesis ini. Terimakasih juga untuk keikhlasannya yang selalu memperhatikan ibu hamil ini selama jauh di perantauan.
10. Teman-teman seperjuangan tesis yang lainnya (Puspa, Wahyu, Dita, Anita, Triadna, Ruri, Mona) yang sudah saling memberikan semangat dan masukan serta menjalani suka duka bersama selama ini.
11. Adik-adik *Air Project* (Dinia, Cantika, Munif, Rahar, Fendi, Farhan, Sasa, Asri) yang telah banyak membantu penulis selama *running* reaktor selama ini.

Rasa hormat dan terimakasih bagi semua pihak atas segala dukungan dan doanya semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah mereka berikan kepada penulis. Semoga Allah membalas semua kebaikan dengan sebaik-baik balasan. Aamiin2 YRA

Surabaya, 20 Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Pencemaran Udara.....	5
2.2 Karakteristik Bahan Insenerator.....	6
2.3 Emisi Insenerator.....	6
2.4 Karakteristik Aliran Emisi .....	8
2.5 <i>Wet Scrubber</i> .....	9
2.6 Prinsip Kerja Vakum venturi.....	10
2.7 Absorpsi.....	13
2.8 <i>Media Packing</i> .....	15
2.9 Baku Mutu .....	15
2.10 Penelitian Terdahulu .....	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Kerangka Penelitian .....	19
3.2 Studi Literatur.....	20
3.3 Variabel Penelitian .....	20
3.4 Parameter yang Diukur .....	22
3.5 Persiapan Alat dan Bahan.....	22

3.6 Studi Pendahuluan.....	24
3.7 Desain <i>Wet Scrubber</i> .....	24
3.8 Pelaksanaan Penelitian.....	26
3.9 Pengukuran Penelitian .....	27
3.10 Analisis dan Pembahasan .....	28
3.11 Kesimpulan dan Saran .....	29
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Nilai Emisi Tiap Variasi Pada <i>Single Ventury Wet Scrubber</i> .....	31
4.1.1 Efisiensi Gas NO terhadap variabel.....	35
4.1.2 Efisiensi Gas CO terhadap variabel .....	38
4.1.3 Efisiensi Gas SO <sub>2</sub> terhadap variabel .....	41
4.2 Pengaruh Variabel Terhadap Efisiensi .....	46
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain <i>Wet Scrubber</i> .....	10
Gambar 2.2 Skema <i>Vakum venturi</i> .....	10
Gambar 2.3 Arah Aliran <i>Vakum venturi</i> .....	11
Gambar 2.4 Pipa Vakum Venturi .....	12
Gambar 2.5 Absorpsi .....	14
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Gambar Media .....	21
Gambar 3.3 <i>Thermocouple</i> .....	22
Gambar 3.4 <i>Gas Analyzer</i> .....	23
Gambar 3.5 <i>Flowmeter</i> .....	23
Gambar 3.6 Desain <i>Wet Scrubber</i> .....	24
Gambar 4.1 Grafik konsentrasi <i>input</i> dan <i>output</i> .....	31
Gambar 4.2 Grafik debit air terhadap efisiensi removal gas .....	33
Gambar 4.3 Grafik aliran emisi terhadap efisiensi removal gas .....	34
Gambar 4.4 Grafik tebal media terhadap efisiensi removal gas.....	34
Gambar 4.5 Efisiensi <i>removal</i> gas NO terhadap variasi debit air .....	35
Gambar 4.6 Efisiensi <i>removal</i> gas NO terhadap variasi aliran emisi .....	36
Gambar 4.7 Efisiensi <i>removal</i> gas NO terhadap variasi tebal media .....	37
Gambar 4.8 Efisiensi <i>removal</i> gas CO terhadap variasi debit air .....	38
Gambar 4.9 Efisiensi <i>removal</i> gas CO terhadap variasi aliran emisi.....	39
Gambar 4.10 Efisiensi <i>removal</i> gas CO terhadap variasi tebal media .....	40
Gambar 4.11 Efisiensi <i>removal</i> gas SO <sub>2</sub> terhadap variasi debit air .....	41
Gambar 4.12 Efisiensi <i>removal</i> gas SO <sub>2</sub> terhadap variasi aliran emisi .....	42
Gambar 4.13 Efisiensi <i>removal</i> gas SO <sub>2</sub> terhadap variasi tebal media .....	43
Gambar 4.14 Contoh hasil uji Anova .....	48

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Analisis <i>Ultimate</i> Plastik.....	6
Tabel 2.2 Baku Mutu Emisi Udara untuk pengolahan sampah .....	16
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 3.1 Variasi Penelitian.....	27
Tabel 4.1 Nilai efisiensi NO .....	32
Tabel 4.2 Perbandingan <i>output wet scrubber</i> dengan baku mutu .....	45
Tabel 4.3 Hasil uji pengaruh <i>One Way Anova</i> .....	46

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Permasalahan sampah di Indonesia merupakan hal yang belum terselesaikan hingga saat ini. Tahun 2016 jumlah timbulan sampah di Indonesia mencapai 65.200.000 ton per tahun dengan penduduk sebanyak 261.115.456 orang. Hingga tahun 2006, jumlah timbulan sampah yang dihasilkan di Surabaya mencapai 2.160 ton/hari dengan sampah plastik sebesar 10,09 ton/hari (Trihadiningrum, 2006). Diperkirakan sampah ini akan terus bertambah dan diprediksikan pada tahun 2025 akan mencapai 4,3 miliar penduduk perkotaan yang menghasilkan sekitar 1,42 kg per orang per hari sampah kota (2,2 miliar ton per tahun) (BPS, 2018).

PP (*Polypropylene*) adalah contoh plastik yang sering kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari hingga berakhir di tempat sampah begitu saja. Tidak adanya pemilahan akan membuat sampah plastic tercampur dengan sampah jenis lainnya. Data dari Kementerian Perindustrian, impor produk *polypropylene* (PP) terus meningkat seiring dengan tumbuhnya konsumsi bahan kimia. Dalam data tersebut disebutkan pada tahun 2012, konsumsi *polypropylene* (PP) sebesar 1,3 juta ton per tahun dan meningkat di tahun 2013 menjadi 1,46 juta ton.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan guna mengurangi jumlah sampah plastik adalah dengan insenerasi. Polutan berupa partikel debu merupakan hasil insenerasi yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan jika tidak diperhatikan dengan serius (Tela dkk, 2014). Partikel kecil di udara (aerosol) berupa kepekatan asap adalah salah satu bukti visual yang dapat dilihat secara langsung dari hasil proses pembakaran yang berarti pula bahwa pembakaran akan melepaskan senyawa polutan ke udara (Thaariq, 2019). Selain partikel kecil yang dihasilkan, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> merupakan emisi gas buang hasil pembakaran (Franchini dkk, 2004).

Untuk mencegah terjadinya pencemaran udara akibat kegiatan insenerasi, diperlukan suatu pengendalian yang mampu mengurangi hasil keluaran emisi akibat kegiatan insenerasi tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan sebagai alternatif penyisihan emisi gas adalah absorpsi dimana, emisi gas akan diserap oleh absorben untuk selanjutnya dihasilkan udara yang lebih bersih untuk dilepas ke lingkungan (Prasetyadi, 2018). Suatu alat pengendali emisi yang menggunakan prinsip absorpsi adalah *wet scrubber* yang mampu mengurangi emisi gas SO<sub>x</sub> hingga 90% (Quina dkk, 2008). Untuk memaksimalkan proses absorpsi pada *wet scrubber*, akan dilakukan upaya penambahan vakum venturi pada saluran pipa menuju *wet scrubber*. Pipa ini memiliki prinsip dimana fluida gas yang melewati pipa utama akan tertarik kedalam pipa venturi akibat kecepatan aliran air absorber yang tinggi (Bamford dan Morris, 2019).

Dengan berdasar pada prinsip diatas maka semakin tinggi kecepatan air yang melewati pipa venturi akan semakin banyak emisi gas yang akan tertarik. Dengan demikian, proses absorpsi tidak hanya dilakukan oleh *wet scrubber* saja namun terjadi pula pada pipa vakum venturi. Selain kecepatan air, tebal media *wet scrubber* juga akan mempengaruhi proses absorpsi dikarenakan semakin luas permukaan kontak maka akan semakin efisien proses absorpsi yang terjadi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran emisi gas terhadap penurunan emisi dengan menggunakan *single* vakum venturi pada sistem *wet scrubber*?
2. Bagaimana pengaruh debit air terhadap penurunan emisi dengan menggunakan *single* vakum venturi pada sistem *wet scrubber*?
3. Bagaimana pengaruh tebal media terhadap penurunan emisi dengan menggunakan *single* vakum venturi pada sistem *wet scrubber*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu :

1. Menentukan pengaruh laju aliran gas terhadap penurunan emisi dengan menggunakan *single* vakum venturi pada sistem *wet scrubber*
2. Menentukan pengaruh debit air terhadap penurunan emisi dengan menggunakan *single* vakum venturi pada sistem *wet scrubber*
3. Menentukan pengaruh tebal media terhadap penurunan emisi dengan menggunakan *single* vakum venturi pada sistem *wet scrubber*

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini menghasilkan desain baru pada *wet scrubber* dengan penambahan vakum venturi pada sistem. Dimana, dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemasangan pengendali emisi baik skala kecil maupun skala besar.

### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis sampel plastik yang dibakar adalah karung bekas jenis PP
2. Air absorben yang digunakan adalah air PDAM Kota Surabaya
3. Desain *wet scrubber* menggunakan *One Stage packing*
4. Parameter yang diteliti adalah NO, CO dan SO<sub>2</sub>
5. Penelitian menggunakan briket arang batok sebagai pemantik pembakaran
6. Media yang digunakan pipa pvc ½ inch dengan panjang 4 cm
7. Penelitian ini tidak melakukan pengujian kandungan air

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran Udara**

Pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing didalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing didalam udara dalam jumlah tertentu serta berada diudara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan. Bila keadaan itu terjadi maka diudara dikatakan telah tercemar (Pohan, 2002). Secara umum penyebab pencemaran udara ada 2 macam yakni:

- a. Faktor Internal (secara alamiah) seperti : debu yang berterbangan akibat tiupan angin, abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berapi berikut gas-gas vulkanik dan proses pembusukan sampah organik, dll.
- b. Faktor Eksternal (karena ulah manusia), seperti: hasil pembakaran bahan bakar fosil, debu/serbuk dari kegiatan industri dan pembakaran zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.

Penanggulangan pencemaran udara dari sumber tidak bergerak menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 1999, meliputi pengawasan terhadap penataan baku mutu emisi yang telah ditetapkan, pemantauan emisi yang keluar dari kegiatan dan mutu udara ambien di sekitar lokasi kegiatan, dan pemeriksaan penataan terhadap ketentuan persyaratan teknis pengendalian pencemaran udara.

Menurut penelitian yao liu dkk pada tahun 2019 menyatakan bahwa pencemaran udara berupa  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$  dan CO dapat meningkatkan keberadaan pasien penderita penyakit tuberculosis dalam jangka waktu pada tahun 2014-2015. Hal ini menjelaskan bahwasanya pencemaran udara merupakan permasalahan serius yang harus dijadikan perhatian bagi setiap kalangan terutama dari kegiatan yang berpotensi menghasilkan emisi gas buang melebihi baku mutu.

## 2.2 Karakteristik Bahan Insenerator

Pada penelitian ini, jenis plastik yang digunakan adalah PP (*Polypropylene*). Hasil uji analisis ultimate menunjukkan bahwa PP memiliki nilai C,H,O,N,S sedangkan klorin tidak ditemukan dalam semua jenis plastik kecuali PVC.

Tabel 2.1 Analisis *Ultimate* Plastik

Jenis Plastik	Ultimate Analysis (% Berat)					
	C	H	N	S	O	Cl
PET	63,94	4,52	0,01	0,04	31,49	0
HDPE	86,99	12,12	0,27	0,07	0,56	0
PVC	37,24	4,99	0,08	0,08	0	57,61
LDPE	85,6	13,4	0,26	0	0,74	0
PP	86,88	12,5	0,28	0,03	0,32	0
SS	91,57	7,8	0,15	0,04	0,45	0

Sumber: Anuar Sharuddin dkk, 2017

## 2.3 Emisi Insenerator

Insinerator merupakan alat yang paling cocok digunakan untuk mengatasi permasalahan sampah yang semakin meningkat. Akan tetapi dalam operasinya, insinerator dapat menghasilkan emisi yang berbahaya. Emisi gas yang dihasilkan oleh proses insinerasi terdiri atas (Trihadiningrum, 2016):

### 1. Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ )

Dua jenis nitrogen oksida yang terpenting adalah nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ). Sumber  $\text{NO}_x$  dari proses insinerasi adalah:

#### a) $\text{NO}_x$ termal

$\text{NO}_x$  yang terbentuk karena reaksi antara nitrogen dan oksigen dalam udara panas selama proses pembakaran. 60%  $\text{NO}_x$  dihasilkan dari sumber tidak bergerak dimana, hampir seluruhnya berasal dari hasil insinerasi. Gas  $\text{NO}_x$  umumnya akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pembakaran. Selain insinerasi  $\text{NO}_x$  dapat dihasilkan dari pemanasan ruang, pembakaran terbuka dan pemanasan proses. Pemeliharaan alat, penyetulan ulang dan penggantian *equipment* mampu mengurangi kadar CO dan asap yang timbul

dari peralatan namun, tidak mampu untuk menghilangkan  $\text{NO}_x$  secara efektif. Salah satu hal yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan peralatan baru yang mampu mengurangi emisi sampai 50% dan meningkatkan efisiensi kerja sebesar 5%.

b)  $\text{NO}_x$  bahan bakar

$\text{NO}_x$  yang terbentuk karena terjadinya reaksi antara oksigen dan nitrogen yang terkandung dalam bahan bakar  $\text{NO}_x$  berkontribusi dalam pembentukan aerosol nitrat di atmosfer yang menyebabkan terbentuknya kabut asam dan hujan asam.

2. Sulfur oksida ( $\text{SO}_x$ )

Sulfur oksida terdiri atas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$  dibentuk apabila bahan bakar yang digunakan mengandung belerang atau sulfur.  $\text{SO}_x$  dapat mengakibatkan iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan. Pada konsentrasi tinggi  $\text{SO}_x$  dapat menyebabkan kematian karena menyebabkan gangguan paru – paru, seperti asma dan bronkitis.  $\text{SO}_x$  dapat pula menyebabkan terjadinya hujan asam dan salju asam yang dapat mempengaruhi hutan, danau, dan sungai.

3. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida dapat terbentuk selama pembakaran apabila tidak tersedia cukup oksigen. CO dapat beraksi dengan hemoglobin membentuk karboksihemoglobin ( $\text{HbCO}$ ) yang menghambat pembentukan oksihemoglobin dalam transfer oksigen pada jaringan hidup. Keracunan CO dapat menyebabkan pusing kepala, muntah – muntah dan kematian pada konsentrasi tinggi.

4. Partikulat

Partikulat dapat terbentuk dalam insinerasi melalui beberapa proses yaitu:

a) Pembakaran yang tidak sempurna

b) Pelepasan bagian limbah yang tidak terbakar. Partikulat yang lebih kecil dari  $10\ \mu\text{m}$  dapat membahayakan kesehatan karena dapat terhisap kedalam paru-paru. Gas yang dikeluarkan oleh insinerator mengandung 20-40% partikulat berukuran  $<0\ \mu\text{m}$  dan 7-10% partikulat berukuran  $<2\ \mu\text{m}$ .

## 5. Logam

Emisi gas yang mengandung logam dapat terjadi dalam proses pembakaran limbah plastik yang terkontaminasi B3. Sumber uap logam tersebut berasal dari bahan bakar, kontainer limbah, dan kontaminan logam yang terkandung dalam limbah plastik yang terkontaminasi B3 yang diinsinerasi.

## 6. Gas – gas bersifat asam

Pembakaran limbah B3 yang mengandung F dan Cl dapat menghasilkan gas-gas yang bersifat asam seperti HCl dan HF.

## 7. Dioksin dan furan

Emisi senyawa – senyawa dioksin dan furan yang bersifat toksik dapat dihasilkan dari pembakaran sampah plastik yang terkontaminasi B3.

### **2.4 Karakteristik Aliran Emisi**

Pada penelitian ini, karakteristik aliran emisi hasil pembakaran sampah plastik dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Laju Aliran Gas

Laju aliran gas untuk *wet scrubber* adalah 0,25 hingga 35 standar meter kubik per detik ( $\text{sm}^3/\text{detik}$ ) (500 hingga 75.000 kaki kubik standar per menit (scfm)) (EPA, 1982; EPA, 1998).

#### 2. Suhu

Suhu yang masuk pada *wet scrubber* biasanya berkisar antara 4 hingga 370°C (40 hingga 700°F) dimana partikulat harus selalu dikontrol, dan untuk proses absorpsi gas berkisar 4 sampai 38°C (40 hingga 100°F). Secara umum, semakin tinggi suhu gas, semakin rendah tingkat penyerapannya. Temperatur gas yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan absorber hilang melalui penguapan (Avalone, 1996; EPA, 1996a).

#### 3. *Pollutant loading*

Konsentrasi polutan gas berkisar antara 250 – 10.000 ppmv. Untuk *wet scrubber type packed* biasanya terbatas pada konsentrasi PM berukuran  $<0,45 \text{ g/m}^3$  untuk menghindari *clogging* atau penyumbatan pada *media packed* (EPA, 1982)



## 2.5 *Wet Scrubber*

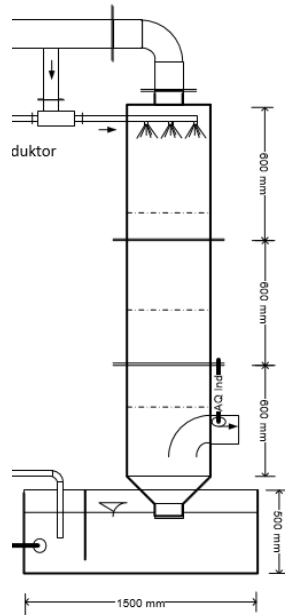
*Wet Scrubber* adalah alat pengontrol polusi udara untuk menghilangkan partikel (Lo, 2011) dan gas dari aliran gas buangan industri (Bhave, 2008). Dioperasikan dengan memasukkan aliran gas kotor dengan air yang berfungsi sebagai cairan pembersih dan kemudian gas akan tercampur didalamnya . *Wet Scrubber* merupakan alat kontrol pencemaran udara yang paling tepat (Rennels dkk, 2012) untuk mengumpulkan keduanya, partikulat dan gas dalam satu sistem saja. Sistem *scrubber* adalah salah satu pengontrol polusi udara yang dapat digunakan untuk menghilangkan partikel (Ondov dkk, 1979) dan/atau gas dari aliran gas buangan industri. *Scrubber* adalah salah satu perangkat utama yang mengendalikan emisi gas, terutama gas asam.

Partikel pengganggu akan ditangkap oleh cairan yang disemprotkan *wet scrubber* sedangkan gas dihilangkan dengan cara dilarutkan. Tetesan air yang mengandung pencemaran harus dipisahkan dengan gas buang yang telah bersih dengan menggunakan suatu alat yaitu *mist eliminator*. Desain *wet scrubber* yang baik adalah dengan memaksimalkan area kontak dan meminimalisir adanya penurunan tekanan (*pressure drop*) (Reed dkk, 1988). Ahmad dan Jain, 2016 menyebutkan beberapa keunggulan *wet scrubber* dari peralatan lainnya yaitu:

1. *Wet Scrubber* dapat menangani suhu dan kelembaban tinggi
2. Gas buang yang dihasilkan dalam keadaan dingin
3. Dapat menghilangkan gas dan atau partikel
4. Dapat menetralkan gas yang korosif
5. Memiliki risiko kebakaran dan ledakan yang sangat kecil

Beberapa keunggulan *Packed Bed Wet Scrubber*:

1. Penurunan tekanan relatif rendah
2. Mampu mencapai efisiensi transfer massa yang relatif tinggi
3. Tinggi dan/atau jenis media dapat diubah untuk meningkatkan perpindahan massa
4. Biaya modal yang relatif rendah
5. Persyaratan ruang yang relatif kecil
6. Kemampuan untuk mengumpulkan PM sebaik mengumpulkan gas.



Gambar 2.1 Desain *Wet Scrubber*

Efisiensi penyisihan polutan dapat dihitung dengan rumus : (Jiuan, 2005)

$$\eta = 1 - (Y_{out} / Y_{in}) \quad (2.1)$$

dimana :

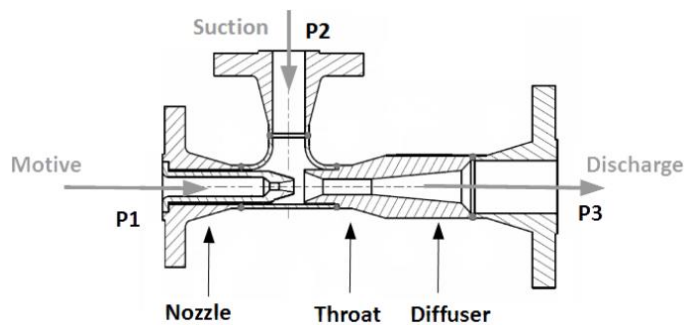
$\eta$  = Efisiensi *Wet Scrubber*

$Y_{in}$  = Konsentrasi polutan *inlet*, ppm

$Y_{out}$  = Konsentrasi polutan *outlet*, ppm

## 2.6 Prinsip Kerja *Venturi Vacuum*

Vakum venturi bekerja dengan menggunakan *nozzle* untuk menghasilkan fluida berkecepatan tinggi untuk memasukkan cairan yang berada disekitar vakum venturi (fluida dapat berupa gas atau cairan).

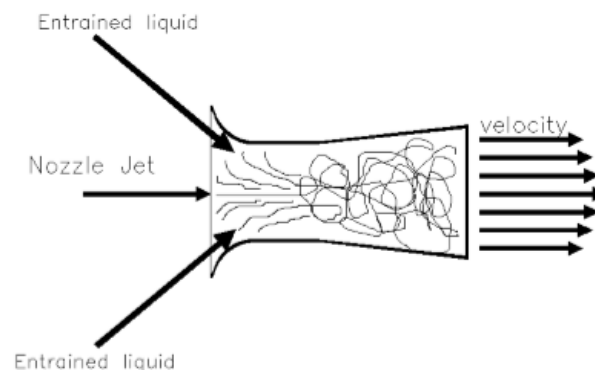


Gambar 2.2 Skema vakum venturi

Sumber: Bamford dan Morris, 2019

Prinsip kerja vakum venturi adalah sebagai berikut:

- Fluida dengan tekanan tinggi ( $P_1$ ) dilewatkan *nozzle* yang akan meningkatkan kecepatan fluida dan menurunkan tekanan fluida. Dengan melewati cairan penggerak melalui *nozzle*, energi tekanan statis di dalam fluida diubah menjadi energi kinetik yang meningkatkan kecepatan fluida dan menurunkan tekanan statis dan proses ini dinamakan efek *venturi*.
- Ketika aliran dengan kecepatan tinggi keluar dari *nozzle*, pada titik kecepatan maksimum akan menghasilkan area dengan tekanan rendah. Area bertekanan rendah ini sama dengan atau kurang dari fluida tekanan rendah sekunder ( $P_2$ ), fluida isap, sehingga memungkinkannya untuk memasuki badan eduktor.
- Ketika dua fluida bertabrakan, energi akan dialihkan sehingga fluida isap akan disatukan dengan fluida awal (berasal dari  $P_1$ ). Dua fluida akan dilewatkan *throat* dimana pencampuran lebih lanjut dan perpindahan energi terjadi. Aliran pada kondisi ini merupakan aliran turbulen.



Gambar 2.3 Arah Aliran vakum venturi

Sumber: BEX, 2016

- Campuran fluida ini kemudian dilewatkan melalui bagian *diffuser* yang secara bertahap akan meningkatkan diameter dan mengurangi kecepatan fluida dan mengubah sebagian energi kinetik kembali menjadi energi tekanan statis dan terjadi pemulihan tekanan ( $P_3$ ).

Untuk penyerapan gas, air atau pelarut lain yang telah melalui proses harus diolah untuk menghilangkan polutan yang tertangkap dari larutan. Efluen dari *wet*

*scrubber* dapat didaur ulang kedalam sistem dan dapat digunakan lagi. Pelarut yang biasanya dapat digunakan kembali adalah: minyak hidrokarbon, larutan kaustik, kopolimer blok amphiphilic. Pada awalnya, aliran daur ulang akan dialirkan ke sistem pengolahan untuk memisahkan antara polutan dan pelarut. Selanjutnya, tambahan pelarut akan dimasukkan bersamaan dengan pelarut yang telah terpisah dengan polutan menuju sistem. (EPA, 1996a)

Sistem vakum tidak dapat dinyatakan tetapi merupakan suatu acuan dalam pengukuran tekanan. Vakum merupakan suatu kondisi ruangan yang sebagian dari udara dan gas lainnya telah dikeluarkan sehingga tekanan di dalam ruangan tersebut berada di bawah tekanan atmosfer (Suprpto dkk, 2017). Dalam aplikasinya sistem vakum sering digunakan dalam beberapa teknologi salah satunya pompa vakum venturi. Prinsip pompa vakum venturi yaitu dengan aliran fluida cair yang digerakkan oleh pompa sentrifugal melewati saluran venturi.

Besar tekanan hampa yang dihasilkan oleh venturi dipengaruhi oleh pertambahan kecepatan aliran akibat dari pengecilan penampang saluran yang mengikuti prinsip Bernoulli. Kecepatan aliran pada saluran dipengaruhi oleh debit yang dihasilkan oleh pompa yang mengikuti hukum kontinuitas. Selain kecepatan, tekanan input saluran juga merupakan faktor yang mempengaruhi tekanan pada vakum venturi (Takwim dkk, 2018).



Gambar 2.4 Pipa Venturi

Pada penelitian Mubarak dalam Takwim, dkk (2018) menjelaskan pengaruh variabel tekanan dan debit aliran fluida pendorong terhadap kinerja venturi. Hasilnya variabel tekanan fluida yang masuk ke dalam venturi sangat mempengaruhi kinerja venturi di mana semakin besar tekanan fluida pendorong

maka tekanan vakum akan semakin rendah. Pipa vakum venturi menerapkan prinsip Bernoulli "peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut" dengan persamaan:

Persamaan Bernoulli:

$$P_1 \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (2.2)$$

Karena pipa horizontal maka  $h_1 = h_2$ , sehingga

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.3)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (2.4)$$

Persamaan Kontinuitas:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (2.5)$$

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2} \quad (2.6)$$

Dimana:

P= tekanan (1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>)

$\rho$ = massa jenis air (997 kg/m<sup>3</sup>)

v= kecepatan aliran (m/s)

g= percepatan gravitasi (9,80 m/s<sup>2</sup>)

h= tinggi (m)

A= luas penampang (m<sup>2</sup>)

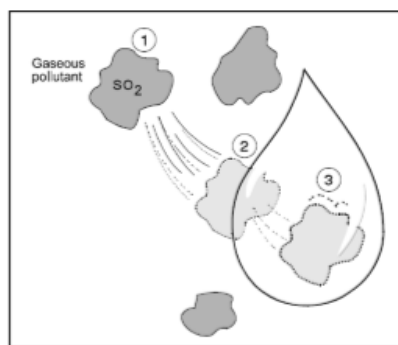
## 2.7 Absorpsi

Penyerapan adalah operasi perpindahan massa di mana satu atau lebih komponen gas yang dapat dilarutkan dalam cairan yang memiliki volatilitas rendah di bawah kondisi proses. Kesesuaian penyerapan gas sebagai metode kontrol polusi tergantung pada faktor:

- Ketersediaan pelarut yang sesuai
- Efisiensi *removal* yang dibutuhkan untuk menghilangkan polutan
- Konsentrasi polutan dalam aliran *inlet*
- Kapasitas yang dibutuhkan dalam menangani polutan gas
- Biaya pembuangan akhir dari campuran pelarut yang dihasilkan

Selain faktor di atas, absorpsi juga tergantung pada sifat-sifat aliran gas dan pelarut seperti kerapatan dan viskositas, serta karakteristik spesifik polutan polutan dalam gas dan cairan (misal: difusivitas dan kelarutan kesetimbangan). Sifat ini juga bergantung pada suhu dimana, suhu yang rendah cenderung mendukung penyerapan lebih baik. Selain itu, luas permukaan kontak juga hal yang dapat meningkatkan efisiensi penyerapan. Pelarut yang dipilih untuk menghilangkan polutan harus memiliki kelarutan tinggi untuk gas, tekanan uap rendah, viskositas rendah, dan harus relatif murah.

Air adalah pelarut yang paling umum digunakan untuk menghilangkan kontaminan dan juga dapat digunakan untuk menyerap senyawa organik yang memiliki kelarutan air yang relatif tinggi. Untuk senyawa organik yang memiliki kelarutan dalam air rendah, pelarut lain seperti minyak hidrokarbon dapat digunakan, meskipun hanya di industri dengan volume minyak yang besar (misal: Kilang minyak bumi dan pabrik petrokimia) (Barbour dkk, 1995). Air juga cairan yang tepat untuk menghilangkan kandungan anorganik seperti fosfor, sulfur, nitrogen oksida dan halogen karena kebanyakan polutan gas ini larut dalam air (Juan, 2005)



Gambar 2.5 Skema proses absorpsi  
Sumber: Joseph dkk, 1998

Gambar diatas menunjukkan bahwa proses absorpsi terdiri dari 3 langkah: pertama, polutan gas berdifusi dari fasa gas ke antar muka gas- cair. Kedua, gas bergerak melintasi antarmuka ke fase cair (proses terjadi sangat cepat). Ketiga, gas berdifusi ke bagian cairan. Tingkat absorpsi (perpindahan massa polutan dari fase gas ke fase cair) tergantung pada tingkat difusi polutan dalam fase gas

(langkah pertama) dan dalam fase cair (langkah ketiga) (Ain, 2019). Dengan mengatur butiran air menjadi lebih kecil dan area permukaan yang lebih besar akan meningkatkan tumbukan antara absorbat dengan air sehingga meningkatkan penyisihan. Selain itu, dapat juga dilakukan dengan meningkatkan jumlah air yang akan disemprotkan untuk proses penyisihan asorbat (Flynn, 1976).

## **2.8 Media Packing**

Terdapat beberapa macam media yang dapat digunakan dalam penyisihan emisi gas dari *wet scrubber*. Media jenis *resching ring* adalah salah satu dari 5 media yang dapat digunakan sebagai media kontak *wet scrubber* (Flynn, 1976). Pipa PVC merupakan pipa dengan bentuk menyerupai *resching ring* yang sangat mudah ditemui di pasaran. Pipa yang akan digunakan yaitu dengan ukuran  $\frac{1}{2}$  inch dan panjang 4 cm. Ketebalan media packing atau biasa disebut *bed depth* merupakan salah satu hal yang mempengaruhi kinerja dari absorpsi. Kedalaman media *packing* yang lebih besar dapat membantu meningkatkan penyerapan dan dengan demikian dapat meningkatkan efisiensi dari *scrubber*.

Pada dasarnya, ketebalan media packing yang diinginkan ditentukan berdasarkan target dari efisiensi pengurangan untuk polutan dan tingkat efisiensi transfer massa yang digunakan di *scrubber*. Namun, penambahan ketebalan media *packing* bisa mengakibatkan peningkatan *pressure drop*. Turunnya tekanan dalam reaktor mengakibatkan kurangnya dorongan gas, sehingga diperlukan tambahan kekuatan kipas/*blower* untuk menekan udara kedalam *scrubber*. Sehingga hal ini dapat meningkatkan biaya operasi *scrubber*. Selain itu ketebalan yang terlalu besar juga dapat mengurangi waktu tinggal gas untuk kontak dengan liquid (Ain, 2019).

## **2.9 Baku Mutu**

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016, dijelaskan mengenai baku mutu emisi usaha dan / atau pengolahan sampah secara termal harus dipatuhi seperti pada table 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Baku Mutu Emisi Udara untuk Pengolahan Sampah

No	Parameter	Satuan	Batas Maksimum Usulan
1	Total Partikulat	mg/Nm <sup>3</sup>	120
2	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	210
3	Nitrogen Dioksida (NO <sub>x</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	470
4	Hidrogen Klorida (HCl)	mg/Nm <sup>3</sup>	10
5	Merkuri (Hg)	mg/Nm <sup>3</sup>	3
6	Karbon Monoksida (CO)	mg/Nm <sup>3</sup>	625
7	Hidrogen Fluorida (HF)	mg/Nm <sup>3</sup>	2
8	Dioksin dan Furan	Ng/Nm <sup>3</sup>	0,1

Sumber: PPLHK No. 70 tahun 2016

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penelitian yang dilakukan, diperlukan beberapa referensi hasil penelitian yang digunakan sebagai pustaka dan dapat dimanfaatkan dalam pengambilan keputusan pada penelitian. Beberapa referensi yang digunakan dan sesuai dengan penelitian yang dilakukan, terdapat pada tabel 2.3 dibawah ini :

Tabel 2.3 Referensi Penelitian Terdahulu

Referensi	Variabel	Metode	Hasil
Ain. (2019)	Bentuk media packing, ukuran media packing, tebal media packing 20, 25, 30 cm.	Absorben : Air Bed : PVC dan kelereng Absorbat: CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> <i>Two stage Packing Scrubber</i>	Bentuk media <i>packing</i> berpengaruh tidak signifikan terhadap penurunan emisi Ukuran media <i>packing</i> berpengaruh terhadap penurunan emisi tidak signifikan. 6,8% (CO <sub>2</sub> ), 18,179% (gas CO), 27,048% (SO <sub>2</sub> ), dan 21,847% (NO <sub>2</sub> ). Tebal media berpengaruh terhadap penurunan emisi tidak signifikan. 7,3% (CO <sub>2</sub> ), 15,2% (gas CO), 57,68% (SO <sub>2</sub> ), dan 15,6% (NO <sub>2</sub> )



Referensi	Variabel	Metode	Hasil
Jafari dkk. (2014)	Variabel : kecepatan aliran udara (5,10,15 l/s)  konsentrasi amonia (25±3, 42±3 dan 57±3 ppm)  pH (5,6,7) , L/G = 0,6	Absorbat: amoniak  Absorben: larutan kaustik  <i>Bed</i> : PVC dan raching ring  Reaktor: <i>counter flow</i> 20 cm.	Nilai efisiensi emoval amoniak dengan menggunakan PVC tidak sebaik dengan menggunakan raching ring, tetapi PVC memiliki kelebihan yang lain seperti berat yang ringan, <i>headloss</i> rendah, dan harga yang sangat murah.
Pillai, K.C (2009)	Variasi packing: <i>glass</i> 10 mm, PVDF 25 mm, PFA 25 mm  Q gas: 0,3-3,0 m <sup>3</sup> /h  Q liquid: 0,06-0,24 m <sup>3</sup> /h	Absorbat: SO <sub>2</sub> dan NO <sub>x</sub>  Absorben: HNO <sub>3</sub>  <i>Bed</i> : Raschig glass rings, raschig poly (vinylidene) fluoride rings, Jaeger tri-pack perfluoroalkoxy spheres  (tebal media: 0.8 m)  Reaktor: diameter 0.05 m, tinggi 1.2 m (bahan dari kaca)  Oksidasi dengan electrochemical Ag(II)	Efisiensi raschig glass 100%, raschig PVDF ring 95% & tri-pack PFA sphere 91%.
Prisanto, D.K. (2006)	Media packing <i>single tray &amp; dual tray</i>  Ketinggian <i>sprayer</i> (15, 25, 45 cm)  <i>Circulation</i>	Absorbat: SO <sub>2</sub>  Absorben: H <sub>2</sub> O (30l)+ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (6ml)  <i>Bed</i> : potongan PVC 0,25 inch  Reaktor: diameter 32 cm, tinggi 1,84 m. <i>Countercurrent gravity tower with 2 packed bed : 2 sprayer</i>	Susunan <i>spray nozzle</i> dan susunan <i>media packing</i> tidak berpengaruh terhadap penurunan pH  Kinerja optimal didapat dalam variasi sistem <i>single tray</i> dengan tinggi <i>sprayer</i> 15 cm.  Efisiensi removal SO <sub>2</sub> sebesar 97,37%

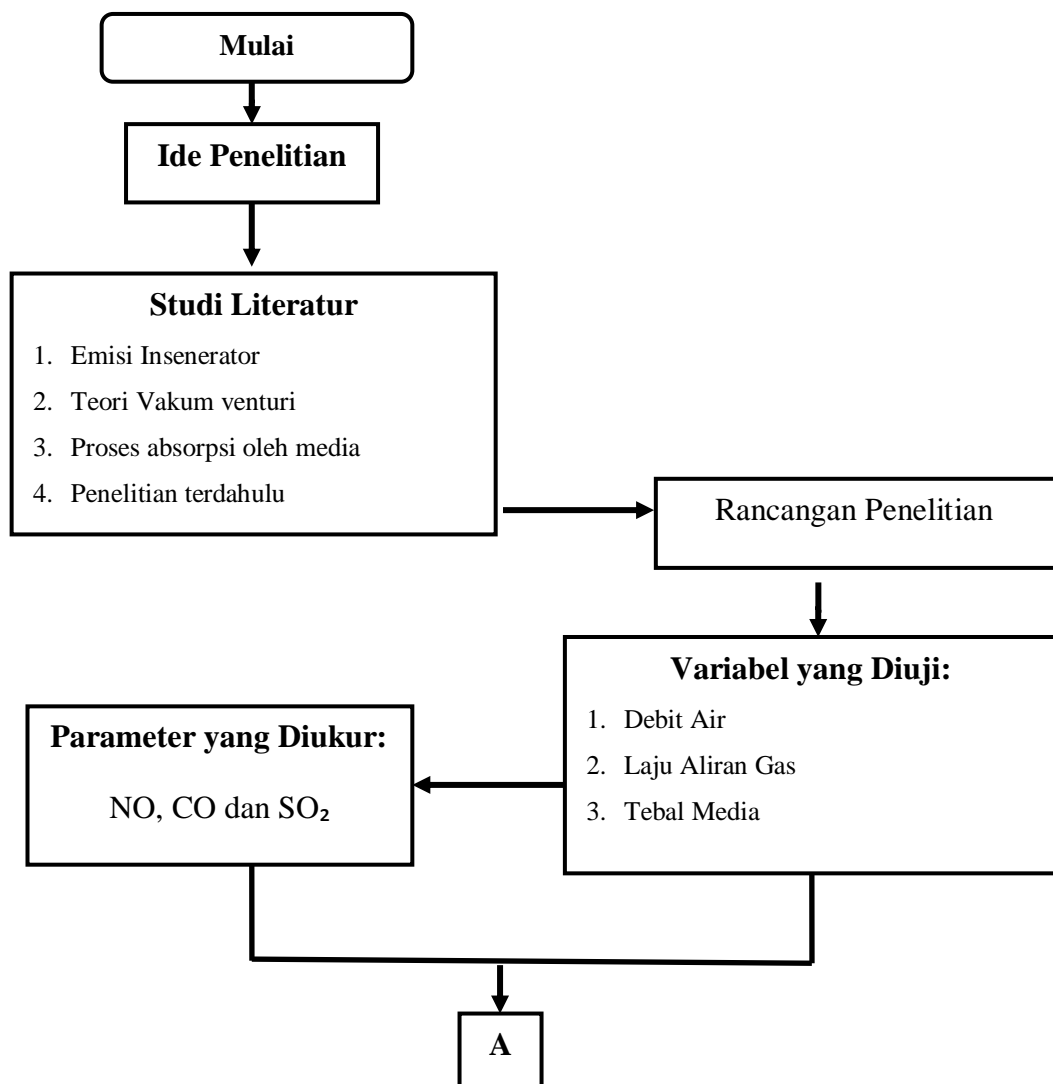
**Halaman ini sengaja dikosongkan**

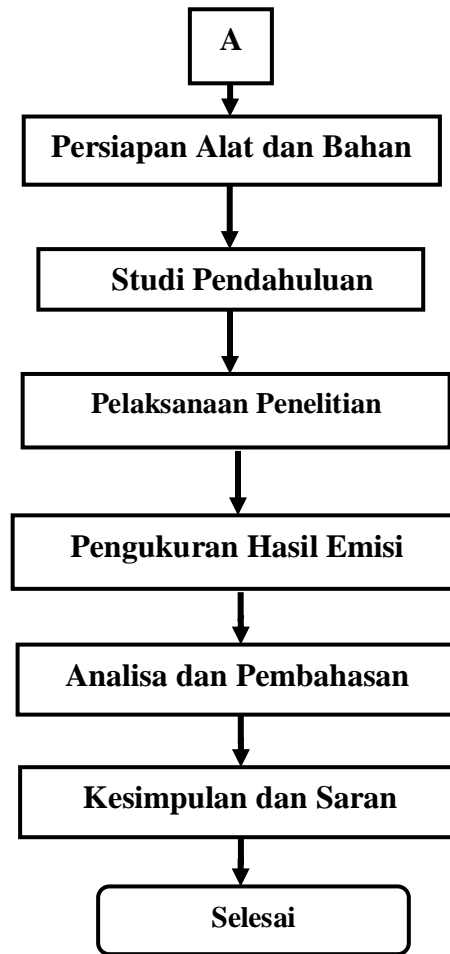
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Kerangka Penelitian

Metode penelitian digunakan sebagai acuan untuk memudahkan dalam melakukan penelitian. Metode penelitian disajikan dalam bentuk kerangka penelitian yang berisi rangkaian pokok kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian dari awal hingga selesai. Kerangka penelitian digunakan untuk menggambarkan langkah kerja yang sistematis dan terencana sehingga dapat meminimalisir kesalahan yang mungkin dapat timbul. Adapun kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengkaji variabel-variabel yang telah diuji dalam penelitian sebelumnya, tata cara penelitian, penentuan lokasi uji, serta hal-hal terkait yang belum diuji secara mendalam. Literatur yang diperlukan ialah penelitian terdahulu yang terkait dengan topik penelitian, seperti teori vacuum, wet scrubber, dan tebal media. Selain jurnal penelitian, sumber literatur lainnya yang digunakan berupa peraturan pemerintah, *textbook*, artikel, panduan teknis, dan seminar yang berkaitan dengan penelitian ini.

### 3.3 Variabel Penelitian

Setelah melakukan studi literatur, khususnya terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, maka ditentukanlah variabel dalam penelitian ini, yaitu:

1. Laju Aliran Gas ( $V_u$ )

Aliran gas didapatkan gas buang yang berasal dari dapur ruang bakar. Pengukuran kecepatan aliran udara dilakukan dengan menggunakan alat *flowmeter*. Dari pengukuran *flowmeter* didapatkan nilai aliran gas dengan 3 kisaran yaitu : 11-13 l/min, 13-15 l/min dan 15-17 l/min. Sehingga, dapat diambil 3 variasi yaitu 12 l/min, 14 l/min dan 16 l/min.

2. Debit Air ( $Q$ )

Penentuan kecepatan air dari pompa (l/min) dengan mengatur *valve* atas 3 variasi yaitu 15 l/min, 20 l/min dan 25 l/min.

3. Tebal Media

Tebal media yang akan dipakai yaitu 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.



(a)



(b)

Gambar 3.2 Pipa PVC  $\frac{1}{2}$  inch dengan Panjang 4 cm. (a: Setelah dipakai proses absorpsi, b: Setelah dibersihkan)

### 3.4 Parameter yang Diukur

Untuk mengetahui emisi yang keluar telah memenuhi baku mutu, dilakukan pengujian dengan *gas analyzer* untuk gas seperti NO, CO dan SO<sub>2</sub>. Selain itu dipantau juga suhu yang masuk maupun yang keluar dari *wet scrubber*.

### 3.5 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *Wet Scrubber* jenis *Co Current* dengan *single vakum venturi*. Gas yang keluar dari *Heat Exchanger* akan mengalir dan sebagian akan masuk ke pipa *venturi* akibat adanya perbedaan tekanan. Selanjutnya, udara yang bergabung dengan air akan masuk ke *wet scrubber* untuk dibersihkan dengan absorben berupa air PDAM yang nantinya akan ditampung di bak penampungan.

Alat dan Bahan yang digunakan :

#### 1. *Thermocouple*

*Thermocouple* digunakan untuk mengukur temperatur pada gas yang akan masuk ke kolom *scrubber*.



Gambar 3.3 *Thermocouple*

2. *Stopwatch* digunakan untuk menandai waktu running setiap percobaan.

3. *Gas Analyzer*

*Gas Analyzer* adalah peralatan instrumentasi yang digunakan untuk mengukur kandungan emisi dari insinerator dan gas luaran *scrubber*. *Gas analyzer* yang digunakan di sini adalah *Gas Analyzer* Sensonic type 1400 yang dapat mendeteksi O<sub>2</sub>, NO, CO dan SO<sub>2</sub>.



Gambar 3.4 *Gas Analyzer*

#### 4. *Flowmeter*

*Flowmeter* digunakan untuk mengukur laju aliran gas yang berasal dari pembakaran yang masuk ke pipa vakum venturi. *Flowmeter* yang digunakan adalah *Flowmeter* gas CO<sub>2</sub> dengan spesifikasi sbb:

Merk : Wipro TF 03K

*Input pressure* : 150 kg/cm<sup>2</sup>

Flow : 1-25 l/min

*Output Pressure*: 2-3,5 kg/cm<sup>2</sup>



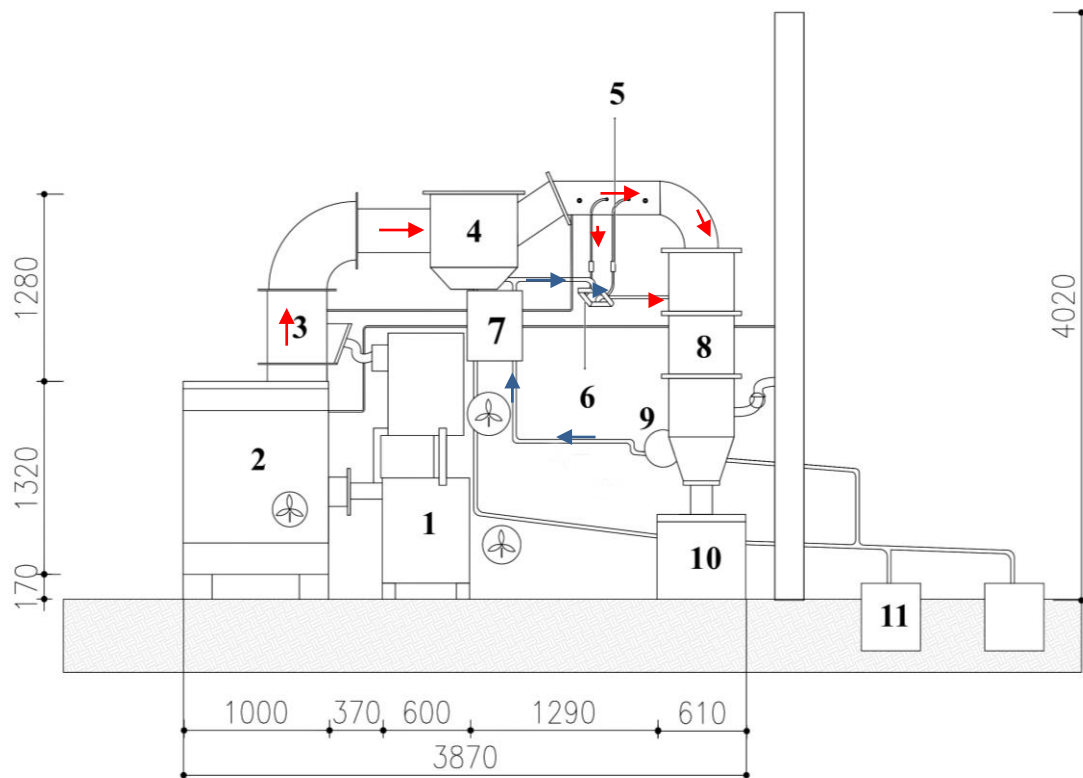
Gambar 3.5 *Air Flowmeter* gas CO<sub>2</sub>

### 3.6 Studi Pendahuluan

Untuk mengetahui berbagai nilai yang akan digunakan untuk penelitian ini maka, dilakukan uji pendahuluan terlebih dahulu. Beberapa nilai yang ingin diketahui pada uji pendahuluan adalah sebagai berikut:

1. Suhu dan waktu pembakaran
2. Debit (dilakukan untuk semua variasi), dilakukan dengan mengukur debit yang keluar dari *wet scrubber* dalam satuan l/min.
3. Kecepatan aliran gas (dilakukan untuk semua variasi), diukur dengan menggunakan *flowmeter* dengan satuan l/min.
4. Pengamatan *input* dan *output* emisi gas dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari pembakaran dan sebagai upaya untuk menjaga suhu pembakaran selalu konstan setiap kali dilakukan proses *running*.
5. Pengamatan pada *gas analyzer* untuk mengetahui pola kerja dari alat yang akan digunakan pengamatan.

### 3.7 Desain dan Proses *Wet Scrubber*



Gambar 3.6 Desain sistem *wet scrubber*



Keterangan gambar :

Kapasitas Pembakaran: 10 kg/jam sampah domestik

1. *Primary Burner*

Type : *Burner* bahan bakar sampah padat

BB : Potongan kayu, pelet plastik, pelet kayu

*Power supply*: AC 220V/250 Watt

*Brand* : Lathi Geni 2 *Burner*

Jumlah: 2 unit

2. *Primary chamber* : (Ruang)

Volume : 0,3 m<sup>3</sup>

Panjang : 800 mm

Tinggi : 1.000 mm

Lebar : 800 mm

Bahan shell : Mild steel 4 mm

Linning : Batu tahan api SK 34 & Keramik Fiber

Temp Kerja : 800 sd 1.000° C

3. *Secondary chamber*

4. *Heat exchanger*

5. *Flowmeter*

6. *Ventury Vacuum*/eduktor

7. *Thermocouple*

8. *Wet Scrubber*

9. Pompa air dengan daya 25 l/min

10. Bak penampungan air limbah

11. Tandon air

Pada proses insenerasi, limbah dimasukkan ke dalam ruang *primary burner* dimana sampah plastik akan dilakukan pembakaran dengan pemantik briket batok kelapa yang telah dipanaskan sebelumnya. Pada tahap *pre burner*, 30% massa akan tertinggal didalam tungku berupa material yang tidak habis terbakar serta abu endapan. Gas hasil pembakaran akan masuk melewati *primary chamber* untuk dibakar lagi dan selanjutnya masuk ke *secondary chamber*.

Dengan proses dua kali bakar ini maka gas-gas karbonisasi yang dihasilkan dari ruang bakar pertama akan habis dibakar pada ruang bakar kedua. Gas yang telah dibakar pada ruang bakar kedua akan diturunkan suhunya dengan melewati *heat exchanger*. Penurunan suhu dilakukan agar nantinya gas yang masuk kedalam *wet scrubber* dalam keadaan dingin sehingga tidak terjadi letupan gas akibat kontakannya gas panas dengan air *absorber*.

Gas yang selesai didinginkan akan melewati pipa gas utama untuk menuju *wet scrubber* dan sebagian lainnya akan tertarik melewati pipa vakum venturi untuk bercampur dengan air absorber sebelum memasuki *wet scrubber*. Tertariknya gas menuju vakum venturi ini akibat penerapan prinsip Bernoulli yang diaplikasikan. Saat fluida gas melewati pipa dengan penampang kecil, maka laju fluida akan bertambah. Berdasarkan prinsip Bernoulli, tekanan fluida di komponen pipa yang sempit lebih kecil bila laju aliran fluida lebih besar. Hal tersebut dikenal dengan nama efek venturi yang menunjukkan secara kuantitatif bahwa laju aliran fluida tinggi, maka tekanan fluida menjadi kecil. Tekanan pada leher venturi yang rendah dari tekanan lingkungan ini menjadi kunci dimana gas dapat masuk kedalam venturi melalui lubang mikro yang telah difabrikasi pada leher venturi.

Gas yang bercampur dengan air absorber akan bersama sama dialirkan menuju *nozzle spray* dan akan bergabung dengan gas yang melewati pipa gas utama. Didalam *wet scrubber*, terjadi kontak antara air dan gas dalam jangka waktu tertentu. Media *packing* akan menjadi area dimana kontak antara keduanya menjadi lebih maksimal sehingga diharapkan gas *output* yang akan dikeluarkan sudah terbebas dari polutan yang tidak diinginkan.

### **3.8 Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Fakultas Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan peralatan insinerator dan *wet scrubber* dengan variasi yang telah ditentukan.

2. Menggunakan alat pelindung diri sesuai kebutuhan
3. Memanaskan briket yang akan digunakan sebagai pemantik pembakaran hingga muncul bara api
4. Memasukkan plastik 1 kg ke dalam *primary chamber*. Komposisi plastik yang dibakar yaitu karung jenis PP
5. Mengatur *valve* pada pipa vakum venturi dan mengukur laju aliran gas dari burner dengan *flowmeter*
6. Mengatur *valve* dari pompa untuk mengukur debit air
7. Menyalakan *stopwatch* guna pengukuran waktu pembakaran
8. Mengukur suhu dengan *Thermocouple* serta emisi gas yang masuk dan keluar dari *wet scrubber* dengan menggunakan *Gas Analyzer*
9. Mencatat data yang dihasilkan dari percobaan setiap menit dimulai dari awal dimulainya proses pembakaran hingga selesai
10. Mengulang langkah 1 sampai 9 untuk setiap jenis variasi yang berbeda

### 3.9 Pengukuran Penelitian

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Gas Analyzer* pada *inlet* dan *outlet* wet scrubber sehingga dihasilkan 27 variasi penelitian sesuai dengan variabel yang telah ditentukan:

Tabel 3.1 Variasi Percobaan *Single* Vakum Venturi

Debit air (l/min)	Laju aliran gas (l/min)	Tebal media (cm)	Variasi
15	12	5	D15; V12; T5
	14		D15; V14; T5
	16		D15; V16; T5
	12	10	D15; V12; T10
	14		D15; V14; T10
	16		D15; V16; T10
	12	15	D15; V12; T15
	14		D15; V14; T15
	16		D15; V16; T15
20	12	5	D20; V12; T5
	14		D20; V14; T5
	16		D20; V16; T5
	12	10	D20; V12; T10

Tabel 3.1 (lanjutan) Variasi Percobaan *Single* Vakum Venturi

Debit air (l/min)	Laju aliran gas (l/min)	Tebal media (cm)	Variasi
20	14	10	D20; V14; T10
	16		D20; V16; T10
	12	15	D20; V12; T15
	14		D20; V14; T15
	16		D20; V16; T15
25	12	5	D25; V12; T5
	14		D25; V14; T5
	16		D25; V16; T5
	12	10	D25; V12; T10
	14		D25; V14; T10
	16		D25; V16; T10
	12	15	D25; V12; T15
	14		D25; V14; T15
	16		D25; V16; T15

Keterangan :

Variasi debit air:

- 25 l/min
- 15 l/min

Variasi laju aliran gas:

- Variasi 1 = 11-13 l/min (12 l/min)
- Variasi 2 = 13-15 l/min (14 l/min)
- Variasi 3 = 15-17 l/min (16 l/min)

Variasi tebal media :

- 5 cm
- 10 cm
- 15 cm

### 3.10 Analisis Data dan Pembahasan

Pengukuran yang dilakukan yaitu menguji kandungan emisi SO<sub>2</sub>, NO, dan CO yang masuk dan keluar dari *wet scrubber* dengan alat berupa *gas analyzer* serta temperatur yang memasuki *wet scrubber* dengan alat berupa *thermocouple*. Pengukuran emisi gas yang masuk dan keluar dari *wet scrubber* dilakukan. Pada *input scrubber* pengukuran dilakukan pada pipa penyalur sebelum masuk ke

dalam kolom *scrubber*. Pengukuran pada *input* dan *output scrubber* dilakukan setiap menit dimulai dari awal pembakaran hingga habis massa yang dibakar. Hasil data yang diperoleh akan dihitung nilai efisiensi untuk mengetahui penurunan emisi yang terjadi.

Efisiensi penyisihan polutan dapat dihitung dengan rumus : (Juan, 2005)

$$\eta = 1 - (Y_{out} / Y_{in}) \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi *Wet Scrubber*

$Y_{in}$  = Konsentrasi polutan *inlet*, ppm

$Y_{out}$  = Konsentrasi polutan *outlet*, ppm

Setelah dilakukan perhitungan efisiensi, dilakukan analisis hasil dengan menggunakan Statistik IBM SPSS 20 guna mengetahui hubungan antara variabel yang diteliti dengan efisiensi penurunan yang terjadi.

### **3.11 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis data penelitian serta pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan berisi jawaban atas rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya. Saran berisi masukan terhadap penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Saran juga dapat berisikan rekomendasi yang terkait untuk peningkatan efisiensi dan pengembangan penelitian yang terkait.

*halaman ini sengaja dikosongkan*

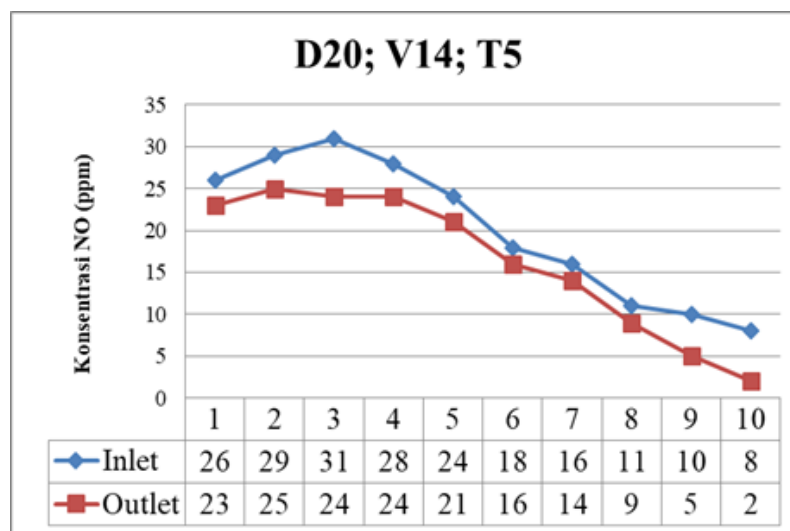
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Nilai Efisiensi Pada *Single Ventury Vacuum Wet Scrubber*

Penelitian dilakukan untuk mengetahui efisiensi *wet scrubber* dengan penambahan pipa venturi dalam menyisihkan emisi gas hasil pembakaran. Nilai emisi diambil dari gas inlet dan gas *outlet wet scrubber* selama 1 kg pembakaran karung plastik jenis PP berlangsung (10 menit). Data nilai emisi yang diperoleh akan di analisa dan dibahas sehingga akan mendapatkan nilai efisiensi tertinggi dari tiap variasi yang dilakukan. Penelitian dilakukan selama 27 kali percobaan dengan 3 variabel dan 3 variasi pada masing-masing variabel. Dilakukan dengan perlakuan yang sama disesuaikan dengan variasi yang diterapkan.

Kinerja dari *wet scrubber* dengan penambahan pipa vakum venturi dilihat dari nilai efisiensi yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai efisiensi yang dihasilkan akan semakin baik kinerja reaktor dalam mengurangi emisi gas hasil pembakaran. Penentuan nilai efisiensi didapatkan dari perhitungan sesuai persamaan 2.1 dengan hasil perhitungan dengan satuan persen (%). Pada gambar 4.1 adalah contoh grafik yang terbentuk antara nilai konsentrasi *inlet* dan *outlet* pada media dengan tebal 5 cm, debit air 20 l/min dan laju aliran gas pada venturi sebesar 14 l/min.



Gambar 4.1 Grafik konsentrasi *input* dan *output* pada debit 20 l/min, laju aliran gas 14 l/min dan tebal media 5 cm pada penyisihan gas NO

Dari grafik diatas dapat dicari nilai efisiensi untuk tiap menitnya untuk mengetahui berapa efisiensi removal yang dihasilkan. Berikut tabel perhitungan efisiensi untuk gas NO pada debit 20 l/min, aliran gas pada venturi 14 l/min dan tebal media 5 cm.

Tabel 4.1 Nilai efisiensi NO

Menit ke-	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	Efisiensi ( $1-(outlet/inlet)*100$ )
1	26	23	11,54
2	29	25	13,79
3	31	24	22,58
4	28	24	14,29
5	24	21	12,50
6	18	16	11,11
7	16	14	12,50
8	11	9	18,18
9	10	5	50,00
10	8	2	75,00

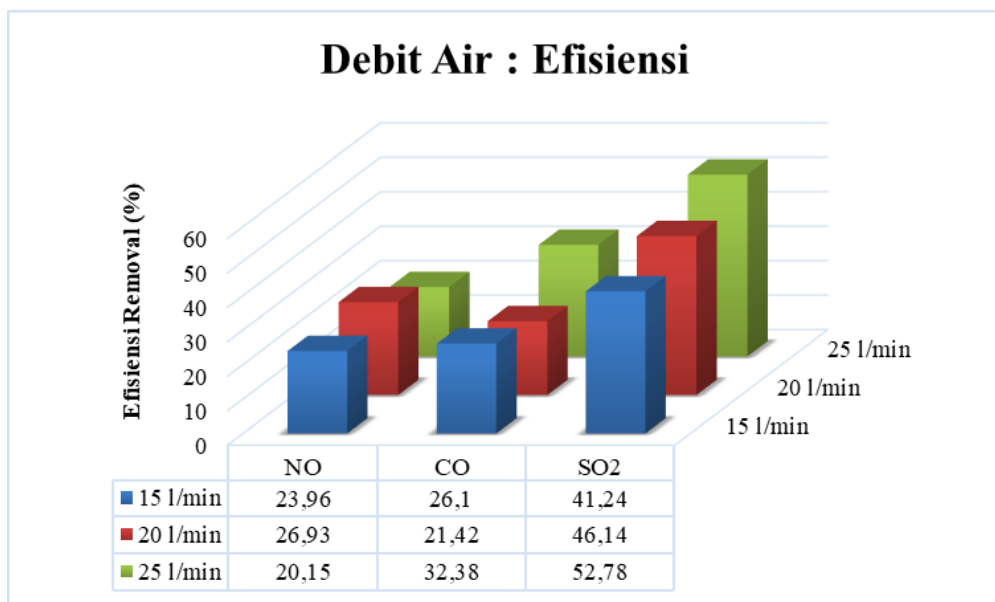
Hasil penelitian yang telah dilakukan menghasilkan 27 grafik untuk masing-masing emisi gas yang dapat dilihat pada Lampiran 4. Berdasarkan grafik tersebut, pola *inlet* fluktuatif dan tidak berpola. Hal ini bisa dikarenakan fluktuasi suhu pembakaran yang terjadi. Insinerasi merupakan suatu teknologi pengolahan limbah padat dengan cara membakar limbah pada temperatur tinggi yaitu pada suhu kurang lebih 800°C dengan tujuan untuk mereduksi sampah mudah terbakar (*combustible*) yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi, membunuh bakteri, virus dan kimia toksik. Sedangkan pada limbah B3 yaitu untuk mengurangi sifat-sifat berbahaya seperti racun dan radiasi. Insinerator dapat digunakan terhadap berbagai macam limbah organik, termasuk minyak, pelarut, bahan farmasi, dan pestisida (Latief, 2012).

Teori ini menggambarkan bahwa setidaknya suhu yang dibutuhkan untuk ruang bakar yang harus dipertahankan kurang lebih berkisar 800°C untuk mencapai pembakaran optimal. Namun, suhu yang didapatkan pada penelitian ini

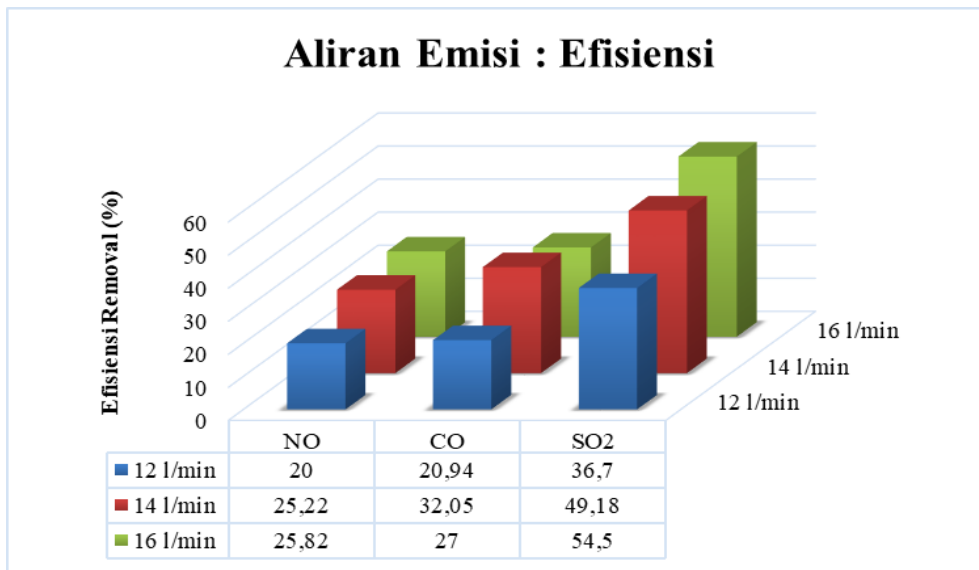


mengalami kondisi yang fluktuatif antara 700°C sd 900°C yang menyebabkan nilai emisi gas yang masuk kedalam *wet scrubber* juga mengalami kondisi fluktuatif. Selain itu, ketersediaan oksigen juga perlu diperhatikan untuk menghindari pembakaran yang tidak sempurna selama proses pembakaran. Mengingat alat yang digunakan masih tergolong baru dan perlu perbaikan pada titik tertentu untuk menghindari kebocoran emisi maupun oksigen sehingga tidak keluar ke lingkungan bebas pada saat proses pembakaran.

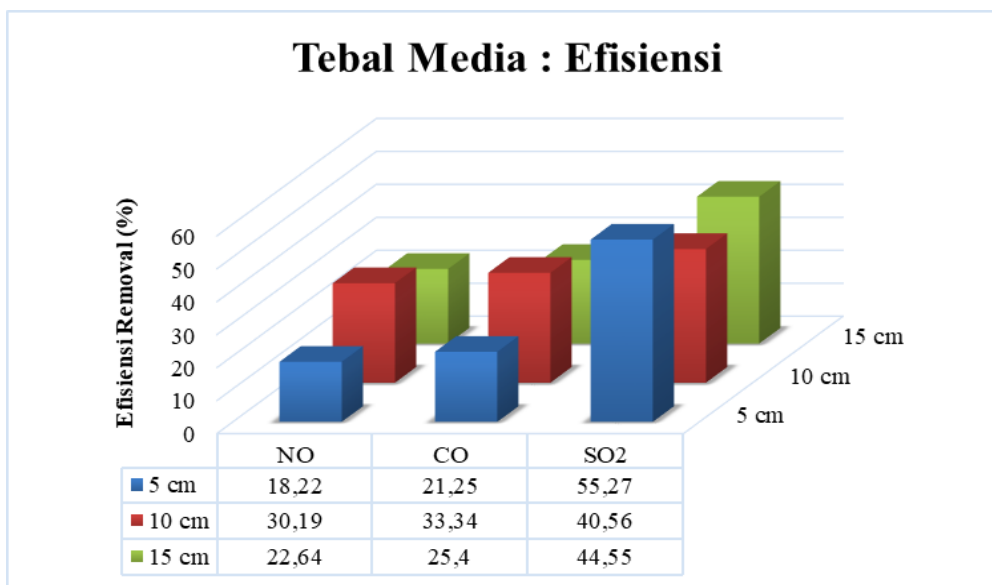
Keseluruhan grafik konsentrasi *inlet* dan *outlet* masing-masing variasi yang dilakukan terlampir pada lampiran 4. Dari masing-masing nilai *input* dan *output* hasil penelitian, dilakukan perhitungan terhadap nilai efisiensi pada masing-masing emisi gas yang dihasilkan oleh pembakaran plastik insenerator. Berikut adalah rata-rata efisiensi yang didapatkan dari keseluruhan proses penelitian yang dilakukan.



Gambar 4.2 Grafik debit air terhadap efisiensi removal emisi gas



Gambar 4.3 Grafik aliran emisi gas terhadap removal emisi gas

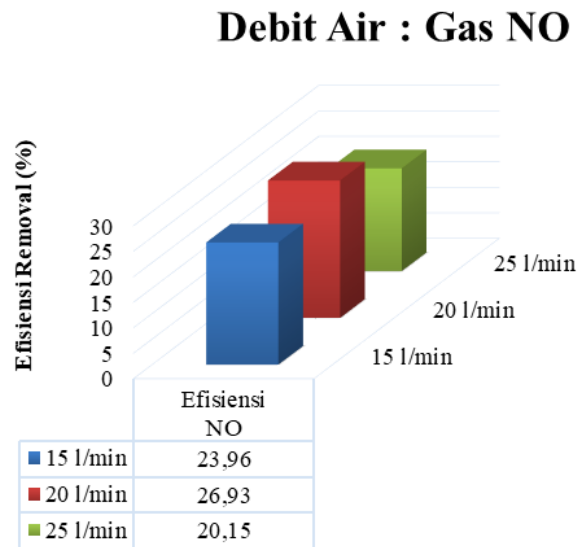


Gambar 4.4 Grafik aliran tebal media terhadap removal emisi gas

Berdasarkan hasil grafik diatas menunjukkan bahwa efisiensi removal tertinggi adalah penyisihan pada gas SO<sub>2</sub>. Hal ini dapat disebabkan karena tingginya kelarutan gas dalam air (11,28 g/100 g air) daripada gas CO dan NO (Kaye dan Laby, 1986). Nilai efisiensi untuk gas SO<sub>2</sub> mencapai 46,79% dimana hampir separuh emisi gas yang mampu dihilangkan oleh kinerja *wet scrubber* dengan penambahan pipa vakum venturi.

#### 4.1.1 Efisiensi gas NO terhadap Variabel

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 3 variabel yaitu debit air, aliran emisi gas yang masuk ke venturi dan tebal media. Masing-masing variabel menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda. Berikut pembahasan mengenai hasil perhitungan efisiensi untuk masing-masing variabel terhadap emisi gas yang diteliti. Nilai efisiensi untuk gas NO dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:



Gambar 4.5 Efisiensi removal gas NO terhadap variasi debit air

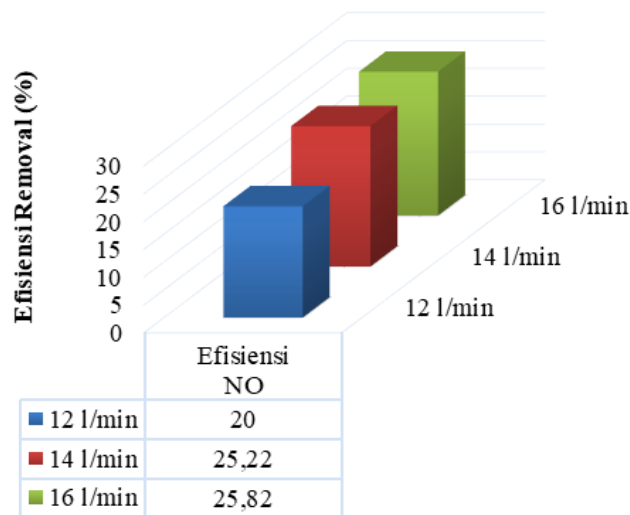
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa penyisihan gas NO pada debit 15 l/min memiliki efisiensi sebesar 23,96%, pada debit 20 l/min memiliki efisiensi sebesar 26,93% dan pada debit 25 l/min sebesar 20,15%. Nilai efisiensi pada debit 20 l/min memiliki nilai paling besar dibandingkan debit 15 dan 25 l/min. Berdasarkan prinsip kelarutan gas dalam air, gas NO memiliki nilai kelarutan 10,19 g/100 g air dimana semakin banyak absorben air yang digunakan maka akan semakin baik pula pada penyisihan emisinya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian dimana debit 20 l/min memiliki nilai efisiensi lebih tinggi daripada penyisihan dengan debit 15 l/min. Sedangkan, penyisihan emisi dengan debit 25 l/min yang secara teori seharusnya lebih baik memiliki nilai yang lebih sedikit dibandingkan debit 20 l/min.

Gas NO adalah gas yang umumnya akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pembakaran. Selain berasal dari hasil insenerasi, gas NO

dapat dihasilkan dari pemanasan ruang, pembakaran terbuka dan pembakaran proses. Suhu optimal yang baik untuk proses penyerapan gas pada *wet scrubber* berkisar antara 4 sampai 38°C (40 hingga 100°F) (EPA, 1996a). Dari teori diatas menunjukkan bahwa semakin panas suhu dalam ruang *wet scrubber* maka, potensi gas NO meningkat akan semakin tinggi. Selain itu, semakin tinggi suhu dalam ruang absorpsi maka penyerapan gas akan lebih sulit dilakukan.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, suhu yang masuk kedalam *wet scrubber* berkisar antara 100 sampai 250° C dimana, nilai ini masih sangat jauh jika dibandingkan dengan suhu optimum yang baik untuk proses absorpsi gas NO. Hal inilah yang bisa menjadi penyebab kurang efektifnya jumlah debit air yang digunakan dalam penyisihan gas NO pada penelitian yang dilakukan.

### Aliran Emisi : Gas NO



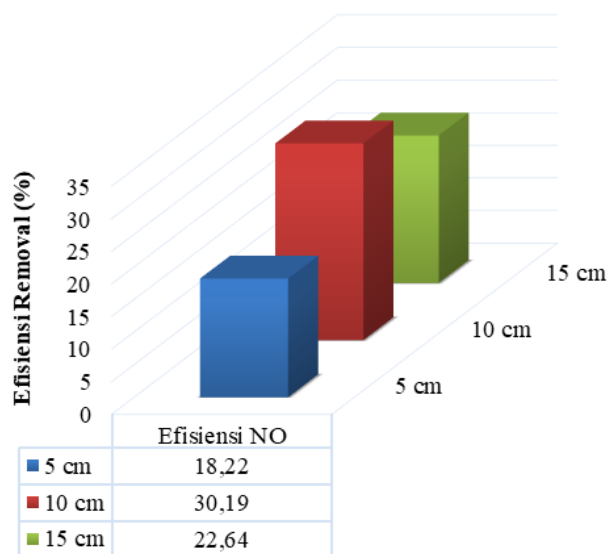
Gambar 4.6 Efisiensi removal gas NO terhadap variasi aliran emisi gas

Gambar 4.6 diatas menunjukkan bahwa laju aliran emisi gas yang masuk ke pipa vakum venturi menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda untuk masing-masing parameter. Untuk aliran gas 12 l/min menghasilkan nilai efisiensi 20%, aliran gas 14 l/min menghasilkan nilai efisiensi 25,22% dan untuk aliran gas 16 l/min menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yaitu 25,82%. Dari grafik diatas menggambarkan bahwa semakin tinggi nilai aliran emisi gas yang masuk ke pipa vakum venturi maka semakin tinggi pula nilai efisiensi yang didapatkan.

Nilai aliran emisi didapatkan dari pengecilan luas penampang pipa vakum venturi. Semakin kecil luas penampang yang digunakan akan semakin besar aliran gas yang masuk ke pipa dan semakin banyak pula emisi gas yang akan terabsorpsi oleh air didalam pipa vakum venturi. Hal ini sesuai dengan prinsip Bernoulli dimana besar tekanan hampa yang dihasilkan oleh venturi dipengaruhi oleh pertambahan kecepatan aliran akibat dari pengecilan penampang saluran (Takwim, 2018).

Selain itu, perbedaan diameter venturi dipengaruhi oleh pengaturan *valve* pada pipa reaktor yang akan menyebabkan kemampuan hisap gas untuk membantu penyisihan emisi gas. Diameter pipa venturi yang lebih besar akan membuat kecepatan udara yang masuk ke venturi rendah sehingga, gas akan sedikit terhisap. Sebaliknya, jika diameter pipa venturi semakin kecil maka kecepatan udara dalam venturi akan tinggi yang menyebabkan gas mudah terhisap (Herwendra, 2004).

### Tebal Media : Gas NO



Gambar 4.7 Efisiensi removal gas NO terhadap variasi aliran tebal media

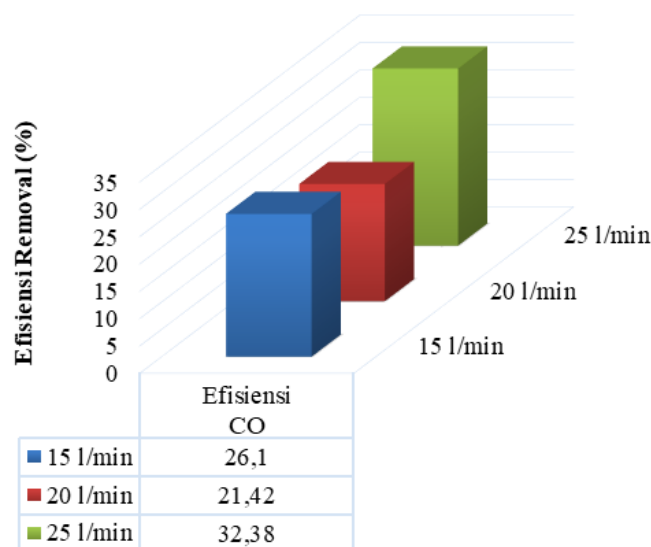
Hasil grafik dari nilai tebal media terhadap efisiensi gas NO menunjukkan bahwa semakin tebal media akan semakin tinggi efisiensi removal yang dihasilkan. Pada tebal media 5 cm memiliki nilai efisiensi 18,22%, pada tebal media 10 cm memiliki nilai efisiensi 30,19% dan pada tebal media 22,64%.

Ketebalan media merupakan salah satu hal yang mempengaruhi kinerja dari absorpsi. Ketebalan media yang lebih besar dapat membantu meningkatkan penyerapan dan dengan demikian dapat meningkatkan efisiensi dari *wet scrubber*. Dari hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa tebal media 10 cm memiliki nilai efisiensi yang lebih baik daripada tebal media 5 cm. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Suryaningtyas (2006) yang mengatakan bahwa efisiensi penyisihan polutan gas dipengaruhi oleh ketebalan media, dimana semakin tebal media yang digunakan maka akan memperbesar nilai efisiensi. Lain halnya dengan tebal media 15 cm yang memiliki nilai efisiensi menurun daripada tebal media 10 cm dimana berbanding terbalik dengan teori yang diacu. Sehingga, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penurunan emisi gas NO terhadap ketebalan media yang digunakan.

#### 4.1.2 Efisiensi gas CO terhadap Variabel

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 3 variabel yaitu debit air, aliran emisi gas yang masuk ke venturi dan tebal media. Masing-masing variabel menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda. Berikut pembahasan mengenai hasil perhitungan efisiensi untuk masing-masing variabel terhadap emisi gas yang diteliti. Nilai efisiensi untuk gas CO dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:

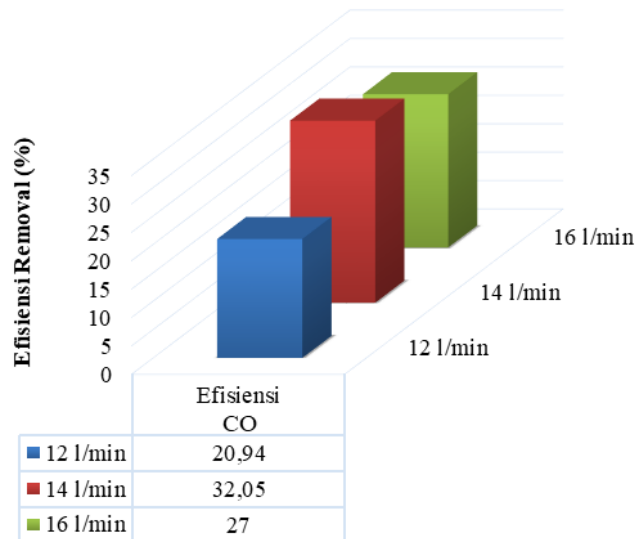
**Debit Air : Gas CO**



Gambar 4.8 Efisiensi removal gas CO terhadap variasi aliran debit air

Grafik diatas menunjukkan bahwa pada debit 25 l/min menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 32,38%. Berdasarkan prinsip kelarutan dalam air, gas CO memiliki nilai kelarutan lebih kecil daripada gas NO namun, hasil penelitian yang didapatkan bahwa efisiensi removal gas CO justru lebih tinggi daripada gas NO. Hal ini disebabkan bahwa penyisihan gas CO tidak terpengaruh dengan kenaikan suhu meskipun suhu mempengaruhi proses absorpsi. Lain halnya dengan gas NO dimana semakin meningkatnya suhu pada *wet scrubber* akan semakin meningkat pula konsentrasi gas NO. Sama seperti gas lain, semakin tinggi debit air maka akan semakin baik pula proses removal yang terjadi.

### Aliran Emisi : Gas CO

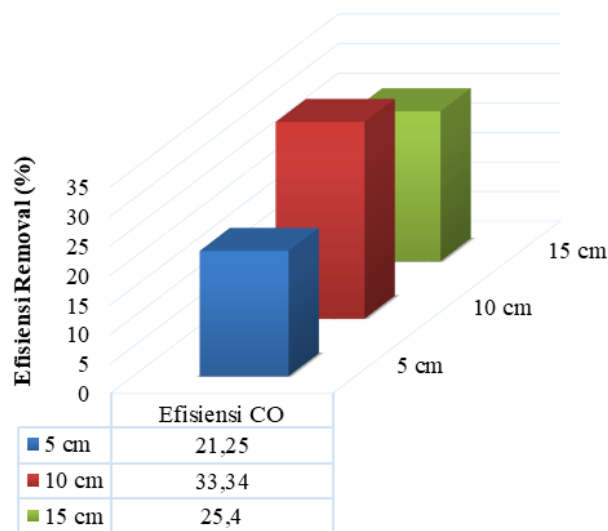


Gambar 4.9 Efisiensi removal gas CO terhadap variasi aliran emisi

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa dengan aliran emisi gas yang masuk ke pipa vakum venturi sebesar 12 l/min menghasilkan nilai efisiensi 20,94%, aliran emisi gas 14 l/min menghasilkan efisiensi 32,05% dan aliran emisi gas 16 l/min menghasilkan efisiensi 27%. Aliran emisi dengan nilai 14 l/min merupakan variabel yang menghasilkan nilai efisiensi tertinggi. Hal ini berbanding terbalik dengan prinsip dimana semakin besar nilai aliran emisi gas maka semakin baik pula efisiensi removal yang dihasilkan. Ketidak sesuaian ini bisa diakibatkan oleh beberapa faktor yang perlu diteliti lebih lanjut mengenai penyebab utama terjadinya kasus seperti ini.

Pada prinsipnya pada pipa vakum venturi, untuk menghasilkan kondisi vakum dibutuhkan aliran fluida cair yang digerakkan oleh pompa sentrifugal melewati saluran venturi. Besarnya tekanan hampa yang dihasilkan oleh venturi dipengaruhi oleh pertambahan kecepatan aliran akibat pengecilan penampang saluran yang mengikuti prinsip Bernoulli. Kecepatan aliran pada saluran dipengaruhi oleh debit yang dihasilkan oleh pompa yang mengikuti hukum kontinuitas. Selain kecepatan, tekanan input saluran juga merupakan variabel yang mempengaruhi tekanan vakum venturi (Takwim, 2018). Pompa sentrifugal dengan daya hisap 25 l/min terkadang tidak stabil dalam penarikan air absorben dari tabung reservoir sehingga, nilai aliran emisi gas menjadi fluktuatif seiring proses terjadi.

### Tebal Media : Gas CO



Gambar 4.10 Efisiensi removal gas NO terhadap variasi aliran tebal media

Grafik pada gambar diatas menunjukkan bahwa tebal media 5 cm menghasilkan nilai efisiensi 21,25%, tebal media 10 cm menghasilkan nilai efisiensi 33,34% dan tebal media 15 cm menghasilkan nilai efisiensi 25,40%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ain (2019), semakin tebal media yang digunakan maka akan semakin tinggi nilai efisiensi removal yang dihasilkan. Hal ini kurang sesuai terhadap hasil penelitian yang dilakukan dimana, seharusnya tebal media 15 cm merupakan tebal yang memiliki nilai efisiensi paling tinggi

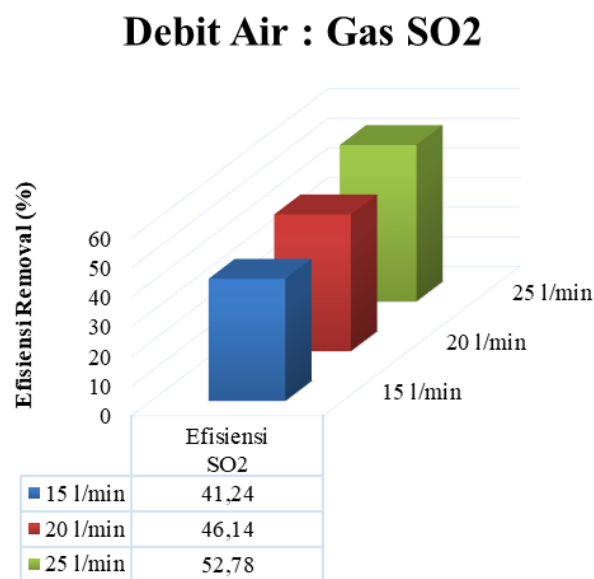


diantara yang lainnya. Namun, hasil penelitian menyatakan bahwa tebal media 10 cm merupakan tebal media dengan nilai efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 33,34%.

Penggunaan media *resching ring* dengan panjang 4 cm disusun secara acak ketika dimasukkan kedalam *wet scrubber*. Penyusunan seperti ini dilakukan dengan pertimbangan bahwasanya luasan reaktor *wet scrubber* yang cukup besar serta mulut reaktor sebagai jalan masuknya media cukup sempit sehingga akan sulit dilakukan jika media disusun secara rapi. Kekurangan dari metode ini adalah tidak ratanya penyebaran media pada *wet scrubber* jika dimasukkan dengan tidak baik. Akibatnya, luasan kontak yang seharusnya menjadi salah satu faktor yang membuat proses absorpsi berjalan maksimal akan terganggu. Hal ini bisa menjadi salah satu penyebab mengapa tebal media menghasilkan nilai efisiensi secara fluktuatif.

#### 4.1.3 Efisiensi gas SO<sub>2</sub> terhadap Variabel

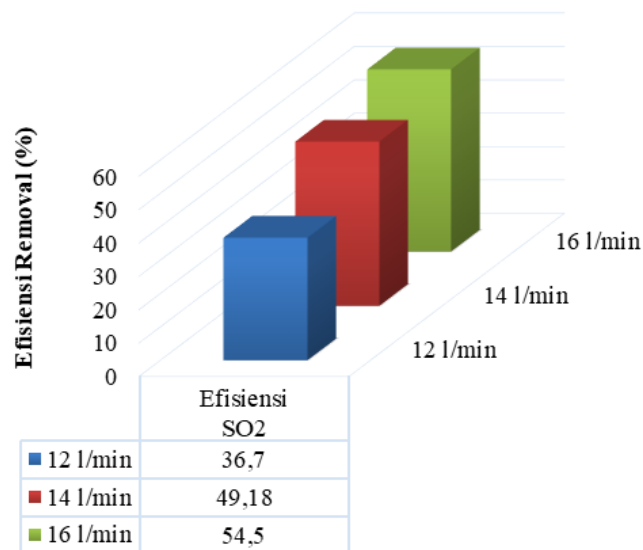
Penelitian dilakukan dengan menggunakan 3 variabel yaitu debit air, aliran emisi gas yang masuk ke venturi dan tebal media. Masing-masing variabel menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda. Berikut pembahasan mengenai hasil perhitungan efisiensi untuk masing-masing variabel terhadap emisi gas yang diteliti. Berikut nilai efisiensi untuk gas SO<sub>2</sub>:



Gambar 4.11 Efisiensi removal gas SO<sub>2</sub> terhadap variasi aliran debit air

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa pada debit 15 l/min menghasilkan efisiensi removal emisi gas SO<sub>2</sub> sebesar 41,24%, pada debit air 20 l/min menghasilkan efisiensi removal emisi gas SO<sub>2</sub> sebesar 46,14% dan dengan debit 25 l/min menghasilkan efisiensi removal emisi gas SO<sub>2</sub> sebesar 52,78%. Seiring dengan pertambahan nilai debit air yang digunakan maka semakin tinggi pula efisiensi removal yang didapatkan. Hal ini terlihat dari gambar diatas bahwa debit paling tinggi yaitu 25 l/min menghasilkan efisiensi tertinggi diantara nilai debit yang lainnya. Sesuai dengan prinsip kelarutan gas dalam air menurut Kaye dan Laby (1986) menyatakan bahwa SO<sub>2</sub> memiliki kelarutan yang cukup tinggi yaitu 11.28 g/100 g air. Sehingga, semakin banyak absorben yang digunakan untuk menghilangkan gas akan semakin mudah dilarutkan.

### Aliran Emisi : Gas SO<sub>2</sub>



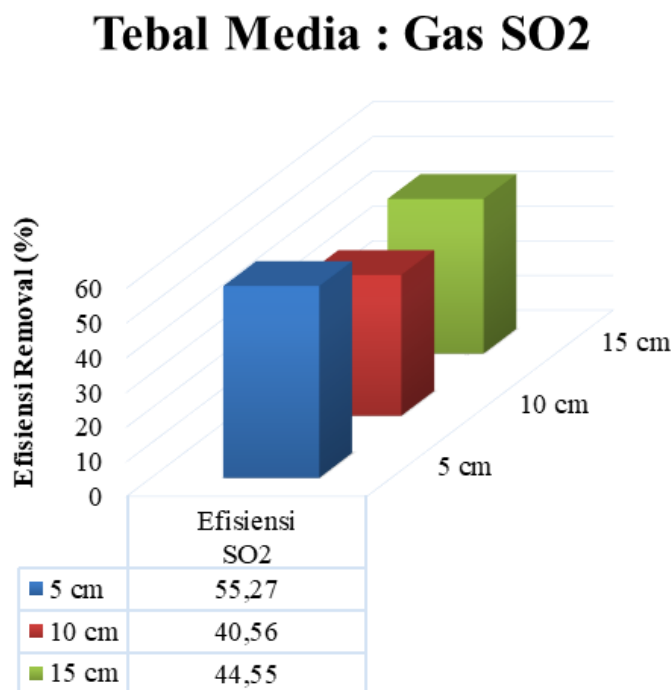
Gambar 4.12 Efisiensi removal gas SO terhadap variasi aliran aliran emisi gas

Gambar 4.11 diatas menunjukkan bahwa laju aliran emisi gas yang masuk ke pipa vakum venturi menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda untuk masing-masing parameter. Untuk aliran gas 12 l/min menghasilkan nilai efisiensi 36,70%, aliran gas 14 l/min menghasilkan nilai efisiensi 49,18% dan untuk aliran gas 16 l/min menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yaitu 54,50%. Dari grafik diatas

menggambarkan bahwa semakin tinggi nilai aliran emisi gas yang masuk ke pipa vakum venturi maka semakin tinggi pula nilai efisiensi yang didapatkan.

Nilai aliran emisi didapatkan dari pengecilan luas penampang pipa vakum venturi. Semakin kecil luas penampang yang digunakan akan semakin besar aliran gas yang masuk ke pipa dan semakin banyak pula emisi gas yang akan terabsorpsi oleh air didalam pipa vakum venturi. Hal ini sesuai dengan prinsip Bernoulli dimana besar tekanan hampa yang dihasilkan oleh venturi dipengaruhi oleh pertambahan kecepatan aliran akibat dari pengecilan penampang saluran (Takwim . 2018).

Selain itu, perbedaan diameter venturi dipengaruhi oleh pengaturan *valve* pada pipa reaktor yang akan menyebabkan kemampuan hisap gas untuk membantu penyisihan emisi gas. Diameter pipa venturi yang lebih besar akan membuat kecepatan udara yang masuk ke venturi rendah sehingga, gas akan sedikit terhisap. Sebaliknya, jika diameter pipa venturi semakin kecil maka kecepatan udara dalam venturi akan tinggi yang menyebabkan gas mudah terhisap (Herwendra, 2004).



Gambar 4.13 Efisiensi removal gas SO terhadap variasi aliran tebal media

Hasil grafik pada gambar diatas menunjukkan bahwa tebal media 5 cm menghasilkan nilai efisiensi 55,27%, tebal media 10 cm menghasilkan nilai efisiensi 40,56% dan tebal media 15 cm menghasilkan nilai efisiensi 44,55%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ain (2019), semakin tebal media yang digunakan maka akan semakin tinggi nilai efisiensi removal yang dihasilkan. Hal ini kurang sesuai terhadap hasil penelitian yang dilakukan dimana, seharusnya tebal media 15 cm merupakan tebal yang memiliki nilai efisiensi paling tinggi diantara yang lainnya. Namun, hasil penelitian menyatakan bahwa tebal media 5 cm merupakan tebal media dengan nilai efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 55.27%. Sehingga, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyebab terjadinya ketodasesuaian hasil penelitian dengan teori.

Untuk mengetahui apakah kinerja *wet scrubber* dengan pipa vakum venturi sudah bekerja dengan baik, perlu dibandingkan antara emisi yang dilepaskan ke lingkungan dengan standard baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 70 tahun 2016 mengenai baku mutu emisi usaha atau kegiatan pengolahan sampah secara termal. Sebelum dibandingkan, perlu disamakan antara satuan pembanding dengan satuan yang akan dibandingkan. Untuk nilai emisi hasil penelitian menggunakan satuan ppm sedangkan baku mutu pemerintah menggunakan satuan mg/Nm<sup>3</sup>. Sehingga, semua satuan akan disamakan menjadi ppm.

Contoh perhitungan konversi satuan dari mg/Nm<sup>3</sup> menjadi ppm pada baku mutu emisi gas adalah:

$$(\text{mg/Nm}^3) * (22,4 : \text{Molecular Weight}) = \text{ppm}.....(4.1)$$

Emisi gas NO

$$(470 \text{ mg/Nm}^3) * (22,4 : 30,01 \text{ gr/mol}) = 350,81 \text{ ppm}$$

Emisi gas CO

$$(625 \text{ mg/Nm}^3) * (22,4 : 28,01 \text{ gr/mol}) = 499,8 \text{ ppm}$$

Emisi gas SO<sub>2</sub>

$$(210 \text{ mg/Nm}^3) * (22,4 : 64,06 \text{ gr/mol}) = 73,4 \text{ ppm}$$

*Molecular Weight* NO: 30,01 gr/mol

*Molecular Weight* CO: 28,01 gr/mol

*Molecular Weight* SO<sub>2</sub>: 64,06 gr/mol

Tabel 4.2 Perbandingan output *wet scrubber* dengan baku mutu

Nilai Outlet dengan Baku Mutu			
Parameter	Variasi	Output (ppm)	Baku Mutu (ppm)
NO	D15;V12;T5	21.10	350.81
	D20;V14;T10	33.2	
	D25;V16;T15	19.7	
CO	D15;V12;T5	577.3	499.8
	D20;V14;T10	655.7	
	D25;V16;T15	901.9	
SO <sub>2</sub>	D15;V12;T5	237	73.4
	D20;V14;T10	272.2	
	D25;V16;T15	95.4	

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa nilai *output* emisi gas setelah melewati proses *wet scrubber* dengan pipa vakum venturi beberapa masih melebihi baku mutu yang disyaratkan oleh Pemerintah Lingkungan Hidup. Hal ini menunjukkan bahwa masih perlunya dilakukan perbaikan-perbaikan untuk meningkatkan efisiensi reaktor. Sehingga, diharapkan kedepannya reaktor mampu mengurangi nilai emisi yang keluar ke lingkungan dengan maksimal. Untuk meningkatkan kinerja reaktor ada beberapa hal yang dapat dilakukan yaitu:

1. Menambah ukuran butir (*droplet size*)

Pengaturan *nozzle spray* dengan menghasilkan butiran air yang lebih kecil dan area permukaan yang lebih besar akan meningkatkan tumbukan antara absorbat dengan air sehingga meningkatkan penyisihan. Selain itu, dapat juga dilakukan dengan meningkatkan jumlah air yang akan disemprotkan untuk proses penyisihan absorbat (Flynn, 1976).

2. Menyediakan daerah kontak (*interface*) yang luas untuk memperbesar permukaan kontak antara liquid dengan gas. Hal ini dapat dicapai dengan cara memilih media packed yang memiliki luasan kontak yang besar (Ain, 2019).

3. Menambah absorben dengan kelarutan yang lebih tinggi seperti  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

#### 4.2 Pengaruh Variabel Terhadap Efisiensi

Variabel-variabel penelitian (kecepatan aliran gas pada pipa vakum venturi, debit air dan tebal media) dianalisis pengaruhnya terhadap efisiensi penyerapan gas  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$  dan  $\text{SO}_2$  dengan metode statistik *One-way* Anova. Terdapat 27 perlakuan percobaan yang dilakukan dimana setiap perlakuan dilakukan pengamatan selama 10 menit dengan pengambilan data pada *inlet* dan *outlet* reaktor di setiap menit. Uji statistik yang dilakukan menggunakan tingkat keyakinan ( $\alpha$ ) sebesar 10%.

Langkah awal sebelum menguji pengaruh dengan bantuan SPSS adalah menentukan hipotesis awal. Dilanjutkan dengan menguji pengaruh dan diakhiri dengan menyimpulkan hasil uji sesuai dengan pengambilan keputusan pada Uji statistik Anova. Uji statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel kecepatan aliran gas pada venturi, debit air dan tebal media terhadap efisiensi. Efisiensi yang akan diuji yaitu efisiensi pada penyisihan emisi gas  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$  dan  $\text{SO}_2$ . Selanjutnya, dilakukan uji pengaruh dengan bantuan IBM SPSS 20 dengan uji *one-way* Anova. Hasil Uji dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Uji Pengaruh *One Way* Anova

Debit Air		Tebal Media		Kec.Aliran Gas				
15 l/min	NO: 0.107 CO: 0.013 SO <sub>2</sub> : 0.001	5 cm	T1	NO: 0.028 CO: 0.028 SO <sub>2</sub> : 0.009	12 l/min	V1	NO: 0.391	
					14 l/min		CO: 0.083	
					16 l/min		SO <sub>2</sub> : 0.000	
					10 cm	12 l/min	V2	NO: 0.040
						14 l/min		CO: 0.035
						16 l/min		SO <sub>2</sub> : 0.001
					15 cm	12 l/min	V3	NO: 0.720
								CO: 0.058
								SO <sub>2</sub> : 0.058

Tabel 4.3 (lanjutan) Hasil Uji Pengaruh *One Way* Anova

Debit Air		Tebal Media			Kec.Aliran Gas		
20 l/min	NO: 0.107 CO: 0.013 SO <sub>2</sub> : 0.001	5 cm	T2	NO: 0.309 CO: 0.000 SO <sub>2</sub> : 0.594	12 l/min	V4	NO: 0.835
					14 l/min		CO: 0.180
					16 l/min		SO <sub>2</sub> : 0.000
		10 cm			12 l/min	V5	NO: 0.133
					14 l/min		CO: 0.055
					16 l/min		SO <sub>2</sub> : 0.003
		15 cm			12 l/min	V6	NO: 0.557
					14 l/min		CO: 0.070
					16 l/min		SO <sub>2</sub> : 0.002
25 l/min	NO: 0.000 CO: 0.225 SO <sub>2</sub> : 0.000	5 cm	T3	NO: 0.000 CO: 0.225 SO <sub>2</sub> : 0.000	12 l/min	V7	NO: 0.140
					14 l/min		CO: 0.043
					16 l/min		SO <sub>2</sub> : 0.016
		10 cm			12 l/min	V8	NO: 0.288
					14 l/min		CO: 0.007
					16 l/min		SO <sub>2</sub> : 0.004
		15 cm			12 l/min	V9	NO: 0.000 CO: 0.013 SO <sub>2</sub> : 0.168

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa, hasil uji *One-Way* Anova memiliki nilai beragam dari masing-masing variabel yang telah diuji. Untuk variabel debit air menunjukkan bahwa nilai *significant* untuk emisi gas NO: 0.107, CO: 0.013 dan SO<sub>2</sub>: 0.001 dimana, dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh antara debit air terhadap penyisihan gas CO dan SO<sub>2</sub> yang ditandai dengan nilai sig < 0.10. Sedangkan debit air tidak berpengaruh terhadap penyisihan gas NO ditandai dengan dengan nilai *significant* > 0.10. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa semakin banyak debit air yang digunakan maka semakin baik pula untuk penyerapan emisi gas untuk gas yang memiliki tingkat kelarutan gas terhadap air tinggi. Variasi absorben perlu dilakukan disesuaikan dengan emisi gas apa yang ingin dihilangkan sehingga efisiensi removal akan lebih optimal sehingga tidak akan mencemari lingkungan jika dilepaskan.

Pada variabel Tebal Media, menunjukkan bahwa tebal media pada saat debit air 15 l/min berpengaruh terhadap penyisihan gas CO dan SO<sub>2</sub>, tebal media pada saat debit air 20 l/min berpengaruh terhadap penyisihan gas CO. Sedangkan tebal media pada saat debit air 25 l/min berpengaruh terhadap penyisihan gas NO

dan SO<sub>2</sub>. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tebal media yang digunakan akan semakin luas permukaan kontak antara absorben dengan absorber sehingga penyerapan emisi gas akan semakin baik.

Pada variabel kecepatan aliran gas pada venturi, menunjukkan bahwa variabel aliran venturi tidak berpengaruh terhadap penyisihan gas NO berdasarkan nilai *significant*>0,10. Sedangkan aliran venturi berpengaruh terhadap penyisihan gas CO dan SO<sub>2</sub> berdasarkan nilai *significant*<0,10. Semakin kecil penampang pipa vakum venturi maka akan semakin besar emisi gas yang akan tertarik untuk masuk menuju pipa sehingga, semakin banyak pula emisi gas yang akan bergabung dengan absorben air sebelum nantinya masuk bersama-sama menuju *wet scrubber*.

Penyisihan gas SO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh besarnya debit air dan kecepatan aliran gas pada venturi dimana, hal ini sesuai dengan prinsip kelarutan gas yang ditandai dengan tingginya kelarutas gas SO<sub>2</sub> dalam air sebesar 11.28 gr/100 gr air. Aliran debit air yang tidak berpengaruh terhadap penyisihan gas NO bertolak belakang dengan prinsip kelarutan air dimana, gas NO memiliki kelarutan hampir sama dengan SO<sub>2</sub> sebesar 10.19 gr/100 gr air. Hal ini perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui penyebab pasti adanya ketidak sesuaian yang terjadi.

Berikut adalah contoh hasil keluaran uji Anova IBM SPSS 20 :

(a)

V1_EFF_NO					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1439.648	2	719.824	.971	.391
Within Groups	20013.414	27	741.238		
Total	21453.063	29			

(b)

V1_EFF_CO					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2082.285	2	1041.143	2.737	.083
Within Groups	10270.234	27	380.379		
Total	12352.519	29			

Gambar 4.14 Contoh hasil keluaran hasil uji *one way* Anova (a) aliran emisi gas V1 dengan Efisiensi NO, (b) aliran emisi gas V1 dengan Efisiensi CO



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Pada variasi debit air, nilai tertinggi pada debit 20 l/min mampu menyisihkan gas NO 26,93% dan pada debit 25 l/min mampu menyisihkan gas CO 32,38% dan SO<sub>2</sub> 52,78%. Semakin tinggi nilai debit air yang digunakan akan semakin tinggi efisiensi penyisihan yang didapatkan.
2. Pada variasi tebal media, efisiensi tertinggi pada tebal 10 cm untuk menyisihkan gas NO sebesar 30,19% dan gas CO sebesar 33,34% serta tebal 5 cm mampu menyisihkan gas SO<sub>2</sub> sebesar 55,27%. . . Semakin tebal media yang digunakan akan memperbesar luasan kontak antara absorben dengan absorber sehingga efisiensi akan semakin tinggi pula.
3. Pada variasi laju aliran gas, nilai tertinggi pada laju 16 l/min mampu menyisihkan gas NO sebesar 25,82% dan gas SO<sub>2</sub> 54,50% serta laju 14 l/min mampu menyisihkan gas CO sebesar 32,05%. Semakin tinggi laju aliran emisi yang digunakan akan semakin tinggi pula nilai efisiensi yang didapatkan.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk dapat meningkatkan performa *wet scrubber* adalah dengan melakukan percobaan dengan menutup aliran pipa vakum venturi untuk membandingkan sistem *wet scrubber* dengan tanpa bantuan vakum venturi.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., Jain, K. (2016). *An Experimental Study of Parameters of Wet Scrubber for Environmental Benefit*. International Journal Vol. 5, Issue 6, June 2016.
- Ain, Q. (2019). Penurunan Kandungan Emisi Insenerator Sampah Plastik Non-Reusable Menggunakan *Two Stage Packing Scrubber*. Thesis Teknik Lingkungan, ITS Surabaya.
- Anuar, D.S., Abnisa, F., Daud, W., Aorua, K. (2017). *Energy Recovery from Pyrolysis of Plastic Waste : Study on Non Recycled Plastic (NRP) Data as The Real Measure of Plastic Waste*. Energy Conversion and Management 148. 925-934.
- Avallone, (1996). *Standard Handbook for Mechanical Engineers*, edited by Eugene Avallone and Theodore Baumeister, 10th Edition, McGraw-Hill, New York, NY, 1996.
- Bamford and Morris. (2019). *Eductor Principle for Liquids, Solids, Slurries and Gases*.
- Barbour, W., et al. (1995). *SO<sub>2</sub> and Acid Gas Control: Chapter 1, Wet Scrubber for Acid Gas*. EPA/452/B-02-001.
- BEX. (2016). *Eductor Operating Principle*. Diakses pada tanggal 15 Agustus melalui situs BEX.COM
- Bhave. A., Vyas. D and Patel. J. A. (2008). *Wet Packed Bed Scrubber-Based Producer Gas Cooling–Cleaning System*, Renewable Energy, vol. 33, no. 7, pp. 1716-1720, 2008.
- BPS, (2018). Statistik Lingkungan Hidup, Katalog 3305001 tentang Pengelolaan Sampah di Indonesia.
- Cooper, C.D., Alley, F.C. (1994). *Air Pollution Control-A Design Approach* 2nd Edition. Wavalend Press, Prospect Heights.
- EPA, (1982). U.S. EPA, *Office of Research and Development*, “Control Techniques for Particulate Emissions from Stationary Sources – Volume 1,” EPA-450/3-81-005a, Research Triangle Park, NC, September, 1982.
- EPA, (1996)a. U.S. EPA, *Office of Air Quality Planning and Standards*, “OAQPS Control Cost Manual,” Fifth Edition, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC February, 1996.

- EPA, (1998). U.S. EPA, *Office of Air Quality Planning and Standards*, “*Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter*,” EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC, October, 1998.
- Flynn, (1976). *Wet Gas Scrubbing*, Chapter 41. The Nalco Water Handbook.
- Franchini, M., Rial, M., Buiatti, E., Bianchi, F. (2004). *Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies*. *Istituto di Fisiologia Clinica* 40(1):101-115.
- Herwendra, F. (2004). Pengaruh Modifikasi Diameter Venturi Karburator Terhadap Putaran Mesin Pada Sepeda Motor Yamaha F1 Zr tahun 2001. UNS Surakarta.
- Jafari, Mohammad Javad., Omid, Leila., Azari, Mansour Rezazadeh., Nejad, Mohammad Reza Massoudi., Namdari, Mahshid., “*Rasching Rings Versus PVC as a Packed Tower Scrubbing Ammonium from air*”, *Iranica Journal of Energy & Environment* 5 (3): 270-276, 2014.
- Juan, Y.L. (2005). Dissertation: *Evaluation of Wet Scrubber Systems*. University of Southern Queensland.
- Joseph, Gerald T. Beachler, David S, (1998), “*Scrubber Systems Operation Review Self-Instructional Manual APTI Course SI:412C Second Edition*”, North Carolina State University, United States of America.
- Kaye, G.W.C. and Laby, T.H. (1986). *Tables of Physical and Chemical Constants 15th ed.* Longman, New York.
- Latief, A.S. (2012), “Manfaat Dan Dampak Penggunaan Insinerator Terhadap Lingkungan” Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang,. *Jurnal Teknis* Vol. 05 : 20-22 Semarang.
- Lo. Y. (2011). *Removal of Particulates from Emissions of Joss Paper Furnaces, Aerosol and Air Quality Research*, pp. 429 - 436, 2011.
- Ondov. J., Ragaini. R and Biermann. A. (1979). *Elemental Emissions from a Coal-Fired Power Plant. Comparison of a Venturi Wet Scrubber System with a Cold-Side Electrostatic Precipitator*. *Environmental Science & Technology*, vol. 13, no. 05, pp. 598 - 607, 1979.
- Peraturan Pemerintah No 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

- Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 70 tahun 2016 tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal.
- Pillai, K.C., Chung, S.J., Raju, T., Moon, I.S. (2009). “*Experimental Aspect Of Combined NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> Removal From Flue-Gas Mixture In An Integrated Wet Scrubber-Electrochemical Cell System*”. *Chemosphere Journal*, 76:657-664.
- Pohan, Nur. (2002). Pencemaran Udara dan Hujan Asam. Fakultas Teknik, Fakultas Teknik Kimia, Jurnal Universitas Sumatera Utara.
- Prasetyadi., Wiharja., Wahyono, Sri (2018). Teknologi Penanganan Emisi Gas Dari Insenerator Sampah Kota. Pusat Teknologi Lingkungan (PTL) BPPT, Banten.
- Prisanto, D.K. (2006). “Pengaruh Jenis Bahan Bakar Minyak Dan Ukuran Media Packing Terhadap Ph Air Sebagai Absorben Gas Emisi Dalam Wet Scrubber”. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Reed, B. (1988). *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*.
- Rennels, D., Hudson, H. (2012). *A Practical and Comprehensive Guide: Pipe Flow*.
- Suryaningtyas, N. (2006). “Studi untuk Kerja *Wet Scrubber* Untuk Penyisihan Gas SO<sub>x</sub> dan Pengaruhnya terhadap Nilai pH Absorbent”. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Quina, M.J., Bordado, J.C.M., Quinta Ferreira, R.M. (2008). *Air Pollution Control in Municipal Solid Waste Incinerators*. Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Takwim, A., Witono. (2018). Analisis Unjuk Kerja Venturi Vakum dengan Variasi Dimensi dan Viskositas Fluida. *Jurnal Vol 19. 01, 2018. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang*.
- Tela, B., Ngala, G., Abubakar, A. (2014). *Separation of Gas Particle Using Venturi-Type Wet Scrubber in Ashaka Cement Factory PLC*. Volume 2, Issue 6, November-December, 2014, pp. 91-98.
- Thaariq, J. (2019). Kajian Pembakaran Low Emission dan Low Energy Pada Sistem Insenerasi Sampah Plastik Unusable. Tesis Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.
- Trihadiningrum, Y. (2006). *Reduction potential of domestic solid waste in Surabaya City, Indonesia*. Proceedings, The 4<sup>th</sup> International Symposium on Sustainable Sanitation, Bandung, 4-6 September 2006. ISBN 979-26-2496-1

Trihadiningrum, Yulinah, (2016), "Pengolahan Limbah Bahan Bahaya dan Beracun (B3)", Edisi Pertama, Teknosain, Yogyakarta.

LAMPIRAN 1

TABEL HASIL PENGUKURAN EMISI GAS

Debit Air: 15 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η SO <sub>2</sub> (%)
5 cm	12	15	14	6.67	1178	1098	6.79	366	356	2.73
		2	1	50.00	987	890	9.83	238	235	1.26
		18	2	88.89	669	574	14.20	411	313	23.84
		30	27	10.00	209	41	80.38	209	175	16.27
		20	16	20.00	35	30	14.29	903	763	15.50
		22	8	63.64	229	126	44.98	223	197	11.66
		35	30	14.29	296	223	24.66	136	109	19.85
		38	37	2.63	2589	2487	3.94	94	90	4.26
		40	39	2.50	160	156	2.50	79	71	10.13
	41	37	9.76	180	148	17.78	71	61	14.08	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>26.10</b>	<b>21.10</b>	<b>19.16</b>	<b>653.2</b>	<b>577.3</b>	<b>11.62</b>	<b>273</b>	<b>237</b>	<b>13.19</b>
	14	17	16	5.88	1589	1271	20.01	701	96	86.31
		23	20	13.04	3870	1513	60.90	1221	956	21.70
		25	21	16.00	2671	1165	56.38	533	471	11.63
		39	33	15.38	1235	977	20.89	45	41	8.89
		27	25	7.41	288	130	54.86	12	9	25.00
		22	18	18.18	180	111	38.33	166	109	34.34
		27	25	7.41	298	148	50.34	307	267	13.03
		23	18	21.74	460	243	47.17	62	44	29.03
		20	11	45.00	562	331	41.10	843	620	26.45
	11	9	18.18	491	467	4.89	7	6	14.29	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>23.4</b>	<b>19.6</b>	<b>16.24</b>	<b>1164.4</b>	<b>635.6</b>	<b>45.41</b>	<b>389.7</b>	<b>261.9</b>	<b>32.79</b>
	16	15	3	80.00	2549	1972	22.64	217	148	31.80
		18	2	88.89	1934	1026	46.95	1626	651	59.96
		18	4	77.78	2146	1503	29.96	1322	289	78.14
		17	12	29.41	1228	1170	4.72	277	121	56.32
		25	24	4.00	3804	3548	6.73	80	65	18.75
42		41	2.38	3550	2908	18.08	51	28	45.10	
39		30	23.08	1964	1450	26.17	44	17	61.36	
35		30	14.29	1321	1190	9.92	39	14	64.10	
31		28	9.68	1120	1023	8.66	36	13	63.89	
27	25	7.41	967	550	43.12	33	12	63.64		
<b>Rata-Rata</b>	<b>26.70</b>	<b>19.90</b>	<b>25.47</b>	<b>2058.3</b>	<b>1634</b>	<b>20.61</b>	<b>372.5</b>	<b>135.8</b>	<b>63.54</b>	

Debit Air: 15 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η SO <sub>2</sub> (%)
10 cm	12	18	17	5.56	2935	1785	39.18	538	520	3.35
		9	7	22.22	1059	879	17.00	695	663	4.60
		11	9	18.18	232	176	24.14	570	452	20.70
		10	7	30.00	206	171	16.99	423	370	12.53
		13	11	15.38	191	162	15.18	330	259	21.52
		16	13	18.75	201	177	11.94	301	260	13.62
		16	14	12.50	225	194	13.78	142	117	17.61
		16	14	12.50	240	190	20.83	82	65	20.73
		8	6	25.00	195	181	7.18	77	23	70.13
		7	3	57.14	208	173	16.83	51	19	62.75
	<b>Rata-Rata</b>	<b>12.40</b>	<b>10.10</b>	<b>18.55</b>	<b>569.2</b>	<b>408.8</b>	<b>28.18</b>	<b>320.9</b>	<b>274.8</b>	<b>14.37</b>
	14	8	6	25.00	1305	867	33.56	102	45	55.88
		1	0	100.00	1032	894	13.37	110	79	28.18
		2	1	50.00	682	225	67.01	116	45	61.21
		3	2	33.33	515	157	69.51	104	40	61.54
		2	0	100.00	412	285	30.83	88	44	50.00
		4	2	50.00	561	342	39.04	82	79	3.66
		2	1	50.00	536	370	30.97	98	73	25.51
		1	1	0.00	504	322	36.11	94	72	23.40
		4	3	25.00	557	404	27.47	115	78	32.17
		2	1	50.00	543	401	26.15	121	83	31.40
	<b>Rata-Rata</b>	<b>2.90</b>	<b>1.70</b>	<b>41.38</b>	<b>664.70</b>	<b>426.70</b>	<b>35.81</b>	<b>103.00</b>	<b>63.80</b>	<b>38.06</b>
	16	10	9	10.00	259	190	26.64	1444	151	89.54
		44	27	38.64	224	198	11.61	274	129	52.92
		99	87	12.12	117	94	19.66	221	96	56.56
		11	7	36.36	265	213	19.62	178	52	70.79
		2	0	100.00	332	289	12.95	197	50	74.62
		1	1	0.00	337	190	43.62	105	48	54.29
		2	0	100.00	402	148	63.18	109	47	56.88
		1	0	100.00	380	113	70.26	132	47	64.39
		1	0	100.00	344	122	64.53	130	46	64.62
		1	0	100.00	388	274	29.38	60	46	23.33
	<b>Rata-Rata</b>	<b>17.2</b>	<b>13.1</b>	<b>23.84</b>	<b>304.80</b>	<b>183.10</b>	<b>39.93</b>	<b>285.00</b>	<b>71.20</b>	<b>75.02</b>



Debit Air : 15 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)			
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η SO <sub>2</sub> (%)	
15	12	30	25	16.67	1078	1047	2.88	87	81	6.90	
		23	19	17.39	980	908	7.35	98	57	41.84	
		33	30	9.09	702	655	6.70	1199	789	34.20	
		29	20	31.03	830	780	6.02	304	250	17.76	
		24	20	16.67	1157	467	59.64	222	70	68.47	
		17	15	11.76	421	241	42.76	143	105	26.57	
		8	3	62.50	493	286	41.99	95	70	26.32	
		6	2	66.67	284	219	22.89	66	44	33.33	
		8	6	25.00	311	263	15.43	52	23	55.77	
	4	2	50.00	370	321	13.24	41	12	70.73		
		<b>Rata-Rata</b>	<b>18.2</b>	<b>14.2</b>	<b>21.98</b>	<b>662.6</b>	<b>518.7</b>	<b>21.72</b>	<b>230.7</b>	<b>150.1</b>	<b>34.94</b>
		14	19	18	5.26	1353	1096	18.99	43	12	72.09
	30		17	43.33	1084	1001	7.66	135	102	24.44	
	0		0	0.00	859	765	10.94	136	76	44.12	
	32		12	62.50	633	589	6.95	123	59	52.03	
	42		26	38.10	502	486	3.19	101	66	34.65	
	49		37	24.49	463	449	3.02	92	55	40.22	
	46		39	15.22	419	370	11.69	84	35	58.33	
	41		35	14.63	380	352	7.37	76	28	63.16	
	37		30	18.92	336	280	16.67	58	22	62.07	
	37	30	18.92	307	288	6.19	49	11	77.55		
		<b>Rata-Rata</b>	<b>33.30</b>	<b>24.40</b>	<b>26.73</b>	<b>633.6</b>	<b>567.6</b>	<b>10.42</b>	<b>89.7</b>	<b>46.6</b>	<b>48.05</b>
		16	19	15	21.05	795	650	18.24	29	9	68.97
	26		20	23.08	1191	998	16.20	71	13	81.69	
	33		31	6.06	1258	1010	19.71	92	24	73.91	
	29		25	13.79	1072	959	10.54	115	56	51.30	
	23		19	17.39	842	785	6.77	206	137	33.50	
	16		13	18.75	752	639	15.03	122	66	45.90	
	14		9	35.71	677	458	32.35	91	41	54.95	
	16		7	56.25	623	401	35.63	84	37	55.95	
13	9		30.77	637	417	34.54	82	49	40.24		
8	5	37.50	761	394	48.23	85	25	70.59			
	<b>Rata-Rata</b>	<b>19.70</b>	<b>15.30</b>	<b>22.34</b>	<b>860.80</b>	<b>671.10</b>	<b>22.04</b>	<b>97.70</b>	<b>45.70</b>	<b>53.22</b>	

Debit Air : 20 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)
5 cm	12	47	40	14.89	2155	1997	7.33	290	115	60.34
		51	47	7.84	2431	2122	12.71	276	109	60.51
		36	34	5.56	1910	1892	0.94	259	97	62.55
		22	20	9.09	1736	1720	0.92	310	152	50.97
		17	14	17.65	1599	1455	9.01	299	107	64.21
		12	10	16.67	1512	1462	3.31	278	84	69.78
		8	5	37.50	1414	1301	7.99	261	77	70.50
		3	2	33.33	1381	1324	4.13	244	56	77.05
		3	1	66.67	1292	1190	7.89	195	50	74.36
		1	0	100.00	1204	1110	7.81	156	43	72.44
	<b>Rata-Rata</b>	<b>20</b>	<b>17.3</b>	<b>13.50</b>	<b>1663.40</b>	<b>1557.30</b>	<b>6.38</b>	<b>256.8</b>	<b>89</b>	<b>65.34</b>
	14	26	23	11.54	2120	2009	5.24	379	254	32.98
		29	25	13.79	2509	2402	4.26	356	232	34.83
		31	24	22.58	2778	2536	8.71	332	211	36.45
		28	24	14.29	2507	2341	6.62	265	153	42.26
		24	21	12.50	2323	2165	6.80	233	144	38.20
		18	16	11.11	2331	2098	10.00	230	97	57.83
		16	14	12.50	2100	1989	5.29	281	99	64.77
		11	9	18.18	1978	1577	20.27	260	84	67.69
		10	5	50.00	1867	1532	17.94	241	88	63.49
		8	2	75.00	1793	1372	23.48	184	65	64.67
	<b>Rata-Rata</b>	<b>20.10</b>	<b>16.30</b>	<b>18.91</b>	<b>2230.60</b>	<b>2002.10</b>	<b>10.24</b>	<b>276.1</b>	<b>142.7</b>	<b>48.32</b>
	16	23	21	8.70	1916	1873	2.24	450	213	52.67
		19	17	10.53	1765	1615	8.50	997	656	34.20
		17	15	11.76	1654	1518	8.22	860	826	3.95
		14	12	14.29	1523	1324	13.07	791	751	5.06
		11	6	45.45	1178	980	16.81	767	546	28.81
		13	11	15.38	989	877	11.32	638	378	40.75
		17	14	17.65	967	861	10.96	552	389	29.53
		16	12	25.00	870	835	4.02	489	221	54.81
11		7	36.36	825	820	0.61	312	143	54.17	
6		1	83.33	669	644	3.74	221	109	50.68	
<b>Rata-Rata</b>	<b>14.70</b>	<b>11.60</b>	<b>21.09</b>	<b>1235.6</b>	<b>1134.7</b>	<b>8.17</b>	<b>607.7</b>	<b>423.2</b>	<b>30.36</b>	

Debit Air: 20 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)
10 cm	12	25	12	52.00	879	676	23.09	119	68	42.86
		19	11	42.11	1156	874	24.39	135	89	34.07
		22	15	31.82	1342	780	41.88	141	119	15.60
		18	12	33.33	1210	790	34.71	93	66	29.03
		14	9	35.71	997	662	33.60	88	46	47.73
		11	8	27.27	869	728	16.23	72	25	65.28
		7	5	28.57	795	519	34.72	66	21	68.18
		9	5	44.44	770	310	59.74	52	29	44.23
		8	3	62.50	694	221	68.16	45	15	66.67
	8	2	75.00	522	132	74.71	31	11	64.52	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>14.10</b>	<b>8.20</b>	<b>41.84</b>	<b>923.4</b>	<b>569.2</b>	<b>38.36</b>	<b>84.2</b>	<b>48.9</b>	<b>41.92</b>
	14	28	18	35.71	2021	1768	12.52	1190	918	22.86
		35	21	40.00	1994	1656	16.95	979	561	42.70
		41	26	36.59	870	609	30.00	887	423	52.31
		79	58	26.58	988	794	19.64	760	300	60.53
		72	65	9.72	745	467	37.32	532	211	60.34
		66	47	28.79	790	440	44.30	416	134	67.79
		59	30	49.15	623	321	48.48	289	110	61.94
		47	24	48.94	467	214	54.18	177	45	74.58
		36	31	13.89	441	178	59.64	73	11	84.93
	22	12	45.45	409	110	73.11	40	9	77.50	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>48.50</b>	<b>33.20</b>	<b>31.55</b>	<b>934.80</b>	<b>655.70</b>	<b>29.86</b>	<b>534.30</b>	<b>272.20</b>	<b>49.05</b>
	16	12	10	16.67	1760	1610	8.52	456	370	18.86
		16	16	0.00	1534	1314	14.34	231	193	16.45
		21	19	9.52	1367	1278	6.51	790	306	61.27
		37	24	35.14	1211	1190	1.73	657	305	53.58
		18	16	11.11	993	787	20.75	621	451	27.38
		11	9	18.18	865	789	8.79	415	330	20.48
		10	9	10.00	771	341	55.77	266	165	37.97
		5	3	40.00	507	332	34.52	212	189	10.85
5		2	60.00	314	179	42.99	165	152	7.88	
6	2	66.67	155	122	21.29	128	70	45.31		
<b>Rata-Rata</b>	<b>14.1</b>	<b>11</b>	<b>21.99</b>	<b>947.70</b>	<b>794.20</b>	<b>16.20</b>	<b>394.10</b>	<b>253.10</b>	<b>35.78</b>	

Debit Air : 20 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)
15 cm	12	35	25	28.57	1472	1002	31.93	223	121	45.74
		52	43	17.31	1599	1315	17.76	171	151	11.70
		63	51	19.05	1767	1321	25.24	154	85	44.81
		70	50	28.57	1516	1293	14.71	187	94	49.73
		82	78	4.88	1300	1142	12.15	197	173	12.18
		89	52	41.57	1256	1067	15.05	360	226	37.22
		99	65	34.34	1210	864	28.60	489	392	19.84
		87	62	28.74	1167	770	34.02	555	409	26.31
		81	50	38.27	945	543	42.54	754	640	15.12
		70	37	47.14	820	324	60.49	690	337	51.16
	<b>Rata-Rata</b>	<b>72.80</b>	<b>51.30</b>	<b>29.53</b>	<b>1305.20</b>	<b>964.10</b>	<b>26.13</b>	<b>378.00</b>	<b>262.80</b>	<b>30.48</b>
	14	114	87	23.68	989	821	16.99	121	65	46.28
		95	75	21.05	1001	867	13.39	130	50	61.54
		76	53	30.26	997	755	24.27	176	99	43.75
		46	31	32.61	869	723	16.80	132	83	37.12
		33	28	15.15	564	461	18.26	110	57	48.18
		12	4	66.67	550	411	25.27	95	41	56.84
		8	1	87.50	472	277	41.31	77	20	74.03
		3	0	100.00	394	254	35.53	69	11	84.06
		0	0	0.00	270	176	34.81	51	7	86.27
		0	0	0.00	117	94	19.66	42	2	95.24
	<b>Rata-Rata</b>	<b>38.70</b>	<b>27.90</b>	<b>27.91</b>	<b>622.30</b>	<b>483.90</b>	<b>22.24</b>	<b>100.3</b>	<b>43.5</b>	<b>56.63</b>
	16	43	40	6.98	1900	1562	17.79	154	68	55.84
		40	33	17.50	1879	1140	39.33	90	56	37.78
		65	38	41.54	1365	977	28.42	84	44	47.62
		52	37	28.85	1173	787	32.91	72	12	83.33
		40	26	35.00	809	503	37.82	66	19	71.21
		34	15	55.88	821	500	39.10	51	24	52.94
		25	11	56.00	750	267	64.40	45	37	17.78
		22	9	59.09	581	309	46.82	39	12	69.23
16		7	56.25	440	224	49.09	45	11	75.56	
12		7	41.67	213	160	24.88	33	6	81.82	
<b>Rata-Rata</b>	<b>34.9</b>	<b>22.3</b>	<b>36.10</b>	<b>993.1</b>	<b>642.9</b>	<b>35.26</b>	<b>67.9</b>	<b>28.9</b>	<b>57.44</b>	

Debit Air: 25 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η SO <sub>2</sub> (%)
5 cm	12	57	55	3.51	2175	2054	5.56	311	29	90.68
		131	129	1.53	2451	1994	18.65	288	22	92.36
		122	108	11.48	1930	1186	38.55	1229	225	81.69
		78	67	14.10	1756	1169	33.43	997	185	81.44
		14	10	28.57	1619	1203	25.69	506	153	69.76
		25	23	8.00	1532	1443	5.81	390	259	33.59
		28	19	32.14	1434	1357	5.37	485	164	66.19
		11	10	9.09	1401	1215	13.28	373	109	70.78
		7	6	14.29	1312	1007	23.25	361	168	53.46
	6	2	66.67	1224	989	19.20	156	98	37.18	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>47.9</b>	<b>42.9</b>	<b>10.44</b>	<b>1683.40</b>	<b>1361.70</b>	<b>19.11</b>	<b>509.6</b>	<b>141.2</b>	<b>72.29</b>
	14	19	17	10.53	3739	1070	71.38	206	66	67.96
		22	21	4.55	3664	1098	70.03	234	58	75.21
		33	31	6.06	3570	2028	43.19	247	28	88.66
		31	28	9.68	3515	3137	10.75	263	16	93.92
		28	27	3.57	3449	2788	19.16	280	9	96.79
		25	23	8.00	3280	1995	39.18	288	3	98.96
		20	12	40.00	3119	1790	42.61	281	0	100.00
		18	11	38.89	3006	2646	11.98	275	1	99.64
		23	21	8.70	2866	1783	37.79	268	2	99.25
	26	26	0.00	2790	942	66.24	252	1	99.60	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>24.50</b>	<b>21.70</b>	<b>11.43</b>	<b>3299.80</b>	<b>1927.70</b>	<b>41.58</b>	<b>259.4</b>	<b>18.4</b>	<b>92.91</b>
	16	8	3	62.50	3432	409	88.08	950	232	75.58
		15	4	73.33	2482	1786	28.04	1010	224	77.82
		7	3	57.14	2557	2018	21.08	1240	224	81.94
		13	6	53.85	2615	2567	1.84	1060	204	80.75
		13	11	15.38	2799	1990	28.90	1291	184	85.75
		14	13	7.14	1987	1845	7.15	1233	176	85.73
		16	15	6.25	1778	1616	9.11	934	169	81.91
		17	16	5.88	854	785	8.08	649	161	75.19
18		16	11.11	652	608	6.75	244	149	38.93	
16	12	25.00	669	612	8.52	167	143	14.37		
<b>Rata-Rata</b>	<b>13.70</b>	<b>9.90</b>	<b>27.74</b>	<b>1982.5</b>	<b>1423.6</b>	<b>28.19</b>	<b>877.8</b>	<b>186.6</b>	<b>78.74</b>	

Debit Air: 25 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η SO <sub>2</sub> (%)
10 cm	12	1	0	100.00	518	492	5.02	42	34	19.05
		12	7	41.67	612	580	5.23	39	32	17.95
		23	22	4.35	646	431	33.28	37	23	37.84
		15	12	20.00	630	469	25.56	28	17	39.29
		13	10	23.08	669	579	13.45	23	15	34.78
		12	10	16.67	737	623	15.47	21	13	38.10
		12	9	25.00	795	676	14.97	19	12	36.84
		11	8	27.27	890	752	15.51	16	15	6.25
		9	7	22.22	1001	734	26.67	18	16	11.11
	8	7	12.50	962	761	20.89	19	15	21.05	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>11.60</b>	<b>9.20</b>	<b>20.69</b>	<b>746</b>	<b>609.7</b>	<b>18.27</b>	<b>26.2</b>	<b>19.2</b>	<b>26.72</b>
	14	8	3	62.50	1520	347	77.17	79	44	44.30
		5	3	40.00	582	195	66.49	136	98	27.94
		8	7	12.50	469	205	56.29	114	88	22.81
		7	2	71.43	433	160	63.05	66	47	28.79
		11	4	63.64	336	163	51.49	57	40	29.82
		13	7	46.15	331	224	32.33	48	23	52.08
		13	10	23.08	365	195	46.58	31	14	54.84
		12	7	41.67	339	324	4.42	27	13	51.85
		9	7	22.22	450	279	38.00	22	9	59.09
	5	2	60.00	426	310	27.23	16	7	56.25	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>9.10</b>	<b>5.20</b>	<b>42.86</b>	<b>525.10</b>	<b>240.20</b>	<b>54.26</b>	<b>59.60</b>	<b>38.30</b>	<b>35.74</b>
	16	1	0	100.00	1150	885	23.04	228	28	87.72
		7	5	28.57	1195	817	31.63	1170	633	45.90
		6	6	0.00	794	502	36.78	738	338	54.20
		12	9	25.00	780	447	42.69	434	235	45.85
		15	12	20.00	753	290	61.49	318	197	38.05
		11	7	36.36	526	450	14.45	245	141	42.45
		6	4	33.33	209	31	85.17	208	117	43.75
		2	1	50.00	351	52	85.19	169	98	42.01
1		0	100.00	94	88	6.38	141	84	40.43	
1	0	100.00	12	3	75.00	122	74	39.34		
<b>Rata-Rata</b>	<b>6.2</b>	<b>4.4</b>	<b>29.03</b>	<b>586.40</b>	<b>356.50</b>	<b>39.21</b>	<b>377.30</b>	<b>194.50</b>	<b>48.45</b>	

Debit Air: 25 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Emisi NO (ppm)			Emisi CO (ppm)			Emisi SO <sub>2</sub> (ppm)		
		Inlet	Outlet	η NO (%)	Inlet	Outlet	η CO (%)	Inlet	Outlet	η SO <sub>2</sub> (%)
15 cm	12	30	27	10.00	396	144	63.64	45	12	73.33
		48	44	8.33	1152	1013	12.07	71	38	46.48
		61	59	3.28	1298	1056	18.64	142	85	40.14
		67	66	1.49	1554	1377	11.39	187	94	49.73
		80	78	2.50	2021	1676	17.07	197	173	12.18
		85	85	0.00	1489	1288	13.50	360	226	37.22
		87	85	2.30	1275	1118	12.31	489	392	19.84
		90	88	2.22	1174	782	33.39	555	409	26.31
		94	86	8.51	803	603	24.91	754	640	15.12
	98	90	8.16	708	591	16.53	690	337	51.16	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>74.00</b>	<b>70.80</b>	<b>4.32</b>	<b>1187.00</b>	<b>964.80</b>	<b>18.72</b>	<b>349.00</b>	<b>240.60</b>	<b>31.06</b>
	14	86	86	0.00	1763	1057	40.05	65	37	43.08
		127	125	1.57	1168	779	33.30	442	287	35.07
		118	110	6.78	993	845	14.90	807	668	17.22
		113	109	3.54	823	622	24.42	611	396	35.19
		129	115	10.85	700	425	39.29	908	523	42.40
		135	109	19.26	426	134	68.54	751	364	51.53
		122	97	20.49	350	120	65.71	595	251	57.82
		101	99	1.98	305	97	68.20	373	188	49.60
		93	77	17.20	265	105	60.38	226	102	54.87
	90	75	16.67	210	113	46.19	68	36	47.06	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>111.40</b>	<b>100.20</b>	<b>10.05</b>	<b>700.30</b>	<b>429.70</b>	<b>38.64</b>	<b>484.6</b>	<b>285.2</b>	<b>41.15</b>
	16	45	35	22.22	2709	1099	59.43	207	122	41.06
		37	24	35.14	1988	1785	10.21	115	68	40.87
		39	30	23.08	1768	1245	29.58	309	152	50.81
		33	29	12.12	1572	1098	30.15	432	211	51.16
		27	23	14.81	1385	1007	27.29	344	162	52.91
		24	17	29.17	1011	658	34.92	173	122	29.48
		16	10	37.50	973	669	31.24	96	47	51.04
		18	12	33.33	998	642	35.67	88	49	44.32
13		11	15.38	787	645	18.04	37	12	67.57	
10	6	40.00	364	171	53.02	33	9	72.73		
<b>Rata-Rata</b>	<b>26.2</b>	<b>19.7</b>	<b>24.81</b>	<b>1355.5</b>	<b>901.9</b>	<b>33.46</b>	<b>183.4</b>	<b>95.4</b>	<b>47.98</b>	

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



## LAMPIRAN II

### NILAI TEMPERATUR, KECEPATAN UDARA OUTLET DAN O<sub>2</sub>

Debit Air: 15 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°c)		Suhu <i>Wet Scrubber</i> (°c)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)		
		<i>Primary</i>	<i>Secondary</i>	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>		<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	
5 cm	12	890.25	520.25	240.25	83.25	3.70	11.49	18.28	
		870	505	217.5	81	3.78	15.01	15.79	
		885.5	500.5	214.5	80	3.67	15.18	15.85	
		873.75	498.75	221	68.75	3.81	17.33	17.77	
		871.25	501.25	232.25	75.5	3.77	18.14	18.59	
		866	506	239.5	83.5	3.95	17.61	18.5	
		845.5	495	245	74.25	3.80	17.63	18	
		840	495	248.5	79.25	3.89	16.43	17.39	
		842	494	252.7	83.5	3.78	20.42	20.85	
	840	492	253.25	82	3.93	17.18	18.18		
		<b>Rata-Rata</b>	<b>862.425</b>	<b>500.775</b>	<b>236.445</b>	<b>79.1</b>	<b>3.81</b>	<b>16.64</b>	<b>17.92</b>
		14	825	455	175	35	2.46	14.58	14.88
			837.75	472.75	185.25	48.75	2.88	11.88	12.64
			864	479	193	58.5	2.44	12.23	13.11
			866.5	491.5	213.75	61.5	2.36	12.63	13.59
			870.25	500.25	231.25	74.5	2.34	13.26	13.66
			890	530	263.5	107.5	2.44	13.93	14.18
			870	519.5	269.5	98.75	2.11	14.49	14.9
			862.5	517.5	271	101.75	2.27	15.05	15.31
			847	499	257.75	88.5	2.28	15.95	16.12
		833	485	246.25	75	2.41	16.45	16.57	
		<b>Rata-Rata</b>	<b>856.6</b>	<b>494.95</b>	<b>230.625</b>	<b>74.975</b>	<b>2.40</b>	<b>14.05</b>	<b>14.50</b>
		16	787	417	137	40	3.42	14.47	14.49
			790	425	137.5	51	3.43	14.82	15.48
			812.5	427.5	141.5	57	3.56	13.08	15.84
			838.75	463.75	186	83.75	3.78	12.29	14.23
			820	450	181	74.25	3.42	11.49	11.72
			813.75	453.75	187.25	81.25	2.19	12	12.64
			809	458.5	208.5	87.75	2.05	13.26	13.14
			780.5	435.5	189	69.75	3.78	13.94	13.67
	778.75		430.75	189.5	70.25	3.88	14.52	14.21	
	756	408	169.25	48	3.60	14.96	14.64		
	<b>Rata-Rata</b>	<b>798.625</b>	<b>436.975</b>	<b>172.65</b>	<b>66.3</b>	<b>3.31</b>	<b>13.48</b>	<b>14.01</b>	

Debit Air: 15 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°C)		Suhu Wet Scrubber (°C)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	
		Primary	Secondary	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
10 cm	12	889	519	239	82	1.74	19.58	17.21
		856	491	203.5	67	1.32	20.95	20.95
		877.75	492.75	206.75	72.25	0.83	20.7	20.29
		864	489	211.25	59	2.60	20.95	20.32
		850.5	480.5	211.5	54.75	2.76	20.28	20.37
		848.25	488.25	221.75	65.75	2.75	20.38	20.27
		830.5	480	230	59.25	2.77	20.33	20.45
		827	482	235.5	66.25	2.71	20.34	20.95
		828.5	480.5	239.25	70	2.65	20.53	20.94
	815	467	228.25	57	2.77	20.95	20.95	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>848.65</b>	<b>487</b>	<b>222.675</b>	<b>65.325</b>	<b>2.29</b>	<b>20.50</b>	<b>20.27</b>
	14	835	465	185	65	2.41	17.74	15.25
		862.5	497.5	210	73.5	2.18	16.92	17.15
		870.75	485.75	199.75	65.25	1.36	17.43	17.25
		850	475	197.25	64	2.29	17.96	17.54
		834.5	464.5	195.5	59	1.54	15.17	17.65
		820.75	460.75	194.25	57.5	1.78	16.14	17.73
		815	464.5	214.5	55.25	1.35	17.12	17.52
		798	453	206.5	50.5	1.56	17.15	17.99
		790.5	442.5	201.25	48	1.35	17.26	18.57
	787	439	200.25	47.25	0.93	18.13	18.9	
	<b>Rata-Rata</b>	<b>826.4</b>	<b>464.75</b>	<b>200.425</b>	<b>58.525</b>	<b>1.68</b>	<b>17.10</b>	<b>17.56</b>
	16	870	500	220	63	0.95	13.34	11.91
		866	501	213.5	77	1.83	20.95	19.61
		854.75	469.75	183.75	65	1.99	20.95	19.83
		844.5	469.5	191.75	39.5	2.34	20.31	19.92
		830.75	460.75	191.75	35	2.54	20.24	20.03
		829	469	202.5	57	2.33	19.94	20.09
		822.5	472	222	51.25	2.65	20.35	20.16
		809	464	217.5	48.25	3.09	20.45	20.24
799.75		451.75	210.5	41.25	3.3	20.95	20.31	
701.5	353.5	114.75	44	3.32	20.95	20.3		
<b>Rata-Rata</b>	<b>822.775</b>	<b>461.125</b>	<b>196.8</b>	<b>52.125</b>	<b>2.43</b>	<b>19.84</b>	<b>19.24</b>	

Debit Air: 15 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°c)		Suhu Wet Scrubber (°c)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	
		Primary	Secondary	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
15 cm	12	894	524	244	87	1.06	19.19	20.29
		887	522	234.5	98	3.47	19.63	20.73
		878.75	493.75	207.75	73.25	3.47	19.93	21.03
		869.5	494.5	216.75	64.5	3.37	20.05	21.15
		843	473	204	47.25	3.33	20.24	21.34
		847.75	487.75	221.25	65.25	3.30	20.32	21.42
		850	499.5	249.5	78.75	3.41	20.38	21.48
		836.5	491.5	245	75.75	3.35	20.49	21.59
		820	472	230.75	61.5	3.18	20.95	22.05
		818.5	470.5	231.75	60.5	3.23	20.95	22.05
	<b>Rata-Rata</b>	<b>854.5</b>	<b>492.85</b>	<b>228.525</b>	<b>71.175</b>	<b>3.12</b>	<b>20.21</b>	<b>21.31</b>
	14	847	477	197	40	3.10	19.71	20.81
		899	534	246.5	110	3.26	18.69	19.79
		887.5	502.5	216.5	82	3.34	18.5	19.6
		856.75	481.75	204	51.75	3.19	18.81	19.91
		840.25	470.25	201.25	44.5	3.02	19.03	20.13
		860	500	233.5	77.5	3.02	18.99	20.09
		856	505.5	255.5	84.75	2.95	19.04	20.14
		815	470	223.5	54.25	2.87	18.97	20.07
		803.5	455.5	214.25	45	2.94	18.62	19.72
		793.75	445.75	207	35.75	3.21	15.67	16.77
	<b>Rata-Rata</b>	<b>845.875</b>	<b>484.225</b>	<b>219.9</b>	<b>62.55</b>	<b>3.09</b>	<b>18.60</b>	<b>19.70</b>
	16	863.5	493.5	213.5	56.5	3.50	15.36	15.85
		820	455	167.5	31	2.98	11	11.61
		825	440	154	19.5	2.89	11.41	11.92
		855.75	480.75	203	50.75	3.50	12.41	12.97
		870.5	500.5	231.5	74.75	3.75	12.95	13.42
		849.25	489.25	222.75	66.75	3.70	13.48	13.98
		830.75	480.25	230.25	59.5	4.58	13.83	14.36
		815	470	223.5	54.25	4.26	14.66	15.07
810		462	220.75	51.5	4.05	15.35	15.75	
802.5		454.5	215.75	44.5	3.91	15.41	15.83	
<b>Rata-Rata</b>	<b>834.225</b>	<b>472.575</b>	<b>208.25</b>	<b>50.9</b>	<b>3.71</b>	<b>13.59</b>	<b>14.08</b>	

Debit Air: 20 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°C)		Suhu Wet Scrubber (°C)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)		
		Primary	Secondary	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet	
5 cm	12	835.75	470.75	189.75	41	2.80	21.2	20.44	
		850.5	490.5	202	65.75	2.91	20.08	21.2	
		829.25	449.25	162.25	29.5	2.72	18.14	21.2	
		810.75	440.75	162	26.5	2.78	20.57	18.65	
		840	475	205	67.5	2.92	19	20.11	
		836	481	213.5	70.75	2.78	19.19	19.93	
		795	449.5	198.5	66	2.42	21.2	18.42	
		783.5	443.5	196	58.75	2.33	16.26	17.19	
		773.75	430.75	188.5	40.25	2.23	16.67	17.3	
		760	417	177.25	67.25	2.17	18.43	15.44	
		<b>Rata-Rata</b>	<b>811.45</b>	<b>454.8</b>	<b>189.475</b>	<b>53.325</b>	<b>2.61</b>	<b>19.07</b>	<b>18.99</b>
		14	858	478.75	195.25	32	2.20	17.64	18.5
			883	508.75	217.75	67.25	2.41	13.81	18.42
			902	507.75	218.25	71	2.57	14.35	18.39
			907.75	523.5	242.25	51.75	2.47	15.35	18.39
			878	498.75	226.25	44	2.13	16.27	18.41
			852.75	483.5	213.5	41.5	1.88	17.02	18.47
			833.5	473.75	220.25	49.75	2.20	17.77	18.53
			843	488.75	238.75	54	2.30	18.11	18.54
			842	484.75	240	37.25	1.98	16.74	18.66
		816	458.75	216.5	32.5	1.90	17	18.76	
		<b>Rata-Rata</b>	<b>861.6</b>	<b>490.7</b>	<b>222.875</b>	<b>48.1</b>	<b>2.20</b>	<b>16.41</b>	<b>18.51</b>
		16	785.5	380.5	153	51	2.66	22.08	16.19
			820.25	420.25	185.25	66.25	2.12	20.54	16.22
			855	435	201.5	67	1.89	19.7	16.23
			879.5	469.5	244.25	61	1.60	17.4	16.15
			871.25	466.25	249.75	88.25	1.60	16.24	16.09
			845	450	236	88	1.57	15.98	16.04
			855.5	470	272.5	86	1.78	16.36	15.99
			847	467	273	78	1.99	16.82	15.91
	844.5		461.5	272.75	66.75	2.05	17.53	15.89	
	825	442	255.75	56	1.98	18.25	18.91		
	<b>Rata-Rata</b>	<b>842.85</b>	<b>446.2</b>	<b>234.375</b>	<b>70.825</b>	<b>1.92</b>	<b>18.09</b>	<b>16.36</b>	

Debit Air: 20 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°c)		Suhu Wet Scrubber (°c)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	
		Primary	Secondary	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
10 cm	12	824	412	146	24.5	2.91	20.1	24.1
		866.5	459.5	186	38.5	3.24	19.93	24.22
		900.25	473.25	201.25	67.75	2.80	20.18	24.55
		881	464	200.25	79.5	2.67	20.39	24.33
		876.5	464.5	209.5	86.5	2.24	20.13	24.36
		858	456	203.5	59.25	2.13	20.14	24.31
		861	468.5	232.5	70.25	2.00	20.07	24.33
		877.75	490.75	258.25	87.5	2.69	19.95	24.24
		861	471	243.75	46.5	2.79	19.98	24.13
		846	456	231.25	36.75	3.00	20.01	24.35
	<b>Rata-Rata</b>	<b>865.2</b>	<b>461.55</b>	<b>211.225</b>	<b>59.7</b>	<b>2.65</b>	<b>20.09</b>	<b>24.29</b>
	14	795	402.5	117	55	3.08	19.85	19.8
		817.5	430	137	50.5	3.19	15.44	14.32
		871	463.5	172	89	3.32	15.83	19.09
		850.5	453	169.75	84	3.53	16.74	18.59
		867	474.5	200	66	3.75	16.38	19.28
		857.75	475.25	203.25	88	4.80	17.05	19.26
		832.75	459.75	204.25	106	4.75	17.15	19.28
		807.25	439.75	187.75	67	4.64	17.03	19.78
		812	441.5	194.75	55	4.42	17.5	20.19
		769.75	399.25	155	55	4.06	17.87	20.24
	<b>Rata-Rata</b>	<b>828.05</b>	<b>443.9</b>	<b>174.075</b>	<b>71.55</b>	<b>3.95</b>	<b>17.08</b>	<b>18.98</b>
	16	842	449.5	164	65	3.99	19.28	20.16
		906	518.5	225.5	87	4.31	19.56	20.38
		887.5	480	188.5	88	4.43	20.25	20.33
		854.75	457.25	174	88.25	4.31	21.93	22.65
		837	444.5	170	82.25	4.19	17.36	19.46
		827.5	445	173	74	5.88	16.71	17.53
		816.75	443.75	188.25	63	4.66	17.42	19.18
		797	429.5	177.5	62.5	4.30	18.14	18.92
817.25		446.75	200	60.75	4.22	18.83	19.38	
807		436.5	192.25	57	4.12	18.92	19.77	
<b>Rata-Rata</b>	<b>839.275</b>	<b>455.125</b>	<b>185.3</b>	<b>72.775</b>	<b>4.44</b>	<b>18.84</b>	<b>19.78</b>	

Debit Air: 20 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°c)		Suhu Wet Scrubber (°c)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	
		Primary	Secondary	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
15 cm	12	866	478.5	216	72	3.80	17.1	21.7
		881.75	499.25	229.25	73.5	3.91	17.38	21.98
		864.75	462.25	193.75	59.75	3.53	18.07	22.67
		844	451.5	191.25	48.25	3.89	19.75	24.35
		836	448.5	197	41.5	4.42	15.18	19.78
		834.5	457	208	42	4.62	14.53	19.13
		829.75	461.75	229.25	38.5	4.33	15.24	19.84
		844	481.5	252.5	33.75	4.19	15.96	20.56
		859	493.5	269.75	36.5	4.06	16.65	21.25
		864.5	499	277.75	38.5	3.85	16.74	21.34
	<b>Rata-Rata</b>	<b>852.425</b>	<b>473.275</b>	<b>226.45</b>	<b>48.425</b>	<b>4.06</b>	<b>16.66</b>	<b>21.26</b>
	14	854.75	467.25	204.75	67.25	3.84	17.75	23.15
		880	497.5	227.5	66.5	3.70	15.99	21.39
		904.5	502	233.5	62.5	3.63	15.86	21.26
		864.25	471.75	211.5	52.5	3.51	15.89	21.29
		859.25	471.75	220.25	36.5	3.24	16.14	21.54
		834	456.5	207.5	41.5	3.29	16.61	22.01
		825	457	224.5	45.5	3.39	17.58	22.98
		814.25	451.75	222.75	47.75	3.62	17.75	23.15
		813.75	448.25	224.5	47	3.51	17.01	22.41
		797	431.5	210.25	42.25	4.07	16.78	22.18
	<b>Rata-Rata</b>	<b>844.675</b>	<b>465.525</b>	<b>218.7</b>	<b>50.925</b>	<b>3.58</b>	<b>16.74</b>	<b>22.14</b>
	16	904	516.5	254	53.5	3.13	18.75	23.45
		892.25	509.75	239.75	41.5	2.68	16.99	21.69
		904	501.5	233	44.5	2.71	16.86	21.56
		915	522.5	262.25	52.25	2.80	16.89	21.59
		874.5	487	235.5	35.5	2.63	17.14	21.84
		865.75	488.25	239.25	55	2.55	17.61	22.31
		856	488	255.5	41.75	4.08	18.58	23.28
		847.75	485.25	256.25	31.5	4.40	18.75	23.45
834		468.5	244.75	34	3.97	18.01	22.71	
814.5		449	227.75	33.5	3.81	17.78	22.48	
<b>Rata-Rata</b>	<b>870.775</b>	<b>491.625</b>	<b>244.8</b>	<b>42.3</b>	<b>3.28</b>	<b>17.74</b>	<b>22.44</b>	

Debit Air: 25 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°c)		Suhu Wet Scrubber (°c)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	
		Primary	Secondary	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
5 cm	12	855.75	485.75	205.75	45.75	4.00	20.95	20.19
		870.5	505.5	218	70.5	4.11	19.83	20.95
		849.25	464.25	178.25	34.25	3.92	17.89	20.95
		830.75	455.75	178	31.25	3.98	20.32	18.4
		860	490	221	72.25	4.12	18.75	19.86
		856	496	229.5	75.5	3.98	18.94	19.68
		815	464.5	214.5	70.75	3.62	20.95	18.17
		803.5	458.5	212	63.5	3.53	16.01	16.94
		793.75	445.75	204.5	45	3.43	16.42	17.05
		780	432	193.25	72	3.37	18.18	15.19
	<b>Rata-Rata</b>	<b>831.45</b>	<b>469.8</b>	<b>205.475</b>	<b>58.075</b>	<b>3.81</b>	<b>18.82</b>	<b>18.74</b>
	14	845	475	195	35	3.20	19.84	17
		870	505	217.5	70.25	3.41	16.01	16.92
		889	504	218	74	3.57	16.55	16.89
		894.75	519.75	242	54.75	3.47	17.55	16.89
		865	495	226	47	3.13	18.47	16.91
		839.75	479.75	213.25	44.5	2.88	19.22	16.97
		820.5	470	220	52.75	3.20	19.97	17.03
		830	485	238.5	57	3.30	20.31	17.04
		829	481	239.75	40.25	2.98	18.94	17.16
		803	455	216.25	35.5	2.90	19.2	17.26
	<b>Rata-Rata</b>	<b>848.6</b>	<b>486.95</b>	<b>222.625</b>	<b>51.1</b>	<b>3.20</b>	<b>18.61</b>	<b>17.01</b>
	16	780.5	410.5	130.5	40	3.41	20.78	17.49
		815.25	450.25	162.75	55.25	2.87	19.24	17.52
		850	465	179	56	2.64	18.4	17.53
		874.5	499.5	221.75	50	2.35	16.1	17.45
		866.25	496.25	227.25	77.25	2.35	14.94	17.39
		840	480	213.5	77	2.32	14.68	17.34
		850.5	500	250	75	2.53	15.06	17.29
		842	497	250.5	67	2.74	15.52	17.21
839.5		491.5	250.25	55.75	2.80	16.23	17.19	
820		472	233.25	45	2.73	16.95	20.21	
<b>Rata-Rata</b>	<b>837.85</b>	<b>476.2</b>	<b>211.875</b>	<b>59.825</b>	<b>2.67</b>	<b>16.79</b>	<b>17.66</b>	

Debit Air: 25 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°C)		Suhu <i>Wet Scrubber</i> (°C)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	
		<i>Primary</i>	<i>Secondary</i>	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>		<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>
10 cm	12	803	433	153	33	2.56	19.11	19.8
		845.5	480.5	193	47	2.89	18.94	19.92
		879.25	494.25	208.25	76.25	2.45	19.19	20.25
		860	485	207.25	88	2.32	19.4	20.03
		855.5	485.5	216.5	95	1.89	19.14	20.06
		837	477	210.5	67.75	1.78	19.15	20.01
		840	489.5	239.5	78.75	1.65	19.08	20.03
		856.75	511.75	265.25	96	2.34	18.96	19.94
		840	492	250.75	55	2.44	18.99	19.83
		825	477	238.25	45.25	2.65	19.02	20.05
	<b>Rata-Rata</b>	<b>844.2</b>	<b>482.55</b>	<b>218.225</b>	<b>68.2</b>	<b>2.30</b>	<b>19.10</b>	<b>19.99</b>
	14	778	408	128	45	1.98	18.87	17.6
		800.5	435.5	148	40.5	2.09	14.46	12.12
		854	469	183	79	2.22	14.85	16.89
		833.5	458.5	180.75	74	2.43	15.76	16.39
		850	480	211	56	2.65	15.4	17.08
		840.75	480.75	214.25	78	3.70	16.07	17.06
		815.75	465.25	215.25	96	3.65	16.17	17.08
		790.25	445.25	198.75	57	3.54	16.05	17.58
		795	447	205.75	45	3.32	16.52	17.99
		752.75	404.75	166	45	2.96	16.89	18.04
	<b>Rata-Rata</b>	<b>811.05</b>	<b>449.4</b>	<b>185.075</b>	<b>61.55</b>	<b>2.85</b>	<b>16.10</b>	<b>16.78</b>
	16	825	455	175	55	2.89	18.3	17.96
		889	524	236.5	77	3.21	18.58	18.18
		870.5	485.5	199.5	78	3.33	19.27	18.13
		837.75	462.75	185	78.25	3.21	20.95	20.45
		820	450	181	72.25	3.09	16.38	17.26
		810.5	450.5	184	64	4.78	15.73	15.33
		799.75	449.25	199.25	53	3.56	16.44	16.98
		780	435	188.5	52.5	3.20	17.16	16.72
800.25		452.25	211	50.75	3.12	17.85	17.18	
790		442	203.25	47	3.02	17.94	17.57	
<b>Rata-Rata</b>	<b>822.275</b>	<b>460.625</b>	<b>196.3</b>	<b>62.775</b>	<b>3.34</b>	<b>17.86</b>	<b>17.58</b>	



Debit Air: 25 l/min

Tebal Media (cm)	Aliran Venturi (l/min)	Suhu Pembakaran (°C)		Suhu Wet Scrubber (°C)		Kecepatan Udara (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	
		Primary	Secondary	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
15 cm	12	852	482	202	75.5	2.50	19.3	20.5
		867.75	502.75	215.25	77	2.61	19.58	20.78
		850.75	465.75	179.75	63.25	2.23	20.27	21.47
		830	455	177.25	51.75	2.59	21.95	23.15
		822	452	183	45	3.12	17.38	18.58
		820.5	460.5	194	45.5	3.32	16.73	17.93
		815.75	465.25	215.25	42	3.03	17.44	18.64
		830	485	238.5	37.25	2.89	18.16	19.36
		845	497	255.75	40	2.76	18.85	20.05
		850.5	502.5	263.75	42	2.55	18.94	20.14
	<b>Rata-Rata</b>	<b>838.425</b>	<b>476.775</b>	<b>212.45</b>	<b>51.925</b>	<b>2.76</b>	<b>18.86</b>	<b>20.06</b>
	14	840.75	470.75	190.75	70.75	2.54	19.95	21.95
		866	501	213.5	70	2.40	18.19	20.19
		890.5	505.5	219.5	66	2.33	18.06	20.06
		850.25	475.25	197.5	56	2.21	18.09	20.09
		845.25	475.25	206.25	40	1.94	18.34	20.34
		820	460	193.5	45	1.99	18.81	20.81
		811	460.5	210.5	49	2.09	19.78	21.78
		800.25	455.25	208.75	51.25	2.32	19.95	21.95
		799.75	451.75	210.5	50.5	2.21	19.21	21.21
		783	435	196.25	45.75	2.77	18.98	20.98
	<b>Rata-Rata</b>	<b>830.675</b>	<b>469.025</b>	<b>204.7</b>	<b>54.425</b>	<b>2.28</b>	<b>18.94</b>	<b>20.94</b>
	16	890	520	240	57	1.83	20.95	22.25
		878.25	513.25	225.75	45	1.38	19.19	20.49
		890	505	219	48	1.41	19.06	20.36
		901	526	248.25	55.75	1.50	19.09	20.39
		860.5	490.5	221.5	39	1.33	19.34	20.64
		851.75	491.75	225.25	58.5	1.25	19.81	21.11
		842	491.5	241.5	45.25	2.78	20.78	22.08
		833.75	488.75	242.25	35	3.10	20.95	22.25
820		472	230.75	37.5	2.67	20.21	21.51	
800.5		452.5	213.75	37	2.51	19.98	21.28	
<b>Rata-Rata</b>	<b>856.775</b>	<b>495.125</b>	<b>230.8</b>	<b>45.8</b>	<b>1.98</b>	<b>19.94</b>	<b>21.24</b>	

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

**LAMPIRAN III**  
**HASIL UJI SPSS ONE WAY ANOVA**

Variabel: Aliran Venturi

ANOVA

V1\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1439.648	2	719.824	.971	.391
Within Groups	20013.414	27	741.238		
Total	21453.063	29			

ANOVA

V1\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2082.285	2	1041.143	2.737	.083
Within Groups	10270.234	27	380.379		
Total	12352.519	29			

ANOVA

V1\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9211.994	2	4605.997	15.914	.000
Within Groups	7814.576	27	289.429		
Total	17026.569	29			

ANOVA

V2\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7602.460	2	3801.230	3.635	.040
Within Groups	28233.718	27	1045.693		
Total	35836.177	29			

ANOVA

V2\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2281.804	2	1140.902	3.818	.035
Within Groups	8067.562	27	298.799		
Total	10349.365	29			

ANOVA

V2\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6694.538	2	3347.269	8.451	.001
Within Groups	10694.524	27	396.093		
Total	17389.062	29			

ANOVA

V3\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	226.482	2	113.241	.333	.720
Within Groups	9175.914	27	339.849		
Total	9402.396	29			

## ANOVA

V3\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1239.028	2	619.514	3.176	.058
Within Groups	5265.881	27	195.033		
Total	6504.909	29			

## ANOVA

V3\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2064.870	2	1032.435	3.168	.058
Within Groups	8799.155	27	325.895		
Total	10864.025	29			

## ANOVA

V4\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	232.402	2	116.201	.181	.835
Within Groups	17312.034	27	641.186		
Total	17544.435	29			

## ANOVA

V4\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	110.708	2	55.354	1.828	.180
Within Groups	817.475	27	30.277		
Total	928.183	29			

## ANOVA

V4\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4747.681	2	2373.840	11.166	.000
Within Groups	5739.913	27	212.589		
Total	10487.593	29			

## ANOVA

V5\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1384.253	2	692.127	2.179	.133
Within Groups	8575.349	27	317.606		
Total	9959.602	29			

## ANOVA

V5\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2379.574	2	1189.787	3.228	.055
Within Groups	9953.184	27	368.636		
Total	12332.758	29			

## ANOVA

V5 EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4708.047	2	2354.023	7.059	.003
Within Groups	9004.285	27	333.492		
Total	13712.331	29			

## ANOVA

V6 EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	682.540	2	341.270	.598	.557
Within Groups	15413.422	27	570.867		
Total	16095.962	29			

## ANOVA

V6 EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	965.220	2	482.610	2.936	.070
Within Groups	4437.943	27	164.368		
Total	5403.163	29			

## ANOVA

V6 EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6056.826	2	3028.413	8.162	.002
Within Groups	10017.757	27	371.028		
Total	16074.583	29			

## ANOVA

V7 EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1838.579	2	919.289	2.119	.140
Within Groups	11713.353	27	433.828		
Total	13551.932	29			

## ANOVA

V7 EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3074.660	2	1537.330	3.541	.043
Within Groups	11720.933	27	434.109		
Total	14795.593	29			

## ANOVA

V7 EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3623.606	2	1811.803	4.849	.016
Within Groups	10087.522	27	373.612		
Total	13711.127	29			

## ANOVA

V8 EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2177.881	2	1088.941	1.305	.288
Within Groups	22523.000	27	834.185		
Total	24700.881	29			

## ANOVA

V8\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5467.834	2	2733.917	5.933	.007
Within Groups	12441.774	27	460.806		
Total	17909.608	29			

## ANOVA

V8\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2579.015	2	1289.507	6.834	.004
Within Groups	5094.549	27	188.687		
Total	7673.564	29			

## ANOVA

V9\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2544.226	2	1272.113	21.108	.000
Within Groups	1627.241	27	60.268		
Total	4171.467	29			

## ANOVA

V9\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2831.719	2	1415.859	5.102	.013
Within Groups	7493.308	27	277.530		
Total	10325.026	29			

## ANOVA

V9\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	851.286	2	425.643	1.909	.168
Within Groups	6019.344	27	222.939		
Total	6870.630	29			

## Variabel: Tebal Media

## ANOVA

T1\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5725.160	2	2862.580	3.734	.028
Within Groups	66691.636	87	766.571		
Total	72416.795	89			

## ANOVA

T1\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2489.363	2	1244.682	3.708	.028
Within Groups	29206.793	87	335.710		
Total	31696.156	89			

## ANOVA

T1\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5126.900	2	2563.450	4.925	.009
Within Groups	45279.656	87	520.456		
Total	50406.555	89			

## ANOVA

T2\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1193.405	2	596.703	1.191	.309
Within Groups	43599.999	87	501.149		
Total	44793.405	89			

## ANOVA

T2\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11600.350	2	5800.175	27.037	.000
Within Groups	18664.103	87	214.530		
Total	30264.453	89			

## ANOVA

T2\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	484.658	2	242.329	.523	.594
Within Groups	40274.508	87	462.925		
Total	40759.166	89			

## ANOVA

T3\_EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11975.947	2	5987.973	12.280	.000
Within Groups	42424.280	87	487.635		
Total	54400.226	89			

## ANOVA

T3\_EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1501.564	2	750.782	1.518	.225
Within Groups	43030.227	87	494.600		
Total	44531.791	89			

## ANOVA

T3\_EFF\_SO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	25123.219	2	12561.610	38.678	.000
Within Groups	28255.321	87	324.774		
Total	53378.540	89			

Variabel : Debit Air

ANOVA

EFF\_NO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2900.608	2	1450.304	2.256	.107
Within Groups	171610.427	267	642.736		
Total	174511.035	269			

ANOVA

EFF\_CO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3533.530	2	1766.765	4.430	.013
Within Groups	106492.400	267	398.848		
Total	110025.931	269			

ANOVA

EFF\_SO2

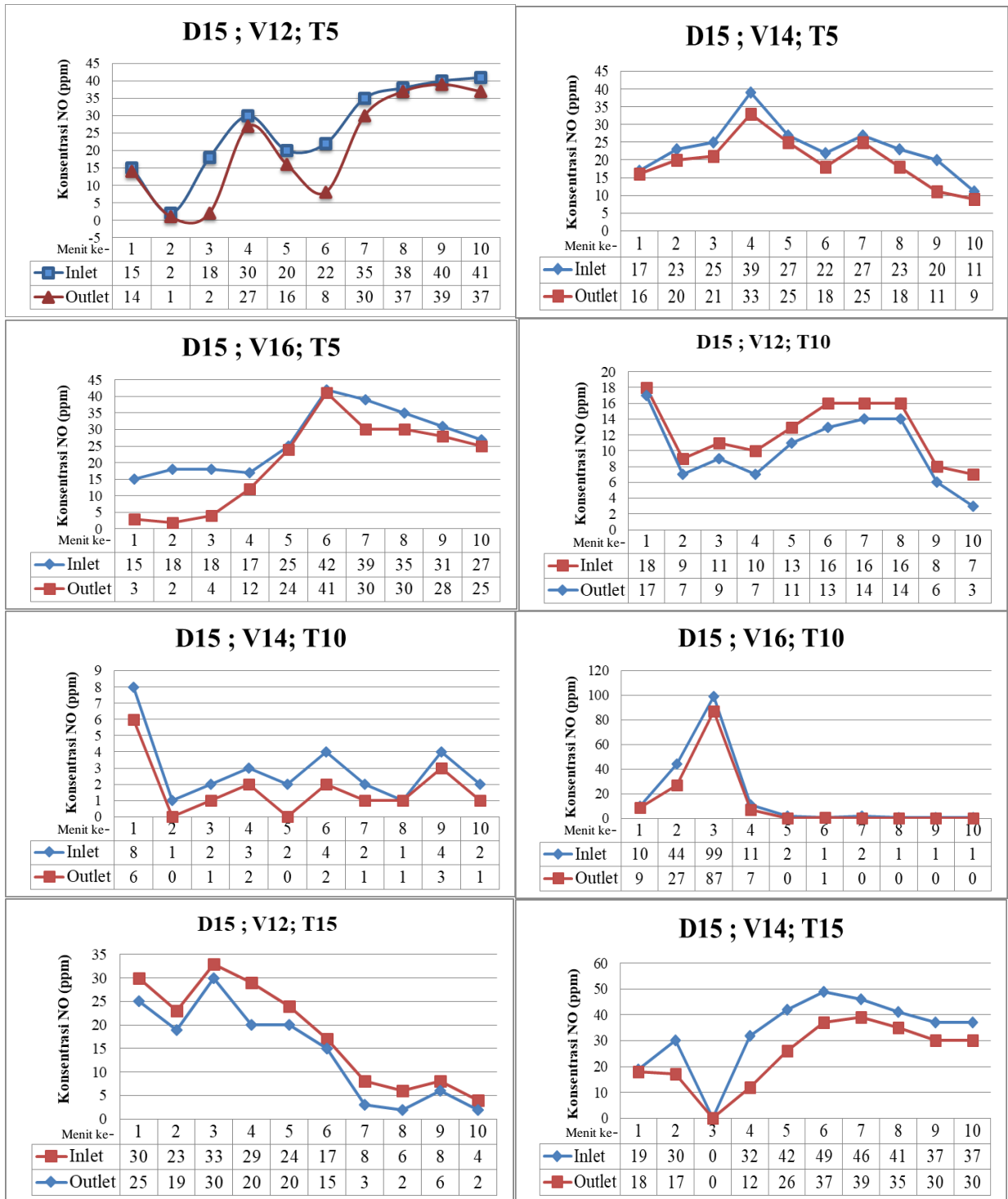
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7408.764	2	3704.382	6.843	.001
Within Groups	144544.261	267	541.364		
Total	151953.025	269			

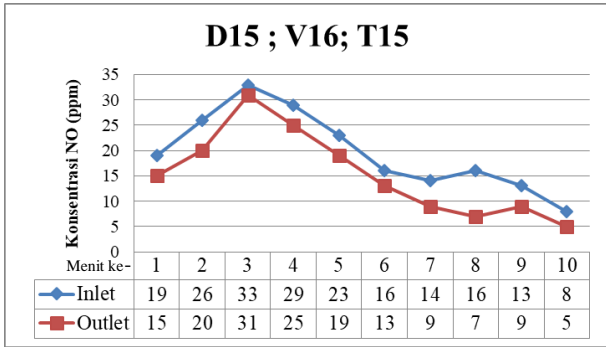


## LAMPIRAN 4

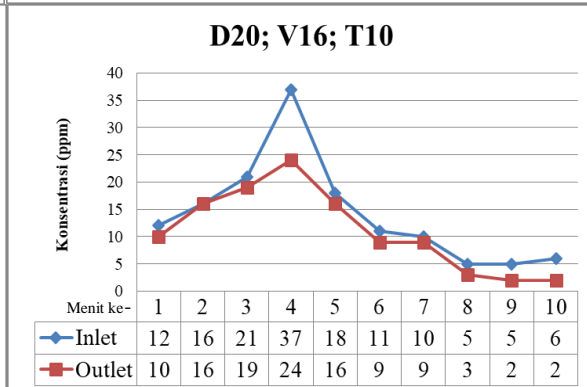
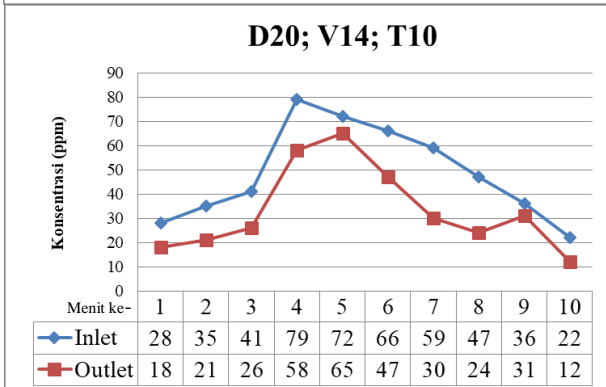
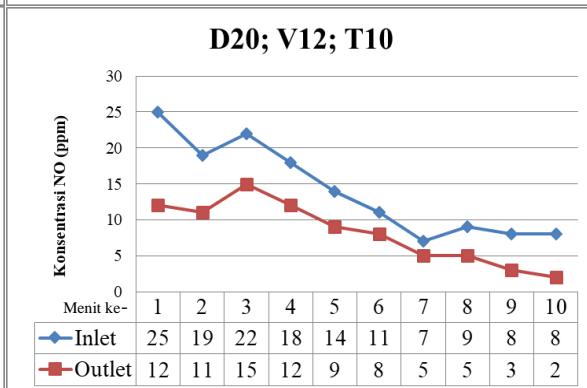
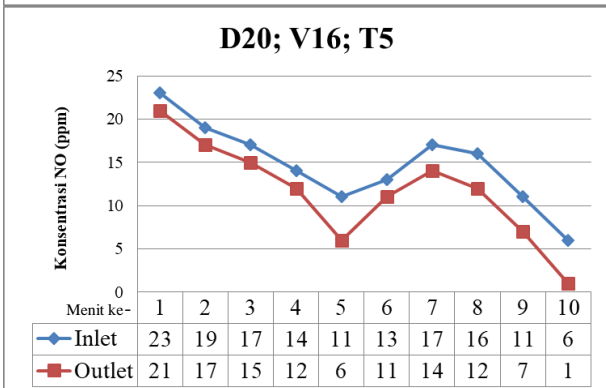
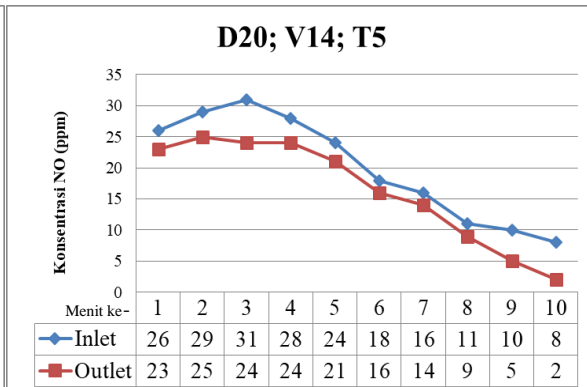
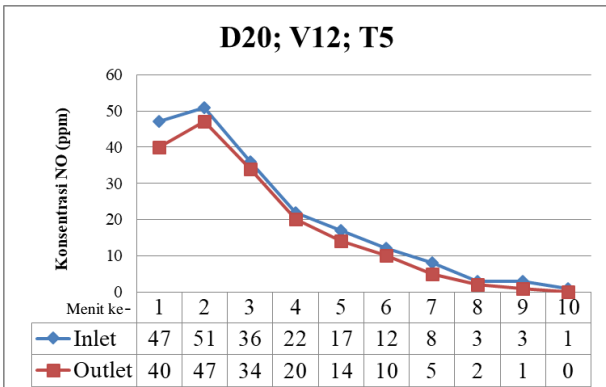
### GRAFIK PENELITIAN

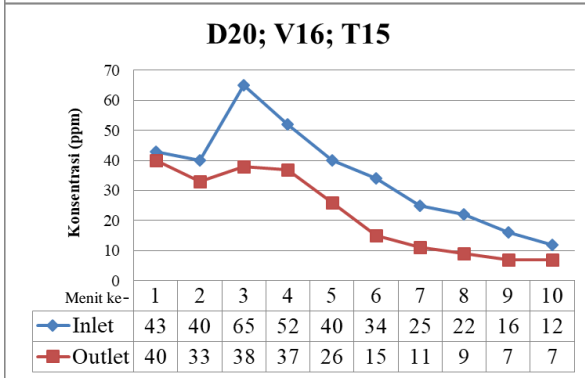
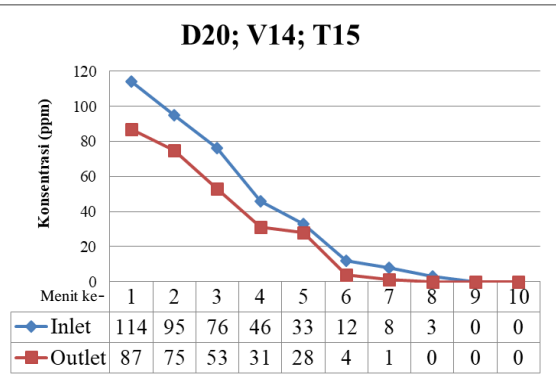
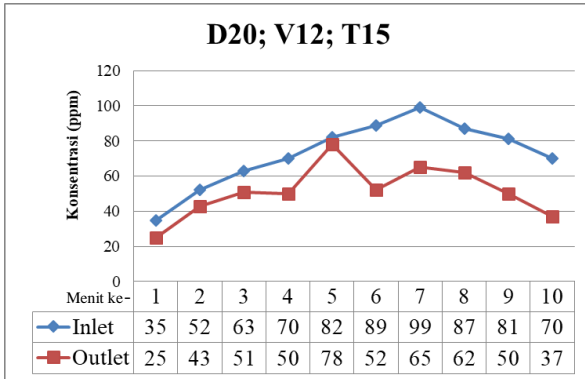
#### A. Grafik Emisi gas NO Variasi Debit : 15 l/min



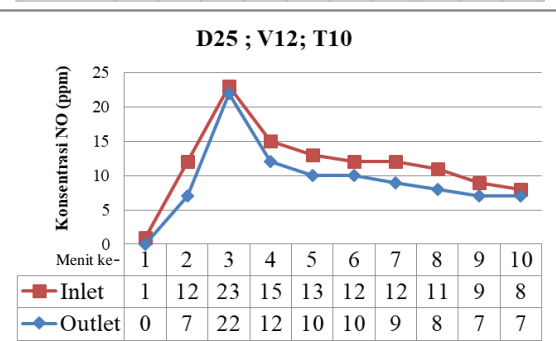
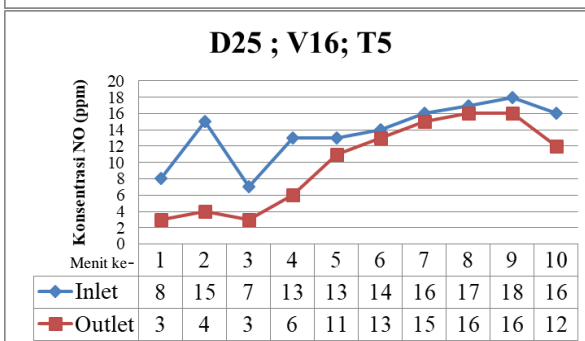
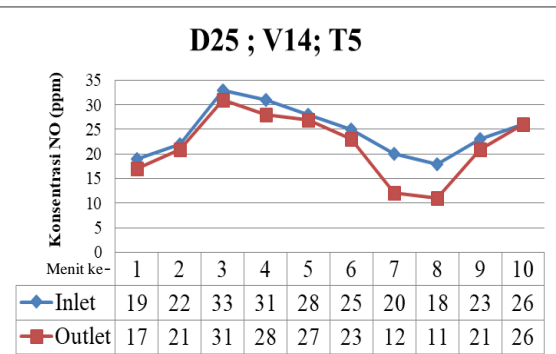
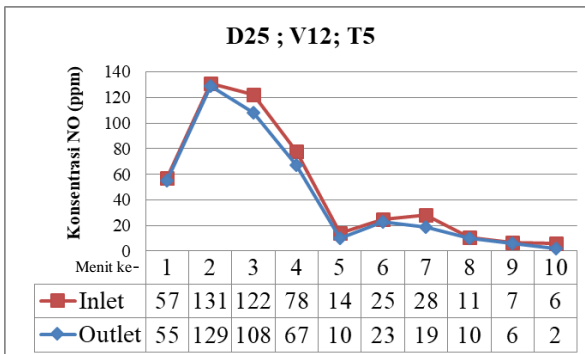


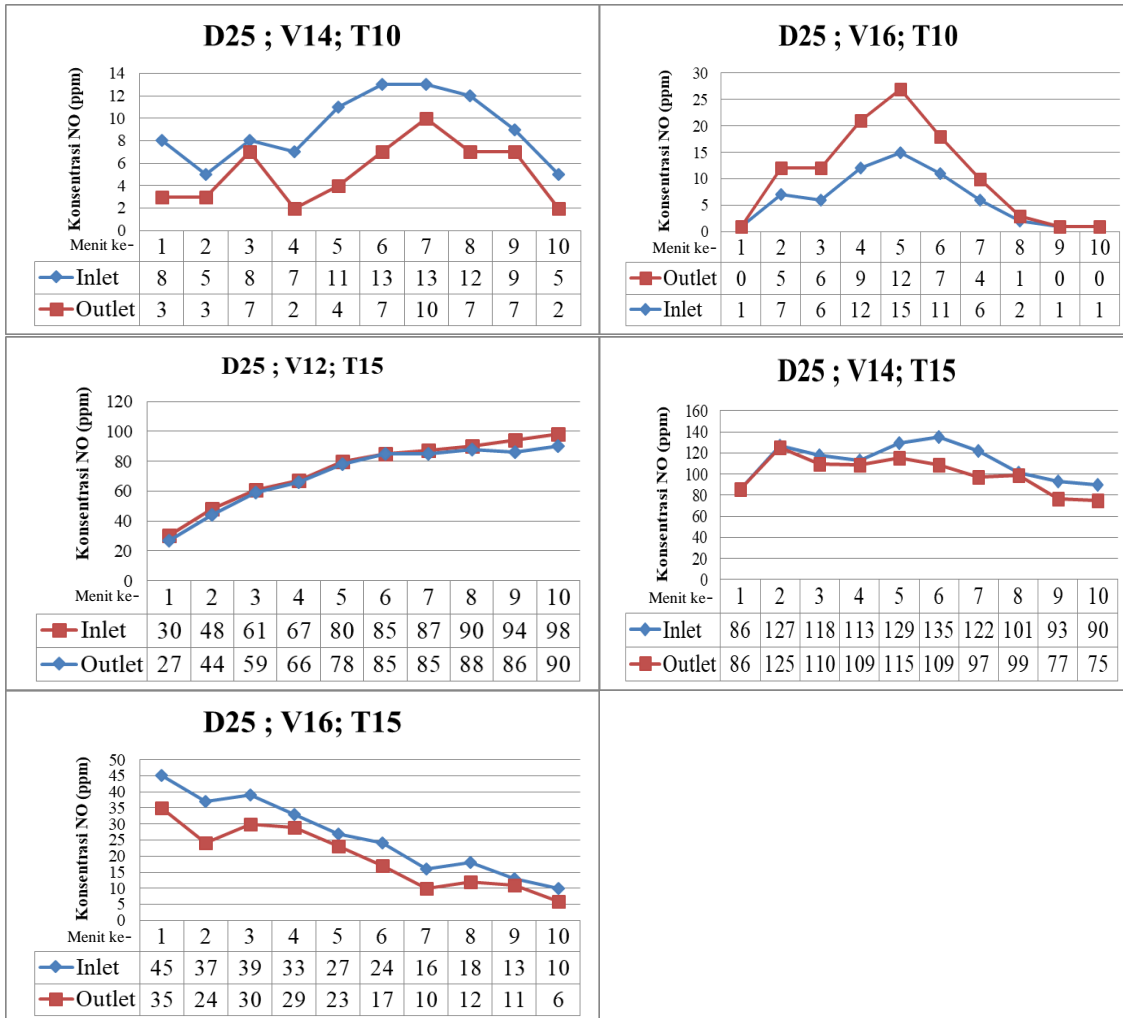
**Grafik Emisi gas NO**  
Variasi Debit : 20 l/min



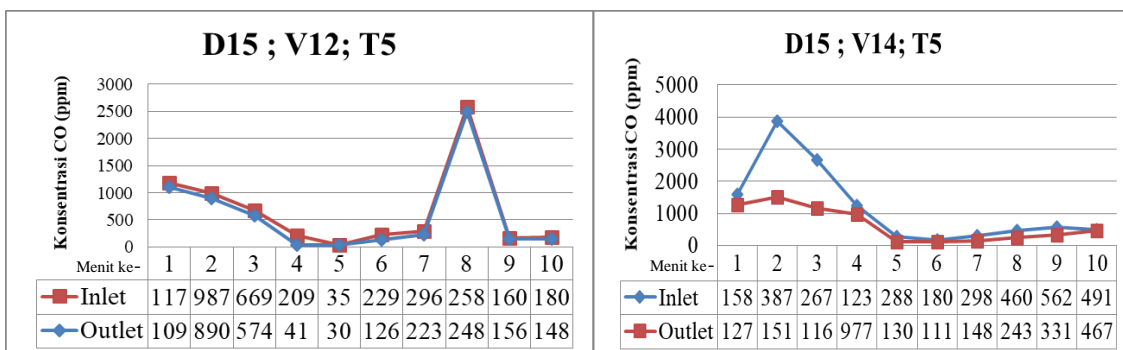


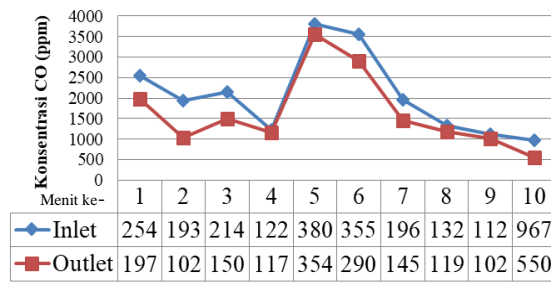
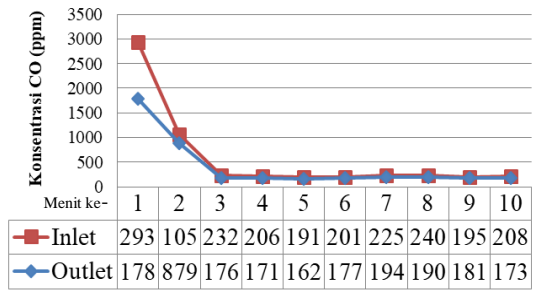
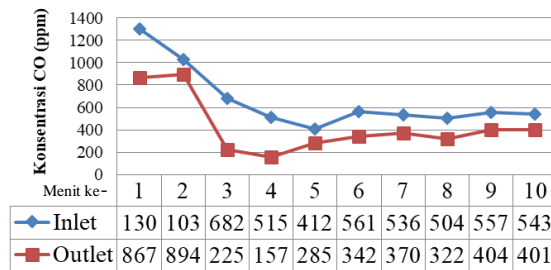
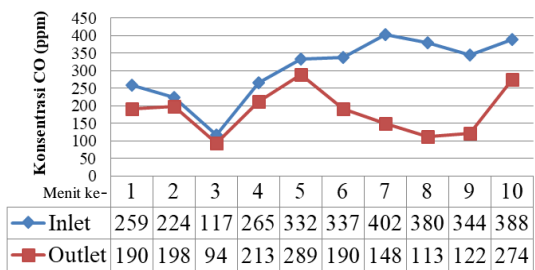
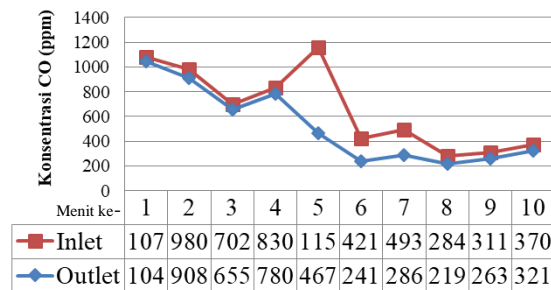
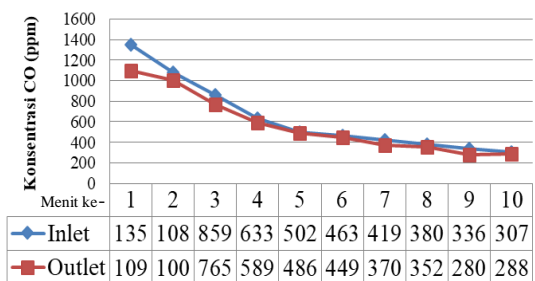
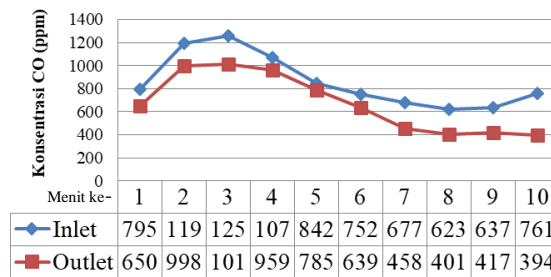
**Grafik Emisi gas NO**  
Variasi Debit : 25 l/min





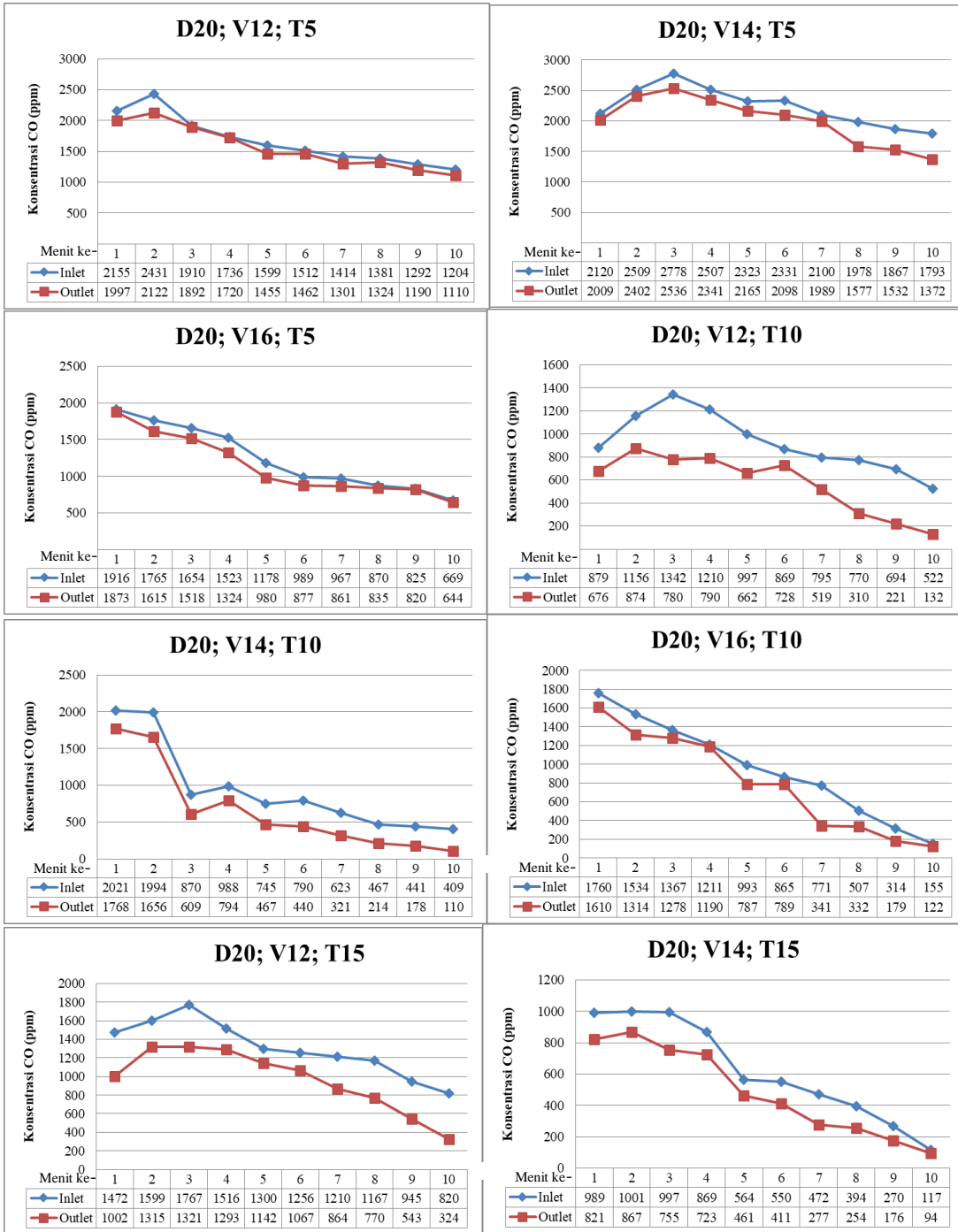
**B. Grafik Emisi gas CO**  
Variasi Debit : 15 l/min

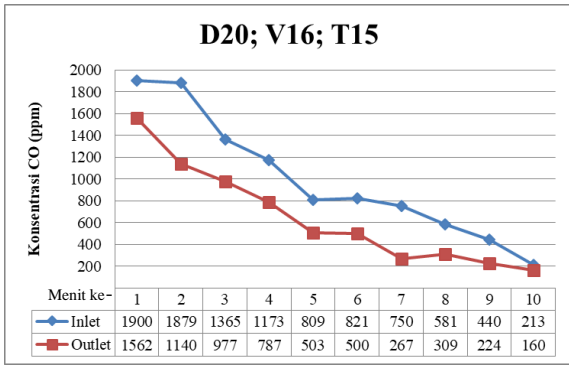


**D15 ; V16; T5****D15 ; V12; T10****D15 ; V14; T10****D15 ; V16; T10****D15 ; V12; T15****D15 ; V14; T15****D15 ; V16; T15**

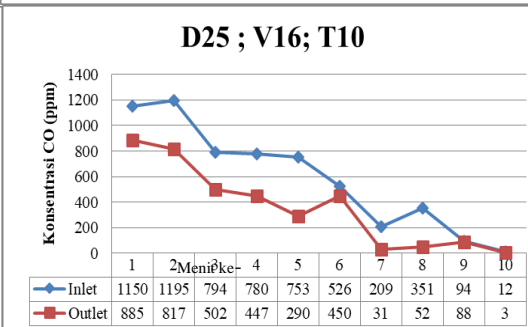
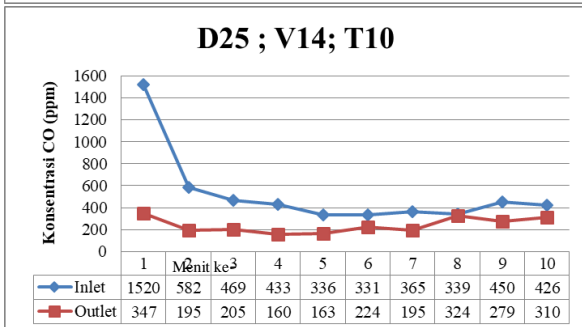
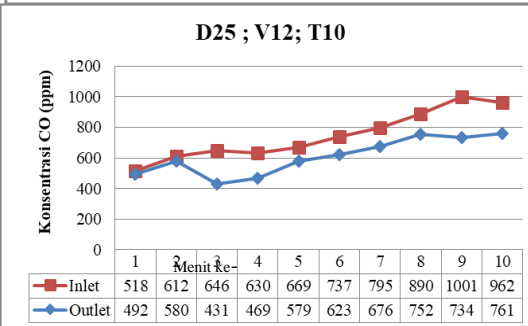
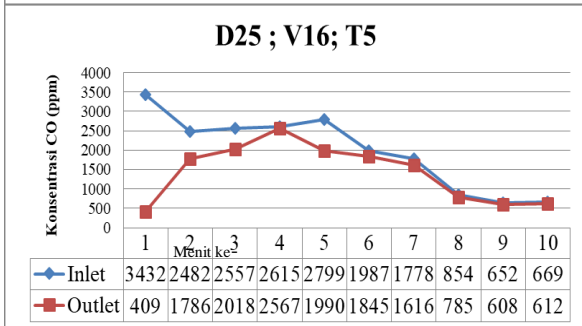
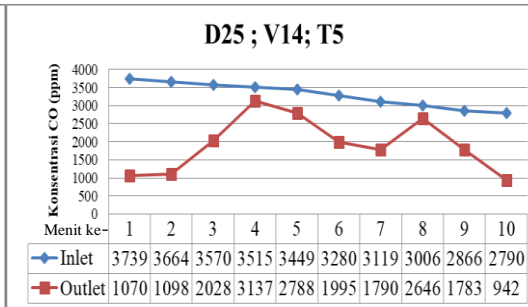
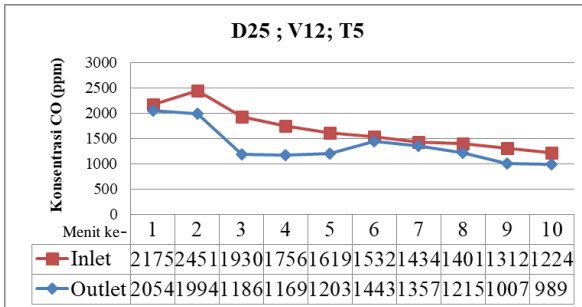
# Grafik Emisi gas CO

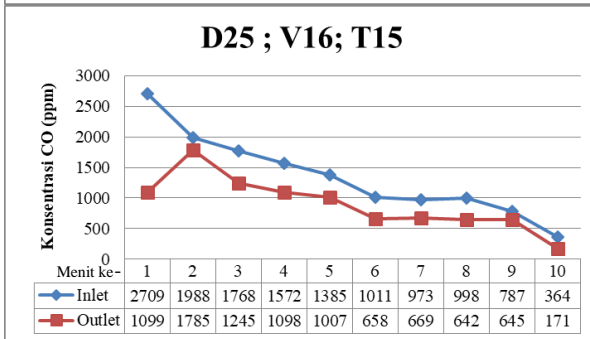
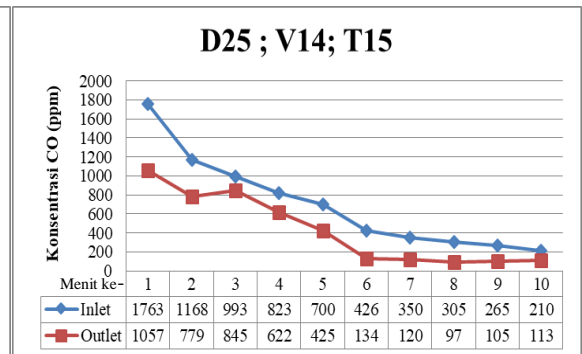
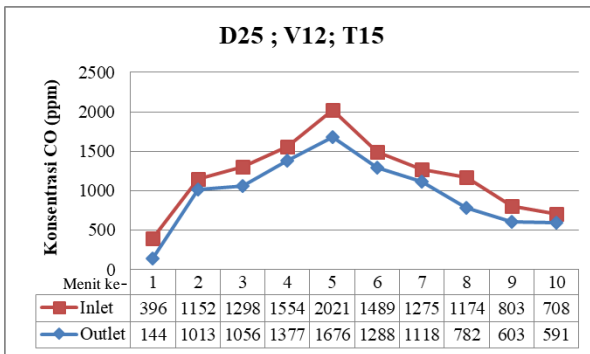
Variasi Debit : 20 l/min



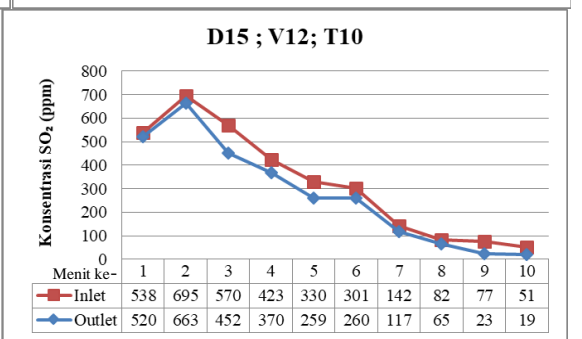
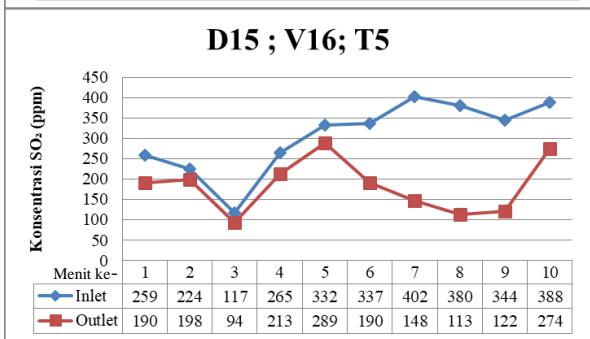
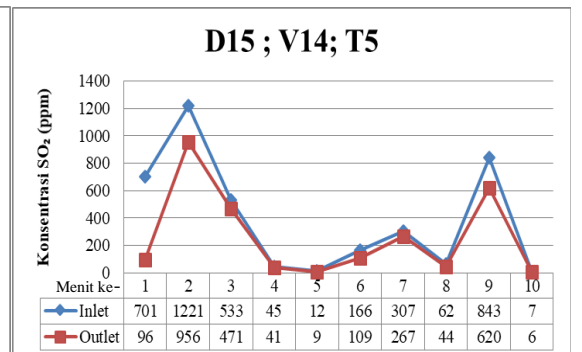
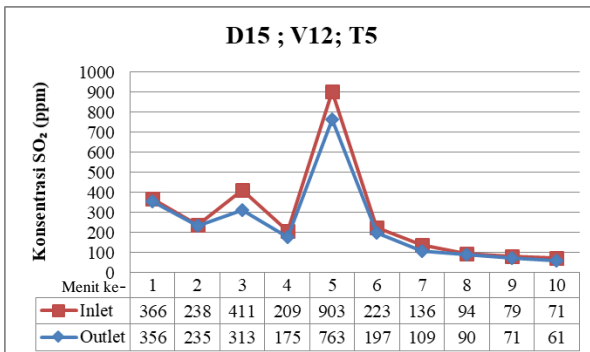


**Grafik Emisi gas CO**  
Variasi Debit : 25 l/min

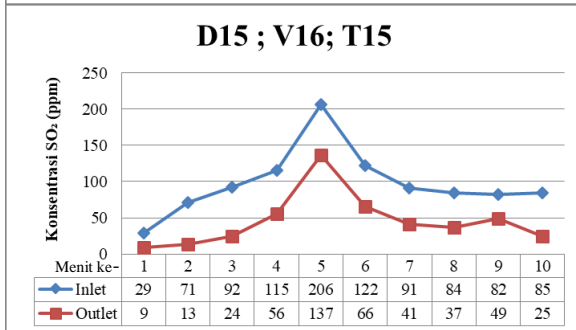
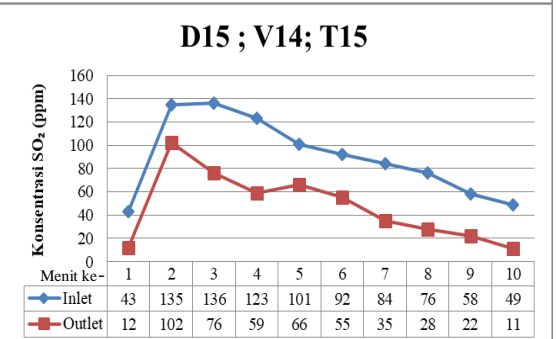
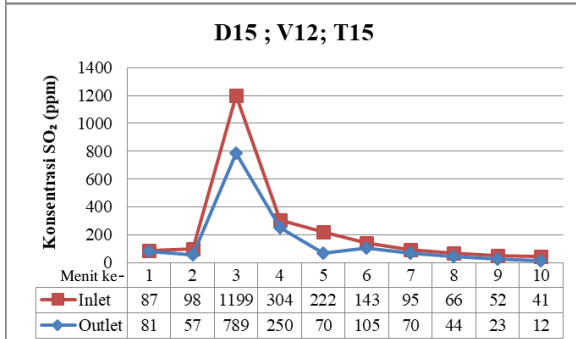
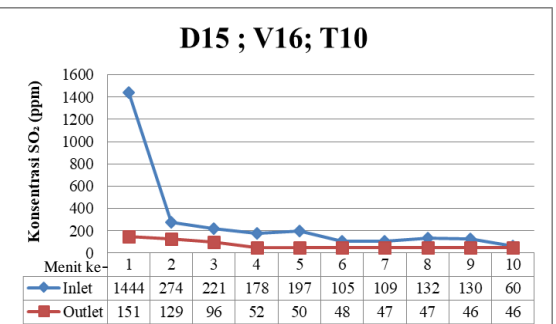
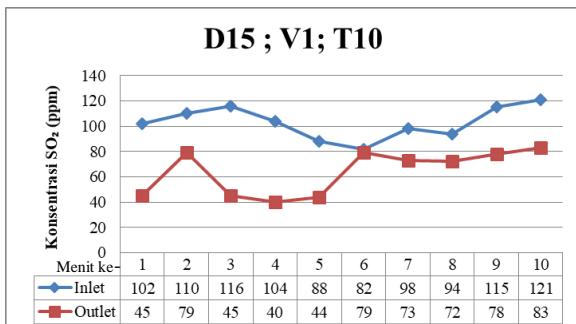




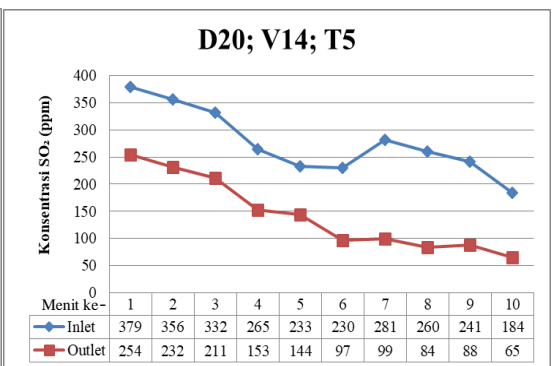
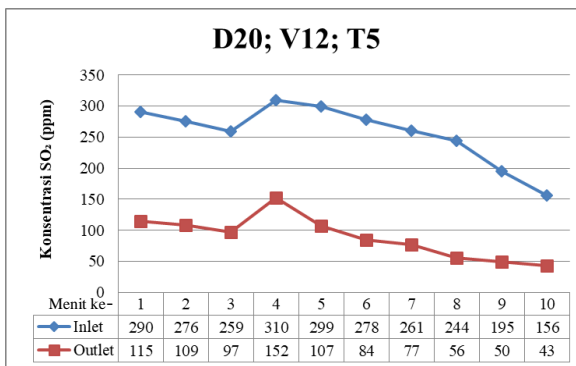
### C. Grafik gas SO<sub>2</sub> Variasi Debit : 15 l/min

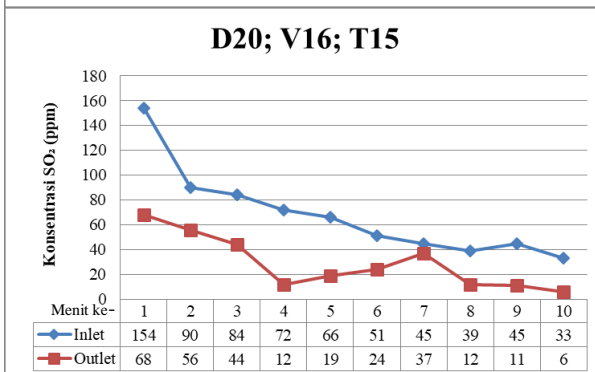
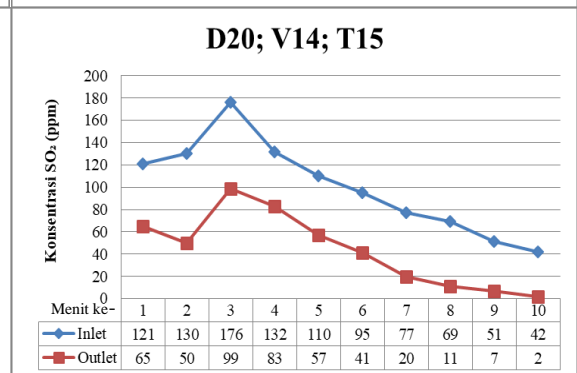
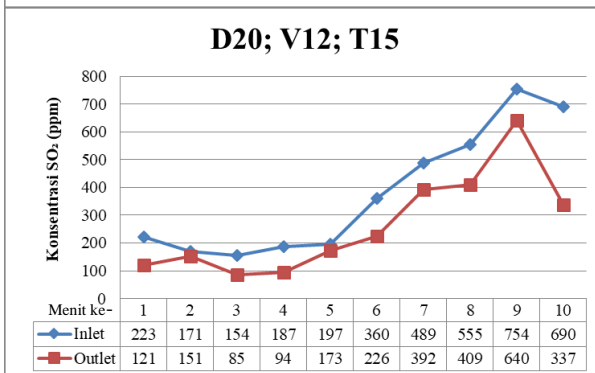
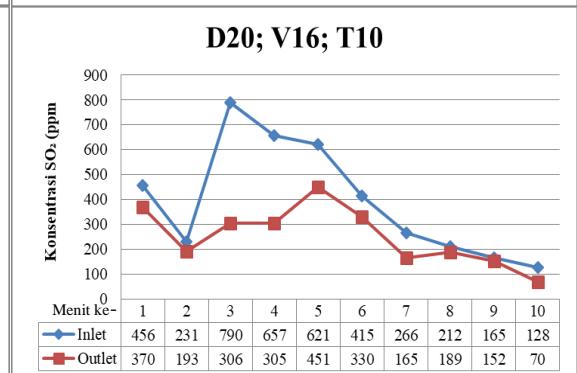
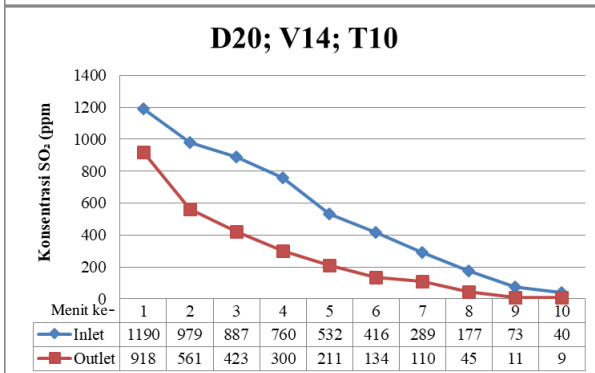
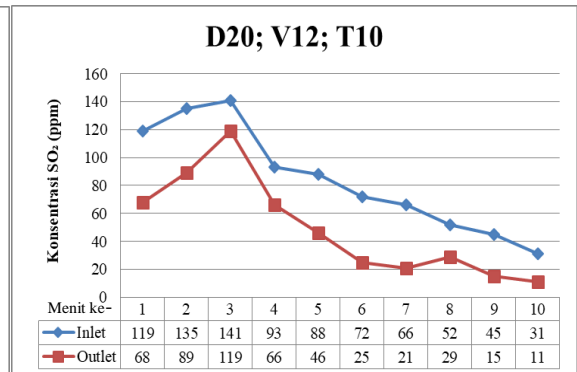
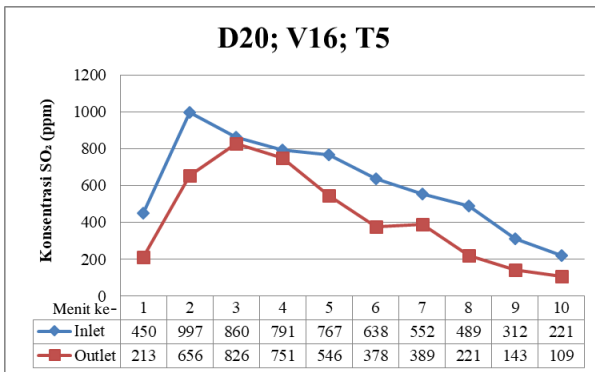






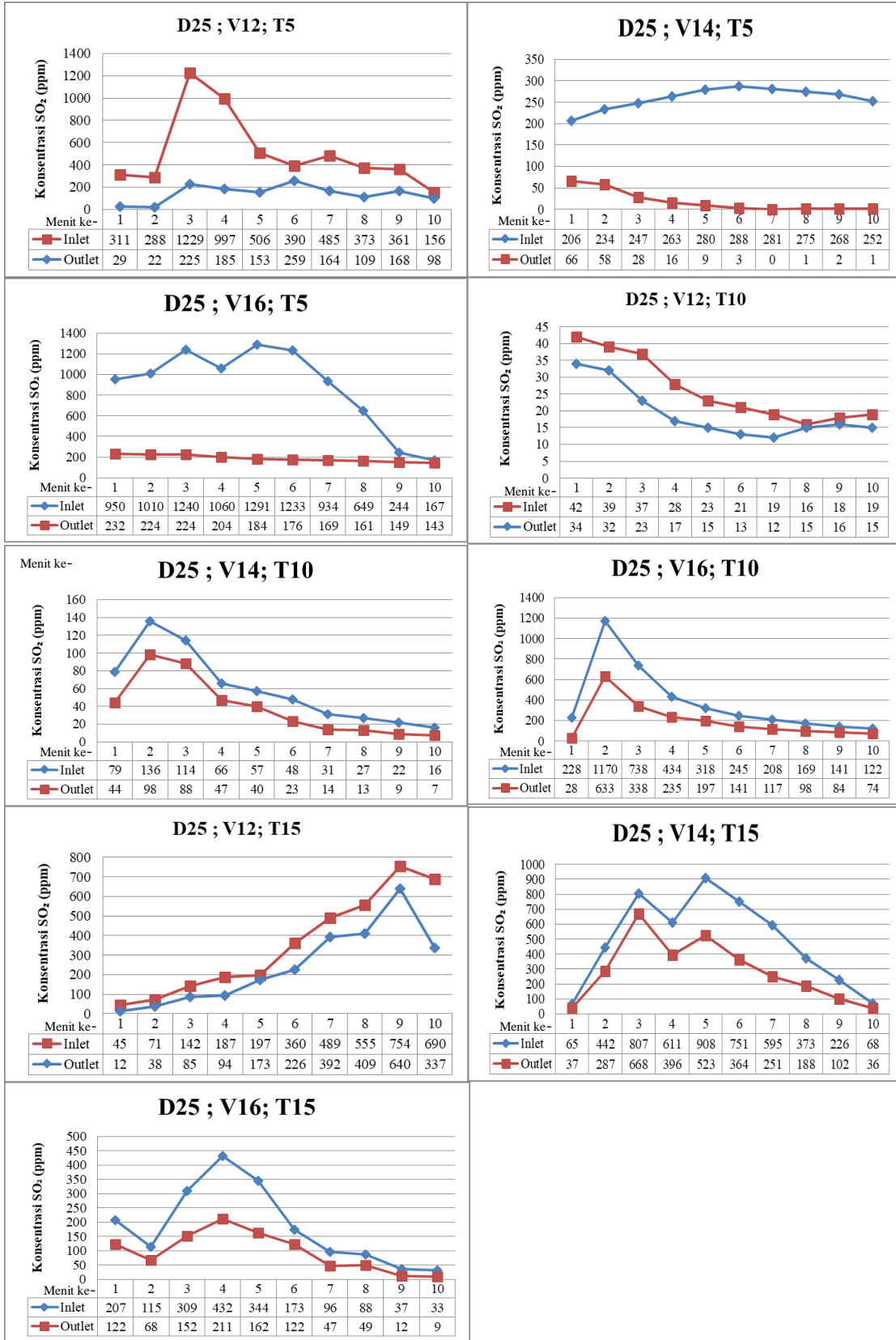
## Grafik Emisi gas SO<sub>2</sub> Variasi Debit : 20 l/min





# Grafik Emisi gas SO<sub>2</sub>

Variasi Debit : 25 l/min



**halaman ini sengaja dikosongkan**

**LAMPIRAN 5**  
**DOKUMENTASI PENELITIAN**



APD: *Respiratory mask* dan sarung tangan tahan api



<< APD: Kacamata Pelindung



Media: Media yang belum dibersihkan setelah digunakan dan media yang sudah bersih



*Gas Analyzer dan Anemometer*



*<< Hot Wire Thermocouple*



*<< Kegiatan penyalan burner*



Kegiatan Pengamatan



<< Pengecekan alat oleh Dosen Lab Udara dan teknisi alat



Kiri: Pemasangan Venturi Vakum, Kanan: Pemotongan media



Hasil Thermocouple dan Gas Analyzer





**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

**FORMULIR TESIS ULT-02**  
**Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing / Co-Pembimbing**  
**Ujian Lisan Tesis**


**Hari, tanggal** : Senin, 13 Januari 2020  
**Jam** : 13.00 - 15.00  
**Tempat** : R. Sidang Pasca  
**Judul Tesis** : Penurunan Emisi Dengan Menggunakan Single Ventury Vacuum Pada Sistem Wet Scrubber  
**Nama Mahasiswa** : Shofiana Istiqomah  
**NRP** : 03211750012008  
**Program Studi** : S-2 Teknik Lingkungan ITS \*  
**Bidang Studi** : Magister Teknik Lingkungan

No./Hal	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Tesis
	<p>- Cek buku. - Tambahkan pembalasan dg didasari teori dan rumus? - Pendahuluan dan pustaka perlu diperbaiki dan ditambahkan.</p> <p>20/2020</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-02 ke Sekretariat Pascasarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

**Dosen Pembimbing**

Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT

  
(.....)



**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

**FORMULIR TESIS ULT-02**  
**Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing / Co-Pembimbing**  
**Ujian Lisan Tesis**

**Hari, tanggal** : Senin, 13 Januari 2020  
**Jam** : 13.00 - 15.00  
**Tempat** : R. Sidang Pasca  
**Judul Tesis** : Penurunan Emisi Dengan Menggunakan Single Ventury Vacuum Pada Sistem Wet Scrubber  
**Nama Mahasiswa** : Shofiana Istiqomah  
**NRP** : 03211750012008  
**Program Studi** : S2 Teknik Lingkungan FTSP-ITS  
**Bidang Studi** : Magister Teknik Lingkungan

No./Hal	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Tesis
	<p>Kata pengantar di soroti. Abstrak di perbaiki Latar belakang diperbaiki Bab II di tambah sesuai kebutuhan tujuan penelitian pembahasan di soroti untuk menjawab tujuan penelitian &amp; jelaskan fenomena yg terjadi Kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Saran didasarkan pd penelitian.</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-02 ke Sekretariat Pascasarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

**Dosen Pembimbing**

Dr. Abdu Fadli Assomadi, SSi, MT

*Assomadi*  
*2020*  
*Assomadi*



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
Kampus ITS Sukofilo, Surabaya 60111  
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

**FORMULIR TESIS ULT-03**  
**Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah**  
**Ujian Lisan Tesis**

**Hari, tanggal** : Senin, 13 Januari 2020  
**Jam** : 13.00 - 15.00  
**Tempat** : R. Sidang Pasca  
**Judul Tesis** : Penurunan Emisi Dengan Menggunakan Single Ventury Vacuum Pada Sistem Wet Scrubber  
**Nama Mahasiswa** : Shofiana Istiqomah  
**NRP** : 03211750012008  
**Program Studi** : S-2 Teknik Lingkungan ITS  
**Bidang Studi** : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
1.	Penzelola / pengendalian emis? gas & partikulat
2.	Mengapa konsentrasi unit / saran?
3.	Tambahkan grafik efisiensi
4.	Tambahkan penjelewan "whys" dari setiap hasil - Jaga agar tidak plagiat (duplikasi)

13/01/2020

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Arjie DS (.....)



**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

**FORMULIR TESIS ULT-03**  
**Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah**  
**Ujian Lisan Tesis**

**Hari, tanggal** : Senin, 13 Januari 2020  
**Jam** : 13.00 - 15.00  
**Tempat** : R. Sidang Pasca  
**Judul Tesis** : Penurunan Emisi Dengan Menggunakan Single Ventury Vacuum Pada Sistem Wet Scrubber  
**Nama Mahasiswa** : Shofiana Istiqomah  
**NRP** : 03211750012008  
**Program Studi** : S-2 Teknik Lingkungan ITS  
**Bidang Studi** : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
1.	penurunan dipukdit.
2.	pentakson
3.	Korosi : proses : absorbs & kalat ge
4.	Saran : desain dg peralat or

*[Signature]*  
20/1/2020

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah :

*[Signature]* *[Signature]*



**FORMULIR TESIS ULT-03**  
**Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah**  
**Ujian Lisan Tesis**


**Hari, tanggal** : Senin, 13 Januari 2020  
**Jam** : 13.00 - 15.00  
**Tempat** : R. Sidang Pasca  
**Judul Tesis** : Penurunan Emisi Dengan Menggunakan Single Ventury Vacuum Pada Sistem Wet Scrubber  
**Nama Mahasiswa** : Shofiana Istiqomah  
**NRP** : 03211750012008  
**Program Studi** : S-2 Teknik Lingkungan ITS  
**Bidang Studi** : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
	<ul style="list-style-type: none"><li>• judul bahasa Inggris; Abstract</li><li>• pendahuluan - build case!</li><li>• kajian pustaka - relevansi!</li><li>• rumusan masalah → tujuan → metode/pembahasan → diskusi → di sambungkan, cocok!</li><li>• Pembahasan : Jawab! (belum ada di laporan) sitasi paper/penelitian terdahulu</li><li>• pengaruh faktor: teknik; material: T, P, kelangkaan, dll terhadap absorpsi (data!).</li><li>• Daftar pustaka : Kerjakan</li><li>• <b>READ MORE PAPERS!</b></li></ul>

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah :

ERVIN NURHAYATI

  
20/1/20

## BIOGRAFI PENULIS



Shofiana Istiqomah biasa dipanggil Shofi, lahir di Blitar tanggal 20 Oktober tahun 1994. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar pada tahun 2001-2004 di MI Assyafi'iyah Pikatan dan tahun 2004-2007 di MI Perwanida Blitar. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan MTs hingga Aliyah pada tahun 2007-2013 di MTs dan MA Al-Mawaddah (Pesantren Putri Al-Mawaddah) Coper, Ponorogo. Setelah menyelesaikan pendidikan Aliyah, penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya jurusan D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada tahun 2013-2017. Kemudian, penulis kembali melanjutkan pendidikan tinggi Magister di Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2018. Penulis pernah melakukan Kerja Praktik di PT. Freeport Indonesia dan Badan Tenaga Nuklir Nasional di Yogyakarta pada tahun 2016. Segala bentuk komunikasi yang ingin disampaikan kepada penulis dapat disampaikan melalui email [shofianaistiqomah@gmail.com](mailto:shofianaistiqomah@gmail.com)