

**PENGARUH *CONE NOZZLE* PADA *VENTURY WET*  
*SCRUBBER* UNTUK MENURUNKAN EMISI GAS BUANG  
INSINERATOR**

**Tugas Akhir**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada Jurusan  
Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Diusulkan oleh :

**VENIDA ALAN DEVARA**

**3331210030**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN**

**2025**

## TUGAS AKHIR

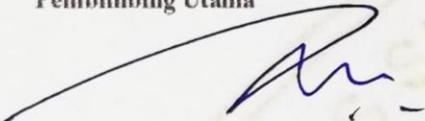
### PENGARUH *CONE NOZZLE* PADA *VENTURY WET SCRUBBER* UNTUK MENURUNKAN EMISI GAS BUANG INSINERATOR

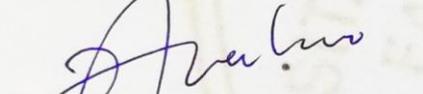
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

**Venida Alan Devara**  
3331210030

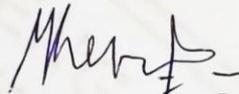
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 23 April 2025

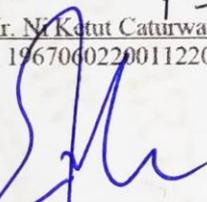
**Pembimbing Utama**

  
Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.  
NIP. 197505152014041001

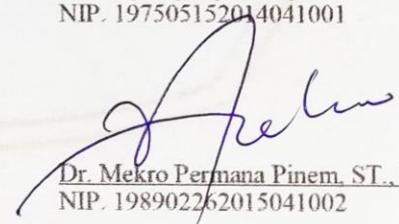
  
Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041002

**Anggota Dewan Penguji**

  
Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, MT.  
NIP. 196706022001122001

  
Dr. Erwin, ST., MT.  
NIP. 197310062009121001

  
Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.  
NIP. 197505152014041001

  
Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041002

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 15 Mei 2025  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA  
  
Dr. Dhimas Satria, ST., M.Eng.  
NIP. 198305102012121006

## LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Venida Alan Devara

NPM : 33312100030

Judul : Pengaruh *Cone Nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Insinerator

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini adalah hasil karya sendiri dan tidak ada duplikasi dari pihak lain, kecuali yang sudah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 15 Mei 2025



**Venida Alan Devara**  
3331210030

## **ABSTRAK**

# **PENGARUH *CONE NOZZLE* PADA *VENTURY WET SCRUBBER* UNTUK MENURUNKAN EMISI GAS BUANG INSINERATOR**

Disusun Oleh:

**Venida Alan Devara**

**3331210030**

Pengelolaan sampah yang belum optimal di Indonesia berdampak pada meningkatnya emisi gas buang dari proses insinerasi. Salah satu solusi untuk mengurangi emisi ini adalah penggunaan teknologi *ventury wet scrubber*, yang berfungsi menangkap partikel dan gas berbahaya dengan aliran air. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penggunaan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* terhadap penurunan emisi gas buang insinerator. Metode yang digunakan adalah membandingkan dua kondisi yaitu insinerator tanpa *scrubber* dan insinerator dengan *scrubber* yang dilengkapi empat *cone nozzle*. Parameter emisi yang diukur meliputi CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub> dengan menggunakan gas *analyzer*. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem dengan *cone nozzle* mampu menurunkan emisi CO sebesar 80,60%, CO<sub>2</sub> sebesar 70,56%, dan HC sebesar 73,81%, serta meningkatkan kadar O<sub>2</sub> sebesar 23,43%. Meskipun emisi CO masih sedikit melebihi batas ambang baku emisi (733 mg/Nm<sup>3</sup> dibandingkan standar 625 mg/Nm<sup>3</sup>), penurunan yang dicapai sangat signifikan yaitu sebesar 80.60%. Dengan demikian, penggunaan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* terbukti efektif dalam mereduksi emisi gas buang insinerator.

**Kata Kunci:** *Cone Nozzle, Insinerator, Pengendalian Polusi, Ventury Wet Scrubber*

## **ABSTRACT**

### ***EFFECT OF CONE NOZZLE ON VENTURY WET SCRUBBER TO REDUCE INCINERATOR FLUE GAS EMISSION***

Written By:

**Venida Alan Devara**

**3331210030**

Suboptimal waste management in Indonesia has resulted in increased exhaust emissions from the incineration process. One solution to reduce these emissions is the use of ventury wet scrubber technology, which functions to capture harmful particles and gases with water flow. This study aims to determine the effect of using a cone nozzle on the ventury wet scrubber on reducing incinerator exhaust emissions. The method used was to compare two conditions: incinerator without scrubber and incinerator with scrubber equipped with four cone nozzles. Emission parameters measured include CO, CO<sub>2</sub>, HC, and O<sub>2</sub> using a gas analyzer. The results show that the system with cone nozzles can reduce CO emissions by 80.60%, CO<sub>2</sub> by 70.56%, and HC by 73.81%, and increase O<sub>2</sub> levels by 23.43%. Although CO emissions still slightly exceed the emission standard threshold (733 mg/Nm<sup>3</sup> compared to the standard 625 mg/Nm<sup>3</sup>), the reduction achieved is very significant at 80.60%. Thus, the use of a cone nozzle on the ventury wet scrubber proved effective in reducing incinerator flue gas emissions.

***Keywords:*** Cone Nozzle, Incinerator, Pollution Control, Ventury Wet Scrubber

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan anugerah-Nya, Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wassalam, sosok pembina yang karena mulia akhlaknya, penulis dapat merasakan nikmat Islam. Alhamdulillah atas berkah dan nikmat-Nya penulis dapat menyusun proposal tugas akhir ini, dengan judul ”Pengaruh *Cone Nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Insinerator” Salah satu tujuan penulisan laporan ini adalah sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam pengajuan Tugas Akhir di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pada Proposal Tugas Akhir ini mendapat bimbingan, arahan, serta bantuan dari berbagai pihak, dengan itu penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya, khususnya kepada ;

1. Bapak Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng., Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Kurnia Nugraha, S.T, M.T. Selaku dosen pembimbing akademik jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T, M.T. Selaku Plt. Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Agung Sudrajad, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Staf dan jajaran Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang sedikit banyaknya membantu dalam proses penelitian ini.
7. Orang Tua saya yang telah mendukung dan mendoakan saya dalam setiap aktivitas dan pembuatan skripsi ini.

8. Teman-teman tim penelitian Insinerator yang sudah bekerja sama dan saling memberikan semangat dan motivasi dalam proses pengerjaan skripsi ini.
9. Teman-teman angkatan rocket yang telah memberi semangat dan dukungan selama proses perkuliahan hingga penelitian ini.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu, baik berupa doa, dukungan dan lain sebagainya.

Disusun laporan ini memiliki banyak sekali rintangan, serta hambatan yang penulis hadapi, akan tetapi penelitian ini dapat terwujud berkat banyaknya bantuan dan arahan dari berbagai pihak. Maka itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada berbagai pihak yang telah membantu dan mendo`a-kan agar penulisan laporan ini dapat diselesaikan. Semoga kebaikan yang sudah dilakukan dapat dibalaskan sebaik-baiknya.

Demikian Laporan Tugas Akhir ini, Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan baik dalam penyusunan maupun pemaparannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang membangun. Terimakasih.

Cilegon, 15 Mei 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>State Of Art</i> .....	4
2.2 Insinerator.....	5
2.3 <i>Wet Scrubber</i> .....	6
2.3.1 Mekanisme <i>Wet Scrubber</i> .....	7
2.3.2 Jenis <i>Wet Scrubber</i> .....	9
2.4 <i>Cone Nozzle</i> .....	12
2.5 Emisi Gas Buang .....	14
2.5.1 Karbon Monoksida (CO).....	16
2.5.2 Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ).....	16
2.5.3 Hidrokarbon (HC) .....	17
2.5.4 Oksigen (O <sub>2</sub> ).....	18
2.6 Absorpsi.....	18

2.6.1 Physical Absorption.....	19
2.6.2 Chemical Absorption.....	20
2.7 <i>Collision Droplet</i> .....	21
2.8 Standar Emisi Insinerator.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.2.1 Alat.....	27
3.2.2 Bahan.....	33
3.3 <i>Sampling Point</i> .....	34
3.4 Skema Penelitian.....	35
3.5 Prosedur Penelitian.....	37
3.5.1 Prosedur Pengambilan Data Insinerator.....	37
3.5.2 Prosedur Pengambilan Data Insinerator Menggunakan Cone Nozzle Pada Ventury Wet Scrubber.....	37
3.5.3 Prosedur Pengambilan Data.....	38
3.6 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Pengambilan Data.....	39
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Emisi Karbon Monoksida (CO).....	40
4.2 Analisis Emisi Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ).....	42
4.3 Analisis Emisi Hidrokarbon (HC).....	45
4.4 Analisis Kandungan Gas Oksigen (O <sub>2</sub> ).....	47
4.5 Pengaruh Penggunaan <i>Cone Nozzle</i> Pada <i>Ventury Wet Scrubber</i> Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Insinerator.....	49
4.6 Analisa Ambang Batas Nilai Emisi Berdasarkan Standar.....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Insinerator .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Ilustrasi Mekanisme <i>Wet Scrubber</i> .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Ilustrasi <i>Spray Tower</i> .....	9
<b>Gambar 2.4</b> <i>Cyclonic Spray Tower</i> .....	10
<b>Gambar 2.5</b> <i>Ventury Scrubber</i> .....	11
<b>Gambar 2.6</b> Hasil Semprotan <i>Cone Nozzle</i> .....	12
<b>Gambar 2.7</b> <i>pressure-swirl atomization</i> Pada <i>Cone Nozzle</i> .....	13
<b>Gambar 2.8</b> <i>Cone Nozzle</i> .....	14
<b>Gambar 2.9</b> Proses Absorpsi Fisik .....	20
<b>Gambar 2.10</b> Proses Absorpsi Kimia .....	21
<b>Gambar 2.11</b> Perbedaan hasil 3 tumbukan air .....	21
<b>Gambar 2.12</b> <i>Type Droplet Collision</i> .....	22
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	25
<b>Gambar 3.2</b> Insinerator .....	27
<b>Gambar 3.3</b> <i>Gas analyzer</i> .....	28
<b>Gambar 3.4</b> Pompa Air.....	29
<b>Gambar 3.5</b> <i>Nozzle Cone</i> .....	29
<b>Gambar 3.6</b> <i>Ventury Wet Scrubber</i> .....	30
<b>Gambar 3.7</b> <i>Blower</i> .....	30
<b>Gambar 3.8</b> <i>Burner</i> .....	31
<b>Gambar 3.9</b> <i>Flask</i> .....	31
<b>Gambar 3.10</b> Tangki Bahan Bakar .....	32
<b>Gambar 3.11</b> Panel <i>Display</i> Temperatur .....	32
<b>Gambar 3.12</b> <i>Thermocouple</i> .....	33
<b>Gambar 3.13</b> Air .....	33
<b>Gambar 3.14</b> Limbah Sampah .....	34
<b>Gambar 3.15</b> Bahan Bakar .....	34
<b>Gambar 3.16</b> <i>Sampling Point</i> .....	35
<b>Gambar 3.17</b> Skema Penelitian .....	36

<b>Gambar 4.1</b> Grafik Perbandingan Nilai Emisi CO .....	41
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Penurunan Nilai Emisi CO <sub>2</sub> .....	43
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Penurunan Nilai Emisi HC.....	46
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Perbandingan Nilai Emisi O <sub>2</sub> .....	48

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Batas Maksimum Emisi Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.....	23
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi CO.....	40
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi CO <sub>2</sub> .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi HC .....	45
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Persentase Perubahan Nilai Emisi O <sub>2</sub> .....	47
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Persentase Perubahan Nilai Emisi <i>Cone Nozzle Off</i> dan <i>Cone Nozzle On</i> .....	50
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Nilai Hasil Penelitian Gas CO dengan Standar Baku Emisi P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.....	52

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024, jumlah timbulan sampah padat di Indonesia diperkirakan mencapai 33.62 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sekitar 60,09% telah berhasil dikelola, sementara 39.91% masih belum terkelola secara optimal [1]. Sampah yang tidak terkelola ini umumnya berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) atau mencemari lingkungan, termasuk ekosistem laut. Permasalahan pengelolaan sampah yang efektif masih menjadi tantangan besar di Indonesia, meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan pengurangan dan penanganan sampah. Sampah yang tidak dikelola dengan baik menimbulkan berbagai dampak negatif, termasuk ancaman terhadap kesehatan manusia dan kerusakan lingkungan. Salah satu dampak signifikan adalah polusi udara yang dihasilkan dari pembakaran sampah tanpa pengendalian yang sesuai, yang dapat melepaskan emisi gas berbahaya.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan metode pengolahan sampah yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah insinerasi, yaitu teknik pengolahan sampah dengan cara membakar sampah pada suhu tinggi. Proses ini sering disebut sebagai pengolahan termal atau *thermal treatment* karena memanfaatkan panas dalam proses pembakaran [2]. Insinerator memiliki dua fungsi utama, yakni sebagai alat pembakar sampah dan sebagai pembangkit uap panas dengan mengonversi energi panas hasil pembakaran. Keunggulan dari metode insinerasi adalah kemampuannya dalam mengurangi volume sampah secara signifikan serta meminimalkan pencemaran lingkungan akibat penimbunan sampah [3]. Namun demikian, proses ini juga menghasilkan emisi gas buang yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengendalian emisi yang efektif untuk mengurangi dampak negatif dari gas buang yang dihasilkan.

Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk mengendalikan emisi gas buang adalah *Ventury Wet Scrubber*. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan aliran air untuk menangkap partikel, debu, dan gas berbahaya dari emisi hasil pembakaran. Sistem ini menerapkan prinsip *Ventury*, di mana gas buang dipercepat melalui bagian sempit dari scrubber sehingga menciptakan tekanan rendah yang menarik cairan penyerap (biasanya air) ke dalam aliran gas. Variasi tipe *water spray* yang digunakan dalam *Ventury Wet Scrubber* diketahui memiliki pengaruh terhadap efisiensi pengendalian emisi. *Cone nozzle* memiliki pola semprotan yang lebih luas dan merata, sehingga cakupan dalam penangkapan emisi gas buang insinerator menjadi lebih efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *cone nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk mengetahui penurunan emisi gas buang insinerator. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh solusi yang lebih efektif untuk mengurangi emisi gas berbahaya sekaligus meningkatkan efisiensi sistem pengendalian polusi. Selain itu, penelitian ini relevan dengan upaya pemerintah dalam mendukung program keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka disusun laporan tugas akhir dengan judul "Pengaruh *Cone Nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Insinerator".

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* untuk menurunkan emisi gas buang insinerator?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan emisi gas buang insinerator dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber*.

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Insinerator yang digunakan pada penelitian ini adalah insinerator yang terdapat pada Laboratorium Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA.
2. Limbah yang digunakan adalah limbah plastik dan kertas.
3. Air yang digunakan pada *system water spray* adalah air yang berada pada Fakultas Teknik UNTIRTA.
4. Tipe *water spray* yang digunakan adalah tipe *spray cone nozzle*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi industri dan pelaku UMKM

Memberikan solusi untuk mengurangi emisi gas buang dari insinerator dan *ventury wet scrubber*, tentunya hal ini bisa menjadi solusi dan mempermudah untuk bisa mengelola limbah emisinya secara mandiri.

2. Bagi lingkungan

Dengan mengurangi emisi gas buang yang tercipta maka dapat meningkatkan kualitas udara, sehingga dapat mengurangi risiko kesehatan bagi masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi insinerator dan meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan.

3. Bagi pemerintah

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam merumuskan kebijakan lingkungan, khususnya dalam pengelolaan dan pengurangan emis gas buang dari insinerator. Penelitian ini juga relevan dengan upaya pemerintah dalam memenuhi standar emisi yang ditetapkan, serta mendukung keberlanjutan lingkungan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *State Of Art*

Penelitian ini tentunya menggunakan banyak referensi dari berbagai jurnal atau penelitian terdahulu sebagai dasar literatur dalam penelitian ini. Adapun penjelasan mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang akan dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. PENGARUH PENGGUNAAN AIR LAUT DAN UKURAN DROPLET TERHADAP KADAR PARTIKULAT GAS BUANG PADA INSINERATOR SAMPAH.

Pada penelitian ini membahas mengenai pembilasan *system water scrubber* dilengkapi dengan 4 buah *misting nozzle* bertipe *cone nozzle* dengan sudut penyerapan 90°. Penurunan kadar opasitas yang efektif adalah sebesar 17,44%, sedang penurunan kadar CO<sub>2</sub> yang efektif adalah 2.64%. Pembilasan *system water scrubber* menggunakan *droplet size* kecil lebih efektif dikarenakan droplet ukuran kecil ini menghasilkan jumlah butiran yang lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan *droplet size* besar [4].

2. *CHIMNEY FILTER MODEL WET SCRUBBER TO REDUCE AIR POLLUTANT EMISSIONSON THE INSINERATOR*

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan filter cerobong scrubber dengan variasi debit air (3,2 liter/menit, 4,0 liter/menit, dan 5,6 liter/menit) dapat secara signifikan menurunkan kadar SO<sub>2</sub> dan CO hingga di bawah standar kualitas udara yang diizinkan. Namun, untuk gas NO<sub>x</sub> dan partikulat, meskipun terjadi penurunan, kadar tersebut masih berada di atas batas yang diperbolehkan [2].

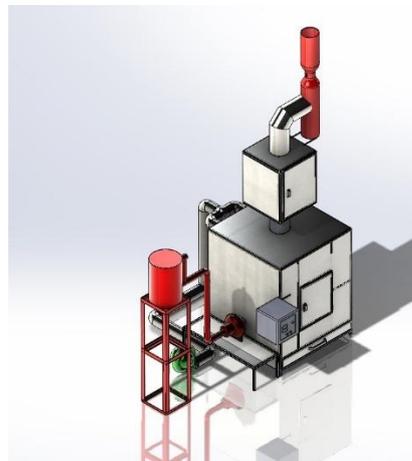
3. PERENCANAAN EMISI PM10 PADA INDUSTRI PELEBURAN BAJA CILEGON – BANTEN

*Wet Scrubber* yang digunakan untuk perencanaan ini adalah *ventury scrubber* yang mempunyai nilai efisiensi untuk mengeliminasi partikulat sampai dengan 99%. Material lolos untuk ukuran partikel di bawah 5 µm

adalah sebesar 0,122. Dengan pressure drop sebesar 10,406 inci kolom air, partikulat yang disingkirkan sebesar 87,8% [5].

## 2.2 Insinerator

Pengolahan sampah secara termal melalui pembakaran menggunakan insinerator adalah alternatif pengolahan sampah yang efektif. Keuntungan menggunakan insinerator adalah bahwa mereka membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk menguraikan sampah padat. Metode Insinerasi sampah dapat mengurangi volume sampah hingga 90% dan menghasilkan energi panas dari pembakaran [6]. Penggunaan alat insinerator dapat mengurangi efek negatif proses pembakaran di ruang terbuka seperti asap, bau, radiasi, dan panas yang dihasilkan dari pembakaran. Insinerator juga bisa mengubah bahan sampah menjadi gas dan abu sisa hasil pembakaran (*bottom ash* dan *fly ash*) [7]. Selain itu, suhu yang dihasilkan dari pembakaran sampah dapat mencapai 500 hingga 1000°C, sehingga sampah yang dibakar dapat diubah menjadi abu [8].



**Gambar 2.1** Insinerator

Selain itu, pengolahan sampah dengan insinerasi dapat mengurangi massa dan volume sampah serta sifat berbahaya dari sampah infeksius. Temperatur dan waktu pembakaran dalam insinerator adalah komponen penting. Dengan cara yang sama, penggunaan energi panas insinerasi dapat menghasilkan energi yang dapat digunakan. Insinerator adalah sebuah alat, sedangkan Insinerasi (*incineration*) atau pembakaran sampah adalah teknologi

pengolahan sampah yang melibatkan pembakaran bahan organik secara terus menerus menggunakan udara yang cukup dengan temperature yang tinggi [6]. Gas yang dihasilkan oleh insinerator dapat berupa abu, sisa pembakaran, partikulat, dan panas. Sebelum dilepaskan ke udara, gas yang dihasilkan harus dibersihkan. Ini karena gas yang dihasilkan masih mengandung polutan.

Prinsip proses insinerator adalah sebagai proses kimia yang membakar material padatan, cairan, atau gas untuk menghasilkan gas lain dan menghasilkan residu yang mengandung lebih sedikit material yang mudah terbakar. Reduksi volume biasanya 80–95%, dan reduksi massa 70–80%, tergantung pada kualitas pembakaran [4]. Proses pembakaran disebut insinerasi. Adapun sisa residu yakni sebagai berikut :

1. Residu gas, yang dihasilkan oleh cerobong insinerator, terdiri dari partikulat, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, karbon monoksida, asam klorida, furan, dan *Polynuclear Aromatic Hydrocarbon* (PAH)
2. Residu cair menggunakan aerosol dan cairan untuk mengontrol pencemaran udara. Ini adalah contoh penggunaan air pada *scrubber water*.
3. Residu padat terdiri dari gelas, abu, dan logam. Logam besi memiliki sisa unsur antara 10 - 25 %, dan logam lain seperti seng, tembaga, dan krom memiliki sisa 1% [4].

Penghancur sampah digunakan untuk menghancurkan sampah berbahaya, beracun, dan infeksi sehingga sampah terakhir dapat dibuang dengan aman ke tempat pembuangan sampah umum. menghancurkan bakteri patogen. Selain itu, meminimalkan pencemaran udara yang dihasilkan oleh pembakaran, sehingga gas buang yang keluar dari cerobong lebih terkontrol dan lebih ramah lingkungan.

### **2.3 Wet Scrubber**

*Wet scrubber* adalah suatu perangkat yang digunakan untuk menghilangkan polutan dari aliran gas dengan cara membawa aliran gas tersebut berkontak dengan cairan pembersih, biasanya air. *Wet scrubber* juga merupakan alat *absorpsi* gas yang terdiri dari kolom dengan masukan gas dan ruang distribusi di bagian bawah. Setelah zat cair dimasukkan dan

distributornya ditempatkan di bagian atas, keluaran gas dan zat cair berada di bagian atas dan bawah. Kemudian diisi dengan massa zat cair atau inert di atas penyangganya dan di dalamnya. Ini dikenal dengan istilah isian menara atau isian menara. Gas masuk ke dalam *venturi wet scrubber*, dan air *spray* di dalamnya menyemprotkan air ke dalam gas [9]. Semakin kecil *ventury* di bagian tengah, aliran gas semakin cepat. Akibatnya, butiran air yang sangat kecil terbentuk ketika air shower terkena udara dengan kecepatan tinggi. Sebagian besar partikel polutan ditangkap di area ini, terutama di bagian *throat* yang paling kecil diameternya. Air dan partikel yang tertangkap akan terlempar ke dinding dan jatuh ke bawah membentuk *sludge* dan di tampung di dalam bak penampungan [10].

*Wet Scrubber* merupakan proses menghilangkan polutan dari gas buang yang dihasilkan oleh proses industri. *Wet Scrubber* biasa digunakan untuk berbagai kegiatan untuk mengurangi kadar sisa emisi gas buang yang tercipta. Aliran udara yang tercemar memasuki *wet scrubber* dan menggerakkan cairan di atas pelat saringan, menghasilkan penangkapan partikel dalam bentuk gelembung, tetesan, dan kabut cairan. Pencucian gelembung adalah nama prosedur ini. Karena mudah dirawat dan tidak mahal pada awalnya, ini adalah alternatif yang bagus untuk filter berserat untuk menghilangkan partikel dari aliran emisi gas buang yang dihasilkan oleh insinerator. Prinsip kerja *wet scrubber* ini adalah sentuhan gas dan absorben cair, atau kontak gas dan absorben cair dalam kondisi suhu lingkungan. Biogas yang masuk melalui bawah kolom akan diberikan cairan absorben dari atas kolom, sehingga gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  diangkut oleh absorben cairan [9]. *Wet scrubber* memiliki banyak aplikasi di bidang industri yaitu boiler, insinerator, pengolahan logam, produksi bahan kimia, dan produksi aspal.

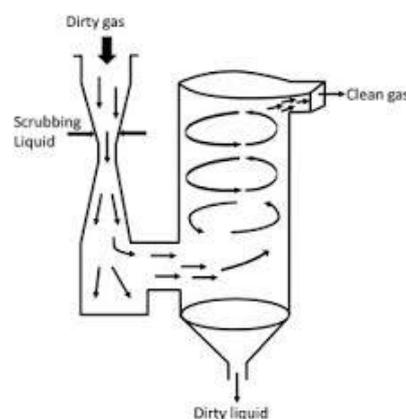
### 2.3.1 Mekanisme Wet Scrubber

Adapun mekanisme *wet scrubber* pada partikulat yang tertangkap oleh *droplet* pada *wet scrubber* dapat melalui mekanisme sebagai berikut [5] :

1. Mekanisme penangkapan utama adalah impaksi. Ketika gas buang mendekati tetesan air, arus mengalir di sekitar arus tersebut.

Partikel dengan kekuatan inersia yang cukup memengaruhi tetesan dan mempertahankan lintasan ke depan. Partikel dengan diameter lebih dari 10  $\mu\text{m}$  biasanya dikumpulkan dengan impaksi karena massanya.

2. Partikel yang didominasi oleh gaya tarik pada fluida mengikuti arus gas buangan; aliran turbulen meningkatkan penangkapan dengan impaksi. Namun, karena tegangan permukaan *droplet*, partikel yang cukup dekat dengannya ditangkap melalui proses intersepsi. Partikel memiliki diameter sekitar 1,0 hingga 0,1  $\mu\text{m}$ . Mekanisme ini juga ditingkatkan dengan meningkatkan densitas *droplet* semprotan.
3. Mekanisme gerak *Brown*, gerak tidak teratur yang dihasilkan oleh benturan acak molekul gas, digunakan oleh partikel berukuran sangat kecil. Saat *droplet* menyebar, partikel-partikel ini ditangkap. kumpulkan karena difusi adalah proses yang paling penting untuk partikel dengan diameter kurang dari 0,5  $\mu\text{m}$ .
4. Mekanisme penangkapan kondensasi dan elektrostatik jarang digunakan. Pada elektrostatik, kontak ditingkatkan dengan menempatkan muatan elektrostatik pada partikel, droplet, atau keduanya. Pada kondensasi, aliran gas jenuh dengan uap air dan partikelnya ditangkap saat air mengembun pada partikel.



**Gambar 2.2** Ilustrasi Mekanisme *Wet Scrubber*

(Sumber : Sciencedirect.com)

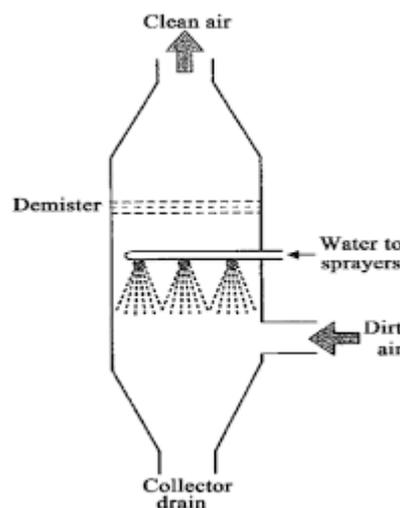
### 2.3.2 Jenis Wet Scrubber

Adapun jenis-jenis *wet scrubber* yang perlu kita ketahui secara umum, adalah sebagai berikut :

#### 1. *Spray Tower*

Salah satu jenis *scrubber* yang paling sederhana adalah menara semprot. Dalam menara semprot, udara sarat partikel masuk ke dalam ruang untuk menghasilkan cairan yang disemprotkan oleh *nozzle*. *Nozzle* dapat diarahkan berlawanan dengan aliran gas, ke arah yang sama dengan aliran gas, atau tegak lurus terhadap aliran gas. Partikel mengendap melalui proses impaksi, intersepsi, dan difusi. Ketika mereka tetap terbawa dalam aliran gas, mereka dikumpulkan pada penghilang kabut [5].

*Spray tower* menggunakan impaksi untuk mengumpulkan partikel. Akibatnya, sangat efektif untuk mengumpulkan PM kasar. Partikel dengan diameter lebih dari 5  $\mu\text{m}$  biasanya memiliki efisiensi 90%; partikel dengan diameter 3-5  $\mu\text{m}$  memiliki efisiensi 60-80%; dan di bawah 3  $\mu\text{m}$ , efisiensi hanya 50%. Daripada *wet scrubber* lainnya, *tower spray* memiliki biaya awal yang lebih rendah. *Spray tower* juga tidak kotor dan menggunakan sedikit listrik, sehingga biaya operasionalnya lebih rendah [5].

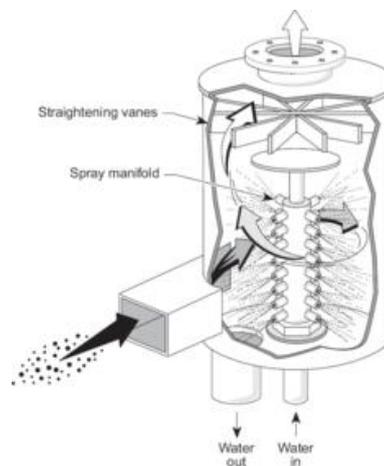


**Gambar 2.3** Ilustrasi *Spray Tower*

(Sumber : Indiamart.com)

## 2. Cyclonic Spray Tower

Karena aliran gas buang mengalir melalui ruang dalam gerakan siklon, desain tower *spray cyclonic* berbeda dari desain tower spray konvensional. Gerakan siklon dihasilkan dengan menempatkan baling-baling di dalam ruang *scrubber* atau dengan menempelkan inlet gas tangensial ke dinding ruang *scrubber*. Cairan *scrubber* disemprotkan dari *nozzle* di inlet atau dari puncak menara. Droplet yang masuk ke aliran gas mengalami gaya sentrifugal karena gerakan memutar. Akibatnya, droplet berpindah ke dinding menara. Tetesan jatuh ke dinding menara. Untuk menghilangkan partikel gas yang tersisa, ada alat yang disebut mist eliminator [5].



**Gambar 2.4** *Cyclonic Spray Tower*  
(Sumber : wikipedia.org)

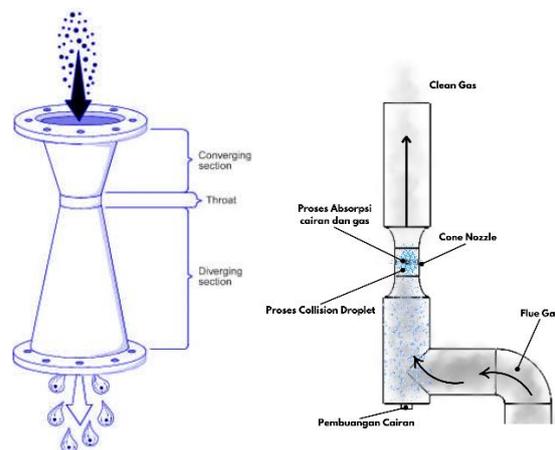
## 3. Ventury Scrubber

*Ventury scrubber* merupakan alat pengendalian pencemaran udara yang dipilih untuk perencanaan ini dan memiliki tingkat efisiensi sampai dengan 99%. Alat ini memiliki saluran yang dapat disesuaikan dan digunakan paling sering untuk menghilangkan partikulat. Mereka juga direkomendasikan untuk pabrik pembuatan baja dan besi [5].

*Ventury scrubber* juga memiliki saluran yang dikenal sebagai "*konvergen-divergen*". Jenis sistem ini memiliki luas penampang saluran yang menurun sebelum meningkat sepanjang saluran.

Daerah tersempit disebut *throat*. Pada bagian konvergen, penurunan luas menyebabkan peningkatan kecepatan gas buang dan turbulensi. Cairan *scrubber* disuntikkan sedikit ke ujung *throat* atau langsung ke bagian tersebut. Turbulensi di *throat* mengabutkan cairan *scrubber*, meningkatkan kontak antara gas dan cairan. Campuran kemudian melambat saat bergerak melalui bagian divergen, menyebabkan tetesan terakumulasi. Di bagian *entrainment*, yang biasanya terdiri dari separator siklon dan *mist eliminator*, *droplet* kemudian dipisahkan dari aliran gas [5].

Sementara *ventury scrubber* lebih mahal dari pada *spray tower*, *cyclonic*, mereka lebih efisien dalam mengumpulkan PM halus dengan lebih banyak air drop. Kecepatan gas yang tinggi dan turbulensi di *ventury throat* menghasilkan efisiensi pengumpulan yang tinggi, berkisar antara 70% sampai 99% untuk partikel dengan diameter yang lebih besar dari 1  $\mu\text{m}$  dan lebih besar dari 50% untuk partikel submikron. Namun, permintaan energi sistem juga meningkat, yang mengakibatkan peningkatan biaya operasional. Biaya kapital dan O&M cukup tinggi dibandingkan dengan biaya *spray tower* sederhana [5].

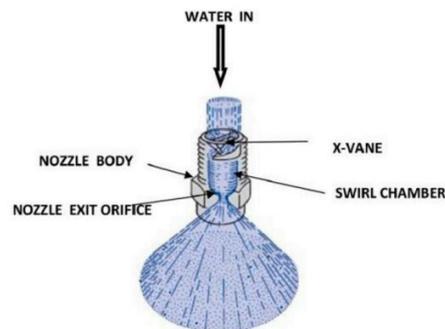


**Gambar 2.5** *Ventury Scrubber*

(Sumber : Advairtech.com)

## 2.4 Cone Nozzle

*Cone Nozzle* adalah jenis *nozzle* (penyemprot) yang menghasilkan semburan cairan dalam bentuk kerucut penuh (*full cone*). Semprotan ini menutupi area lingkaran penuh pada permukaan yang terkena semburan, berbeda dengan *nozzle* semprotan kerucut berongga (*hollow cone*) yang hanya menutupi area di sekitar tepi luar dari kerucut. *Nozzle cone* digunakan untuk menghilangkan debu dan partikel-partikel padat dari udara karena memiliki luas area penyemprotan yang besar, sehingga dapat menutupi area yang luas dengan efektif. *Nozzle cone* dapat menghasilkan semprotan yang luas dan seragam, sehingga efektif dalam membersihkan udara dari partikel-partikel padat. Terdapat 2 tipe *nozzle*, yaitu *full cone nozzle* dan *hollow cone nozzle*. *Full cone nozzle* memiliki pola semprotan bulat penuh berisi, sedangkan *hollow cone nozzle* menghasilkan pola semprotan berbentuk kerucut bulat kosong [11]. Karakterisasi *nozzel* simpleks dengan sisipan pusaran tipe X yang diamankan di dalamnya dilakukan dan juga aplikasinya dalam mengurangi emisi pada industri. Sisipan pusaran tipe X yang ada di dalam ruang pusaran memberikan gerakan berputar pada cairan. Nosel simpleks kerucut padat dan medan aliran yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar dibawah ini [12].

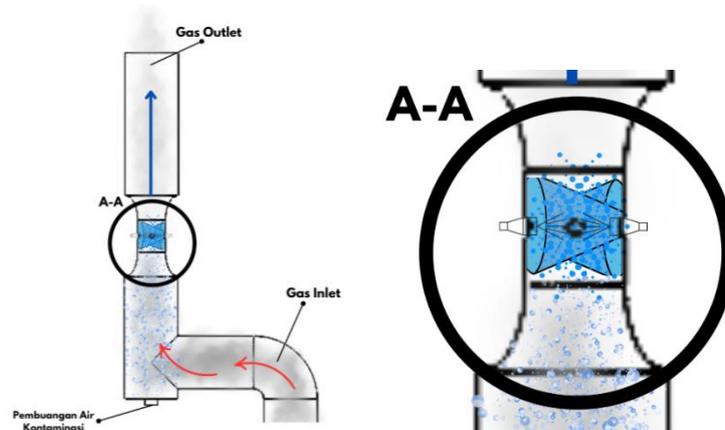


**Gambar 2.6** Hasil Semprotan *Cone Nozzle*

(Sumber : Shrigondekar, 2020 [12])

*Solid-cone simplex nozzle* bekerja dengan memanfaatkan prinsip *pressure-swirl atomization*, di mana cairan diberi tekanan tinggi dan dialirkan melalui ruang pusaran (*swirl chamber*) sebelum keluar melalui *orifice*. *Nozzle* ini menggunakan *X-type swirl-insert*, yaitu komponen yang menciptakan gerakan berputar pada cairan sebelum keluar, sehingga menghasilkan

semprotan yang lebih halus dan merata [12]. Adapun gambar yang menggambarkan *pressure-swirl atomization cone nozzle* pada ruang *throat ventury wet scrubber* adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.7** *pressure-swirl atomization* Pada *Cone Nozzle*

Secara keseluruhan, *cone nozzle*, khususnya *solid-cone simplex nozzle*, memiliki desain yang sangat berperan dalam mengontrol pola semprotan dan ukuran *droplet* yang dihasilkan. Dengan memahami karakteristiknya, *nozzle* dapat dioptimalkan untuk berbagai aplikasi industri, termasuk dalam sistem pemadaman kebakaran berbasis *water mist*, pengendalian polusi udara, dan pendinginan industri [12]. Menurut Harshad Shrigondekar pada jurnal berjudul *Characterization of solid-cone simplex mist nozzles* melalui penelitiannya menggunakan PDIA (*Particle/Droplet Image Analyzer*) yang berfungsi untuk mengukur distribusi ukuran droplet pada *cone nozzle* 1/8 inch, menunjukkan bahwa ukuran droplet *cone nozzle* yakni 20.54  $\mu\text{m}$  [12].

Kelebihan dalam penggunaan *cone nozzle* adalah sebagai berikut:

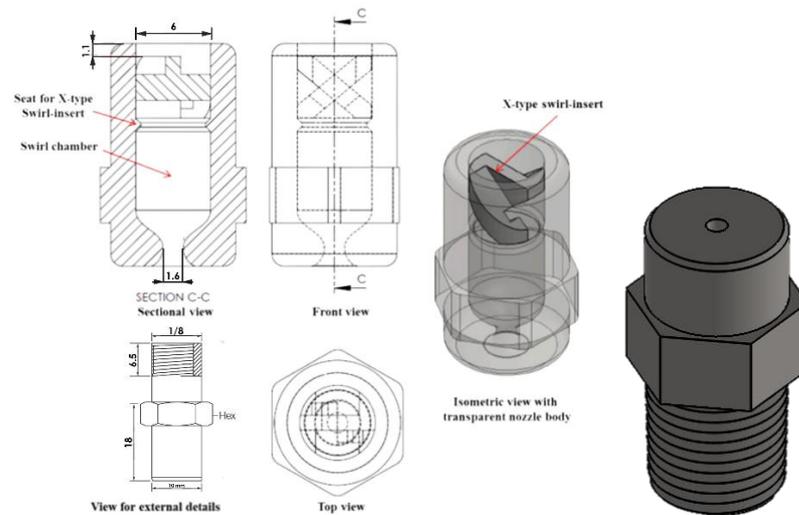
- Distribusi penyemprotan lebih merata dan meluas sehingga dapat mereduksi emisi gas buang yang keluar dari insinerator.
- Proses pendinginan dalam *wet scrubber* lebih cepat karena volume air yang dihasilkan lebih besar dan merata pada bagian *ventury wet scrubber*.
- Tidak memerlukan tekanan air yang tinggi.

Namun dari kelebihan tersebut pasti ada kekurangan pada *cone nozzle* yakni :

- Ukuran tetesan lebih besar dibanding *missting nozzle*

b. Penggunaan air lebih banyak

Adapun gambar dari *cone nozzle* dapat dilihat dibawah ini :



**Gambar 2.8** *Cone Nozzle*

(Sumber : H. Shrigondekar, 2020 [12])

## 2.5 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah gas atau zat-zat lain yang dilepaskan ke atmosfer sebagai akibat dari pembakaran atau reaksi kimia lainnya. Ini biasanya berasal dari mesin, pabrik, kendaraan, atau sumber industri. Berbagai senyawa dalam gas buang ini memiliki efek negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Pada bidang industri, Emisi gas buang dihasilkan pada proses pembakaran bahan baku, pada bidang transportasi dihasilkan dari pembakaran yang dilakukan oleh mesin kendaraan [14].

Pembakaran sampah rumah tangga menghasilkan emisi gas buang, yang berkontribusi pada pembentukan gas rumah kaca karena emisi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan nitrogen dioksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) yang terlepas ke atmosfer. Selain itu, partikulat tambahan dapat dihasilkan selama proses pembakaran berlangsung, seperti logam berat, abu terbang, abu sisa pembakaran, dioksin dan furan, HCl, HF,  $\text{SO}_2$ , dan  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Produk yang dihasilkan dari pembakaran harus dikontrol sampai mencapai ambang batas yang diizinkan supaya tidak mencemari lingkungan [3].

Sumber pencemar udara dapat dikategorikan menurut bentuk, lokasi, gangguan kesehatan, dan asalnya. Beberapa kategori pencemar udara adalah sebagai berikut [14]:

1. Pencemaran dalam bentuk gas dan partikel.
  - a. Golongan belerang seperti Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ), Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan Sulfat Aerosol.
  - b. Golongan Nitrogen terdiri dari Nitrogen Oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Nitrogen Monoksida ( $\text{NO}$ ), Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ).
  - c. Golongan Karbon seperti Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ), Karbon Monoksida ( $\text{CO}$ ) dan Hidrokarbon ( $\text{HC}$ ).
  - d. Golongan gas yang berbahaya seperti Benzen, *Vinly Klorida*, air raksa uap
2. Pencemaran udara berdasarkan tempat dan sumbernya
  - a. Pencemaran udara bebas
    - 1) Pencemaran alamiah yang berasal dari letusan gunung berapi, pembusukan dan lain-lain.
    - 2) Pencemaran berdasarkan kegiatan manusia, misalnya berasal dari kegiatan industri, rumah tangga asap kendaraan, dan lain-lain.
  - b. Pencemaran udara ruangan seperti pencemaran udara di dalam ruangan yang berasal dari pemukiman, perkantoran maupun gedung-gedung tinggi.
3. Berdasarkan susunan kimiawinya
  - a. Anorganik adalah bahan pencemar yang tidak mengandung bahan Karbon seperti Asbertos, Amonia, asam sulfat dan lain-lain.
  - b. Organik adalah zat pencemar yang mengandung karbon seperti pestisida, herbisida, beberapa jenis alkohol dan lain-lain.

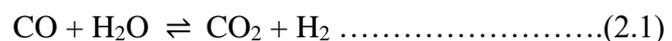
Emisi gas buang dapat merusak lingkungan dan tubuh manusia. Hujan asam adalah hujan dengan PH rendah pada air yang dapat terjadi di lingkungan Anda. Tidak mungkin untuk menggunakan air yang dihasilkan untuk kebutuhan sehari-hari. Selain itu, hujan asam dapat merusak struktur dan komponen logam. Paru-paru adalah bagian dari tubuh manusia yang mengalami kerusakan. Penyakit seperti ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan

Akut), asma, dan pneumonia dapat muncul ketika paru-paru menghirup udara yang tercemar zat-zat tersebut. Oleh karena itu, Agar kerusakan lingkungan tidak semakin parah, emisi gas buang harus ditangani lebih lanjut.

### 2.5.1 Karbon Monoksida (CO)

*Karbon Monoksida* (CO) adalah gas yang tidak berbau, tidak berasa dan juga tidak berwarna. Keberadaan *Karbon Monoksida* (CO) di alam tidak dapat dilihat, dirasakan ataupun diketahui warnanya, akan tetapi *Karbon Monoksida* (CO) di alam dengan jumlah besar (konsentrasi tinggi) akan berdampak buruk bagi kesehatan dan bahkan dapat menyebabkan kematian [14]. Parameter pencemar utama, karbon monoksida (CO), memengaruhi kesehatan manusia, terutama terkait dengan masalah pernapasan. Karbon monoksida dihasilkan oleh bahan bakar yang terbakar secara parsial sebagai hasil dari pembakaran yang tidak lengkap atau sebagai hasil dari campuran bahan bakar dan udara yang kaya akan bahan bakar [15].

Gas karbon monoksida (CO) dapat berasal dari sumber alami maupun antropogenik. Di alam, CO terbentuk melalui beberapa proses, di antaranya pembakaran tidak sempurna terhadap karbon atau senyawa yang mengandung karbon, reaksi antara karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan senyawa karbon pada suhu tinggi, serta dekomposisi CO<sub>2</sub> menjadi karbon (C) dan oksigen (O). Sementara itu, sumber antropogenik CO terutama dihasilkan dari pembakaran bahan organik, dengan kontributor utama berupa aktivitas transportasi, khususnya kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin. Aktivitas ini menyumbang sekitar 65,1% dari total emisi CO antropogenik di udara. [14]. Reaksi antara gas karbon monoksida (CO) dan uap air (H<sub>2</sub>O) menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hidrogen (H<sub>2</sub>).



### 2.5.2 Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

*Karbon Dioksida* (CO<sub>2</sub>) memiliki prinsip berbanding terbalik dengan *Karbon Monoksida* (CO), yang mana apabila gas CO<sub>2</sub> tinggi

maka gas CO akan rendah, karena dalam proses pembakaran yang hampir sempurna CO<sub>2</sub> harus tinggi dan CO harus rendah, akan tetapi CO<sub>2</sub> yang tinggi dari hasil pembakaran dapat dilakukan dengan penghijauan untuk menyerap CO<sub>2</sub> [14].

Gas *karbon dioksida* merupakan gas buang yang tidak berwarna dan tidak berbau, CO<sub>2</sub> di atmosfer berasal dari pembakaran bahan bakar *fossil* yaitu minyak bumi, batu bara, dan gas bumi. Selain efek rumah kaca tersebut *karbon dioksida* juga berperan penting bagi kehidupan tanaman, CO<sub>2</sub> diserap oleh tanaman dengan bantuan sinar matahari dan digunakan untuk pertumbuhan tanaman dalam proses fotosintesis yang menghasilkan energi bagi tumbuhan [14]. Reaksi CO<sub>2</sub> dengan air merupakan reaksi keseimbangan yang membentuk H<sup>+</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (asam karbonat), di mana asam karbonat ini merupakan jenis asam lemah yang dapat menyebabkan korosi [16].



### 2.5.3 Hidrokarbon (HC)

*Hidrokarbon* (HC) merupakan salah satu jenis emisi yang dihasilkan dari sisa bahan bakar yang tidak terbakar sempurna dan ikut terlepas ke atmosfer bersama gas buang. Senyawa fitokimia yang terbentuk dari emisi HC dapat menimbulkan berbagai dampak kesehatan, seperti iritasi pada mata, nyeri tenggorokan, serta gangguan pada sistem pernapasan. Selain itu, hidrokarbon bersifat karsinogenik, yang berarti memiliki potensi untuk memicu kanker. Emisi HC juga berkontribusi terhadap terjadinya fenomena hujan asam, yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan [14].

*Hidrokarbon* (HC) sebagian besar dihasilkan dari aktivitas manusia, dengan sektor transportasi sebagai kontributor utama. Selain transportasi, sumber emisi HC lainnya meliputi pembakaran gas, minyak, arang, dan kayu; proses industri; pembuangan sampah; kebakaran hutan atau lahan; serta penguapan pelarut organik. Sektor transportasi menyumbang lebih dari 50% dari total emisi HC

antropogenik, menjadikannya sebagai sumber polutan buatan manusia yang paling dominan. Emisi HC dari kendaraan bermotor terutama dihasilkan dari pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna di dalam ruang bakar, sehingga bahan bakar yang tidak terbakar sepenuhnya tersebut terlepas ke atmosfer dalam bentuk *hidrokarbon*. Ketidakefektifan pembakaran ini disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk efisiensi mesin yang rendah. Secara umum, bahan bakar apapun yang tidak mengalami pembakaran sempurna akan menghasilkan senyawa *hidrokarbon* sebagai salah satu produk sampingannya [14].

#### **2.5.4 Oksigen (O<sub>2</sub>)**

Oksigen adalah unsur kimia yang tidak memiliki warna, aroma, atau rasa. Unsur ini sangat krusial dalam proses pembakaran, karena reaksi kimia antara bahan bakar dan *oksidator* menghasilkan pelepasan energi yang disimpan menjadi panas, yang kemudian menyebabkan api menyala. Bahan bakar adalah campuran kimia yang mengandung unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur, yang melepaskan panas selama proses oksidasi. Oksidator adalah campuran yang mengandung oksigen yang akan bereaksi dengan bahan bakar. Peningkatan kadar oksigen dalam udara pembakaran dapat mengurangi energi yang hilang pada gas buang dan meningkatkan efisiensi pemansan.

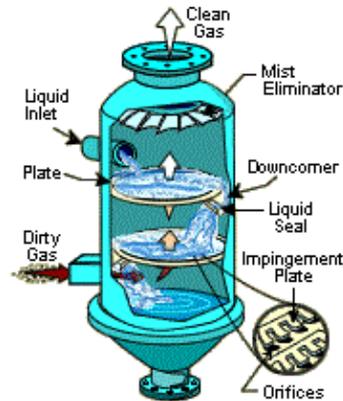
#### **2.6 Absorpsi**

Absorpsi merupakan proses pemisahan dengan mengontakkan campuran gas dengan cairan maupun padatan sebagai penyerap. Mengontakkan gas emisi dengan absorben adalah proses yang disebut absorpsi. *Dalam reaktor wet scrubber*, cairan (absorben) dialirkan ke aliran udara yang mengandung gas emisi, sehingga gas terfiltrasi ketika melewati cairan absorben [16]. Absorpsi merupakan suatu metode pemisahan yang dilakukan dengan cara mengontakkan campuran gas dengan suatu cairan, di mana satu atau lebih komponen gas terserap oleh cairan tersebut, sedangkan komponen lainnya tidak terserap [17]. Dalam proses absorpsi, komponen gas yang terserap

disebut sebagai *solute*, sementara cairan yang berfungsi sebagai penyerap disebut sebagai *solvent*. Apabila hanya satu komponen gas yang dapat terserap, proses tersebut dikenal sebagai absorpsi satu komponen. Sebaliknya, jika lebih dari satu komponen gas yang terserap, proses tersebut disebut sebagai absorpsi multikomponen. Cairan yang digunakan untuk melarutkan atau menyerap komponen gas, baik melalui proses fisik maupun reaksi kimia, disebut sebagai absorben. Absorben juga sering disebut sebagai cairan pencuci. Beberapa jenis bahan yang umum digunakan sebagai absorben antara lain air (untuk gas-gas yang mudah larut atau pemisahan partikel debu dan tetesan cairan), natrium hidroksida (untuk gas-gas yang dapat bereaksi dengan basa, seperti asam), dan asam sulfat (untuk gas-gas yang dapat bereaksi dengan asam, seperti basa) [17]. Jenis absorpsi ada dua macam yaitu *Chemical Absorption* dan *Physical Absorption*:

### **2.6.1 Physical Absorption**

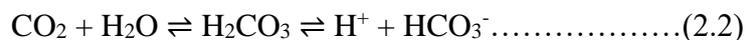
Absorpsi fisik adalah suatu proses penyerapan gas ke dalam larutan penyerap tanpa disertai reaksi kimia. Pada proses ini, gas terlarut dalam cairan penyerap melalui interaksi fisik murni. Contoh dari absorpsi fisik adalah penyerapan gas  $H_2S$  oleh air, metanol, atau propilen karbonat, serta penyerapan gas  $CO_2$  oleh air. Proses ini terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam cairan, dan perubahan fase gas menjadi fase cair [17]. Dalam praktiknya, proses absorpsi fisik dilakukan dengan mengalirkan gas dari bagian bawah kolom absorpsi, sementara cairan penyerap (seperti air) disemprotkan dari atas menggunakan *nozzle*. Di bawah *nozzle*, terdapat pelat berlubang yang dipasang secara horizontal. Gas yang mengalir dari bawah akan melewati lubang-lubang pada pelat yang telah digenangi oleh air dari bagian atas *scrubber*. Selama proses ini, gas berinteraksi dengan cairan penyerap, di mana gas yang terlarut akan mengalir ke bagian bawah kolom, sedangkan gas yang tidak terlarut akan terus mengalir ke bagian atas kolom untuk selanjutnya dibuang atau diproses lebih lanjut [16]. Berikut merupakan proses absorpsi gas dengan air pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.9** Proses Absorpsi Fisik

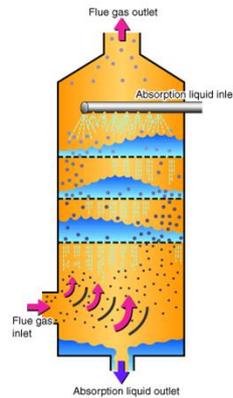
(Sumber : Mufidatul, 2014 [16])

Reaksi  $\text{CO}_2$  dengan air merupakan reaksi keseimbangan yang membentuk  $\text{H}^+$  dan  $\text{HCO}_3^-$  (asam karbonat), di mana asam karbonat ini merupakan jenis asam lemah yang dapat menyebabkan korosi, karena itu proses absorpsi  $\text{CO}_2$  dengan air lebih dinyatakan sebagai absorpsi fisik bukan absorpsi kimia [16].



### 2.6.2 Chemical Absorption

Absorpsi kimia merupakan suatu proses penyerapan gas yang melibatkan reaksi kimia antara gas yang diserap dan absorben. Contoh bahan yang umum digunakan dalam absorpsi kimia meliputi larutan  $\text{NaOH}$  (*natrium hidroksida*),  $\text{MEA}$  (*monoetanolamin*),  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (*kalium karbonat*), dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (*kalsium hidroksida*). Pada proses ini, gas dialirkan melalui kolom absorpsi yang dilengkapi dengan pelat berlubang yang dipasang secara horizontal. Pelat-pelat ini berfungsi sebagai tempat penempatan absorben padat atau cair. Saat gas mengalir melalui kolom, gas tersebut akan menembus tumpukan absorben dan mengalami reaksi kimia. Gas yang telah bereaksi akan terus mengalir menuju outlet kolom absorpsi, sementara komponen gas yang telah terserap akan tertahan dalam absorben. Proses ini memungkinkan pemisahan gas tertentu dari campuran gas secara selektif melalui mekanisme reaksi kimia [16]. Adapun gambar proses *chemical absorption* adalah sebagai berikut:

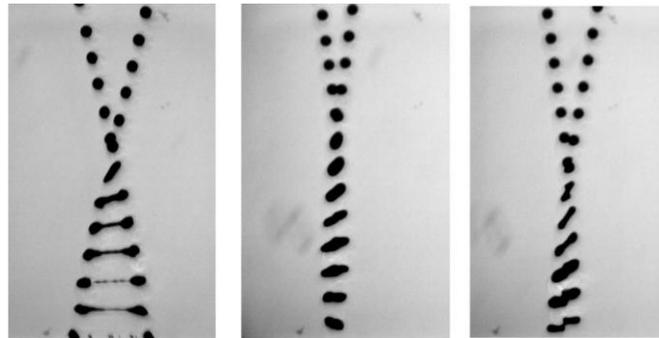


**Gambar 2.10** Proses Absorpsi Kimia

(Sumber : Mufidatul, 2014 [16])

### 2.7 Collision Droplet

*Collisions of liquid droplets* atau tabrakan tetesan cairan mengacu pada interaksi yang terjadi ketika dua atau lebih tetesan bersentuhan satu sama lain antara gas maupun cairan. Ketika dua *droplet* bertabrakan, ada beberapa kemungkinan hasil, yaitu menyatu (*koalesensi*), memantul (*bouncing*), terpisah kembali setelah menyatu (*separation*), atau pecah menjadi tetesan lebih kecil (*fragmentasi*) [18]. Adapun gambar hasil dari tabrakan antara dua droplet air bisa dilihat dibawah ini:

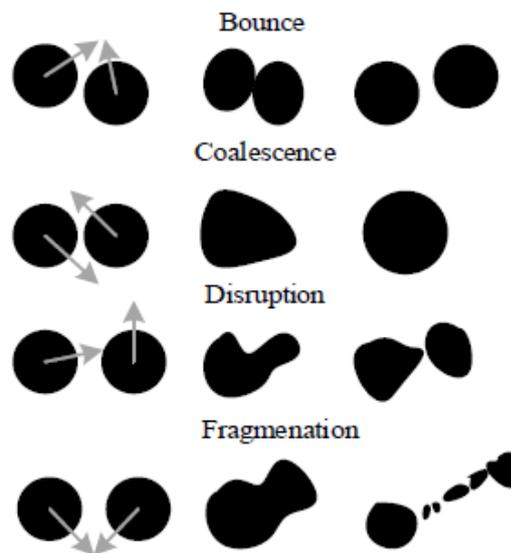


**Gambar 2.11** Perbedaan hasil 3 tumbukan air

(Sumber : Feuillebois, 2010 [19])

Hasil dari tabrakan ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, seperti *Weber Number* ( $We$ ) yang menentukan apakah droplet akan menyatu atau pecah, *Ohnesorge Number* ( $Oh$ ) yang mempertimbangkan efek viskositas cairan, serta parameter lain seperti kecepatan, sudut tumbukan, tegangan

permukaan, dan perbedaan densitas antara cairan dan medium sekitarnya. Jika angka *Weber* rendah, *droplet* cenderung menyatu, tetapi jika *Weber* tinggi, *droplet* lebih mungkin terpecah menjadi banyak tetesan kecil. Proses ini sangat penting dalam teknologi penyemprotan, seperti pada *Ventury Wet Scrubber*, di mana semakin kecil ukuran *droplet*, semakin besar luas permukaannya, sehingga lebih efektif dalam menangkap dan menyerap polutan gas. Selain itu, ketika *droplet* bertabrakan dengan dinding atau partikel dalam gas, perilakunya juga bisa berbeda, misalnya, *droplet* bisa memantul jika mengenai permukaan hidrofobik atau pecah lebih cepat jika bertumbukan dengan permukaan kasar atau panas. [18].



**Gambar 2.12** *Type Droplet Collision*

(Sumber : Svetlana, 2021 [18])

Terdapat ukuran optimum untuk memaksimalkan pengumpulan partikel. *Droplet* lebih kecil memiliki permukaan lebih besar terhadap rasio volume, maka akan menangkap partikel lebih banyak per volume yang diinjeksikan. Jika ukuran *droplet* terlalu kecil, momentum dari arus gas dapat berpindah *droplet* yang akan menurunkan kecepatan relatif rendah sehingga menghasilkan *collection efficiency* yang rendah juga [13].

Tabrakan *droplet* air terjadi ketika dua tetesan air bertemu dalam suatu medium, seperti udara atau gas, dan berinteraksi satu sama lain. Proses ini

sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara energi kinetik, tegangan permukaan, dan *viskositas* cairan. Jika energi kinetik *droplet* cukup besar untuk mengatasi tegangan permukaan, maka droplet dapat pecah atau terpisah setelah bertabrakan. Sebaliknya, jika tegangan permukaan lebih dominan, *droplet* dapat menyatu dan membentuk tetesan yang lebih besar. Fenomena ini sering terjadi dalam berbagai aplikasi seperti sistem penyemprotan, pembentukan hujan, pengendalian polusi udara dengan *scrubber*, dan pendinginan industri [19].

## 2.8 Standar Emisi Insinerator

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal menetapkan standar emisi insinerator di Indonesia. Di bawah ini adalah tabel batas maksimum emisi gas buang pengolahan sampah secara termal, yang termasuk dalam peraturan [20]. Adapun ambang batas pengujian Pengolahan Sampah Secara Termal menetapkan standar emisi insinerator di Indonesia adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Batas Maksimum Emisi Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia

No.	Parameter	Satuan	Batas Maksimum
1	Total Partikulat	mg/Nm <sup>3</sup>	120
2	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	210
3	Oksida Nitrogen (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 & Furan	mg/Nm <sup>3</sup>	0.1

Sumber : P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016

Keterangan :

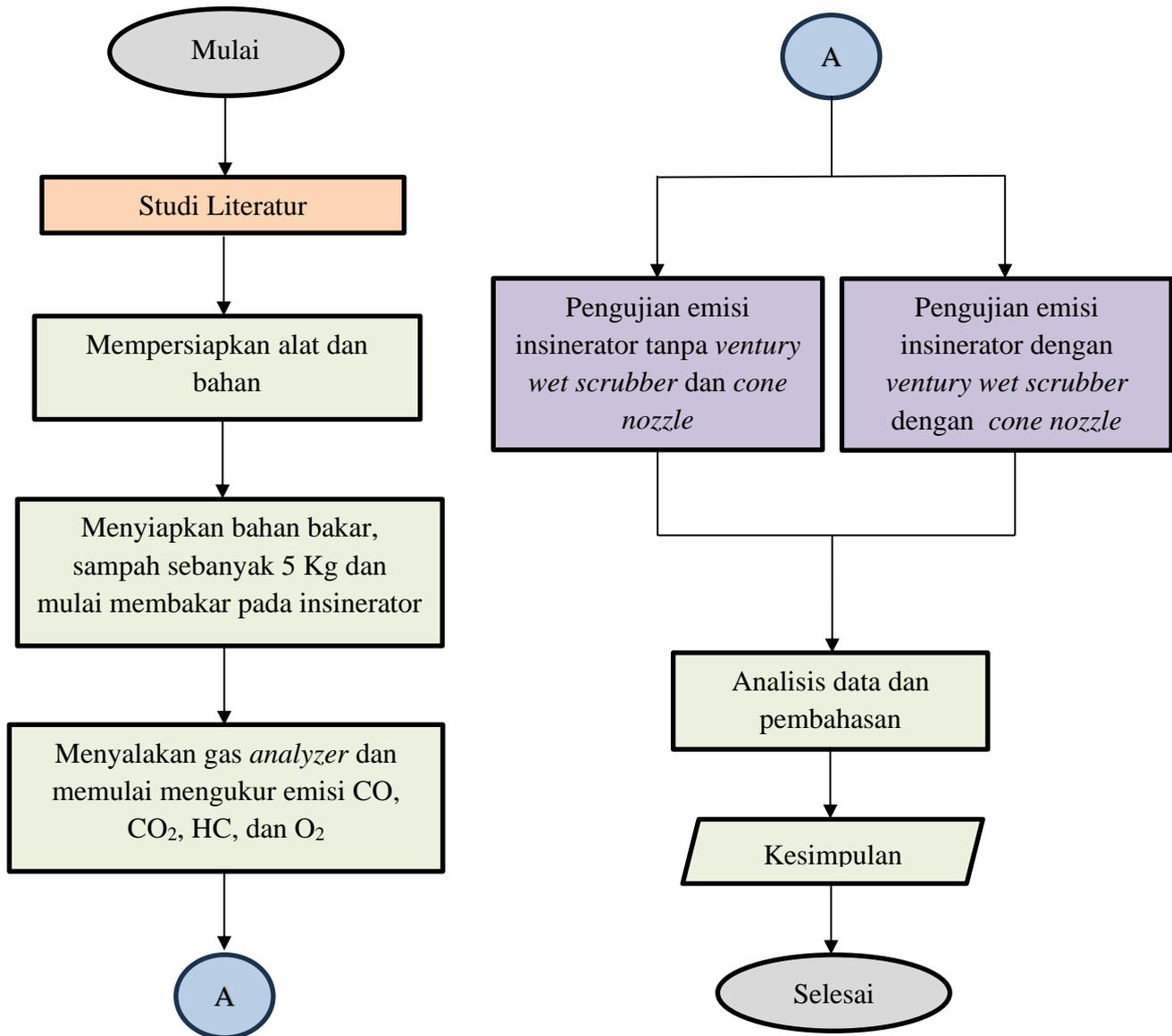
- 1) Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 (satu) atmosfer).
- 2) Semua parameter dikoreksi dengan Oksigen (O<sub>2</sub>) sebesar 11%.
- 3) Pengukuran dioksin dan furan dilakukan setiap 5 (lima) tahun sekali.

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini untuk memudahkan dalam pembacaan sistematika dalam penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah penjelasan mengenai gambar 3.1 diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mulai

Untuk memulai penelitian ini tentunya penulis perlu mempelajari apa saja materi, variabel, dan sistematika pengambilan data untuk bisa dilakukannya penelitian ini.

2. Studi Literatur

Untuk studi literatur yang digunakan yakni dengan mempelajari apa saja fenomena yang terjadi dan referensi penelitian terdahulu sebagai referensi untuk penulisan penelitian ini.

3. Persiapan alat dan bahan

Dalam memulai untuk pengambilan data tentunya harus menyiapkan alat dan bahan untuk melakukan pengujian pada penelitian ini.

4. Persiapan Pengujian

Pada tahap ini dilakukan persiapan sebelum melakukan pengujian seperti menyalakan gas *analyzer*, memasang *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* sebelum dilakukannya pengujian.

5. Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menganalisa penurunan emisi gas buang insinerator tanpa *scrubber* dan emisi gas buang setelah menggunakan *scrubber* dan tipe *water spray cone nozzle* berupa CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub>.

6. Analisis data dan Pembahasan

Dari data yang telah didapatkan dari hasil pelaksanaan pengujian maka diolah dan dianalisa apa saja fenomena yang terjadi pada penelitian ini.

7. Kesimpulan

Setelah dilakukannya pengolahan data dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai jawaban dari tujuan dibuatnya penelitian ini.

### 3.2 Alat dan Bahan

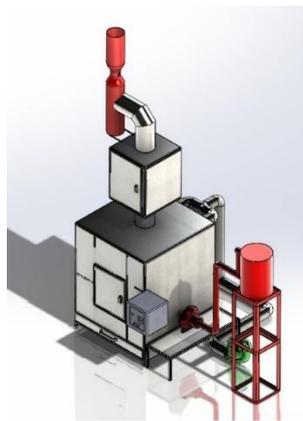
Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk membantu jalannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan untuk membantu jalannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Insinerator

Insinerator digunakan untuk proses pembakaran sampah dan insinerator ini memiliki kapasitas sebanyak 25 kg. Dengan dimensi 800 x 800 x 1000 mm dengan memiliki ketahanan pembakaran hingga 1000°C.



**Gambar 3.2** Insinerator

##### 2. Gas analyzer

Gas analyzer digunakan untuk mengukur kandungan gas hasil pembakaran yang keluar dari insinerator tanpa *scrubber* dan emisi gas buang setelah menggunakan *scrubber* dan tipe *water spray cone nozzle* berupa CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub>. Adapun spesifikasi gas analyzer adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Spesifikasi Gas Analyzer

HG-520				
<i>Measuring Item</i>	CO, HC, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , Lambda, AFR, NOX			
<i>Measuring Method</i>	CO, HC, CO <sub>2</sub> : NDIR Method			
	O <sub>2</sub> : Electrochemical Cell			
<i>Measuring Range</i>	CO	0.00 ~ 9.99%	HC	0 ~ 9999 ppm

<b>Resolution</b>		0.01%		1 ppm
<b>Display</b>		4digit 7segment LED		4digit 7segment LED
<b>Measuring Range</b>		0.00 ~ 20.0%		0 ~ 25% ppm
<b>Resolution</b>	CO2	0.10%	O2	0.01%
<b>Display</b>		4digit 7segment LED		4digit 7segment LED
<b>Measuring Range</b>		0.00 ~ 2.000		0 ~ 99.0
<b>Resolution</b>	$\lambda$	0.001	AFR	0.1
<b>Display</b>		4digit 7segment LED		4digit 7segment LED
<b>Sample Collecting Quantity</b>		4~6 L/min		



**Gambar 3.3** Gas analyzer

### 3. Pompa air

Pompa digunakan untuk mengalirkan cairan menuju *ventury wet scrubber*. Pompa yang digunakan yaitu pompa *sinleader SL-3500* dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Spesifikasi Pompa air

<i>Sinleader SL-3500.</i>			
<i>Volt</i>	<i>Amps</i>	<i>Flow</i>	<i>Press</i>
12 V No. (9-14.4 V)	2.2 A	3.1 LPM	80 Psi (5.5 Bar)



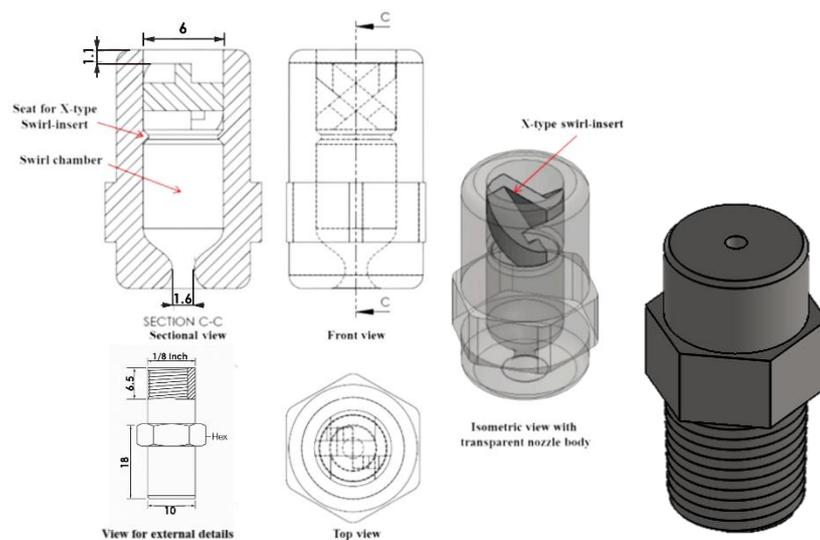
**Gambar 3.4** Pompa Air

#### 4. Cone Nozzle

*Cone Nozzle* digunakan untuk mengarahkan atau mengatur aliran fluida pada *ventury wet scrubber*. Pada *cone nozzle* ini menggunakan 4 *nozzle* yang dimana dengan empat buah *cone nozzle* berukuran 1/8 inch, total air yang dapat dikeluarkan adalah sekitar 2.4 liter per menit. *Cone Nozzle* yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.3** Spesifikasi Cone Nozzle

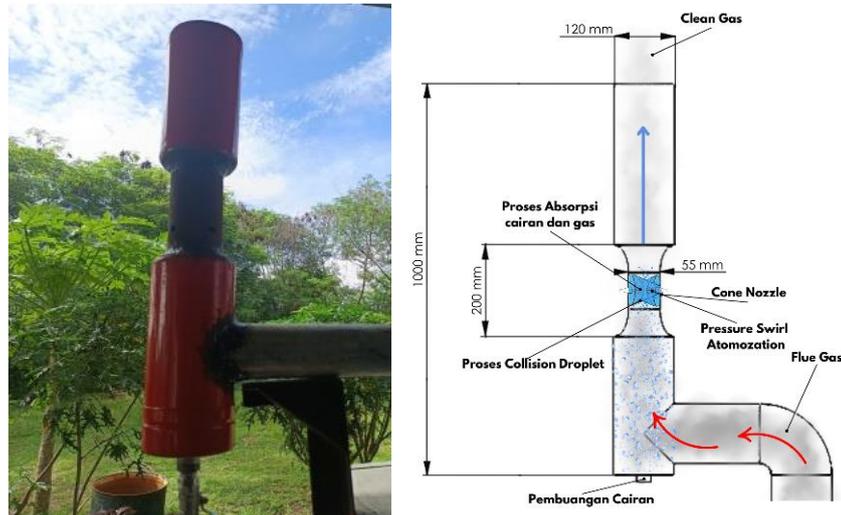
<i>Cone Nozzle (mm)</i>								
Material	G	L <sub>T</sub>	L <sub>t</sub>	D	Hex	D <sub>o</sub>	D <sub>s</sub>	y
SS304	1/8 inch	18	6.5	10	11	1.6	6	1.10



**Gambar 3.5** Cone Nozzle

### 5. *Ventury wet scrubber*

*Ventury wet scrubber* digunakan untuk menyempatkan cairan aliran gas emisi buang yang berasal dari insinerator.



**Gambar 3.6** *Ventury Wet Scrubber*

### 6. *Blower*

*Blower* digunakan untuk memberikan udara pada insinerator pada proses pembakaran supaya api tetap menyala dan membakar sampah hingga abu. *Blower* yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.4** Spesifikasi Blower

<i>Blower NTR-Pro</i>				
Ukuran	Daya	Cycles	Tegangan	RPM
3 Inch	370 W	50/60	220 V	3000/3600 r/min



**Gambar 3.7** *Blower*

### 7. Barner

*Burner* digunakan untuk melakukan proses pembakaran dimana bahan bakar yang digunakan *burner* ini adalah solar. Burner dipasangkan pada insinerator digunakan sebagai pemantik dari proses pembakaran sampah pada insinerator. *Burner* yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.5** Spesifikasi Barner

<b>Barner HORNG MIN</b>			
<b>Hp</b>	<b>Voltage</b>	<b>Cycle</b>	<b>RPM</b>
1	220-380 V	50/60	3000-3600 r/min



**Gambar 3.8** *Burner*

### 8. *Flask*

*Flask* digunakan sebagai alat untuk mengaliri gas polutan yang akan di uji emisinya. Dengan melalui *flask* gas polutan menjadi lebih bersih tanpa adanya abu yang ikut terbawa dalam proses pengujian menggunakan gas *analyzer* untuk meminimalisir kerusakan alat uji.



**Gambar 3.9** *Flask*

### 9. Tangki Bahan Bakar

Tangki bahan bakar ini digunakan untuk menampung bahan bakar dengan kapasitas 20 liter yang berisi solar yang akan digunakan sebagai bahan bakar untuk *burner*.



**Gambar 3.10** Tangki Bahan Bakar

### 10. Panel *Display* Temperatur

Panel *display* temperatur digunakan sebagai alat untuk menampilkan pengukuran temperatur pada proses pembakaran yang terhubung dengan *thermocouple* yang dipasang pada beberapa *sample point* tertentu agar menghasilkan temperatur yang tepat.



**Gambar 3.11** Panel *Display* Temperatur

### 11. *Thermocouple*

*Thermocouple* digunakan untuk mengukur temperatur yang dipasangkan pada *sampling point* tertentu guna mendapatkan data temperatur pada proses pengujian berlangsung. *Thermocouple* yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel K yang mana dapat mendeteksi temperatur dari 0-1000°C.



**Gambar 3.12** *Thermocouple*

### 3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan untuk membantu jalannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Air

Air yang digunakan adalah air ledeng yang berfungsi sebagai penyiram emisi gas buang yang dihasilkan oleh insinerator melalui *nozzle* pada *ventury wet scrubber*.



**Gambar 3.13** Air

#### 2. Limbah sampah

Limbah sampah digunakan sebagai bahan untuk menguji emisi gas buang yang dihasilkan insinerator. Limbah sampah yang digunakan adalah sampah kertas, kardus, dan sampah botol plastik sebanyak 5 Kg yang terdiri dari 2kg sampah plastik, 1.5kg sampah kardus, dan 1.5kg sampah kertas. Sampah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari plastik, kardus, dan kertas. Pemilihan ketiga jenis sampah tersebut didasarkan pada karakteristik fisik dan kandungan materialnya yang umum ditemukan dalam limbah rumah tangga serta memiliki potensi tinggi untuk dimanfaatkan kembali,

baik melalui proses daur ulang maupun konversi energi. Sampah plastik, misalnya, memiliki karakteristik tidak mudah terurai secara alami, bersifat tahan air, ringan, dan fleksibel. Plastik yang menjadi bahan penelitian ini adalah polietilena (PE). Sedangkan, kardus dan kertas merupakan salah satu komponen utama dalam limbah industri dan rumah tangga. Kandungan selulosanya tinggi, yang bermanfaat jika digunakan dalam proses seperti komposting atau sebagai bahan bakar padat.



**Gambar 3.14** Limbah Sampah

### 3. Solar

Solar digunakan sebagai pemantik pembakaran melalui *burner* yang nantinya digunakan untuk proses pembakaran pada insinerator. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian adalah solar.

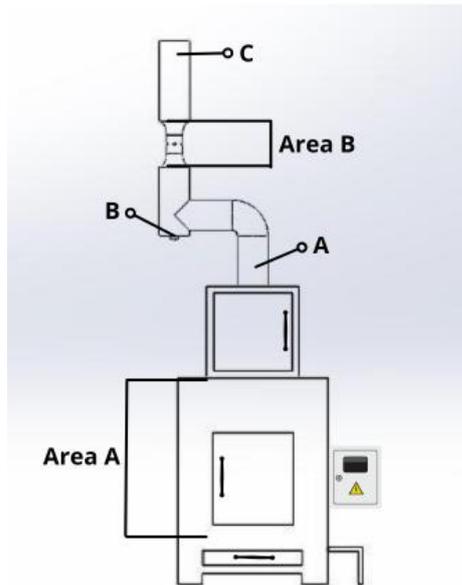


**Gambar 3.15** Bahan Bakar

### 3.3 *Sampling Point*

*Sampling point* adalah penempatan titik dalam pengambilan data pada insinerator dan *ventury wet scrubber*. Tujuan penempatan *sampling point* ini adalah untuk memudahkan peneliti pada saat pengambilan data, sehingga diperoleh hasil yang efektif. Maka dari itu, *sampling point* yang ada yakni

pengambilan data untuk alat *gas analyzer* dan *Thermocouple*. Adapun ilustrasi *sampling point* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.16** *Sampling Point*

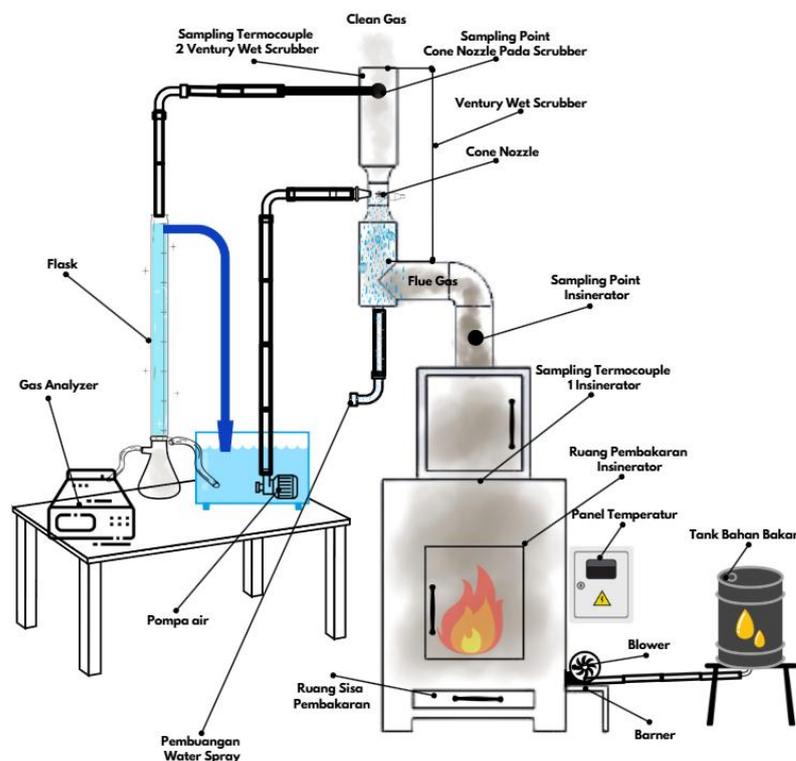
Berikut adalah penjelasan dari ilustrasi *sampling point* pada penelitian ini:

1. Area A merupakan ruang pembakaran sampah dan dalam titik area ini pula diambil data temperatur pembakaran sampah.
2. Area B merupakan ruang *throat* pada *ventury wet scrubber* dengan menggunakan tipe *water spray cone nozzle* yang bertemu atau bertabrakan langsung dengan emisi gas dari Area A.
3. Titik A merupakan tempat pengambilan sampel emisi gas menggunakan *gas analyzer* pada tahap pembakaran tanpa menggunakan *ventury wet scrubber*.
4. Titik B merupakan tempat pembuangan sisa cairan yang sudah terkontaminasi dengan gas dan partikulat yang di *spray* melalui area B, untuk dibuang ketempat penampungan.
5. Titik C merupakan tempat pengambilan sampel emisi gas menggunakan *gas analyzer* yang sudah melewati ruang *ventury wet scrubber*.

### 3.4 Skema Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan proses pengujian emisi. Maka dari itu, dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui penurunan emisi gas buang yang

dihasilkan insinerator tanpa *ventury wet scrubber* dan insinerator dengan *ventury wet scrubber* menggunakan tipe *water spray cone nozzle*. Oleh karena itu pada pengukuran emisi gas buang insinerator tanpa *ventury wet scrubber* dilakukan dengan cara membakar sampah domestik sebanyak 5 kg, lalu emisi gas buang yang dihasilkan oleh proses pembakaran insinerator dialirkan menuju *flask* untuk dilakukan pengukuran pada gas *analyzer*. Lalu pada emisi gas buang insinerator dengan *ventury wet scrubber* menggunakan tipe *water spray cone nozzle* dilakukan sama dengan insinerator sebelumnya hanya saja perbedaan disini dialirkan lagi menuju inlet *ventury wet scrubber*, emisi gas buang yang mengalir masuk kedalam *throat* pada ruang *ventury* yang langsung disemprotkan dengan air menggunakan *cone nozzle* yang berjumlah 4 buah *nozzle*, lalu emisi yang sudah bersih melewati *throat ventury* maka langsung dialirkan menuju *flask* untuk dilakukan proses pengukuran kadar emisi gas buang setelah melewati sistem *water spray* menggunakan gas *analyzer*. Adapun emisi gas buang yang diukur pada penelitian ini meliputi CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub>. Adapun gambar dari skema pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.17** Skema Penelitian

### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdapat 3 prosedur dalam penelitian ini yakni prosedur pengambilan data insinerator, Prosedur Pengambilan Data Insinerator Menggunakan Cone Nozzle Pada Ventury Wet Scrubber dan prosedur pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Prosedur Pengambilan Data Insinerator

Adapun prosedur persiapan penelitian ini guna mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan sampah yang akan dibakar pada insenerator sebanyak 5 kg.
2. Mempersiapkan insinerator untuk proses pembakaran dengan melakukan penempatan burner dengan blower pada lubang masukan yang terdapat pada insinerator.
3. Meletakkan *thermocouple* pada titik tertentu untuk mengetahui temperatur pada proses pembakaran dan dibaca melalui panel *display* temperatur.
4. Mempersiapkan gas *analyzer* dan memulai kalibrasi alat ukur, untuk melakukan pembacaan nilai emisi gas dengan tingkat ketelitian tinggi.
5. Memasukan bahan bakar kedalam tanki bahan bakar yang kemudian akan dialirkan ke *burner*.
6. Memasukkan sampah sebanyak 5 kg kedalam insinerator.
7. Memanaskan corong *burner* agar api dapat menyala secara langsung.
8. Menyalakan *burner* di iringi dengan mengatur bukaan udara dan laju aliran bahan bakar hingga api dapat menyala secara stabil.
9. Menyalakan *blower* dan mengatur bukaan katup udara.
10. Memulai proses pengambilan data.

#### 3.5.2 Prosedur Pengambilan Data Insinerator Menggunakan Cone Nozzle Pada Ventury Wet Scrubber

Adapun prosedur persiapan penelitian ini guna mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan sampah yang akan dibakar pada insenerator sebanyak 5 kg.
2. Mempersiapkan insinerator untuk proses pembakaran dengan melakukan penempatan burner dengan blower pada lubang masukan yang terdapat pada insinerator.
3. Meletakkan *thermocouple* pada titik tertentu untuk mengetahui temperatur pada proses pembakaran dan dibaca melalui panel *display* temperatur.
4. Mempersiapkan gas *analyzer* dan memulai kalibrasi alat ukur, untuk melakukan pembacaan nilai emisi gas dengan tingkat ketelitian tinggi.
5. Mempersiapkan *ventury wet scrubber* beserta pompa dan air yang akan digunakan.
6. Memasukan bahan bakar kedalam tanki bahan bakar yang kemudian akan dialirkan ke *burner*.
7. Memasukkan sampah sebanyak 5 kg kedalam insinerator.
8. Memanaskan corong *burner* agar api dapat menyala secara langsung.
9. Menyalakan *burner* di iringi dengan mengatur bukaan udara dan laju aliran bahan bakar hingga api dapat menyala secara stabil.
10. Menyalakan *blower* dan mengatur bukaan katup udara.
11. Menyalakan pompa untuk melakukan *spray* pada *ventury wet scrubber*.
12. Memulai proses pengambilan data

### **3.5.3 Prosedur Pengambilan Data**

Adapun prosedur pengambilan data yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Setelah sampah sudah mulai terbakar dan semua alat sudah menyala.
2. Membaca temperatur pembakaran pada panel *display* yang ada pada insinerator.
3. Menyalakan pompa untuk *filter flask* agar gas polutan hasil pembakaran tidak adanya *fly ash* yang ikut ketika pembacaan hasil emisi.

4. Mengambil data gas emisi buang dari alat gas *analyzer* sampai proses pembakaran selesai.
5. Setelah selesai mengambil data dan proses pembakaran selesai.
6. Merapihkan kembali, untuk melakukan pengujian pembakaran selanjutnya.

### **3.6 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Pengambilan Data**

Pada pelaksanaan penelitian ini, peneliti melaksanakan penelitian mulai dari bulan Oktober 2024 – Januari 2025 dan tempat pelaksanaan pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

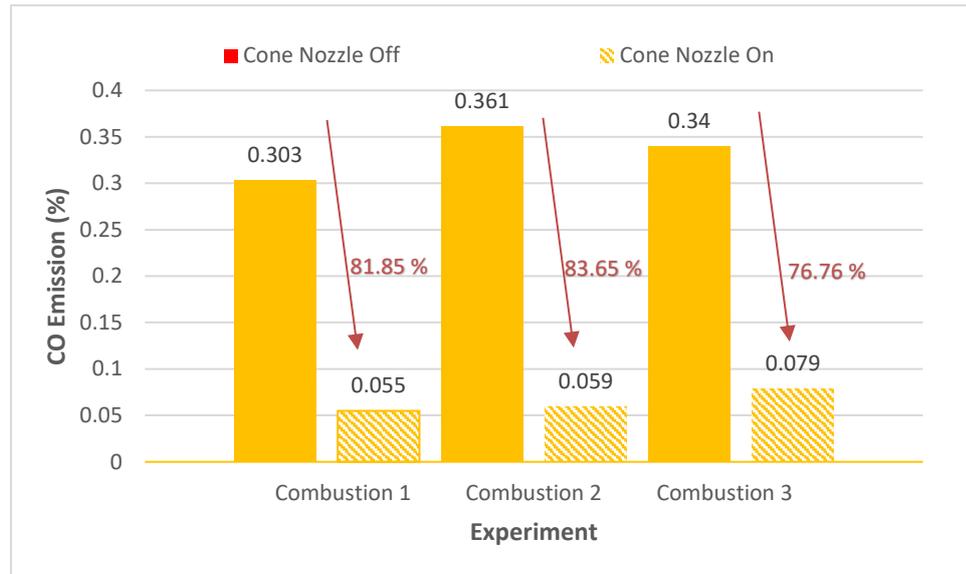
#### 4.1 Analisis Emisi Karbon Monoksida (CO)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada masing-masing variabel pembakaran, dimana pada variabel pembakaran pertama melakukan tiga kali pembakaran pada insinerator dengan kondisi *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mati, lalu pada variabel pembakaran kedua melakukan tiga kali pembakaran dengan kondisi insinerator dan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* menyala. Adapun data yang diperoleh pada hasil pembakaran terdapat pada tabel perbandingan CO dibawah ini:

**Tabel 4. 3** Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi CO

<i>Combustion</i>	<i>CO Emission</i>		
	<i>Cone Nozzle Off (%)</i>	<i>Cone Nozzle On (%)</i>	<i>Degree (%)</i>
<i>Combustion 1</i>	0.303	0.055	81.85
<i>Combustion 2</i>	0.361	0.059	83.65
<i>Combustion 3</i>	0.34	0.079	76.76
<b><i>Average</i></b>	<b>0.33</b>	<b>0.064</b>	<b>80.60</b>

Berdasarkan data dari tabel perbandingan persentase penurunan nilai emisi Karbon Monoksida (CO), dapat disimpulkan bahwa nilai penurunan hasil dari pembakaran pertama sampai dengan ketiga pada nilai rata-rata hasil pembakaran yakni mencapai 80.60 %. Nilai penurunan emisi CO dari proses pembakaran pertama sampai ketiga dapat direpresentasikan pada grafik dibawah ini:

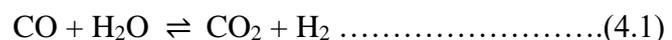


**Gambar 4.1** Grafik Perbandingan Nilai Emisi CO

Berdasarkan data grafik yang diperoleh pada grafik pembakaran dengan nilai emisi Karbon Monoksida (CO). Dapat diketahui bahwa dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* dapat menurunkan emisi gas buang pada insinerator. Hal ini dapat diketahui pada besaran nilai emisi CO tanpa menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 0.303%, Lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 0.361%, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 0.34%. Sedangkan pada besaran nilai emisi CO dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 0.055%, lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 0.059%, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 0.079%. Berdasarkan hasil pengambilan data pada nilai emisi CO dari pertama, kedua, dan ketiga mendapatkan nilai penurunan emisi. Pada pembakaran pertama penurunan nilai emisi sebesar 81.85%, Pada pembakaran kedua mendapatkan nilai penurunan emisi sebesar 83.65%, dan pada pembakaran ketiga mendapatkan nilai penurunan emisi sebesar 76.76%.

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna pada proses pembakaran, dimana pada proses pembakaran yang terjadi pasokan oksigen tidak cukup untuk mengoksidasi karbon (C)

menjadi CO<sub>2</sub>. Dapat diketahui bahwa proses pembakaran pada insinerator menghasilkan gas CO. Pada proses absorpsi terbagi menjadi 2, yakni absorpsi fisik dan absorpsi kimia. Adapun pada absorpsi secara fisik, aliran gas yang cepat menciptakan turbulensi melaju keluar menuju *ventury wet scrubber* melewati bagian menyempit (*throat*) pada *ventury*, memungkinkan tetesan air kecil pada *waterspray* untuk berinteraksi lebih efektif dan menangkap gas CO pada ruang *ventury wet scrubber*, sehingga dengan adanya kontak fisik antara air dan gas membuat gas karbon monoksida ikut terperangkap kedalam cairan. Sedangkan absorpsi secara kimia, CO dapat secara terlarut dalam air dan mengubahnya menjadi larutan. Proses ini dapat meningkatkan efisiensi dalam menangkap polutan CO dari aliran gas, sekaligus menangkap partikel padat yang ikut terbawa dalam proses pembakaran. Selain itu, fenomena fisik lainnya yang terjadi adalah impaksi, di mana partikel-partikel dalam gas CO bertabrakan dengan tetesan air, sehingga partikel tersebut terperangkap dalam tetesan [15]. Selain peran absorpsi fisik dan kimia terdapat peran penting dalam mereduksi emisi, yang mana diameter droplet yang halus dapat memaksimalkan efisiensi pengumpulan partikel. Droplet yang lebih kecil memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena meningkatkan kecepatan relatif antara gas dan droplet air, sehingga dapat meningkatkan pengumpulan partikel dan gas [21]. Adapun reaksi gas CO dengan air dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:



Proses absorpsi karbon dioksida dengan air lebih dikenal sebagai absorpsi fisik daripada absorpsi kimia karena reaksinya dengan air adalah reaksi kesetimbangan [15].

#### 4.2 Analisis Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

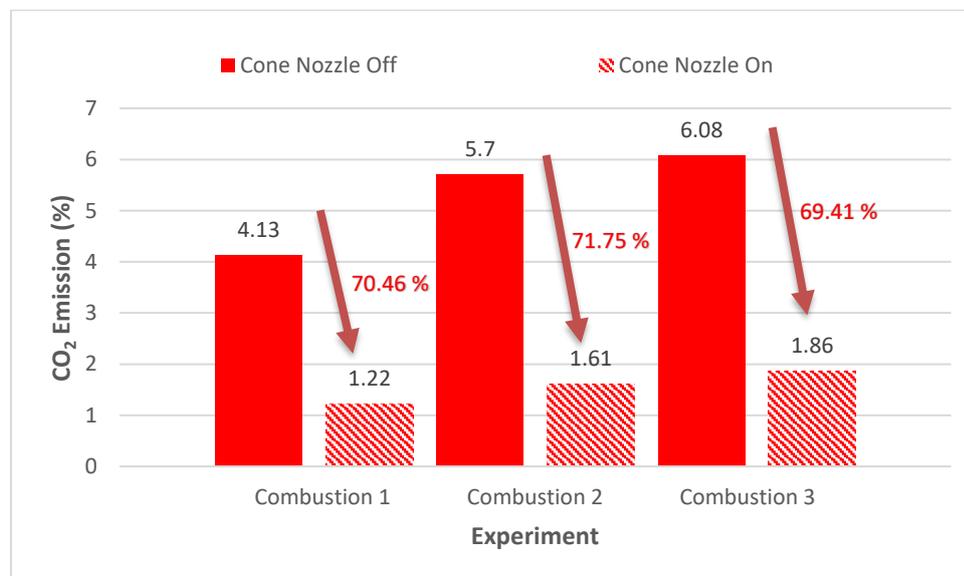
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada masing-masing variabel pembakaran, dimana pada variabel pembakaran pertama melakukan tiga kali pembakaran pada insinerator dengan kondisi *cone*

*nozzle* pada *ventury wet scrubber* mati, lalu pada variabel pembakaran kedua melakukan 3 kali pembakaran dengan kondisi insinerator dan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* menyala. Adapun data yang diperoleh pada hasil pembakaran terdapat pada grafik perbandingan CO<sub>2</sub> dibawah ini:

**Tabel 4. 4** Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi CO<sub>2</sub>

<i>Combustion</i>	<i>CO<sub>2</sub> Emission</i>		
	<i>Cone Nozzle Off (%)</i>	<i>Cone Nozzle On (%)</i>	<i>Degrease (%)</i>
<i>Combustion 1</i>	4.13	1.22	70.46
<i>Combustion 2</i>	5.7	1.61	71.75
<i>Combustion 3</i>	6.08	1.86	69.41
<b><i>Average</i></b>	<b>5.3</b>	<b>1.56</b>	<b>70.56</b>

Berdasarkan data dari tabel perbandingan persentase penurunan nilai emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), dapat disimpulkan bahwa nilai penurunan hasil dari pembakaran pertama sampai dengan ketiga pada nilai rata-rata pembakaran yakni mencapai 70.56%. Nilai penurunan emisi CO<sub>2</sub> dari proses pembakaran pertama sampai ketiga dapat direpresentasikan pada grafik dibawah ini:

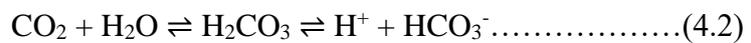


**Gambar 4.2** Grafik Penurunan Nilai Emisi CO<sub>2</sub>

Berdasarkan data grafik yang diperoleh pada grafik pembakaran dengan nilai emisi Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Dapat diketahui bahwa dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* dapat menurunkan emisi gas buang pada insinerator. Hal ini dapat diketahui pada besaran nilai emisi  $\text{CO}_2$  tanpa menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 4.13%, Lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 5.7%, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 6.08%. Sedangkan pada besaran nilai emisi  $\text{CO}_2$  dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 1.22%, lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 1.61%, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 1.86%. Berdasarkan hasil pengambilan data pada nilai emisi  $\text{CO}_2$  dari pertama, kedua, dan ketiga mendapatkan nilai penurunan emisi. Pada pembakaran pertama penurunan nilai emisi sebesar 70.46%, Pada pembakaran kedua mendapatkan nilai penurunan emisi sebesar 71.75%, dan pada pembakaran ketiga mendapatkan nilai penurunan emisi sebesar 69.41%.

Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) merupakan senyawa kimia yang dihasilkan dari proses pembakaran sempurna. Dalam proses pembakaran, karbon (C) bereaksi dengan oksigen ( $\text{O}_2$ ) secara sempurna menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Pada *Ventury Wet Scrubber*, ketika gas  $\text{CO}_2$  bertemu dengan air, terjadi dua fenomena utama yang bekerja bersama untuk mereduksi  $\text{CO}_2$  yakni absorpsi fisik dan absorpsi kimia. Pada absorpsi secara fisik, semprotan air pada *ventury wet scrubber* menghasilkan tetesan kecil pada ruang menyempit (*throat*) yang meningkatkan luas permukaan kontak antara air dan gas, yang mana memungkinkan  $\text{CO}_2$  terlarut ke dalam air melalui proses absorpsi fisik dan tumbukan antara butiran air yang terlarut ketika bertemu  $\text{CO}_2$ . Pada absorpsi secara kimia, ketika  $\text{CO}_2$  terlarut maka bereaksi dengan air untuk membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), yang kemudian dapat terurai menjadi ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), menyebabkan penurunan pH air dan menjadikannya lebih asam. Pada proses ini tidak hanya mengurangi konsentrasi  $\text{CO}_2$  dalam aliran gas yang keluar, akan tetapi mengubah sifat kimia air, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengendalian emisi gas

berbahaya. Maka itu, kombinasi dari fenomena fisik dan kimia ini menjadikan *Ventury wet scrubber* efektif dalam mereduksi emisi CO<sub>2</sub>. Selain peran absorpsi fisik dan kimia terdapat peran penting dalam mereduksi emisi, yang mana diameter droplet yang halus dapat memaksimalkan efisiensi pengumpulan partikel. Droplet yang lebih kecil memiliki efisiensi target yang lebih tinggi karena meningkatkan kecepatan relatif antara gas dan droplet air, sehingga dapat meningkatkan pengumpulan partikel dan gas [21]. Adapun reaksi gas CO<sub>2</sub> dengan air dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:



Reaksi CO<sub>2</sub> dengan air merupakan reaksi kesetimbangan yang membentuk H<sup>+</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (asam karbonat), di mana asam karbonat ini merupakan jenis asam lemah yang dapat menyebabkan korosi, karena itu proses absorpsi CO<sub>2</sub> dengan air lebih dinyatakan sebagai absorpsi fisik bukan absorpsi kimia [16].

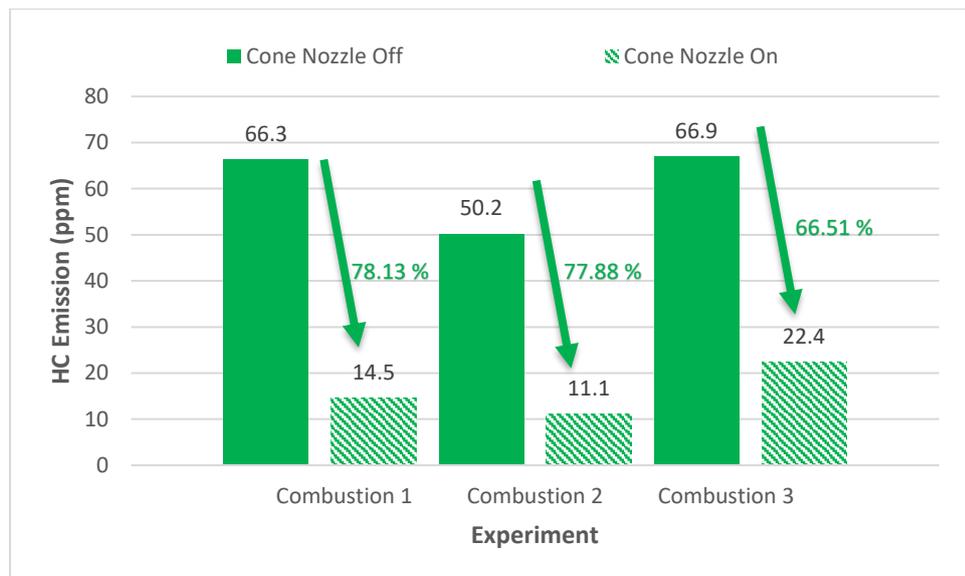
#### 4.3 Analisis Emisi Hidrokarbon (HC)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada masing-masing variabel pembakaran, dimana pada variabel pembakaran pertama melakukan tiga kali pembakaran pada insinerator dengan kondisi *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mati, lalu pada variabel pembakaran kedua melakukan 3 kali pembakaran dengan kondisi insinerator dan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* menyala. Adapun data yang diperoleh pada hasil pembakaran terdapat pada grafik perbandingan HC dibawah ini:

**Tabel 4.5** Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi HC

<i>Combustion</i>	<i>HC Emission</i>		
	<i>Cone Nozzle Off (%)</i>	<i>Cone Nozzle On (%)</i>	<i>Degrease (%)</i>
<i>Combustion 1</i>	66.3	14.5	78.13
<i>Combustion 2</i>	50.2	11.1	77.88
<i>Combustion 3</i>	66.9	22.4	66.51
<i>Average</i>	<b>61.1</b>	<b>16</b>	<b>73.81</b>

Berdasarkan data dari tabel perbandingan persentase penurunan nilai emisi Hidrokarbon (HC), dapat disimpulkan bahwa nilai penurunan hasil dari pembakaran pertama sampai dengan ketiga pada nilai rata-rata pembakaran yakni mencapai 73.81 %. Nilai penurunan emisi HC dari proses pembakaran pertama sampai ketiga dapat direpresentasikan pada grafik dibawah ini:



**Gambar 4.3** Grafik Penurunan Nilai Emisi HC

Berdasarkan data grafik yang diperoleh pada grafik pembakaran dengan nilai emisi Hidrokarbon (HC). Dapat diketahui bahwa dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* dapat menurunkan emisi gas buang pada insinerator. Hal ini dapat diketahui pada besaran nilai emisi HC tanpa menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 66.3 ppm, Lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 50.2 ppm, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 66.9 ppm. Sedangkan pada besaran nilai emisi HC dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 14.5 ppm, lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 1.11 ppm, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 22.4 ppm. Berdasarkan hasil pengambilan data pada nilai emisi HC dari pertama, kedua, dan ketiga mendapatkan nilai penurunan emisi. Pada pembakaran pertama penurunan nilai emisi sebesar 78.13%, Pada pembakaran kedua mendapatkan nilai penurunan emisi sebesar

77.88%, dan pada pembakaran ketiga mendapatkan nilai penurunan emisi sebesar 66.51%.

Hidrokarbon (HC) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari atom karbon (C) dan hidrogen (H). Hidrokarbon terbentuk akibat pembakaran tidak sempurna, dimana senyawa hidrokarbon tidak sempurna dan terbuang ke udara. Pada *Ventury Wet Scrubber*, ketika gas Hidrokarbon (HC) bertemu dengan *water spray*, terjadi satu fenomena utama yang bekerja bersama untuk mereduksi HC yakni absorpsi fisik dan absorpsi kimia. Secara fisik, air yang disemprotkan teratomisasi menjadi droplet-droplet kecil pada ruang menyempit (*throat*) pada *ventury wet scrubber* untuk meningkatkan luas permukaan kontak dengan gas HC, sehingga partikel HC yang lebih berat akan larut dalam air (seperti senyawa hidrokarbon polar) terperangkap dalam droplet air melalui proses impaksi dan absorpsi fisik [22]. Pada absorpsi secara kimia, air murni (H<sub>2</sub>O) tidak bereaksi secara signifikan dengan HC karena HC umumnya bersifat non-polar dan tidak mudah larut atau bereaksi dengan air. Namun, fenomena fisik tetap terjadi, di mana droplet air menangkap partikel HC melalui proses impaksi dan absorpsi fisik, terutama untuk senyawa HC yang lebih berat atau memiliki sedikit polaritas.

#### 4.4 Analisis Kandungan Gas Oksigen (O<sub>2</sub>)

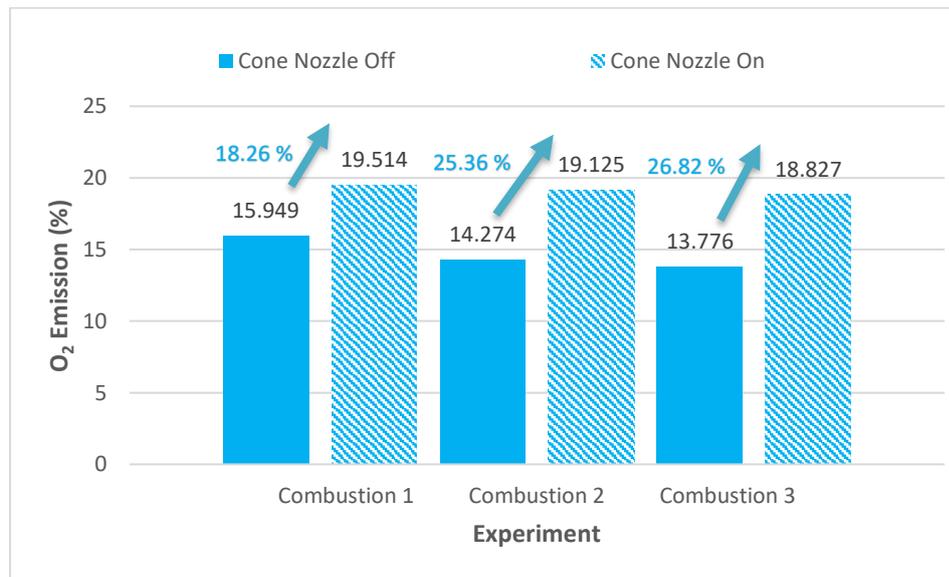
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada masing-masing variabel pembakaran, dimana pada variabel pembakaran pertama melakukan tiga kali pembakaran pada insinerator dengan kondisi *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mati, lalu pada variabel pembakaran kedua melakukan 3 kali pembakaran dengan kondisi insinerator dan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* menyala. Adapun data yang diperoleh pada hasil pembakaran terdapat pada tabel perubahan O<sub>2</sub> dibawah ini:

**Tabel 4.6** Perbandingan Persentase Perubahan Nilai Emisi O<sub>2</sub>

<i>Combustion</i>	<i>O<sub>2</sub> Emission</i>		
	<i>Cone Nozzle Off (%)</i>	<i>Cone Nozzle On (%)</i>	<i>Degrease (%)</i>
<i>Combustion 1</i>	15.949	19.514	18.26
<i>Combustion 2</i>	14.274	19.125	25.36

<i>Combustion 3</i>	13.776	18.827	26.82
<b><i>Average</i></b>	<b>14.666</b>	<b>19.155</b>	<b>23.43</b>

Berdasarkan data dari tabel perbandingan persentase perubahan nilai emisi Oksigen ( $O_2$ ), dapat disimpulkan bahwa nilai perubahan hasil dari pembakaran pertama sampai dengan ketiga pada nilai rata-rata pembakaran yakni mencapai 23.43%. Nilai perubahan emisi  $O_2$  dari proses pembakaran pertama sampai ketiga dapat direpresentasikan pada grafik dibawah ini:



**Gambar 4.4** Grafik Perbandingan Nilai Emisi  $O_2$

Berdasarkan data grafik yang diperoleh pada grafik pembakaran dengan nilai emisi Oksigen ( $O_2$ ). Dapat diketahui bahwa dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* dapat menurunkan emisi gas buang pada insinerator. Hal ini dapat diketahui pada besaran nilai  $O_2$  tanpa menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 15.949%, Lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 14.274%, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 13.776. Sedangkan pada besaran nilai  $O_2$  dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* mendapatkan hasil pada pembakaran pertama 19.514%, lalu pada pembakaran kedua memperoleh hasil 19.125%, dan pada pembakaran ketiga memperoleh hasil 18.827%. Berdasarkan hasil pengambilan data pada nilai  $O_2$  dari pertama,

kedua, dan ketiga mendapatkan nilai perubahan emisi. Pada pembakaran pertama nilai perubahan sebesar 18.26%, Pada pembakaran kedua mendapatkan nilai perubahan sebesar 25.36%, dan pada pembakaran ketiga mendapatkan nilai perubahan sebesar 26.82%.

Proses pembakaran dalam insinerator membutuhkan banyak oksigen untuk mencapai pembakaran yang sempurna. Untuk menjaga jumlah oksigen dalam insinerator tetap konstan, saluran yang menghubungkan blower digunakan untuk menyediakan oksigen selama proses pembakaran. Terdapat perubahan pada nilai Oksigen ( $O_2$ ) yang dimana berbanding terbalik dengan nilai Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida ( $CO_2$ ), dan Hidrokarbon (HC). Hal ini dikarenakan Oksigen merupakan unsur kimia yang sangat penting dalam proses pembakaran, yang dimana dalam proses pembakaran terjadi reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksidator. Hal ini menyebabkan Oksigen ( $O_2$ ) yang tersisa pada proses pembakaran tidak terikat oleh zat kimia yang terdapat pada bahan bakar pada saat proses pembakaran. Kelebihan oksigen ini membantu mengoksidasi bahan bakar menjadi lebih efisien, untuk mengurangi pembentukan proses pembakaran yang tidak diinginkan seperti karbon (C) untuk membentuk Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida ( $CO_2$ ) yang akhirnya menyebabkan pada kondisi *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* yang digunakan memperoleh nilai oksigen lebih banyak dibandingkan dengan keadaan hanya menggunakan insinerator saja. Hal ini didukung oleh interaksi antara gas Oksigen ( $O_2$ ) dan air ( $H_2O$ ) dapat meningkatkan nilai oksigen terlarut melalui proses absorpsi yang efisien dan peningkatan turbulensi melalui desain *ventury*, sehingga air dan oksigen yang bercampur dapat berpindah ke fase gas yang dapat meningkatkan nilai Oksigen ( $O_2$ ). Dalam sistem pembakaran, konsentrasi oksigen ( $O_2$ ) berbanding terbalik dengan kadar karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ).

#### **4.5 Pengaruh Penggunaan *Cone Nozzle* Pada *Ventury Wet Scrubber* Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Insinerator**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan nilai penurunan emisi gas buang pada

masing-masing zat. Adapun nilai penurunan emisi gas buang adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.7** Perbandingan Persentase Perubahan Nilai Emisi *Cone Nozzle Off* dan *Cone Nozzle On*

<i>Description</i>	<i>Emission</i>			
	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
<i>Cone Nozzle Off</i>	0.33	5.30	61.1	14.666
<i>Cone Nozzle On</i>	0.064	1.56	16	19.155
<b><i>Degrease (%)</i></b>	<b>80.60</b>	<b>70.56</b>	<b>73.81</b>	<b>23.43</b>

Berdasarkan data grafik yang diperoleh setelah melakukan proses pengambilan data 3 kali pada masing-masing variabel. Dapat diketahui bahwa dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* dapat menurunkan emisi gas buang pada insinerator. Hal ini dapat diketahui pada besaran nilai emisi CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub>. Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan selama 3 kali lalu di rata-ratakan, Pada nilai tanpa *cone nozzle* memperoleh nilai sebesar 0.33%, Lalu dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* memperoleh nilai sebesar 0.064%, Maka mendapatkan nilai rata-rata penurunan dari kedua variabel tersebut, pada karbon monoksida (CO) mendapatkan nilai penurunan sebesar 80.60%. Berdasarkan nilai karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), Pada nilai tanpa *cone nozzle* memperoleh nilai sebesar 5.30%, Lalu dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* memperoleh nilai sebesar 1.56%, Maka mendapatkan nilai rata-rata penurunan dari kedua variabel tersebut, pada karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) mendapatkan nilai penurunan sebesar 70.56%. Berdasarkan nilai hidrokarbon (HC), Pada nilai tanpa *cone nozzle* memperoleh nilai sebesar 61.1 ppm, Lalu dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* memperoleh nilai sebesar 16 ppm, Maka mendapatkan nilai rata-rata penurunan dari kedua variabel tersebut, pada hidrokarbon (HC) mendapatkan nilai penurunan sebesar 73.81%. Namun, pada gas Oksigen O<sub>2</sub> terdapat kenaikan nilai rata-rata pada nilai tanpa *cone nozzle* memperoleh nilai sebesar 14.666%, Lalu dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* memperoleh nilai sebesar 19.155%, Maka

mendapatkan nilai rata-rata kenaikan dari kedua variabel tersebut, pada oksigen ( $O_2$ ) mendapatkan nilai kenaikan sebesar 23.43%. Hal ini disebabkan karena tidak terikatnya sisa oksigen dengan emisi gas buang lainnya seperti Karbon (C) untuk membentuk karbon monoksida (CO) atau karbon dioksida ( $CO_2$ ).

Berdasarkan hasil penurunan emisi gas buang yang dihasilkan oleh insinerator dan direduksi oleh *ventury wet scrubber* dengan menggunakan tipe *water spray cone nozzle*. Dapat disimpulkan bahwa peran *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* sangat berpengaruh pada penurunan emisi gas buang insinerator. Hal ini terjadi karena emisi gas yang keluar dari insinerator dipaksa masuk dengan kecepatan tinggi pada bagian *throat* pada *ventury wet scrubber* yang sangat kecil, *cone nozzle* berperan sebagai penyemprot cairan air pada dinding venturi dan menghasilkan droplet sangat kecil dalam jumlah sangat banyak, yang berfungsi untuk menangkap polutan gas secara efektif [10]. Pada *cone nozzle* memiliki desain yang sangat penting dalam mengontrol pola semprotan dan ukuran *droplet* yang dihasilkan. *Cone nozzle* memanfaatkan prinsip *pressure-swirl atomization*, di mana cairan diberi tekanan tinggi dan dialirkan melalui ruang pusaran (*swirl chamber*) sebelum keluar melalui *orifice*. *Nozzle* ini menggunakan *X-type swirl-insert*, yaitu komponen yang menciptakan gerakan berputar pada cairan sebelum keluar, sehingga menghasilkan semprotan yang lebih halus dan merata [12]. Oleh karena itu, penggunaan tipe *water spray* ini sangat cocok digunakan untuk proses absorpsi emisi gas buang insinerator, dengan didukung oleh teori tabrakan *droplet* air dalam konteks absorpsi gas yang menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan proses pembentukan dan interaksi *droplet*, emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida dan karbon dioksida dapat dikurangi secara signifikan. Proses ini sangat penting dalam teknologi penyemprotan, seperti pada *Ventury Wet Scrubber*, di mana semakin kecil ukuran *droplet*, semakin besar luas permukaannya, sehingga lebih efektif dalam menangkap dan menyerap polutan gas [18].

#### 4.6 Analisa Ambang Batas Nilai Emisi Berdasarkan Standar

Proses pembakaran sampah secara termal, khususnya melalui metode insinerasi, merupakan salah satu teknik pengolahan limbah yang umum diterapkan di Indonesia. Meskipun efektif dalam mengurangi volume limbah secara signifikan, metode ini juga berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama akibat emisi gas buang yang dihasilkan selama proses pembakaran. Oleh karena itu, penelitian ini mengacu pada standar yang sudah diatur dalam peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal [20].

Berdasarkan Penelitian yang sudah dilakukan dengan pengujian emisi gas buang insinerator dengan menggunakan gas *analyzer* didapatkan nilai gas CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub>. Dengan dilakukannya penelitian ini, langkah selanjutnya adalah dengan membuktikan hasil emisi gas dengan pengaruh *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* untuk menurunkan emisi gas buang insinerator apakah sesuai dengan standar ambang batas yang sudah ditetapkan. Maka, digunakan nilai emisi gas CO sesuai pada tabel 2.1. Berdasarkan standar baku emisi Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal melalui metode insinerasi yaitu sebesar 625 mg/Nm<sup>3</sup>. Adapun tabel perbandingan nilai hasil gas CO adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.8** Perbandingan Nilai Hasil Penelitian Gas CO dengan Standar Baku Emisi P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

Variabel	Nilai Hasil Emisi Gas CO		Klasifikasi
	Nilai Konversi (mg/Nm <sup>3</sup> )	Standar Menteri LHK (mg/Nm <sup>3</sup> )	
<i>Cone Nozzle Off</i>	3780	625	<b>Tidak Memenuhi Standar</b>
<i>Cone Nozzle On</i>	733	625	<b>Tidak Memenuhi Standar</b>

Berdasarkan perbandingan nilai ambang batas gas CO dengan Standar Baku Emisi P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Dengan hasil pengukuran emisi gas CO, diketahui bahwa pada kondisi *cone nozzle off*, nilai emisi mencapai 3780 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan saat *cone nozzle on*, nilainya menurun drastis menjadi 733 mg/Nm<sup>3</sup>. Hasil nilai penurunan emisi ketika *cone nozzle* dinyalakan hampir mendekati batas ambang yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK), yaitu sebesar 625 mg/Nm<sup>3</sup>. Oleh karena itu, baik dalam kondisi *cone nozzle off* maupun *on*, sistem insinerator dinyatakan tidak memenuhi standar emisi gas buang untuk parameter CO. Dengan hal ini, Efisiensi penurunan emisi gas CO mencapai sekitar 80,6%, yang mengindikasikan bahwa penggunaan *cone nozzle* secara signifikan mampu menurunkan kadar polutan dalam emisi gas buang insinerator, meskipun belum sepenuhnya memenuhi standar lingkungan yang berlaku.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini dengan melakukan tiga kali pembakaran pada kondisi tanpa *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* dan dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* untuk menurunkan emisi gas buang insinerator, terutama pada nilai emisi gas karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan hidrokarbon (HC). Pada hasil yang diperoleh, maka mendapatkan nilai rata-rata penurunan dari kedua variabel tersebut, pada karbon monoksida (CO) mendapatkan nilai penurunan sebesar 80.60%. Pada karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) mendapatkan nilai penurunan sebesar 70.56%. Pada hidrokarbon (HC) mendapatkan nilai penurunan sebesar 73.81%. Namun, pada gas Oksigen O<sub>2</sub> terdapat kenaikan nilai rata-rata pada oksigen (O<sub>2</sub>) mendapatkan nilai kenaikan sebesar 23.43%. Berdasarkan nilai hasil yang sudah didapatkan, Maka dapat dibandingkan nilai ambang batas gas CO dengan Standar Baku Emisi P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Dengan hasil pengukuran emisi gas CO, diketahui bahwa pada kondisi *cone nozzle off*, nilai emisi mencapai 3780 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan pada saat *cone nozzle on*, nilainya menurun drastis menjadi 733 mg/Nm<sup>3</sup>. Hasil nilai penurunan emisi ketika *cone nozzle* dinyalakan hampir mendekati batas ambang yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK), yaitu sebesar 625 mg/Nm<sup>3</sup>. Dengan hal ini, Efisiensi penurunan emisi gas CO sangat signifikan dalam mereduksi emisi hingga mencapai sekitar 80,6%. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai emisi menurun yakni absorpsi fisik dan absorpsi kimia, serta ukuran droplet pada *cone nozzle* dan area penyebaran yang meluas sehingga dapat menangkap emisi gas buang insinerator. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* secara signifikan mampu menurunkan kadar polutan dalam emisi gas buang insinerator, meskipun belum sepenuhnya memenuhi standar lingkungan yang berlaku.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh peneliti pada penelitian selanjutnya diharapkan terdapat simulasi, sehingga droplet air yang keluar pada *cone nozzle* yang ada pada ruang *ventury wet scrubber* bisa terlihat ilustrasi dan efektifitas air dalam mereduksi emisi gas buang insinerator.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN).” [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [2] et al. Jayadi, “Chimney Filter Model Wet Scrubber to Reduce Air Pollutant Emissions on the Incinerator,” *Heal. Notions*, vol. 5, no. 2, pp. 41–45, 2021, doi: 10.33846/hn50201.
- [3] E. Naryono, “Perancangan Sistem Pemilahan , Pengeringan dan Pembakaran Sampah Organik Rumah Tangga,” *Indones. Green Technol. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2013.
- [4] Z. Perkasa, “Pengaruh Penggunaan Air Laut dan Ukuran Droplet Terhadap Kadar Partikulat Gas Buang Pada Insenerator Sampah,” Universitas Negeri Jakarta, 2018. [Online]. Available: <http://repository.unj.ac.id/id/eprint/744>
- [5] W. Nurul and R. Aminy, “Perencanaan Emisi PM10 Pada Industri Peleburan Baja Cilegon-Banten,” Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [6] C. Enggang, “Analisis Pemanfaatan Panas Incinerator Stunta x Pindad Menjadi Sumber Energi PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah),” Malang, 2022.
- [7] A. Sudrajad and I. Syaefulloh, “Performance and Pollution Control Analysis of Municipal Solid Waste Incinerator Type Fluidized Bed,” *Proc. Conf. Broad Expo. to Sci. Technol. 2021 (BEST 2021)*, vol. 210, no. Best 2021, pp. 402–404, 2022, doi: 10.2991/aer.k.220131.060.
- [8] A. Lasmana, Junaidi, and E. Kurniawan, “Rancang Bangun Alat Pembakar Sampah (Incinerator) Dengan Burner Oli Bekas,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2021.
- [9] N. H. A. A, S. Prajogo, and A. S. Kurniasetiawati, “Perancangan Wet Scrubber Kapasitas 0,72 m<sup>3</sup>/jam pada Proses Pemurnian Biogas dari Kotoran Sapi,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 13, no. 01, pp. 850–858, 2022, doi: 10.35313/irwns.v13i01.4178.
- [10] F. Rahmawati, B. P. Samadikun, and M. Hadiwidodo, “Performance

Evaluation of Cyclone Particulate Controller and Wet Scrubber Unit in Paper Mill 7/8 PT. Pura Nusapersada Kudus,” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkungan.*, vol. 17, no. 2, pp. 144–153, 2020, doi: 10.14710/presipitasi.v17i2.144-153.

- [11] N. M. Damastu, “Studi Eksperimen dan Kajian Numerik Aliran Fluida Pada Nosel Diameter 0,3 mm,” Universitas Pasundan, 2016. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/12936%0A>
- [12] H. Shrigondekar, A. Chowdhury, and S. V. Prabhu, “Characterization of solid-cone simplex mist nozzles,” *Fire Saf. J.*, vol. 111, no. November 2018, p. 102936, 2020, doi: 10.1016/j.firesaf.2019.102936.
- [13] E. P. Lestari and Widjningsih, “Rancang Bangun Tangki Pembilasan Insinerator Sampah Ramah Lingkungan Terhadap Efektifitas Kadar Partikulas Gas Buang,” 2015.
- [14] M. Umar Wakhid, “Analisis Dampak Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor CO di UIN Raden Intan Lampung,” Universitas Islam Negeri, 2018.
- [15] S. R. Damayanti and N. Hendrasarie, “Efektivitas Absorben Kimia pada Wet Scrubber untuk Menurunkan Emisi CO dan CO<sub>2</sub>,” *J. Serambi Eng.*, vol. X, no. 1, pp. 11787–11795, 2025.
- [16] M. Islamiah, “Perancangan Filter Purifikasi Biogas (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) Dengan Menggunakan Absorpsi (CaO, NaOH) DAN Water Scrubber,” *Tesis Tf 092325*, pp. 1–88, 2014.
- [17] S. Ardhiyany, “Proses Absorpsi Gas CO<sub>2</sub> dalam Biogas Menggunakan Alat Absorber Tipe Packing Dengan Analisa Pengaruh Laju Alir Absorben NaOH,” *J. Tek. Patra Akad.*, vol. 9, no. 02, pp. 55–64, 2019, doi: 10.52506/jtpa.v9i02.78.
- [18] S. Kropotova and P. Strizhak, “Collisions of liquid droplets in a gaseous medium under conditions of intense phase transformations: Review,” *Energies*, vol. 14, no. 19, 2021, doi: 10.3390/en14196150.
- [19] C. Rabe, J. Malet, and F. Feuillebois, “Experimental investigation of water droplet binary collisions and description of outcomes with a symmetric Weber number,” *Phys. Fluids*, vol. 22, no. 4, pp. 1–11, 2010, doi: 10.1063/1.3392768.

- [20] Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tahun 2016,” in *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tahun 2016*, vol. 151, no. 2, 2016, p. 28.
- [21] K. C. Goel and K. G. T. Hollands, “Optimum design of venturi scrubbers,” *Atmos. Environ.*, vol. 11, no. 9, pp. 837–845, 1977, doi: 10.1016/0004-6981(77)90046-4.
- [22] Philip Kristanto, “Sistem Injeksi Hidrogen untuk Mengurangi Emisi Hidrokarbon,” *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 122–126, 1999.

## **LAMPIRAN**

## Data Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran Menggunakan Insinerator

Tanggal 23 Desember 2024

Pembakaran 1 Insinerator				
No	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
1	0.69	5.7	68	14.32
2	0.49	3.9	115	16.11
3	0.34	3.4	70	16.8
4	0.27	4.1	76	15.94
5	0.23	4.1	67	15.92
6	0.16	3.3	56	16.87
7	0.18	3.6	55	16.43
8	0.28	5.6	58	14.42
9	0.16	4.2	51	15.83
10	0.23	3.4	47	16.85
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.303</b>	<b>4.13</b>	<b>66.3</b>	<b>15.949</b>

Pembakaran 2 Insinerator				
No	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
1	0.23	3.8	41	15.94
2	0.68	12.5	55	7.16
3	0.48	6.6	63	13.41
4	0.70	10.9	56	8.78
5	0.27	5.3	41	14.87
6	0.44	6.3	38	13.66
7	0.25	3.5	46	16.06
8	0.09	2.6	49	17.75
9	0.31	3	51	17.23
10	0.16	2.5	62	17.88
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.361</b>	<b>5.7</b>	<b>50.2</b>	<b>14.274</b>

<b>Pembakaran 3 Insinerator</b>				
<b>No</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>
1	0.44	3.3	74	16.83
2	0.33	3.1	76	17.16
3	0.20	5.5	47	14.49
4	0.26	7.2	60	12.65
5	0.41	9.2	81	10.43
6	0.22	7.7	50	11.88
7	0.73	8.7	97	10.81
8	0.35	6.3	69	13.44
9	0.30	5.6	63	14.29
10	0.16	4.2	52	15.78
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.34</b>	<b>6.08</b>	<b>66.9</b>	<b>13.776</b>

**Data Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran Menggunakan *Cone nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber***

**25 Desember 2024**

Pembakaran 1 Cone Nozzle				
No	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
1	0.04	1.2	13	19.61
2	0.07	1.9	17	18.71
3	0.09	2.1	27	18.35
4	0.04	0.8	34	19.78
5	0.06	1.2	13	19.65
6	0.08	1.8	15	19.03
7	0.08	1.6	15	19.16
8	0.05	0.9	8	19.88
9	0.03	0.4	2	20.42
10	0.01	0.3	1	20.55
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.055</b>	<b>1.22</b>	<b>14.5</b>	<b>19.514</b>

Pembakaran 2 Cone Nozzle				
No	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
1	0.03	1.3	5	19.56
2	0.05	1.4	7	19.35
3	0.07	2.5	5	18.12
4	0.1	2.2	8	18.36
5	0.08	1.9	17	18.82
6	0.07	1.8	18	19.04
7	0.06	1.5	13	19.28
8	0.05	1.3	15	19.44
9	0.04	1.2	13	19.56
10	0.04	1	10	19.72
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.059</b>	<b>1.61</b>	<b>11.1</b>	<b>19.125</b>

Pembakaran 3 Cone Nozzle				
No	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
1	0.03	2.5	13	18.17
2	0.07	3	18	17.4
3	0.09	1.7	17	18.92
4	0.1	1.9	24	18.79
5	0.09	2.1	25	18.62
6	0.12	1.9	31	18.79
7	0.09	1.7	26	19.04
8	0.08	1.5	28	19.23
9	0.07	1.3	23	19.54
10	0.05	1	19	19.77
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.079</b>	<b>1.86</b>	<b>22.4</b>	<b>18.827</b>

**Nilai Rata-Rata Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran 1-3 Tanpa Menggunakan *Cone nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber***

<i>Average Cone Nozzle Off</i>				
<i>Combustion</i>	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
1	0.303	4.13	66.3	15.949
2	0.361	5.7	50.2	14.274
3	0.34	6.08	66.9	13.776
<b><i>Average</i></b>	<b>0.334667</b>	<b>5.30333</b>	<b>61.133333</b>	<b>14.666</b>

**Nilai Rata-Rata Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran 1-3 *Cone nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber***

<i>Average Cone Nozzle On</i>				
<i>Combustion</i>	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)
1	0.055	1.22	14.5	19.514
2	0.059	1.61	11.1	19.125
3	0.079	1.86	22.4	18.827
<b><i>Average</i></b>	<b>0.064333</b>	<b>1.563333</b>	<b>16</b>	<b>19.1553</b>

## Perhitungan Persentase Penurunan Emisi Gas Buang

### A. Nilai CO

Nilai Rata-Rata *Cone Nozzle Off*

$$\frac{(0.303 + 0.361 + 0.34)}{3} = 0.33$$

Nilai Rata-Rata *Cone Nozzle On*

$$\frac{(0.055 + 0.059 + 0.079)}{3} = 0.064$$

**Combustion 1**

$$\frac{(0.055 - 0.303)}{0.303} \times 100 \% = 81.85 \%$$

**Combustion 2**

$$\frac{(0.059 - 0.361)}{0.361} \times 100 \% = 83.65 \%$$

**Combustion 3**

$$\frac{(0.079 - 0.34)}{0.34} \times 100 \% = 76.76 \%$$

**Average**

$$\frac{(0.064 - 0.33)}{0.33} \times 100 \% = 80.60 \%$$

### B. Nilai CO2

Nilai Rata-Rata *Cone Nozzle Off*

$$\frac{(4.13 + 5.7 + 6.08)}{3} = 5.3$$

Nilai Rata-Rata *Cone Nozzle On*

$$\frac{(1.22 + 1.61 + 1.86)}{3} = 1.56$$

**Combustion 1**

$$\frac{(1.22 - 4.13)}{4.13} \times 100 \% = 70.46 \%$$

**Combustion 2**

$$\frac{(1.61 - 5.7)}{5.7} \times 100 \% = 71.75 \%$$

**Combustion 3**

$$\frac{(1.86 - 6.08)}{6.08} \times 100 \% = 69.41 \%$$

**Average**

$$\frac{(1.56 - 5.3)}{5.3} \times 100 \% = 70.56 \%$$

**C. Nilai HC**

**Nilai Rata-Rata Cone Nozzle Off**

$$\frac{(66.3 + 50.2 + 66.9)}{3} = 61.1$$

**Nilai Rata-Rata Cone Nozzle On**

$$\frac{(14.5 + 11.1 + 22.4)}{3} = 16$$

**Combustion 1**

$$\frac{(14.5 - 66.3)}{66.3} \times 100 \% = 78.13 \%$$

**Combustion 2**

$$\frac{(1.11 - 50.2)}{50.1} \times 100 \% = 77.88 \%$$

**Combustion 3**

$$\frac{(22.4 - 66.9)}{66.9} \times 100 \% = 66.51 \%$$

**Average**

$$\frac{(16 - 61.1)}{61.1} \times 100 \% = 73.81 \%$$

**D. Nilai O2**

**Nilai Rata-Rata Cone Nozzle Off**

$$\frac{(15.949 + 14.274 + 13.776)}{3} = 14.666$$

**Nilai Rata-Rata Cone Nozzle On**

$$\frac{(12.514 + 19.125 + 18.827)}{3} = 19.155$$

**Combustion 1**

$$\frac{(19.514 - 15.949)}{15.949} \times 100 \% = -18.26 \%$$

**Combustion 2**

$$\frac{(19.125 - 14.274)}{14.274} \times 100 \% = -25.36 \%$$

**Combustion 3**

$$\frac{(18.827 - 13.776)}{13.778} \times 100 \% = -26.82 \%$$

**Average**

$$\frac{(19.155 - 14.666)}{14.666} \times 100 \% = -23.43 \%$$

## PERHITUNGAN KONVERSI EMISI GAS CO DARI % KE mg/Nm<sup>3</sup> SESUAI STANDAR MENTERI LHK

Perhitunagn konversi % → mg/Nm<sup>3</sup>. Sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal.

### ➤ Perhitungan *Cone Nozzle Off*

Diketahui :

- Nilai CO *cone nozzle off* = 0.33 % → 3300 ppm
- Massa Molekul CO = 28.01 g/mol
- Volume Molar = 24.45 L/mol (pada suhu 25°C dan 1 atm)

Maka,

$$\begin{aligned}\text{mg/Nm}^3 &= \text{ppm} \times \frac{\text{Massa Molekul CO}}{\text{Volume Molar}} \\ &= 3300 \times \frac{28.01}{24.45} \\ &= 3780 \text{ mg/Nm}^3\end{aligned}$$

### ➤ Perhitungan *Cone Nozzle On*

Diketahui :

- Nilai CO *cone nozzle On* = 0.064 % → 640 ppm
- Massa Molekul CO = 28.01 g/mol
- Volume Molar = 24.45 L/mol (pada suhu 25°C dan 1 atm)

Maka,

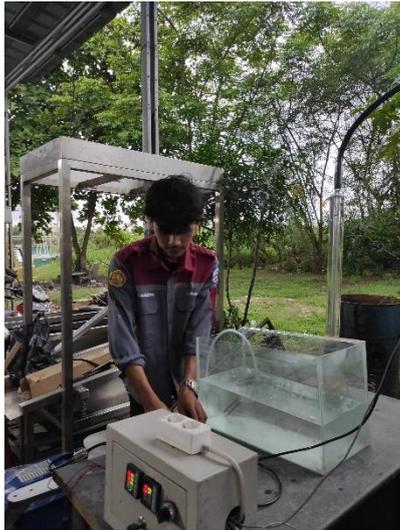
$$\begin{aligned}\text{mg/Nm}^3 &= \text{ppm} \times \frac{\text{Massa Molekul CO}}{\text{Volume Molar}} \\ &= 640 \times \frac{28.01}{24.45} \\ &= 733 \text{ mg/Nm}^3\end{aligned}$$

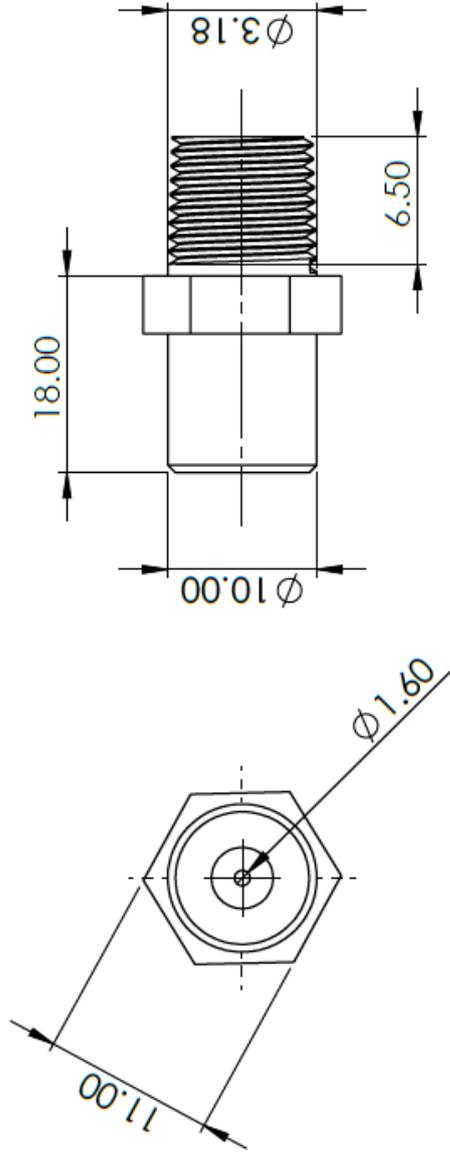
Maka, didapatkan perbandingan nilai emisi gas CO yang sudah didapatkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal. Masih belum memenuhi standar, adapun tabel perbandingan dapat dilihat sesuai tabel berikut ini:

<b>Nilai Hasil Emisi Gas CO</b>			
<b>Variabel</b>	<b>Nilai Konversi (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Standar Menteri LHK (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Klasifikasi</b>
<i>Cone Nozzle Off</i>	3780	625	<b>Tidak Memenuhi Standar</b>
<i>Cone Nozzle On</i>	733	625	<b>Tidak Memenuhi Standar</b>

## DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA







	SKALA : 2:1	DIGAMBAR : VENIDA ALAN DEVARA	KETERANGAN:
	UKURAN : MM	NPM : 3331210030	
	TANGGAL : 14-05-25	DIPERIKSA :	
FT UNTIRTA	CONE NOZZLE		LAMPIRAN
			A4