

***VENTURY WET SCRUBBER MENGGUNAKAN CAIRAN
AMONIA UNTUK MEREDUKSI EMISI GAS BUANG PADA
INSINERATOR***

Skripsi

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana S1 Pada
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun oleh:

Agil Maulana

NPM. 3331210022

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

2025

TUGAS AKHIR

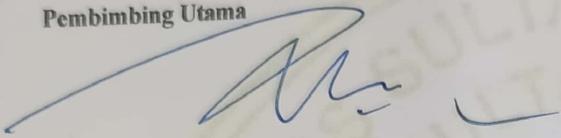
VENTURY WET SCRUBBER MENGGUNAKAN CAIRAN AMONIA UNTUK MEREDUKSI EMISI GAS BUANG PADA INSINERATOR

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

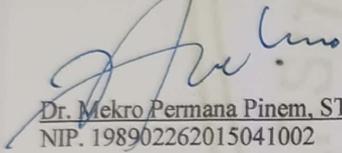
Agil Maulana
3331210022

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 24 April 2025

Pembimbing Utama

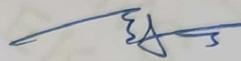


Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.
NIP. 197505152014041001

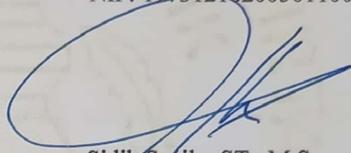


Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002

Anggota Dewan Penguji



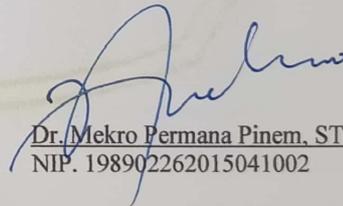
Slamet Wiyono, ST., MT.
NIP. 197312182005011001



Sidik Susilo, ST., M.Sc.
NIP. 198806052019031006



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, 06 Mei 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agil Maulana
NPM : 3331210022
Judul : *Ventury Wet Scrubber* Menggunakan Cairan Amonia Untuk
Mereduksi Emisi Gas Buang Pada Insinerator

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Serang, 28 April 2025



Agil Maulana

3331210022

Dipersembahkan kepada

Alm. Bapak.

Ibu, Kakak dan Keluarga Besar Saya,

“semoga pencapaian ini, bisa membuat bangga dan tersenyum disana”

ABSTRAK

VENTURY WET SCRUBBER MENGGUNAKAN CAIRAN AMONIA UNTUK MEREDUKSI EMISI GAS BUANG PADA INSINERATOR

Disusun oleh:

Agil Maulana

NIM. 3331210022

Insinerator merupakan sebuah alat pembakar sampah yang mengubah sampah menjadi gas dan abu. Insinerator, meskipun efektif dalam mengurangi volume sampah, menghasilkan emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO_2), yang berkontribusi dalam pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh larutan amonia pada *ventury wet scrubber* dalam mereduksi emisi gas buang dari insinerator. Amonia dipilih karena sifatnya yang tidak menghasilkan gas karbon dan mampu mengikat gas polutan berbahaya. Pada penelitian ini penulis menggunakan tiga variabel yaitu pembakaran tanpa *scrubber* (AA0), pembakaran menggunakan scrubber dengan larutan amonia konsentrasi 1% (AA1) dan dengan larutan amonia konsentrasi 3% (AA3). Dengan bahan yang dibakar merupakan sampah seberat 5kg, dan menggunakan alat ukur gas *analyzer*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa emisi gas buang CO secara berurutan adalah 0,369% untuk AA0, 0,118% untuk AA1, dan 0,032%. Emisi gas buang selanjutnya menunjukkan bahwa emisi gas HC adalah 63,83ppm untuk AA0, 24,17 ppm untuk AA1, dan 14 ppm untuk AA3. Selanjutnya yaitu nilai emisi gas CO_2 menunjukkan 6,05% untuk AA0, 2,56% untuk AA1, dan 2,23 untuk AA3. Nilai emisi gas yang terakhir yaitu oksigen O_2 , didapatkan dan menunjukkan 14,97% untuk AA0, 18% untuk AA1, dan 17,99% untuk AA3. Maka penggunaan cairan amonia dapat mempengaruhi nilai emisi gas buang pada insinerator pada penggunaan di *ventury wet scrubber*.

Kata kunci: *Amonia, Emisi Gas, Insinerator, Sampah, Ventury wet Scrubber*

ABSTRACT

VENTURY WET SCRUBBER USING AMMONIA LIQUID TO REDUCE FLUE GAS EMISSION AT INCINERATORS

Written by:

Agil Maulana

NIM. 3331210022

An incinerator is a waste burning device that converts waste into gas and ash. Incinerators, although effective in reducing waste volume, produce harmful gas emissions such as carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), and carbon dioxide (CO_2), which contribute to global warming. This study aims to analyze the effect of ammonia solution in the ventury wet scrubber in reducing flue gas emissions from the incinerator. Ammonia was chosen because it does not produce carbon gas and is able to bind harmful pollutant gases. In this study the authors used three variables, namely combustion without scrubbers (AA0), combustion using scrubbers with 1% concentration ammonia solution (AA1) and with 3% concentration ammonia solution (AA3). With the material burned is 5kg of waste, and using a gas analyzer measuring instrument. The results showed that CO exhaust emissions were 0.369% for AA0, 0.118% for AA1, and 0.032%, respectively. The subsequent exhaust gas emissions showed that HC gas emissions were 63.83ppm for AA0, 24.17 ppm for AA1, and 14 ppm for AA3. The next gas emission value of CO_2 showed 6.05% for AA0, 2.56% for AA1, and 2.23 for AA3. The last gas emission value, oxygen O_2 , was obtained and showed 14.97% for AA0, 18% for AA1, and 17.99% for AA3. So the use of ammonia liquid can affect the value of exhaust emissions in the incinerator when used in the ventury wet scrubber.

Keyword: *Ammonia, Gas Emissions, Incinerator, Waste, Ventury Wet Scrubber*

KATA PENGHANTAR

Puji syukur penulis kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis berhasil menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Laporan tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan sarjana S1 di jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Adapun pokok bahasan pada tugas akhir ini adalah : “VENTURY WET SCRUBBER MENGGUNAKAN CAIRAN AMONIA UNTUK MEREDUKSI EMISI GAS BUANG PADA INSINERATOR”. Maka dari itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu

1. Orang tua dan keluarga besar penulis, yang selalu memberikan semangat, motivasi dan bantuan baik secara moril maupun materil.
2. Bapak Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Kurnia Nugraha, S.T., M.T dan Ibu Dr. Dra. Hj, Rina Lusiana, M.T Selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dalam pelaksanaan perkuliahan ini.
4. Bapak Dr.Eng. Ir. Agung Sudrajad,S.T., M.Eng Selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pikiran dalam membimbing saya selama proses penelitian ini.
5. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T Selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir ini, yang telah memberikan segala pikiran, arahan, motivasi serta meluangkan waktu dalam proses penelitian.
6. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T Selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin .
7. Bapak/Ibu Dosen dan staf pengajar jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang sudah memberkan ilmu selama proses perkuliahan.

8. Teman – Teman satu tim Insinerator VOL.3 dalam proses penelitian tugas akhir penulis sehingga bisa menyelesaikan penelitian ini.
9. Angkatan Rocket yang telah memberikan dukungan dan menemani selama proses perkuliahan hingga menyelesaikan penelitian ini.
10. Serta semua pihak yang banyak membantu penulis dalam penyusunan laporan ini namun tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam skripsi ini, penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang sifatnya membangun guna penyempurnaan laporan ini dimasa mendatang. Harapan penulis skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis umumnya bagi pembaca.

Cilegon, April 2025

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| MOTO DAN PERSEMBAHAN | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Batasan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. <i>State Of Art</i> | 4 |
| 2.2. Insinerator..... | 7 |
| 2.3. Karakteristik Sampah | 8 |
| 2.4. Wet Scrubber..... | 9 |
| 2.5. Ventury Wet Scrubber..... | 11 |
| 2.6. Amonia | 13 |
| 2.7. Reaks Amonia Terhadap Emisi Gas Buang | 15 |
| 2.8. Teknologi Spray Amonia Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang | 16 |
| 2.9. Larutan | 18 |
| 2.10. Emisi Gas Buang | 19 |
| 2.11. Standar Emisi Gas Buang | 21 |

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Diagram Alir Penelitian | 26 |
| 3.2 | Alat dan Bahan yang digunakan | 28 |
| 3.3 | Variabel Penelitian | 35 |
| 3.4 | Metode Penelitian..... | 35 |
| 3.5 | <i>Sampling Point</i> | 38 |
| 3.6 | Spesifikasi Alat Pengujian | 39 |
| 3.7 | Prosedur Penelitian | 41 |
| | 3.5.1 Prosedur Persiapan Penelitian | 41 |
| | 3.5.2 Prosedur Pencampuran Larutan Amonia..... | 42 |
| | 3.5.3 Prosedur Pengambilan Data | 42 |
| 3.8 | Penggunaan Konsentrasi Larutan Cairan Amonia | 43 |
| 3.9 | Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian | 43 |

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Analisa Emis Gas Karbon Monoksida (CO) | 44 |
| 4.2 | Analisa Emisi Gas Hidrokarbon (HC) | 45 |
| 4.3 | Analisa Emisi Gas Karbon Dioksida (CO_2) | 47 |
| 4.4 | Analisa Kandungan Gas Oksigen (O_2)..... | 49 |
| 4.5 | Analisa Batas Ambang Nilai Emisi Berdasarkan Standar | 50 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|-----|-----------------|----|
| 5.1 | Kesimpulan..... | 52 |
| 5.2 | Saran..... | 52 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| Gambar 2.1 Insinerator | 7 |
| Gambar 2.2 Sampah Rumah Tangga..... | 8 |
| Gambar 2.3 Contoh Mekanisme <i>Ventury Wet Scrubber</i> | 10 |
| Gambar 2.4 <i>Ventury Wet Scrubber</i> | 12 |
| Gambar 2.5 Amonia | 13 |
| Gambar 2.6 <i>Selective Catalytic Reduction (SCR)</i> | 17 |
| Gambar 2.7 <i>Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)</i> | 18 |
| Gambar 2.8 Emisi Gas Buang Industri | 19 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian | 26 |
| Gambar 3.2 Insinerator | 28 |
| Gambar 3.3 Pompa | 29 |
| Gambar 3.4 <i>VenturyWet Scrubber</i> | 29 |
| Gambar 3.5 <i>Gas Analyzer</i> | 30 |
| Gambar 3.6 <i>Blower</i> | 30 |
| Gambar 3.7 <i>Burner</i> | 31 |
| Gambar 3.8 <i>Flask</i> | 31 |
| Gambar 3.9 Tangki Solar | 32 |
| Gambar 3.10 Panel <i>Display</i> Temperatur | 32 |
| Gambar 3.11 <i>Thermocouple</i> | 33 |
| Gambar 3.12 Sampah | 33 |
| Gambar 3.13 Air | 34 |
| Gambar 3.14 Solar | 34 |
| Gambar 3.15 Amonium Hidroksida | 35 |
| Gambar 3.16 Skema Penelitian | 36 |
| Gambar 3.17 Skema <i>Ventury Wet Scrubber</i> | 37 |
| Gambar 3.18 <i>Sampling Point</i> | 38 |
| Gambar 3.18 Diagram metode NDIR..... | 40 |
| Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas CO..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas HC..... | 46 |
| Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas CO_2 | 47 |
| Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas O_2 | 49 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 2.1 Baku Mutu Emisi Usaha Pengelolaan Sampah Secara Termal..... | 22 |
| Tabel 2.2 Baku Mutu Emisi Pengolahan Limbah B3 Dengan Cara Termal Melalui Insinerasi | 23 |
| Tabel 2.3 Standar Baku Mutu Udara Ambien | 24 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi Gas Analyzer HG-520 | 39 |
| Tabel 3.2 Takaran Campuran Larutan Amonia | 43 |
| Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Hasil Penelitian Gas CO dengan Standar Baku Emisi P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 | 51 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan salah satu buangan atau sisa penggunaan suatu hasil proses produksi. Sampah juga merupakan salah satu permasalahan umum yang ada pada dunia ini, dikarenakan kurangnya kesadaran akan kebersihan lingkungan. Menurut *World Health Organization* (WHO), diperkirakan pada tahun 2025 volume sampah global akan meningkat sebesar 70% dari 1,3 miliar ton per tahun menjadi 2,2 miliar ton per tahun. Peningkatan jumlah sampah ini terutama terjadi di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Menurut sistem informasi pengelolaan sampah nasional (SIPSN) tahun 2024 data sampah yang timbul sebanyak 25.895.787,52 ton/tahun. Data sampah yang tidak terkelola sebanyak 9.848.603,53 ton/tahun yang mana berdasarkan data tersebut maka sebanyak 38,03% sampah yang tidak terkelola setiap tahunnya. Sampah di Indonesia juga berdasarkan data sumber sampah sebanyak 54,51% sampah berasal dari rumah tangga dan sisanya berasal dari perkantoran, perniagaan, dan sebagainya.

Salah satu metode yang umum digunakan dalam mengurangi volume sampah ialah dengan cara dibakar dan salah satu alat pembakar sampah ini adalah insinerator. Insinerator merupakan alat yang memanfaatkan sistem insinerasi, sebuah metode yang digunakan untuk menghancurkan sampah padat melalui proses pembakaran. Sampah padat yang digunakan sebagai bahan bakar dalam proses ini dibakar pada suhu tinggi, berkisar antara 600°C hingga 1000°C, sehingga sampah tersebut terurai menjadi abu [1]. Pencemaran lingkungan akibat emisi gas buang dan partikel abu dari proses pembakaran sampah dapat dikurangi dengan melengkapi insinerator dengan peralatan pengumpul abu (*dust collector*) serta alat untuk menurunkan kadar nitrogen oksida dan sulfur oksida. Namun, penggunaan insinerator memiliki kelemahan karena menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah besar, serta potensi pelepasan gas beracun yang dapat berkontribusi pada pemanasan

global. Oleh karena itu, diperlukan peralatan pengolah gas buang basah (*wet gas*) untuk menangani emisi setelah proses pembakaran [2]. Emisi gas yang tinggi dapat mencemarkan lingkungan serta menjadikan kualitas oksigen di lingkungan kita semakin berkurang dan dapat menghasilkan gas rumah kaca. Untuk mengurangi dampak negatif tersebut, diperlukan teknologi pengendalian emisi yang efektif. Salah satu alat yang menjanjikan adalah *Ventury wet scrubber*. *Ventury wet scrubber* adalah alat pengendalian pencemaran udara yang bekerja dengan prinsip mengkontakkan udara yang mengandung partikulat halus dengan tetesan cairan [3]. Dalam upaya mereduksi gas buang yang dihasilkan dari insinerator, salah satu metode yang dikembangkan yaitu penggunaan *ventury wet scrubber*. Dalam upaya meningkatkan efisiensi penyerapan gas buang, penelitian ini mengembangkan penggunaan cairan amonia dalam *ventury wet scrubber*. Amonia dipilih karena sifatnya yang tidak mengandung karbon sehingga tidak menghasilkan emisi karbon selama proses pembakaran. Selain itu, amonia memiliki kemampuan untuk mengikat gas polutan berbahaya seperti nitrogen oksida. Maka dari itu peneliti meneliti tentang “*Ventury Wet Scrubber* menggunakan cairan amonia untuk mereduksi emisi gas pada insinerator”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan cairan amonia pada *ventury wet scrubber* untuk mereduksi emisi gas buang pada insinerator.

1.3 Tujuan Penelitian

Maka tujuan diadakan nya penelitian ini adalah menganalisa penurunan emisi gas buang dari insinerator dalam proses pembakaran sampah meliputi nilai emisi gas CO, CO₂, O₂, dan HC dengan menggunakan amonia.

1.4 Batasan Masalah

Dalam hal ini peneliti membatasi dalam proses penelitian ini, berikut merupakan batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Alat pembakar sampah atau insinerator yang digunakan berasal dari laboratorium jurusan teknik mesin.
2. Sampah yang digunakan adalah sampah kering campur seberat 5 kg.
3. Amonia yang digunakan berjenis ammonium hidroksida dengan konsentrasi 25%.
4. Alat ukur uji emisi menggunakan Gas Analyzer HG-520.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah
Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam merumuskan kebijakan lingkungan, khususnya dalam pengelolaan dan pengurangan emis gas buang dari insinerator, serta sebagai upaya dalam meningkatkan kualitas udara.
2. Bagi industri
Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi industri yang menggunakan insinerator dalam proses pembakarannya, terutama dalam memilih bahan yang efektif untuk mereduksi gas buang, sehingga memenuhi standar lingkungan yang sudah ditetapkan.
3. Bagi masyarakat
Dengan adanya penelitian ini, harapannya masyarakat dapat memperoleh manfaat berupa peningkatan kualitas udara dilingkungan sekitar, serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan emisi gas buang yang lebih ramah bagi lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. State Of Art

Pada penelitian ini, yang dibahas yaitu Analisa Emisi Gas Buang Menggunakan Cairan Amonia Pada Insinerator. Adapun penelitian serupa yang dilakukan dengan tema pembahasan mengenai analisa emisi gas buang ini, tetapi dengan pengaplikasian yang berbeda. Berikut ini adalah penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

1. *“EFFECT OF AMMONIA TO REDUCE EMISSION FROM BIODIESEL FUELLED DIESEL ENGINE”*

Berdasarkan penelitian ini dengan memanfaatkan amonia dengan mencampurkan bahan bakar biodiesel mustard untuk mengurangi emisi dari mesin diesel. Didapatkan hasil berupa mencampurkan biodiesel mustard dengan amonia sebanyak 20% menghasilkan kadar emisi CO berkurang hingga 3,5%. Emisi HC menunjukkan pengurangan emisi hingga 3,9%. Emisi oksida nitrogen (NOx) terjadi pengurangan hingga 3,15%. Dan akibat pencampuran ini juga mengurangi emisi asap hingga 4,3% [4].

2. *“DEMONSTRATION OF COMPRESSION-IGNITION ENGINE COMBUSTION USING AMMONIA IN REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS”*

Berdasarkan penelitian ini memanfaatkan Penggunaan amonia sebagai bahan bakar alternatif dalam mesin diesel dengan tujuan mengurangi gas rumah kaca. Penelitian ini menguji kelayakan pembakaran amonia di mesin diesel. Didapatkan Pada penelitian ini amonia digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel dengan hasil amonia terbukti dapat menghasilkan torsi mesin yang diinginkan tanpa harus modifikasi besar pada spesifikasi geometris mesin. Nilai emisi gas NOx pada mesin diesel menurun, nilai emisi HC

cenderung meningkat, dan nilai emisi CO_2 mengalami pengurangan yang hampir sebanding dengan rasio energi dari amonia [5].

3. *“CHIMNEY FILTER MODEL WET SCRUBBER TO REDUCE AIR POLLUTANT EMISSIONSON THE INCINERATOR”*

Berdasarkan penelitian ini berfokus pada pengembangan wet scrubber pada insinerator dengan membandingkan nilai berdasarkan debit air yang digunakan. Didapatkan 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_2 dan CO hingga di bawah standar kualitas udara yang diizinkan. Namun, untuk gas NO_x dan partikulat, meskipun terjadi penurunan, kadar tersebut masih berada di atas batas yang diperbolehkan [6].

4. *“COMPARISON OF AMMONIA AND MONOETHANOLAMINE SOLVENTS TO REDUCE CO_2 EMISSIONS”*

Berdasarkan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan reaktor aliran semikontinyu, di mana CO_2 dihilangkan dari emisi gas menggunakan amonia dan pelarut MEA. Pengaturan tersebut meliputi kontrol berbagai parameter seperti konsentrasi CO_2 , laju aliran gas, konsentrasi pelarut, dan suhu operasi. Didapatkan hasil dari penelitian ini Amonia (NH_3) ditemukan lebih efisien daripada Monoethanolamine (MEA) dalam menghilangkan CO_2 dari emisi gas. Efisiensi penghilangan CO_2 maksimum dari amonia mencapai 99%, dibandingkan dengan 94% untuk MEA dalam kondisi yang sama. Kapasitas penyerapan amonia juga lebih tinggi secara signifikan, dengan amonia mencapai 1,20 kg CO_2 /kg NH_3 , sedangkan MEA memiliki kapasitas maksimum 0,40 kg CO_2 /kg MEA [7].

5. *“SELECTIVE NON-CATALYTIC REDUCTION (SNCR) OF NITROGEN OXIDE EMISSIONS: A PERSPECTIVE FROM NUMERICAL MODELING”*

Berdasarkan penelitian ini yang berfokus pada *selective non-catalytic reduction (SNCR)* dalam mereduksi gas nitrogen oksida (NO_x) pada sektor industri dengan menggunakan pemodelan numerik untuk mengoptimalkan desain dan operasi sistem SNCR. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini bahwa SNCR adalah teknologi yang ekonomis untuk mengurangi emisi NO_x tanpa memerlukan katalis. Efisiensi penggunaan SNCR pada pembangkit listrik berbahan bakar batu bara kecil, efisiensi reduksi NO_x mencapai 45%, tetapi menurun hingga 30-35% pada unit besar dengan kapasitas 500MW. Dan pada insinerator limbah, efisiensi reduksi berkisar antara 46-80% tergantung pada konfigurasi sistem dan pengatur rasio molar amonia [8].

6. *“A REVIEW OF LOW TEMPERATURE NH₃-SCR FOR REMOVAL OF NO_x”*

Berdasarkan penelitian ini dengan berfokus pada NH₃-SCR pada suhu rendah untuk menghilangkan NO_x pada suhu rendah (100-300°C), sesuai dengan kondisi gas buang industri dengan menggunakan gas amonia sebagai agen reduktor dalam proses SCR dan penggunaan logam material pada katalis. Hasil yang didapatkan dalam eksperimen ini, katalis berbasis Mn, Fe, Co, Cu dan kombinasi logam lainnta menunjukkan efisiensi tinggi dalam konversi NO_x (>90%) pada suhu rendah [9].

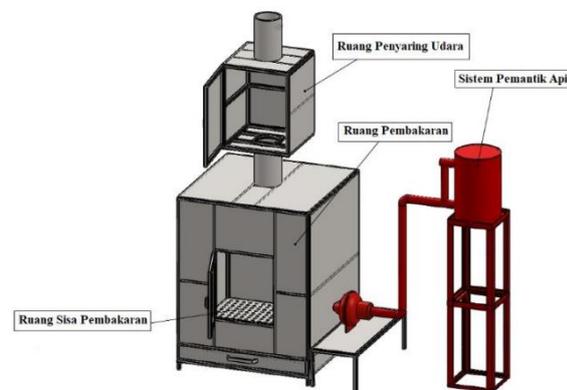
7. *“REMOVAL OF CO₂ GREENHOUSE GAS BY AMMONIA SCRUBBING”*

Berdasarkan Penelitian ini dengan Objek penelitian pada penelitian ini adalah gas rumah kaca CO₂, dan amonia scrubbing sebagai alat dan bahan untuk menghilangkan CO₂ dari gas buang. Didapatkan Dalam eksperimen ini, digunakan larutan amonia dengan konsentrasi 28% (w/w). Kapasitas penyerapan amonia untuk menghilangkan CO₂ adalah sekitar 0,9 kg CO₂ per 1 kg amonia. Ini lebih tinggi dibandingkan dengan proses menggunakan larutan monoetanolamin

(MEA). Hasil dari penelitian ini adalah pengurangan emisi CO₂ dengan efisiensi diatas 95% [10].

2.2. Insinerator

Insinerator merupakan alat pembakaran yang berfungsi untuk mengolah limbah padat menjadi gas dan abu. Proses pengolahan limbah menggunakan insinerator dapat mengurangi baik volume maupun massa, serta menurunkan sifat berbahaya dari limbah infeksius [11]. Dalam proses insinerasi, temperatur dan waktu pembakaran adalah faktor penting yang harus diperhatikan . Dengan menggunakan alat ini, material limbah padat diubah menjadi abu dan gas didalam ruang bakar insinerator, suhu dapat mencapai 1000 °C agar proses pembakaran limbah berlangsung dengan efektif [2]. Insinerator berfungsi sebagai alat untuk menghancurkan atau memusnahkan limbah melalui pembakaran dalam sistem terkontrol dan terisolir dari lingkungan sekitar [12].



Gambar 2.1 Insinerator

(Sumber: Laboratorium Teknik Mesin Untirta)

Insenerator sampah terbagi menjadi dua jenis berdasarkan metode pembakarannya, yaitu tipe kontinu dan tipe *batch*. Pada incineratpr tipe kontinu, sampah dimasukkan secara terus – menerus dan bergerak berkelanjutan melalui proses pembakaran dan pembuangan residu. Sementara itu, pada tipe *batch* sampah dimasukkan hingga kapasitas

maksimum alat tercapai, kemudian dibakar secara penuh hingga proses pembakaran selesai dalam satu siklus tertentu [13].

Insinerator yang digunakan dalam penelitian ini merupakan insinerator yang ada pada universitas sultan ageng tirtayasa dengan kapasitas sampah sebanyak 25kg. Berdasarkan penelitian sebelumnya insinerator yang digunakan tipe *fluidized bed* berkapasitas 25kg untuk mengolah limbah padat ini berfungsi untuk menghasilkan energi dan mengurangi polusi udara di lingkungan kampus universitas sultan ageng tirtayasa [14]. Insinerator yang dilengkapi dengan *electrostatic precipitator* (ESP) memberikan dampak pengurangan ukuran partikel yang terlepas [14].

2.3. Karakteristik Sampah

Limbah padat atau sampah, merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Sampah didefinisikan oleh manusia menurut derajat keterpakaiannya, dalam proses – proses alam sebenarnya tidak ada konsep sampah, yang ada hanya produk – produk yang dihasilkan setelah dan selama proses alam tersebut berlangsung [15]. Pelaku penghasil sampah merupakan bersal dari sisa perdagangan, rumah tangga, industri, pertanian, pertambangan, dan energi [13].



Gambar 2.2 Sampah Rumah Tangga

(Sumber: E-dazibao.com)

Karakteristik sampah yaitu sifat khas atau unik yang dimiliki suatu benda atau barang – barang yang tidak lagi digunakan dan tidak lagi

memiliki tujuan apapun [16]. Karakteristik sampah terdiri dari berbagai macam sifat/ciri khas yang dimiliki sampah yaitu sebagai berikut:

1. Karakteristik Fisika

Sampah berdasarkan karakteristik fisika yaitu mencakup sampah memiliki kelembaban yang berbeda-beda, sampah memiliki berat jenis, *field capacity* (Kapasitas lapangan), permeabilitas sampah yang dipadatkan, serta skala dan peredaran partikel.

2. Karakteristik Kimia

Adapun sampah berdasarkan karakteristik secara kimia yaitu mencakup analisis utama (*ultimate analysis*) yaitu penentuan unsur kandungan Hidrogen, Karbon, Nitrogen, Oksigen, dan Belerang pada sampah. Yang selanjutnya yaitu analisis prosikmat (*proximate analysis*) terhadap materi *municipal solid waste*, kandungan energi pada komponen sampah dan titik lebur abu.

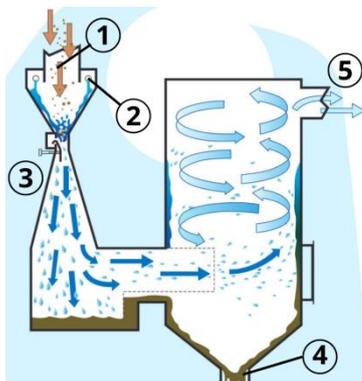
3. Karakteristik Biologi

Adapun karakteristik sampah secara biologi ditentukan berdasarkan kelarutan didalam air, lignin, protein, hemiselulosa, lilin, lemak, minyak, selulosa, dan lignoselulosa.

2.4. Wet Scrubber

Wet scrubber adalah alat yang digunakan untuk membersihkan gas buang dari polutan dengan cara mempertemukan gas tersebut dengan cairan pembersih, biasanya air. Alat ini bekerja seperti kolom pipa yang memiliki saluran masuk gas di bagian bawah dan saluran keluar gas di bagian atas. Di bagian atas kolom, cairan pembersih disemprotkan dan mengalir ke bawah, sedangkan gas naik ke atas, sehingga terjadi kontak antara keduanya. Di dalam kolom terdapat material pengisi yang membantu memperluas permukaan kontak antara gas dan cairan. Dalam sistem Venturi wet scrubber, gas buang masuk ke bagian Throat (penyempitan), lalu disemprot dengan air bertekanan tinggi. Semprotan ini membantu menangkap partikel polutan dalam gas, sehingga gas yang keluar menjadi lebih bersih [17].

Wet Scrubber merupakan proses menghilangkan polutan dari gas buang yang dihasilkan oleh proses industri. *Wet Scrubber* biasanya digunakan untuk berbagai kegiatan dengan tujuan mengurangi kadar sisa emisi gas buang yang dihasilkan. Aliran udara yang tercemar memasuki *wet scrubber* dan bertemu dengan cairan yang disemprotkan melalui nozzle, menghasilkan kontak antara partikel cair dan gas dalam bentuk gelembung, tetesan, dan kabut cairan. Karena *Wet Scrubber* 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 [18].



Keterangan: 1. Gas Inlet 2. Water In 3.Throat 4. Drain 5. Gas Outlet

Gambar 2.3 Contoh Mekanisme *Ventury Wet Scrubber*

(Sumber:Madiceo.com)

Adapun mekanisme *wet scrubber* pada partikulat yang tertangkap oleh droplet pada *wet scrubber* dapat melalui mekanisme sebagai berikut [19].

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 μm 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 μm . Mekanisme ini juga ditingkatkan dengan meningkatkan densitas droplet semprotan.

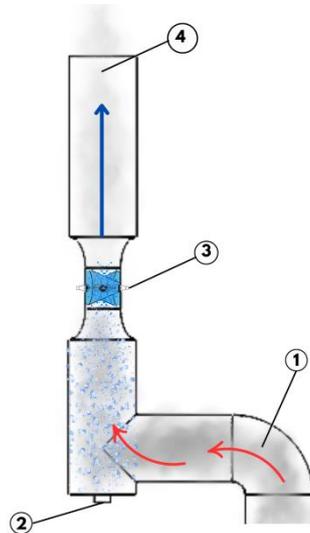
3. Mekanisme gerak *Brown*, gerak tidak teratur yang dihasilkan oleh benturan acak molekul gas, digunakan oleh partikel berukuran sangat kecil. Saat *droplet* menyebar, partikel-partikel ini ditangkap. kumpulkan karena difusi adalah proses yang paling penting untuk partikel dengan diameter kurang dari 0,5 μm .
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.

2.5. *Ventury Wet 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 [19].

Ventury scrubber juga memiliki saluran yang dikenal sebagai "*konvergen-divergen*". Jenis sistem ini memiliki luas penampang saluran yang menurun sebelum meningkat sepanjang saluran. 11 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. Kecepatan gas yang tinggi dan

turbulensi di *throat* menghasilkan efisiensi pengumpulan yang tinggi, berkisar antara 70% sampai 99% untuk partikel dengan diameter yang lebih besar dari 1 μm dan lebih besar dari 50% untuk partikel submikron [19].



Keterangan: 1.Gas Pembakaran Masuk 2.Saluran Drainase 3.Nozzle dan Absorpsi 4.Gas Keluar

Gambar 2.4 *Ventury Wet Scrubber*

Adapun salah satu langkah yang dilakukan oleh industri untuk mengatasi pencemaran udara adalah dengan menerapkan sistem *Flue Gas Desulphurization* (FGD) jenis *wet scrubber*. FGD memiliki beberapa metode, termasuk metode *wet cleaning*, yang melibatkan proses pembersihan gas menggunakan media cairan. Sebaliknya, metode *dry cleaning* tidak memanfaatkan cairan, tetapi menggunakan teknologi seperti *cyclone* dan filter untuk membersihkan gas. *Wet scrubber* merupakan salah satu metode dalam FGD yang dirancang untuk mengendalikan pencemaran udara dengan cara mengkontakkan gas yang mengandung partikulat halus dengan tetesan cairan. Tetesan cairan ini kemudia berinteraksi dengan partikel dan gas polutan dalam aliran gas, menyerap atau menangkapnya. Proses in sangat efektif dalam menghilangkan partikel halus dan gas – gas berbahaya, seperti sulfur dioksida dan nitrogen oksida.

Setelah terjadi kontak antara gas dan cairan, gas yang telah dibersihkan akan dipisahkan dari cairan di bagian separator atau *cyclone*,

sementara cairan yang terkontaminasi dikumpulkan untuk pengolahan lebih lanjut.

Venturi wet scrubber banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti pembangkit listrik, industri kimia, dan pabrik semen, untuk mengurangi dampak pencemaran udara. Keunggulannya termasuk efisiensi tinggi dalam menangkap partikel kecil dan fleksibilitas dalam menangani berbagai polutan, namun proses ini memerlukan energi yang lebih tinggi dan pengelolaan limbah cair yang cukup kompleks.

2.6. Amonia

Amonia adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu atom nitrogen dan tiga atom hidrogen. Amonia terdapat dua jenis yaitu ada yang berbentuk cair dan juga ada yang berbentuk gas. Amonia cair merupakan cairan yang tidak berwarna, berbau sangat tajam dan mudah larut didalam air. Amonia dapat ditemukan didalam air, tanah dan udara. Amonia terbentuk dari hasil oksidasi amonium oleh bakteri Nitrosomonas dan Nitrosococcus secara aerob menghasilkan nitrat [20].



Gambar 2.5 Amonia

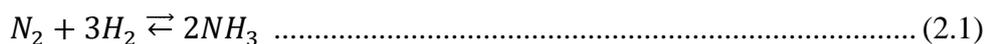
(Sumber: exportersindia.com)

Amonia dapat menjadi racun bagi manusia jika jumlah yang masuk ke dalam tubuh melebihi kapasitas detoksifikasi tubuh. Beberapa sumber amonia yang dapat memasuki tubuh termasuk melalui sistem pernapasan dan pencernaan. Bahaya bagi manusia terutama berasal dari penghirupan uap amonia, yang dapat menyebabkan iritasi pada mata, kulit, dan saluran pernapasan. Amonia di air adalah hasil dari penguraian nitrogen organik yang berasal dari protein dan urea dan nitrogen anorganik yang berasal dari

dekomposisi bahan organik yang telah mati seperti tumbuhan dan biota laut yang dilakukan oleh mikroba dan jamur melalui proses amonifikasi [20].

Menurut ATSDR (*Agency For Toxic Substances and Disease Registry*) badan kesehatan masyarakat federal utama yang menangani masalah limbah berbahaya. Larutan amonia (mengandung lebih dari 35% tetapi tidak lebih dari 50% amonia) muncul sebagai cairan bening tak berwarna yang terdiri dari amonia yang terlarut dalam air. Korosif terhadap jaringan dan logam. Meskipun amonia lebih ringan daripada udara, uap dari kebocoran awalnya akan menempel di tanah. Paparan jangka panjang terhadap konsentrasi rendah atau paparan jangka pendek terhadap konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan kondisi kesehatan yang buruk akibat terhirup.

Bahan baku pembuatan amonia yaitu N_2 dan H_2 dengan perbandingan mol 1: 3, maka reaksi kimia yang terjadi pada amonia yaitu:



Amonia yang larut dalam air disebut amonia rumah atau amonium hidroksida. Dalam larutan, amonia dapat terdisosiasi menjadi ion ammonium (NH_4^+) dan ion hidroksida (OH^-). Proses ini berkontribusi pada sifat basa dari larutan amonia. Konsentrasi larutan itu dinyatakan dalam satuan Baume. Larutan amonia komersial dengan konsentrasi tinggi umumnya memiliki kadar 26 derajat Baume, yang setara dengan sekitar 30% berat amonia pada suhu 15,5 °C [21]. Adapun manfaat dari amonia antara lain:

- a. Pembuatan polimer dan bahan letupan.
- b. Pembuatan es, membuat HNO_3 , garam-garam amonium, dan sabun ammonia.
- c. Digunakan untuk pembersih, pemutih dan mengurangi bau busuk.
- d. Digunakan sebagai bahan penyejuk udara.
- e. Digunakan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan urea.

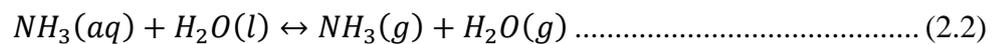
Adapun sifat - sifat yang dimiliki amonium hidroksida diantaranya yaitu, sebagai berikut:

- a. Berupa larutan cair tidak berwarna.
- b. Mudah larut kedalam air sehingga efektif menyerap gas berbahaya.

- c. Memiliki bau tajam.
- d. Tidak menghasilkan emisi karbon.
- e. Dapat mengikat polutan berbahaya.
- f. Bersifat basa.

2.7. Reaksi Amonia Terhadap Emisi Gas Buang

Amonia merupakan senyawa yang sering digunakan dalam proses pengendalian emisi gas buang. Larutan amonia dapat terurai pada suhu tinggi menjadi gas amonia dan uap air. Proses ini melibatkan reaksi kimia yang dipengaruhi oleh suhu, dimana amonia dalam larutan dapat terdisosiasi menjadi ion ammonium dan hidroksida. Reaksi larutan amonia ini akan menimbulkan reaksi dekomposisi. Reaksi dekomposisi adalah proses memecah atau menguraikan sesuatu menjadi lebih sederhana. Berikut adalah reaksi nya:



Ketika larutan amonia dipanaskan, terutama pada suhu tinggi, amonia dapat terurai menjadi gas amonia (NH_3) dan uap air (H_2O). Semakin tinggi suhu, semakin cepat proses dekomposisi ini terjadi. Pada suhu tinggi, energi kinetik molekul meningkat, sehingga molekul amonia lebih mudah untuk menguap.

Dalam penelitian ini berfokus pada larutan amonia dalam bereaksi dengan berbagai komponen gas buang, diantaranya yaitu karbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Karbon Dioksida (CO_2), dan oksigen (O_2).

1. Karbon Monoksida (CO)

Amonia dapat bereaksi dengan gas karbon monoksida (CO) melalui proses yang membutuhkan suhu tinggi seperti pada pembakaran mesin diesel, serta pembakaran lainnya yang menghasilkan suhu tinggi. Berikut ini merupakan reaksi antara amonia dengan gas CO.



Hasil dari reaksi antara amonia dengan Gas CO adalah menghasilkan nitrogen dan juga air. Hal ini disebabkan karena amonia

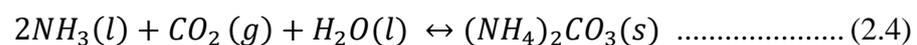
memiliki densitas energi yang tinggi yang membantu dalam mengurangi emisi CO dengan meningkatkan efisiensi pembakaran[4].

2. Hidrokarbon (HC)

Amonia merupakan gas yang tergolong basa lemah ketika bereaksi dengan gas hidrokarbon (HC) yang merupakan gas asam maka akan bereaksi membentuk campuran yang homogen serta menghasilkan senyawa yang lebih sederhana. Dalam biodiesel oksigen yang terkandung dalam amonia membantu pembakaran menjadi lebih sempurna sehingga gas hidrokarbon berkurang [4]. Maka dari itu dalam penelitian ini amonia digunakan pada insinerator juga sebagai pembantu proses pembakaran menjadi lebih sempurna, karena larutan yang di spray akan menguap menjadi gas.

3. Karbon Dioksida (CO_2)

Amonia memiliki potensi yang sangat baik dalam mengurangi emisi gas karbon dioksida (CO_2). Reaksi amonia dan karbon dioksida merupakan proses kimia yang penting dalam pengendalian emisi gas rumah kaca dan pengolahan gas buang. Reaksi antara amonia dan karbon dioksida menghasilkan beberapa reaksi diantaranya yaitu sebagai berikut [10] :



Dalam persamaan 2.2, dua molekul amonia dalam bentuk cair berinteraksi dengan CO_2 dan air untuk membentuk ammonium karbonat. Dalam reaksi ini menunjukkan bahwa reaksi dapat terjadi menggunakan larutan amonia. Dan pada persamaan 2.3 amonia bereaksi dengan CO_2 dan air membentuk ammonium bikarbonat. Senyawa yang dihasilkan oleh reaksi antara amonia dan CO_2 tidak menghasilkan senyawa berbahaya.

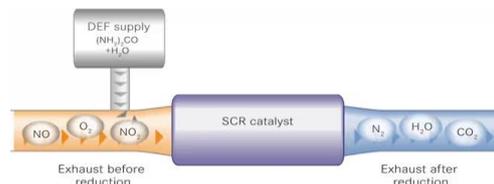
2.8. Teknologi *Spray* Amonia Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang

Dalam perkembangannya amonia banyak digunakan sebagai alternatif dalam mengurangi emisi gas berbahaya, teknologi *spray* amonia merupakan

salah satu inovasi yang digunakan. Amonia dipercaya dapat mengurangi gas berbahaya seperti nitrogen oksida (NO_x) yang sering dihasilkan dari pembakaran pada dunia industri maupun transportasi. Adapun penerapan teknologi ini yaitu sebagai berikut:

1. *Selective Catalytic Reduction (SCR)*

Selective Catalytic Reduction (SCR) adalah teknologi pengendali emisi yang menggunakan katalis untuk mereduksi nitrogen oksida (NO_x) menjadi gas nitrogen (N₂) dan uap air (H₂O) yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Prinsip kerja dari SCR ini adalah dengan cara menyempatkan bahan reduktor seperti gas amonia, cairan amonia atau larutan urea ke dalam aliran gas buang. Bahan ini kemudian bereaksi dengan NO_x di dalam reaktor katalis pada suhu optimal antara 300-400°C. Reaktor katalis pada SCR ini biasanya terbuat dari bahan seperti titanium dioksida, vanadium pentoksida atau wolfram oksida yang berfungsi mempercepat reaksi kimia. SCR memiliki efisiensi pengurangan NO_x yang sangat tinggi, mencapai 90-95%.



Gambar 2.6 *Selective Catalytic Reduction (SCR)*

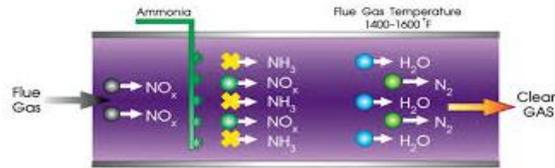
(Sumber: Edmuds.com)

Teknologi *Selective Catalytic Reduction (SCR)* ini banyak digunakan di pembangkit listrik tenaga uap, industri kimia, dan bahkan sudah banyak digunakan pada kendaraan bermesin diesel berat. Kelemahan dari teknologi ini yaitu memerlukan biaya yang tinggi dikarenakan katalis yang digunakan begitu kompleks.

2. *Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)*

Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) adalah teknologi pengendali emisi yang tidak menggunakan katalis, namun

memanfaatkan suhu tinggi dalam gas buang untuk mereduksi nitrogen oksida (NO_x) menjadi menjadi gas nitrogen (N_2) dan uap air (H_2O).



Gambar 2.7 *Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)*

(Sumber: Ifsolutions.com)

Dalam proses SNCR ini bahan reduktor seperti gas amonia atau larutan urea disemprotkan langsung ke dalam zona suhu optimal gas buang, yaitu antara $900\text{-}1100^\circ\text{C}$. Tanpa keberadaan katalis, reaksi hanya mengandalkan panas untuk mendorong penguraian NO_x . Adapun efesiensi dari penggunaan SNCR ini yaitu hanya berkisar $30\text{-}70\%$. Teknologi ini biasanya diaplikasikan pada industri semen, boiler industri, insinerator.

2.9. Larutan

Larutan merupakan campuran homogen yang terdiri dari pelarut dan zat terlarut. Dalam kehidupan sehari-hari, larutan sering kali diidentikkan dengan campuran berbentuk cair, seperti larutan garam, gula, dan asam. Dalam larutan, terdapat sifat koligatif yang bergantung pada jumlah partikel zat terlarut, bukan jenis zatnya. Ketika zat terlarut ditambahkan ke dalam pelarut, larutan akan mengalami beberapa perubahan, seperti penurunan tekanan uap jenuh, kenaikan titik didih, penurunan titik beku, dan munculnya tekanan osmosis..

Jumlah partikel dalam larutan dipengaruhi oleh konsentrasi dan sifat larutan itu sendiri. Berdasarkan kemampuannya menghantarkan listrik, larutan dibedakan menjadi larutan elektrolit dan nonelektrolit. Larutan nonelektrolit tidak dapat menghantarkan listrik, contohnya larutan amonia,

urea, glukosa, dan sukrosa. Sebaliknya, larutan elektrolit mampu menghantarkan listrik [22].

Dalam hal ini untuk menentukan campuran yang tepat dalam larutan diperlukan konsentrasi yang sesuai dengan apa yang diinginkan. Untuk menentukan konsentrasi larutan maka diperlukan perhitungan, dan berikut ini merupakan rumus perhitungan menentukan konsentrasi dari sebuah larutan.

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

C_1 = Konsentrasi larutan awal

V_1 = Volume larutan awal

C_2 = Konsentrasi larutan akhir

V_2 = Volume larutan akhir

2.10. Emisi Gas Buang

Gas buang merupakan polutan yang dihasilkan dari proses pembakaran, yang biasanya dapat ditemukan pada berbagai alat pembakar seperti mesin pembakaran luar dan dalam, serta dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Emisi gas buang mengandung berbagai senyawa kimia yang berbahaya bagi kesehatan manusia, dan kandungan gas tersebut dapat diukur menggunakan untuk mengetahui komponen yang terdapat didalamnya. Ketika gas-gas beracun ini dilepaskan ke atmosfer, mereka dapat mencemari udara, dan jika terhirup oleh manusia, dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan [12].



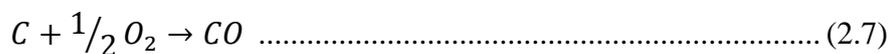
Gambar 2.8 Emisi Gas Buang Industri

(Sumber: Rimbakita.com)

Dalam gas buang terdapat beberapa kandungan gas, yaitu sebagai berikut:

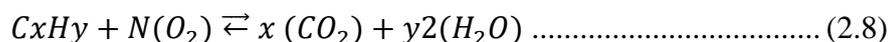
1. Karbon Monoksida

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang dihasilkan dari proses pembakaran dan bersifat racun bagi darah manusia saat bernapas, karena dapat mengurangi kadar oksigen dalam jaringan darah. Gas ini cukup banyak ditemukan diudara, terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna. Karbon monoksida (CO) memiliki karakteristik tidak berbau, tidak terasa, dan tidak berwarna. Diantara semua polutan semua udara, CO merupakan pencemar utama [23]. Adapun reaksi kimia dari karbon monoksida yaitu sebagai berikut:



2. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon adalah gas yang berkontribusi dalam produksi oksidan fotokimia, yang dibedakan berdasarkan struktur molekulnya menjadi hidrokarbon alifatik, aromatik, dan aliskiklis. Diantara ketiga jenis tersebut, hidrokarbon aromatik dianggap lebih berbahaya. Campuran produk yang dihasilkan dari pelepasan hidrokarbon ke atmosfer dapat mengganggu siklus fotolitik NO_2 (Nitrogen Dioksida), yang dikenal sebagai *smog* fotokimia, yang merupakan kombinasi antara asap dan kabut. Emisi hidrokarbon dalam gas buang merupakan hasil dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna di dalam ruang bakar. Kondisi ini terjadi ketika hanya sebagian bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen, terutama di area dekat dinding silinder antara torak dan silinder. Umumnya, penyebab utama dari fenomena ini adalah lemahnya nyala api serta rendahnya suhu pembakaran [24]. Adapun reaksi kimia dari hidrokarbon yaitu sebagai berikut:



Reaksi diatas adalah reaksi proses pembakaran, dimana x adalah jumlah atom karbon yang terdapat di molekul hidrokarbon, y adalah

jumlah atom hidrogen yang terdapat di molekul hidro karbon, dan N adalah jumlah atom yang dibutuhkan dalam reaksi pembakaran.

3. Karbon Dioksida

karbon dioksida (CO_2) atau yang juga dikenal sebagai asam arang, adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan satu atom karbon. Dalam kondisi temperatur standar dan tekanan standar, karbon dioksida berbentuk gas dan terdapat di atmosfer bumi. Senyawa ini tidak berwarna dan tidak berbau, serta terbentuk dari kombinasi bahan bakar dan oksigen dalam proporsi yang seimbang, yang menghasilkan karbon dioksida. Berikut adalah reaksi kimia yang melibatkan karbon dioksida:



4. Oksigen

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.

2.11. Standar Emisi Gas Buang

Indonesia memiliki nilai standar batas maksimum dari emisi dalam pengelolaan sampah secara termal yang 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. Berikut ini merupakan tabel standar baku emisi.

Tabel 2.1 Baku Mutu Emisi Usaha Pengelolaan Sampah Secara Termal

| No | Parameter | Satuan | Batas Maksimum Usulan |
|----|----------------------------|-----------|-----------------------|
| 1. | Total Partikulat | mg/Nm^3 | 120 |
| 2. | Sulfur Dioksida (SO_2) | mg/Nm^3 | 210 |
| 3. | Oksida Klorida (NO_x) | mg/Nm^3 | 470 |
| 4. | Hidrogen Klorida (HCl) | mg/Nm^3 | 10 |
| 5. | Merkuri (Hg) | mg/Nm^3 | 3 |
| 6. | Karbon Monoksida (CO) | mg/Nm^3 | 625 |
| 7. | Hidrogen Fluorida (HF) | mg/Nm^3 | 2 |
| 8. | Dioksin & Furan | mg/Nm^3 | 0,1 |

Sumber: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016[25]

Keterangan:

- a. Volume gas diukur dalam keadaan Standar ($25^{\circ}C$ dan tekanan 1 atm)
- b. Semua parameter dikoreksi dengan Oksigen (O_2) sebesar 11%.
- c. Pengukuran dioksin dan furan dilakukan setiap 5 tahun sekali.

Indonesia tercatat nilai emisi gas nya yang mash tinggi terutama dari hasil hasil pembakaran terutama dalam pengelolaan sampah sehingga terdapat beberapa aturan yang mengharuskan jasa pengelola atau peneliti bisa untuk mengurangi dari nilai emisi tersebut. Selain itu terdapat aturan yang berlaku di indonesia dalam tata cara dan persyaratan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun, yang mana hal ini diatur dalam peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Dalam peraturan ini dijelaskan baku mutu emisi pengelolaan limbah B3 dengan cara termal melalui insinerasi. Pengelolaan sampah disini harus mengacu pada tabel standar baku emisi yang telah ditetapkan, yang mana hal ini berfungsi sebagai tetap menjaga keasrian serta kandungan udara yang ada pada inonesia. Berikut ini tabel baku mutu emisi berdasarkan peraturan tersebut.

Tabel 2.2 Baku Mutu Emisi Pengolahan Limbah B3 Dengan Cara Ternal Melalui Insinerasi

| No | Parameter | Kadar Maksimum | Satuan |
|-----|-------------------------------------|----------------|-----------|
| 1. | Partikel | 50 | mg/Nm^3 |
| 2. | Sulfur Dioksida, SO_2 | 250 | mg/Nm^3 |
| 3. | Nitrogen dioksida, NO_2 | 300 | mg/Nm^3 |
| 4. | Hydrogen flourida, HF | 10 | mg/Nm^3 |
| 5. | Karbon Monoksida, CO | 100 | mg/Nm^3 |
| 6. | Hidrogen Klorida, HCl | 70 | mg/Nm^3 |
| 7. | Total Hidrokarbon (Sebagai CH_4) | 35 | mg/Nm^3 |
| 8. | Arsen, As | 1 | mg/Nm^3 |
| 9. | Kadmium, Cd | 0,2 | mg/Nm^3 |
| 10. | Kromium, Cr | 1 | mg/Nm^3 |
| 11. | Timbal, Pb | 5 | mg/Nm^3 |
| 12. | Merkuri, Hg | 0,2 | mg/Nm^3 |
| 13. | Talium, Tl | 0,2 | mg/Nm^3 |
| 14. | Opasitas | 20 | mg/Nm^3 |

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutan Republik Indonesia Nomor 6 tahun 2021[26]

Kadar paling tinggi pada tabel diatas dikoreksi terhadap 10% oksigen O_2
Dan kondisi normal ($25^\circ C$, 760 mm Hg) dan berat kering (*Dry basis*).

Catatan:

- 1) Kadar pada tabel baku mutu emisi udara bagi kegiatan pengolahan limbah B3 secara termal akan dievaluasi kembali berdasarkan pemantauan emisi udara yang terbaru dan pemodelan dispersi.
- 2) Efisiensi pembakaran insinerator sama atau lebih besar dari 99,99% (sembilan puluh sembilan koma sembilan persen).
- 3) Baku mutu emisi udara dapat ditetapkan kembali sesuai dengan jenis limbah yang akan diolah, dampaknya terhadap lingkungan dan perkembangan teknologi.
- 4) Bagi penggunaan tanur semen (*rotary cement kiln*) sebagai insinerator, baku mutu emisi udaranya sebagaimana yang ditetapkan pada peraturan

menteri yang berlaku baku mutu emisi bagi kegiatan industri dan bagi parameter yang tidak tercantum dalam peraturan menteri tersebut mengikuti sebagaimana yang tercantum pada tabel baku mutu emisi udara bagi kegiatan pengolahan limbah B3 secara termal yang ditetapkan.

- 5) Abu dari insinerator dengan cara disimpan ditempat penyimpanan limbah B3 untuk diserahkan ke pengelola limbah B3 untuk kegiatan penimbunan Limbah B3.

Emisi gas akan menghasilkan dampak ke udara lingkungan sekitar atau biasa disebut juga dengan udara ambien. Dalam Kondisi Normal, Udara Ambien Terdiri Dari Gas Nitrogen (78%), Oksigen (20%), Argon (0,93%), Dan Karbon Dioksida (0,03%). Setiap negara memiliki batasan masing-masing untuk baku mutu udara. Di Indonesia sendiri, kualitas udara selalu menjadi isu yang sering diperbincangkan oleh para ahli lingkungan. Hal ini disebabkan oleh menurunnya kualitas udara di Indonesia semenjak 20 tahun terakhir. Berikut ini merupakan standar baku mutu udara ambien yang ada di indonesia berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021.

Tabel 2.3 Standar Baku Mutu Udara Ambien

| No | Parameter | Waktu | Baku Mutu | Sistem Pengukuran |
|----|------------------------------|---------|------------------|-------------------|
| 1 | Sulfur Dioksida (SO_2) | 1 Jam | $150 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| | | 24 Jam | $75 \mu g/m^3$ | Aktif Manual |
| | | 1 Tahun | $45 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| 2 | Karbon Monoksida (CO) | 1 Jam | $1000 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| | | 8 Jam | $4000 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| 3 | Nitrogen dioksida (NO_2) | 1 Jam | $200 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| | | | | Aktif manual |
| | | 24 Jam | $65 \mu g/m^3$ | Aktif manual |
| | | 1 Tahun | $50 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |

| | | | | |
|---|--|---------|-----------------|------------------|
| 4 | Oksidan fotokimia (O_x) sebagai Ozon (O_3) | 1 Jam | $150 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| | | | | Aktif Manual* |
| | | 8 Jam | $100 \mu g/m^3$ | Aktif Kontinu** |
| | | 1 Tahun | $35 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| 5 | Hidrokarbon Non Metana (NMHC) | 3 Jam | $160 \mu g/m^3$ | Aktif Kontinu*** |
| 6 | Partikulat debu < 100 μm (TSP) | 24 Jam | $230 \mu g/m^3$ | Aktif manual |
| | | | | |
| | Partikulat debu < 10 μm (PM_{10}) | 24 Jam | $75 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| | | | | Aktif manual |
| | | 1 Tahun | $40 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| | Partikulat debu < 2,5 μm ($PM_{2,5}$) | 24 Jam | $55 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| | | | Aktif manual | |
| | | 1 Tahun | $15 \mu g/m^3$ | Aktif kontinu |
| 7 | Timbal (Pb) | 24 Jam | $2 \mu g/m^3$ | Aktif Manual |

Sumber: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021

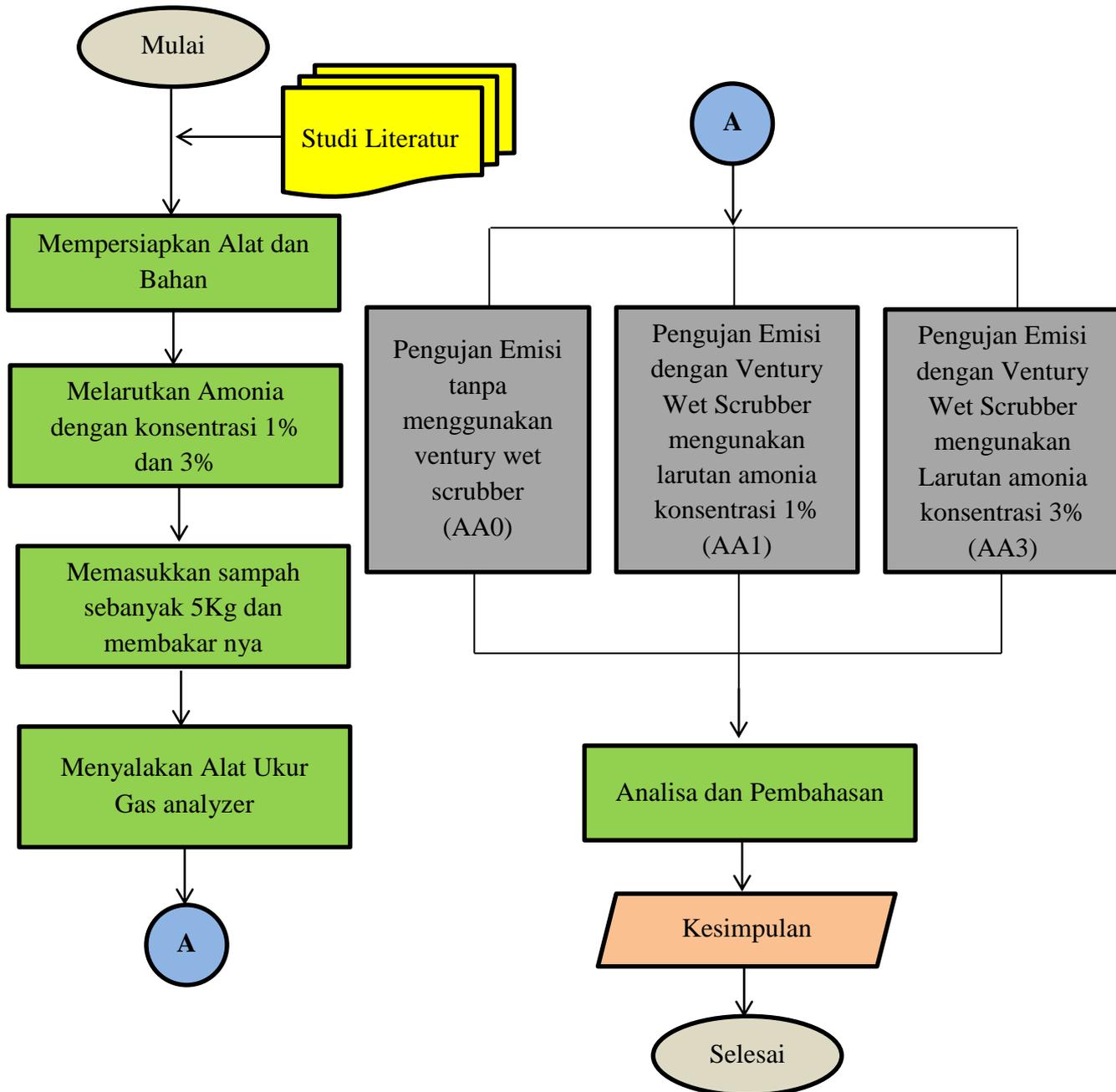
Menurut “*Environmental, Health, and Safety Guidelines GENERAL EHS GUIDELINES: ENVIRONMENTAL AIR EMISSIONS AND AMBIENT AIR QUALITY*” menyatakan bahwa kontribusi emisi dari suatu sumber tidak boleh melebihi 25% dari standar kualitas udara ambien yang berlaku. Tujuannya adalah untuk mencegah dampak signifikan terhadap kualitas udara secara keseluruhan (US EPA Prevention of Significant Deterioration Increments Limits applicable to non-degraded airsheds.)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir yang digunakan dalam penelitian yang bertujuan agar penelitian sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Pada diagram alir diatas merupakan proses tahap-tahap dalam melakukan penelitian untuk memperoleh data yang diinginkan. Berikut adalah penjelasan diagram alir.

1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur digunakan untuk mempelajari referensi dalam penelitian yang akan dilakukan. Dalam metode studi literatur ini sebagai bahan acuan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur ini diambil dari beberapa media yaitu buku, jurnal dan penelitian sebelumnya. Dari studi literatur ini merumuskan beberapa permasalahan yang menjadikan dasar pada penelitian ini.

2. Mempersiapkan Alat dan bahan

Dalam tahap mempersiapkan alat dan bahan ini yaitu menyiapkan sampah, air, amonia, pompa, dan insinerator.

3. Melarutkan Amonia

Dalam tahap ini melakukan proses pencampuran larutan amonia dengan air, sehingga konsentrasi larutan amonia mencapai 1% dan 3%.

4. Menyalakan Alat Ukur

Sebelum melakukan pengujian alat ukur dinyalakan terlebih dahulu untuk dikalibrasi selama 120detik untuk alat ukur siap digunakan. Alat ukur yang digunakan gas *analyzer*.

5. Pengujian Emisi

Pada proses pengujian ini terdapat tiga variabel yaitu menggunakan tanpa menggunakan larutan amonia (AA0) dan menggunakan larutan amonia dengan konsentrasi 1% (AA1) dan larutan amonia dengan konsentrasi 3% (AA3) .

6. Analisa data dan pembahasan

Penulis melakukan olah data yang telah didapat pada saat melakukan penelitian dan menganalisa apa saja fenomena yang terjadi sehingga mencapai apa yang telah menjadi tujuan pada penelitian ini.

7. Kesimpulan

Setelah melakukan olah data serta menganalisa dari penelitian penulis maka dilakukan kesimpulan sesuai dengan tujuan peneliti. Serta memberikan saran terhadap penelitian tersebut untuk yang melanjutkan ataupun melakukan penelitian.

8. Selesai

Penulis telah selesai dalam melakukan penelitian dengan membuat laporan yang telah disusun secara sistematis.

3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

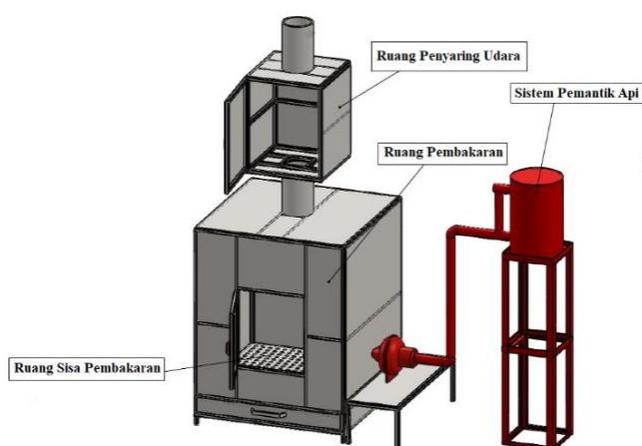
Berikut ini merupakan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, yang dimana penelitian ini memerlukan beberapa alat dan bahan yaitu:

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Insinerator

Insinerator digunakan untuk proses pembakaran sampah dan insinerator ini memiliki kapasitas sebanyak 25 kg, dengan ukuran 800mm x 800m x 1000mm dengan menggunakan material plat baja , dan insinerator ini menggunakan bata SK serta semen tahan api sehingga dapat menahan temperatur sampai 1000°C.



Gambar 3.2 Insinerator

2. Pompa

Pompa digunakan untuk mengalirkan cairan menuju *ventury wet scrubber*. Pompa yang digunakan yaitu pompa sinleader SL-3500 dengan spesifikasi voltage 12 V, ampere 2.2 A, dapat mengalirkan air 3,1 LPM dengan tekanan sampai 80 PSI (5.5 BAR).



Gambar 3.3 Pompa

3. *VenturyWet Scrubber*

Ventury wet scrubber digunakan untuk menyemprotkan cairan aliran gas emisi buang yang berasal dari insinerator. Dilengkapi dengan 4 buah lubang untuk misting nozzle dalam proses *spray* menggunakan larutan air ataupun amonia. material yang digunakan pada *ventury wet scrubber* ini adalah Mild steel plate, untuk detail ukuran *venturty wet scrubber* ini terlampir pada lampiran.



Gambar 3.4 *VenturyWet Scrubber*

4. Gas Analyzer

Gas Analyzer merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur kandungan gas hasil pembakaran yang keluar melalui *ventury wet scrubber*. Gas analyzer yang digunakan yaitu HG-520. Alat ini mampu mengukur emisi gas CO, CO₂, HC, dan O₂ dengan prinsip kerja menerapkan sistem *Non Dispersive infrared* (NDIR) dan *electrochemical*.



Gambar 3.5 Gas Analyzer

5. Blower

Blower merupakan alat yang digunakan untuk memberikan udara pada *incinerator* pada proses pembakaran supaya api tetap menyala dan membakar sampah hingga abu. Blower yang digunakan pada penelitian ini adalah *Blower NTR-Pro*. Dengan daya 370 W, tegangan 220V serta RPM 3000/3600 r/min.



Gambar 3.6 Blower

6. *Burner*

Burner merupakan alat yang digunakan untuk melakukan proses pembakaran dimana bahan bakar yang digunakan *burner* ini adalah solar. *Burner* dipasangkan pada *incinerator* digunakan untuk membakar sampah. Jenis *burner* yang digunakan adalah *rotary cup oil* dengan merek HORNG MIN *Separated-Type Auto Spraying Heavy Oil Burner*. Dengan spesifikasi 220-380V dan dengan RPM 3000-3600 r/min.



Gambar 3.7 *Burner*

7. *Flask*

Flask merupakan sebuah gelas kaca yang 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 alat uji untuk meminimalisir kerusakan alat uji.



Gambar 3.8 *Flask*

8. Tangki Solar

Tangki solar ini digunakan untuk menampung solar yang akan digunakan sebagai bahan bakar untuk *burner*. Tangki ini dapat menampung solar sebanyak 20 Liter.



Gambar 3.9 Tangki Solar

9. 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. Dalam panel ini dilengkapi dengan dua buah termokopel tipe K serta dua modul *display* temperatur.



Gambar 3.10 Panel *Display* Temperatur

10. *Thermocouple*

Thermocouple digunakan untuk mengukur temperatur yang dipasangkan pada *sampling point* tertentu guna mendapatkan data temperatur pada tiap bagian yang dialiri oleh gas. *Thermocouple* yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel K yang mana dapat mendeteksi temperatur dari 0-1000°C.



Gambar 3.11 *Thermocouple*

3.2.2 **Bahan**

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Sampah Kering

Sampah digunakan untuk bahan uji yang akan dibakar pada insinerator sebanyak 5 kilogram yang terdiri dari sampah kertas, kardus dan plastik.



Gambar 3.12 Sampah

2. Air

Air digunakan sebagai bahan untuk campuran amonia yang nantinya disemprotkan melalui *ventury wet scrubber* sebanyak 15 liter sekali dalam pembakaran.



Gambar 3.13 Air

3. Solar

Solar digunakan sebagai bahan bakar *burner* yang nantinya digunakan untuk proses pembakaran yang dialirkan melalui *burner*.



Gambar 3.14 Solar

4. Amonium Hidroksida (Cairan Amonia)

Amonium Hidroksida digunakan sebagai bahan atau sampel yang akan disemprotkan melalui *ventury wet scrubber*. Larutan Amonia yang digunakan memiliki konsentrasi 25%. Yang nantinya akan dicampurkan dengan air sehingga mempunyai konsentrasi yang berbeda yaitu 1% dan 3%.



Gambar 3.15 Amonium Hidroksida

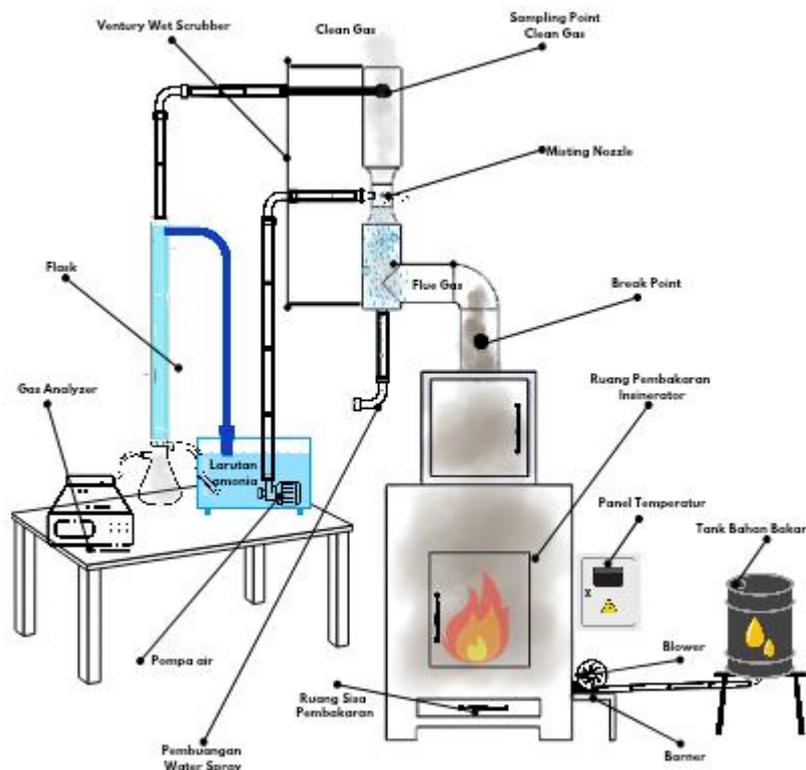
3.3 Variabel Penelitian

Percobaan ini akan dilakukan dengan proses eksperimen dan pengamatan pada kadar gas buang insinerator. Dengan ini dilakukan penelitian dengan mengalirkan gas buang yang keluar dari saluran gas insinerator menuju inlet dari *ventury wet scrubber*. Gas buang yang mengalir ini nantinya akan terjadi kontak dengan droplet yang disemprotkan larutan amonia oleh nozzle pada sebuah *ventury*. Gas buang yang telah bersih akan keluar dari *stack*, gas buang inilah yang akan dilakukan pengukuran gas emisi menggunakan gas *analyzer*. Gas buang yang akan diukur meliputi CO, CO₂, HC, dan O₂. Sebagai perbandingan akan dilakukan juga pengujian emisi gas buang tanpa menggunakan *ventury wet scrubber* dan pengujian menggunakan *ventury wet scrubber* dengan menggunakan larutan cairan amonia dengan konsentrasi 1% dan dengan menggunakan larutan cairan amonia dengan konsentrasi 3%.

3.4 Metode Penelitian

Dalam proses penelitian ini, metode penelitian bertujuan untuk menganalisis proses pembakaran dan sistem pengolahan gas buang untuk mereduksi emisi gas polutan hasil pembakaran dari insinerator sebelum dilepaskan ke lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan sistem untuk mereduksi emisi gas buang tersebut untuk menimalisir dampak negatif yang terjadi. Maka dari itu dalam penelitian ini menggunakan *ventury wet scrubber* dengan menggunakan larutan amonia dalam mereduksi emisi gas

buang pada insinerator. Berikut ini merupakan gambar skema penelitian yang dilakukan.

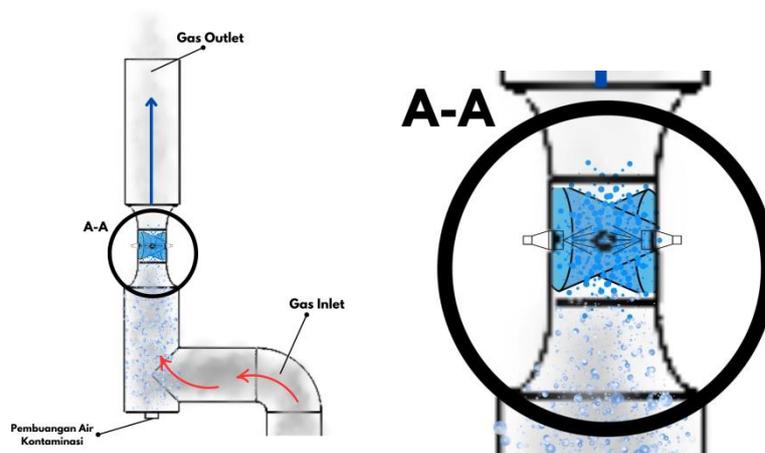


Gambar 3.16 Skema Penelitian

Adapun pada proses penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali pembakaran sesuai pada masing-masing variabel yaitu AA0, AA1 dan AA3. Untuk sampah yang digunakan yaitu 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. Dan untuk cairan amonia yang digunakan untuk spray pada ventury sebanyak 15 liter dengan konsentrasi 1% dan 3%.

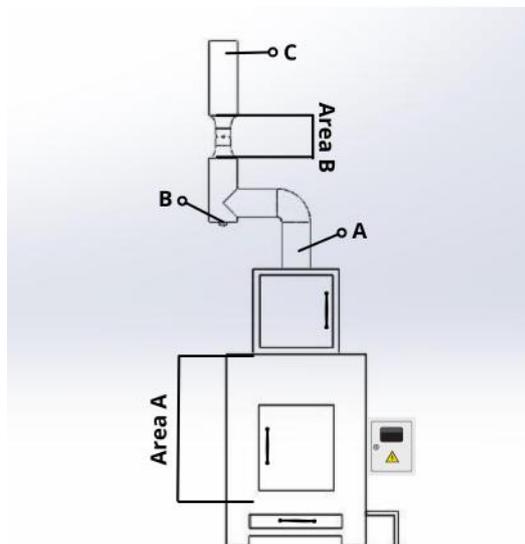
Proses ini dimulai di ruang pembakaran, dengan menggunakan burner dan blower untuk meningkatkan pembakaran yang sempurna. Hasil pembakaran berupa *flue gas* mengalir keluar dari ruang pembakaran melalui *break point* untuk di ambil sampel data emisi gas sebelum masuk kedalam sistem *ventury wet scrubber*.



Gambar 3.17 Skema Ventury Wet Scrubber

Gas hasil pembakaran kemudian dialirkan ke *ventury wet scrubber* untuk menghilangkan partikel dan zat polutan dengan menyemprotkan cairan amonia yang keluar pada *nozzle*. Pada proses penyemprotan seperti pada gambar 3.17 terjadi absorpsi antara cairan amonia dengan gas yang menjadikan penurunan nilai emisi. Setelah melalui proses penyemprotan, gas yang telah bersih keluar sebagai *clean gas* dan diambil sampelnya melalui flask tujuannya agar abu kotor dari hasil pembakaran tidak ikut masuk dalam alat ukur. Maka gas yang keluar dari flask yang akan di ukur menggunakan gas *analyzer*.

3.5 *Sampling Point*



Gambar 3.18 *Sampling Point*

Sampling Point merupakan titik dalam pengambilan data yang terletak pada insinerator dan *ventury wet scrubber*. Tujuan adanya *sampling point* ini adalah untuk memudahkan akses pengambilan data guna mendapatkan data yang efektif. Adapun ilustrasi *sampling point* yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan gambar 3.16 adalah sebagai berikut:

- A. Area A merupakan ruang pembakaran sampah dan dalam titik area ini pula diambil data temperatur pembakaran sampah.
- B. Area B merupakan ruang tempat terjadinya spray amonia melalui nozzle yang bertemu atau bertabrakan langsung dengan emisi gas dari Area A.
- C. Titik A merupakan tempat pengambilan sampel emisi gas pada tahap pembakaran tanpa menggunakan *ventury wet scrubber*.
- D. Titik B merupakan tempat pembuangan sisa cairan atau larutan yang dispray melalui area B, untuk dibuang ketempat penampungan.
- E. Titik C merupakan tempat pengambilan sampel emisi gas yang sudah melalui tahap spray menggunakan larutan amonia.

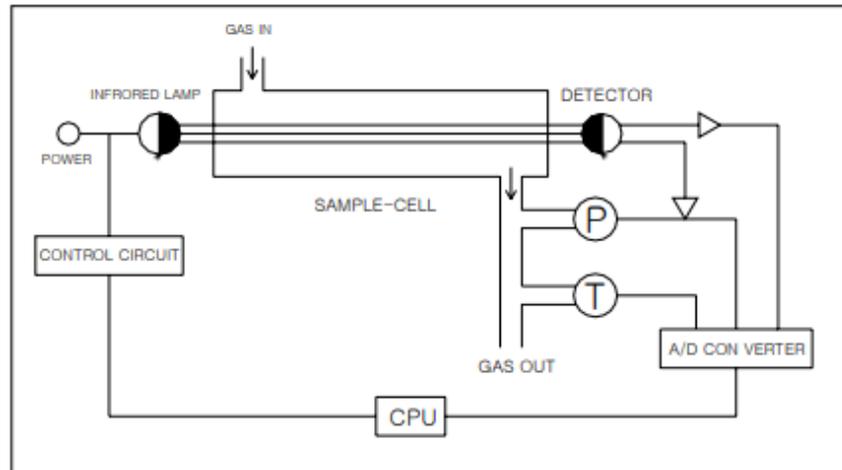
3.6 Spesifikasi Alat Pengujian

Penelitian yang dilakukan penulis adalah untuk mendapatkan data emisi gas buang yang dihasilkan oleh insinerator. Dalam proses pengambilan data, penulis menggunakan alat uji emisi dengan merek HG-520 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Uji Emisi HG-520

| HG-520 | | | | |
|-----------------------------------|---|----------------------|-------|----------------------|
| Measuring Item | CO, HC, CO_2 , O_2 , λ (Lamda), AFR, NOx (Optional) | | | |
| Measuring Method | CO, HC, CO_2 : NDIR Method O_2 : Electrochemical Cell | | | |
| Measure Range | CO | 0.00 ~ 9.99% | HC | 0 ~ 9999 ppm |
| Resolution | | 0.01% | | 1 ppm |
| Display | | 4 digit 7segment LED | | 4 digit 7segment LED |
| Measure Range | CO_2 | 0.0 ~ 20.0% | O_2 | 0.00 ~ 25.00% |
| Resolution | | 0.1% | | 0.01% |
| Display | | 4 digit 7segment LED | | 4 digit 7segment LED |
| Measure Range | λ | 0 ~ 2.000 | AFR | 0.0 ~ 99.0 |
| Resolution | | 0.001 | | 0.1 |
| Display | | 4 digit 7segment LED | | 4 digit 7segment LED |
| Warming Up Time | About 2 ~ 8 minutes | | | |
| Sample Collecting Quantity | 4 ~6 L/min | | | |

Prinsip Kerja alat ini adalah dengan menerapkan sistem *Non Dispersive Infrared* (NDIR) untuk menganalisa gas CO, HC, CO_2 . Sedangkan, metode *electrochemical* untuk menganalisa O_2 dan NOx.



Gambar 3.19 Diagram metode NDIR

Metode NDIR bekerja berdasarkan prinsip penyerapan cahaya inframerah oleh gas. Setiap jenis gas memiliki panjang gelombang tertentu yang dapat diserap oleh molekulnya. Pada metode analisa NDIR di alat ukur ini, Sebuah *Ramp* yang memaparkan sinar inframerah berkedip terpasang pada salah satu ujung *sample cell* dan pada ujung *detecting sensor* yang terpasang agar dapat mendeteksi komponen yang terdapat pada gas dan kemudian menghitung kepadatan gas tersebut sehingga satuan yang dihasilkan yaitu persen (%). Sedangkan untuk nilai HC dapat ditampilkan dalam PPM, dikarenakan konsentrasi gas HC ini sering kali sangat rendah, maka untuk display yang ditampilkan dalam bentuk PPM.

Dalam metode *electrochemical*, gas yang akan diukur berinteraksi dengan elektrode dalam sel elektrokimia, menghasilkan reaksi redoks yang menghasilkan arus listrik. Besarnya arus listrik yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi gas yang ada. Pada metode *electrochemical* mengukur densitas gas dengan menggunakan banyaknya elektron yang diproduksi selama proses oksidasi dan mengurangi reaksi gas buang.

3.7 Prosedur penelitian

Agar penelitian ini berjalan lancar dan secara optimal ada beberapa prosedur yang harus dilakukan. Dalam penelitian ini terdapat dua prosedur dalam proses penelitian, dan berikut ini merupakan prosedur penelitian yang akan dilakukan.

3.5.1 Prosedur Persiapan Penelitian

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 untuk melakukan pembacaan nilai emisi gas.
5. Mempersiapkan *ventury wet scrubber* beserta pompa dan air yang akan digunakan.
6. Memasukkan bahan bakar ke dalam tabung bahan bakar yang kemudian akan dialirkan ke *burner*.
7. Memasukkan sampah sebanyak 5 kg ke dalam insinerator.
8. Memanaskan corong *burner* agar api dapat menyala secara langsung.
9. Menyalakan *burner* diiringi 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*.

3.5.2 Prosedur Pencampuran Amonia

1. Menyiapkan Cairan amonia dan air sebanyak 15 liter yang telah disiapkan.
2. Menyiapkan gelas ukur.
3. Menuangkan air dalam wadah penampungan air sebanyak 15 liter.
4. Masukkan cairan amonia yang telah ditakar kedalam wadah berisi air.
5. Mengaduk air dan amonia yang telah ditakar agar larutan memiliki konsentrasi yang diinginkan yaitu 1% dan 3%.
6. Memasukkan selang kedalam larutan untuk dialirkan kedalam *scrubber*.

3.5.3 Prosedur Pengambilan Data

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. Merapihkan kembali, untuk melakukan pengujian pembakaran selanjutnya.

Setelah melewati ketiga prosedur tersebut maka menganalisa dan membandingkan data yang didapatkan setelah proses pengukuran emisi gas pada saat pembakaran sampah menggunakan insinerator dengan pengukuran emisi gas pada saat pembakaran sampah menggunakan insinerator dengan *ventury wet scrubber* menggunakan cairan amonia dengan konsentrasi 1% dan konsentrasi 3%.

3.8 Penggunaan Konsentrasi Larutan Amonia

Konsentrasi larutan cairan amonia merupakan langkah penting dalam penelitian ini. Untuk memastikan efisiensi proses serta keamanan penggunaannya. Maka dari itu dilakukan perhitungan konsentrasi larutan cair amonia dengan menggunakan rumus pengenceran larutan sesuai dengan pada rumus 2.1 . Dan berikut ini merupakan penggunaan larutan cairan amonia dengan konsentrasi sebesar 1% dan konsentrasi 3% pada larutan sebanyak 15 liter dan cairan amonia yang digunakan dengan konsentrasi 25%.

Tabel 3.2 Takaran Campuran Larutan Amonia

| Konsentrasi Larutan Amonia (NH_4OH) | Larutan Amonia (NH_3) | Air (H_2O) |
|---|---------------------------|----------------|
| 1% | 0,6 Liter | 15 Liter |
| 3% | 1,8 Liter | 15 Liter |

3.9 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

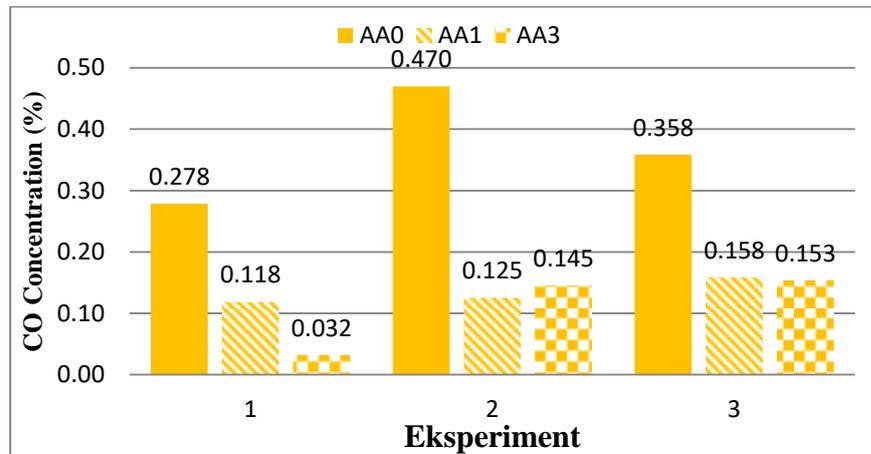
Dalam tahap penelitian, peneliti melaksanakan penelitian mulai dari bulan Oktober 2024 dan tempat pelaksanaan pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Emisi Gas Karbon Monoksida (CO)

Dari pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* mati (AA0), tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* menyala dengan menggunakan larutan amonia dengan konsentrasi 1% (AA1) dan konsentrasi 3% (AA3). Data yang diambil merupakan rata rata dari data yang diperoleh dengan menggunakan data yang optimum dalam pengambilan data. Untuk mengetahui dengan jelas dalam penggunaan larutan cairan amonia dalam menurunkan emisi gas CO maka dibuatlah dalam bentuk grafik perbandingan, berikut ini grafik perbandingannya.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas CO

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa penggunaan *ventury wet scrubber* dengan menggunakan larutan amonia dapat menurunkan emisi gas CO. Jika dilihat dalam grafik nilai emisi gas CO yang didapatkan pada nilai AA0 yaitu sebesar 0,278%;0,47%;dan 0,358%. Selanjutnya pada AA1 sebesar 0,113%; 0,125%; dan 0,158%, sedangkan pada AA3 sebesar 0,032%;0,145%; dan 0,153%. Dari eksperimen yang dilakukan, rata-rata

konsentrasi CO pada kondisi awal tanpa *scrubber* (AA0) adalah 0,369%, sehingga ketika menggunakan scrubber dengan larutan amonia 1% (AA1) turun menjadi 0,134% mengalami persentase penurunan sebesar 62,23%, dan dengan larutan amonia 3% (AA3) turun lebih jauh menjadi 0,110% mengalami persentase penurunan sebesar 71,66% dari kondisi tanpa *scrubber*.

Karbon monoksida merupakan suatu gas yang terbentuk pada proses pembakaran yang tidak sempurna, dimana karbon yang bereaksi dengan oksigen terbatas. Karbon monoksida (CO) akan mengalami oksidasi akibat adanya oksigen yang berlebih pada proses pembakaran, sehingga pada proses ini gas CO akan beroksidasi menjadi gas CO_2 . Hal ini terjadi karena larutan amonia (NH_4OH) akan terurai ketika terjadinya kontak dengan gas dengan suhu yang tinggi menjadi gas amonia dan air. Sehingga pada proses *spray* menggunakan *ventury wet scrubber* oksigen mengalami kenaikan yang didapat dari hasil terurainya larutan amonia pada gas panas ini dan akibat terjadinya kontak antara larutan amonia yang di *spray* pada ruang *ventury* dengan gas panas yang memicu penurunan nilai emisi gas CO hasil pembakaran dari insinerator. Hasil dari reaksi antara amonia dengan Gas CO adalah menghasilkan nitrogen dan juga air (Persamaan 2.3). Berikut ini merupakan persamaan 2.3:

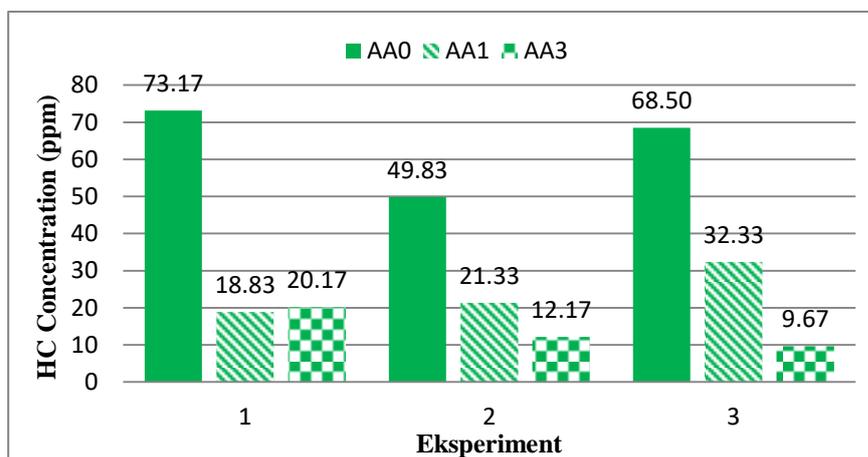


Berdasarkan penelitian yang ada hal ini disebabkan karena amonia memiliki densitas energi yang tinggi yang membantu dalam mengurangi emisi CO dengan meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi jumlah oksigen yang bereaksi dengan CO untuk membentuk CO_2 [4]. Akibatnya, emisi gas karbon monoksida CO berkurang.

4.2 Analisa Emisi Gas Hidrokarbon (HC)

Dari pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* mati (AA0), tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* menyala dengan menggunakan larutan amonia dengan konsentrasi 1% (AA1) dan konsentrasi 3% (AA3). Data yang diambil

merupakan rata rata dari data yang diperoleh dengan menggunakan data yang optimum dalam pengambilan data. Untuk mengetahui dengan jelas dalam penggunaan larutan cairan amonia dalam menurunkan emisi gas HC maka dibuatlah dalam bentuk grafik perbandingan, berikut ini grafik perbandingannya.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas HC

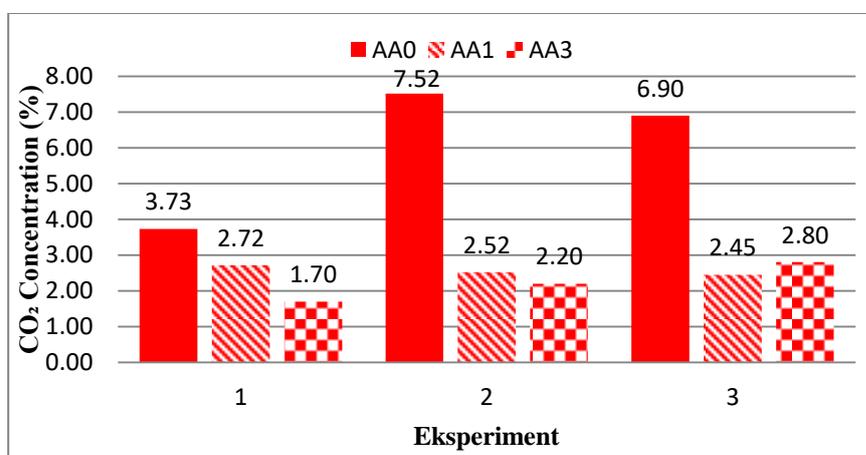
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa penggunaan *ventury wet scrubber* dengan menggunakan larutan amonia dapat menurunkan emisi gas Hidrokarbon (HC). Jika dilihat dalam grafik nilai emisi gas HC rata rata yang didapatkan pada AA0 yaitu sebesar 73,17ppm; 49,83ppm; dan 68,50ppm. Selanjutnya pada AA1 sebesar 18,83ppm; 21,33ppm; dan 32,33ppm. Yang terakhir nilai emisi HC pada AA3 sebesar 20,17ppm; 12,17ppm; dan 9,67ppm. Nilai rata-rata HC pada kondisi awal tanpa *scrubber* (AA0) adalah 63,83 ppm, kemudian berkurang menjadi 24,17 ppm dengan menggunakan *scrubber* dengan larutan amonia 1% (AA1) mengalami penurunan dengan persentase sebesar 61,42% dan lebih rendah lagi menjadi 14 ppm dengan larutan amonia 3% (AA3) mengalami persentase penurunan sebesar 77,97% dari kondisi awal tanpa menggunakan *scrubber*.

Hidrokarbon merupakan emisi gas yang terjadi akibat pembakaran tidak sempurna, dimana senyawa hidrokarbon tidak sempurna dan terbang ke udara. Larutan amonia dalam mereduksi emisi gas hidrokarbon (HC) dapat bereaksi dengan hidrokarbon, dengan peningkatan konsentrasi amonia maka semakin banyak bereaksi dengan gas hidrokarbon, sehingga emisi gas HC

berkurang. Dalam artian semakin tinggi konsentrasi larutan amonia yang digunakan maka semakin besar penurunan emisi gas Hidrokarbon (HC). Hidrokarbon (HC) mengalami reaksi dengan amonia menghasilkan senyawa yang lebih sederhana dan kurang berbahaya. Larutan amonia yang bersifat basa dan gas hidrokarbon (HC) yang bersifat gas asam maka akan bereaksi membentuk campuran yang homogen. Sehingga hasil reaksi dari larutan amonia akan menghasilkan senyawa yang sederhana. Amonia digunakan dalam beberapa mesin diesel dalam mereduksi emisi gas hidrokarbon menghasilkan efek pembakaran yang baik, sehingga dapat dengan baik mereduksi emisi gas hidrokarbon (HC) [4]. Sehingga ketika menggunakan *ventury wet scrubber* menjadikan larutan amonia ini reaksi pembakaran yang lebih baik, sehingga mengurangi emisi gas hidrokarbon yang tidak terbakar.

4.3 Analisa Emisi Gas Karbon Dioksida (CO_2)

Dari pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* mati (AA0), tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* menyala dengan menggunakan larutan amonia dengan konsentrasi 1% (AA1) dan konsentrasi 3% (AA3). Data yang diambil merupakan rata rata dari data yang diperoleh dengan menggunakan data yang optimum dalam pengambilan data. Untuk mengetahui dengan jelas dalam penggunaan larutan cairan amonia dalam menurunkan emisi gas CO_2 maka dibuatlah dalam bentuk grafik perbandingan, berikut ini grafik perbandingannya.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas CO_2

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa penggunaan *ventury wet scrubber* dengan menggunakan larutan amonia dapat menurunkan emisi gas Karbon dioksida (CO_2). Jika dilihat dalam grafik nilai emisi gas CO_2 rata rata yang didapatkan pada AA0 yaitu sebesar 3,73%; 7,52%; dan 6,9%. Selanjutnya pada AA1 yaitu sebesar 2,72%; 2,52%; dan 2,45%. Yang terakhir pada AA3 yaitu sebesar 1,7%; 2,2%; dan 2,8%. Data percobaan menunjukkan bahwa dengan penggunaan *ventury wet scrubber* yang menggunakan larutan amonia, terjadi penurunan emisi CO_2 . Rata-rata nilai CO_2 pada AA0 adalah 6,05%, yang turun menjadi 2,56% pada AA1 dengan persentase penurunan sebesar 52,75% dan 2,23% pada AA3 dengan mengalami persentase penurunan sebesar 61,54%.

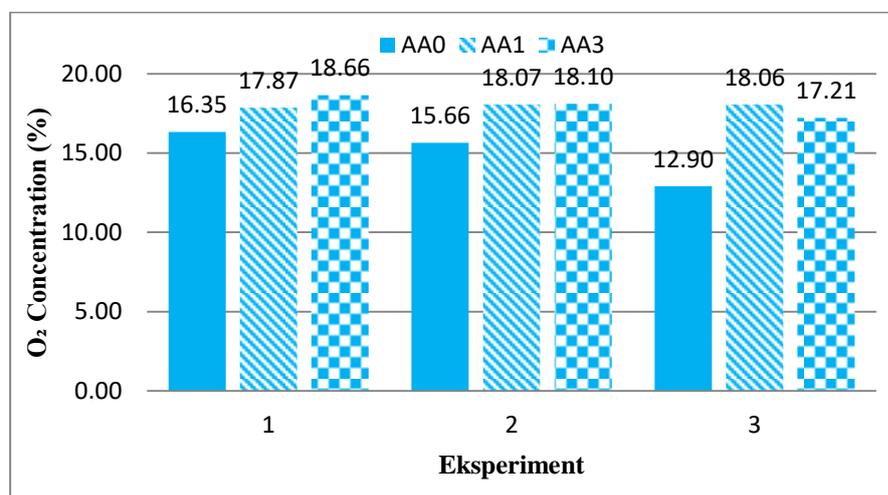
Karbon dioksida (CO_2) ini dihasilkan dari hasil pembakaran sempurna yang terjadi pada insinerator. Larutan amonia dalam mereduksi emisi gas buang dengan menggunakan *ventury wet scrubber* ini mengalami penguraian senyawa ketika di spray menghasilkan gas amonia dan air. Proses penguraian larutan amonia menimbulkan efek meningkatkan oksidasi karbon monoksida (CO) menjadi CO_2 , yang memicu larutan amonia ini bereaksi mengikat gas karbon secara keseluruhan. Sesuai dengan sifatnya amonia dapat mengikat senyawa karbon maka dari itu amonia mengurangi emisi gas karbon secara keseluruhan. Berdasarkan penelitian sebelumnya ketika Dua molekul amonia dalam bentuk cair berinteraksi dengan CO_2 dan air untuk membentuk ammonium karbonat ($(NH_4)_2CO_3$) (persamaan 2.4) dan ammonium bikarbonat (NH_4HCO_3) (persamaan 2.5). Berikut ini merupakan reaksi larutan amonia bereaksi dengan emisi gas CO_2 .



Dalam reaksi ini menunjukkan bahwa reaksi dapat terjadi menggunakan larutan amonia. Senyawa yang dihasilkan oleh reaksi antara amonia dan CO_2 tidak menghasilkan senyawa berbahaya [10]. Sehingga amonia dapat bereaksi dengan karbon dioksida yang mengakibatkan gas karbon dioksida (CO_2) mengalami penurunan.

4.4 Analisa Kandungan Gas Oksigen (O_2)

Dari pengujian yang telah dilakukan selama tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* mati (AA0), tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* menyala dengan menggunakan larutan amonia dengan konsentrasi 1% (AA1) dan konsentrasi 3% (AA3). Data yang diambil merupakan rata rata dari data yang diperoleh dengan menggunakan data yang optimum dalam pengambilan data. Untuk mengetahui dengan jelas dalam penggunaan larutan cairan amonia dalam menurunkan emisi gas O_2 maka dibuatlah dalam bentuk grafik perbandingan, berikut ini grafik perbandingannya.

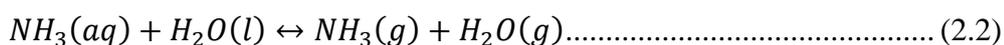


Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Emisi Gas O_2

Beda halnya dengan emisi gas lain, berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa penggunaan *ventury wet scrubber* dengan menggunakan larutan amonia sebaliknya dibandingkan dengan nilai emisi yang lain yang menurun sedangkan terjadi kenaikan nilai emisi gas oksigen (O_2). Jika dilihat dalam grafik nilai emisi gas O_2 rata rata yang didapatkan pada AA0 yaitu sebesar 16,35%; 15,66%; dan 12,9%. Selanjutnya pada AA1 yaitu sebesar 17,87%; 18,07%; dan 18,06%. Yang terakhir pada AA3 yaitu sebesar 18,66%; 18,10%; dan 17,21%. Berbeda dengan emisi lainnya yang mengalami penurunan, kandungan oksigen dalam gas buang justru meningkat saat menggunakan *ventury wet scrubber* dengan larutan amonia. Rata-rata

kandungan O₂ pada AA0 adalah 14,97%, meningkat menjadi 18,00% pada AA1 dengan persentase kenaikan sebesar 21,57% dan 17,99% pada AA3 dengan persentase kenaikan sebesar 21,05%.

Oksigen pada proses pembakaran dalam insinerator sangat dibutuhkan untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna. Untuk menjaga kadar oksigen dalam insinerator dialirkan oksigen melalui saluran yang menghubungkan dengan blower untuk mensuplai oksigen didalam proses pembakaran di insinerator. Kenaikan yang terjadi akibat adanya *spray* dengan larutan amonia yang dilakukan pada gas hasil pembakaran, disebabkan karena larutan amonia mengalami penguraian atau terjadi dekomposisi ketika di *spray* kedalam ruang *ventury we scrubber*. Hasil dari dekomposisi atau penguraian larutan amonia ini menghasilkan oksigen dari senyawa air hasil penguraian tersebut (persamaan 2.2). Berikut ini merupakan reaksi dekomposisi larutan amonia.



Sehingga melepaskan molekul oksigen kedalam sistem yang membuat kadar oksigen meningkat ketika dalam pengambilan data setelah emisi gas di *spray* menggunakan *ventury wet scrubber* dan penyebab lainnya juga ialah dikarenakan amonia mengikat emisi gas karbon, yang menyebabkan reaksi pembakaran menyisakan oksigen saja yang keluar melalui *ventury wet scrubber*.

4.5 Analisa Batas Ambang Nilai Emisi Berdasarkan Standar

Dalam proses pembakaran sampah secara termal terutama insinerasi, merupakan salah satu metode pengolahan limbah yang ada pada indonesia. Dalam mengurangi volume limbah metode insinerasi digunakan namun memiliki dampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi gas buang yang dihasilkan. 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.

Pada penelitian ini dikarenakan alat yang digunakan hanya dapat membaca nilai emisi gas CO, HC, CO_2 , dan O_2 . Untuk membuktikan bahwa hasil penggunaan larutan amonia ini dibawah batas ambang nilai emisi, maka digunakan nilai emisi gas CO sesuai yang ada pada tabel 2.1. berdasarkan standar yang ada nilai baku emisi Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal melalui insinerasi yaitu sebesar 625 mg/Nm^3 .

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Hasil Penelitian Gas CO dengan Standar Baku Emisi P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016

| Variabel | Nilai Hasil Penelitian Gas CO | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|---|------------------------|
| | Persen Volume (%) | Milligram Per Meter kubik ($\frac{mg}{Nm^3}$) | Klasifikasi |
| Tanpa Menggunakan Amonia (AA0) | 0,369 | 3690 | Tidak Memenuhi Standar |
| Larutan Amonia Konsentrasi 1% (AA1) | 0,118 | 1180 | Tidak Memenuhi Standar |
| Larutan Amonia Konsentrasi 3% (AA3) | 0,032 | 320 | Memenuhi Standar |

Maka didapatkan menurut hasil penelitian yang telah dilakukan hasil dari menggunakan larutan amonia dalam mereduksi emisi gas CO berdasarkan standar yang ada masih sangat jauh dibawah batas standar yang ditentukan yaitu 625 mg/Nm^3 , Namun Untuk Penggunaan Konsentrasi amonia 1% masih diatas standar yang ditentukan. Sehingga disini perlu melakukan mengeksporasi konsentrasi amonia yang lebih optimal dan pengaruhnya terhadap emisi gas lain yang berkontribusi pada pencemaran udara.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan sebanyak tiga kali pembakaran dengan kondisi *ventury wet scrubber* mati (AA0) , tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* menyala dengan larutan amonia konsenrasi 1% (AA1) dan tiga kali pembakaran pada kondisi *ventury wet scrubber* menyala dengan larutan amonia konsentrasi 3% (AA3) adalah penggunaan *ventury wet scrubber* dengan larutan amonia menunjukkan kemampuan signifikan dalam mereduksi emisi gas buang dari insinerator, terutama untuk gas karbon monoksida (CO, hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO_2)). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa emisi gas buang CO secara berurutan adalah 0,369% untuk AA0, 0,118% untuk AA1, dan 0,032%. Emisi gas buang selanjutnya menunjukkan bahwa emisi gas HC adalah 63,83ppm untuk AA0, 24,17 ppm untuk AA1, dan 14 ppm untuk AA3. Selanjutnya yaitu nilai emisi gas CO_2 menunjukkan 6,05% untuk AA0, 2,56% untuk AA1, dan 2,23 untuk AA3. Nilai emisi gas yang terakhir yaitu oksigen O_2 , didapatkan dan menunjukkan 14,97% untuk AA0, 18% untuk AA1, dan 17,99% untuk AA3. Maka penggunaan cairan amonia dapat mempengaruhi nilai emisi gas buang pada insinerator pada penggunaan di *ventury wet scrubber*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh peneliti pada penelitian ini adalah Mengembangkan penelitian ini dengan melakukan simulasi pengaruh larutan amonia terhadap penurunan emisi gas lain yang berkontribusi pada pencemaran udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. L. Said dan Hernawati, J. Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, and U. Alauddin Makassar, “Rancang Bangun Insinerator Dua Tahap (Solusi Mengatasi Polusi Udara Pada Pembakaran Sampah),” *JFT. No.1*, vol. 4, no. 1, pp. 38–48, 2017.
- [2] H. Susastrio, D. Ginting, E. W. Sinuraya, and G. M. Pasaribu, “Kajian Incinerator Sebagai Salah Satu Metode Gasifikasi Dalam Upaya Untuk Mengurangi Limbah Sampah Perkotaan,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 1, pp. 28–34, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.8137.
- [3] N. de Nevers, *Air Pollution Control Engineering (2nd ed.)*, Second Ed. Waveland Press, 2010.
- [4] R. Sivasubramanian, J. B. Sajin, and G. Omanakuttan Pillai, “Effect of ammonia to reduce emission from biodiesel fuelled diesel engine,” *Int. J. Ambient Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 661–665, 2022, doi: 10.1080/01430750.2019.1663367.
- [5] A. J. Reiter and S. C. Kong, “Demonstration of compression-ignition engine combustion using ammonia in reducing greenhouse gas emissions,” *Energy and Fuels*, vol. 22, no. 5, pp. 2963–2971, 2008, doi: 10.1021/ef800140f.
- [6] H. Jayadi, F. Hendrarinata, B. Suyanto, and S. Sunaryo, “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.
- [7] D. Gonzalez-Garza, R. Rivera-Tinoco, and C. Bouallou, “Comparison of ammonia, monoethanolamine, diethanolamine and methyldiethanolamine solvents to reduce CO₂ greenhouse gas emissions,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 18, pp. 279–284, 2009, doi: 10.3303/CET0918044.
- [8] C. Locci, L. Vervisch, B. Farcy, P. Domingo, and N. Perret, “Selective Non-catalytic Reduction (SNCR) of Nitrogen Oxide Emissions: A Perspective from Numerical Modeling,” *Flow, Turbul. Combust.*, vol. 100,

- no. 2, pp. 301–340, 2018, doi: 10.1007/s10494-017-9842-x.
- [9] D. Damma, P. R. Ettireddy, B. M. Reddy, and P. G. Smirniotis, *A review of low temperature NH₃-SCR for removal of NO_x*, vol. 9, no. 4. 2019. doi: 10.3390/catal9040349.
- [10] H. Bai and A. C. Yeh, “Removal of CO₂ greenhouse gas by ammonia scrubbing,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 36, no. 6, pp. 2490–2493, 1997, doi: 10.1021/ie960748j.
- [11] Z. Lating *et al.*, “Pemberdayaan Masyarakat Sebagai Upaya Pemanfaatan Insenerator Dalam Mengelolah Sampah Anorganik,” *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 3, pp. 55–59, 2021.
- [12] F. Primajodi, A. Sudrajad, and Y. Yusuf, “Emisi Karbon Dioksida Dan Hidrokarbon Pada Incinerator Dengan Penyaring Udara Berbasis Electrostatic Precipitator _Fani Primajodi,” *J. Tek. Mesin*, pp. 1–10, 2022.
- [13] B. Martana, S. Sulasminingsih, and M. A. Lukmana, “Perencanaan Dan Uji Performa Alat Pembakar Sampah Organik,” *Bina Tek.*, vol. 13, no. 1, p. 65, 2017, doi: 10.54378/bt.v13i1.22.
- [14] A. Sudrajad and I. Syaefulloh, “Performance and Pollution Control Analysis of Municipal Solid Waste Incinerator Type Fluidized Bed,” *Eng. Res.*, vol. 210, pp. 402–404, 2022, doi: 10.2991/aer.k.220131.060.
- [15] L. M. Arief, *Pengolahan Limbah Industri*. Yogyakarta: CV ANDI OFFSET, 2016.
- [16] T. M. Linda, *Ecobrick Solusi Penanganan Sampah Plastik*. Jakarta: CV Graf Literasi, 2021.
- [17] N. H. A. A, S. Prajogo, and A. S. Kurniasetiawati, “Perancangan Wet Scrubber Kapasitas 0,72 m³/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.
- [18] 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. Lingkung.*, vol. 17, no. 2, pp. 144–153, 2020, doi: 10.14710/presipitasi.v17i2.144-153.

- [19] R. B. Waode Nurul Roisyah Aminy Budiman, "Percanaan Emisi PM 10 pada Industri Peleburan Baja Cilegon - Banten," pp. 1–124, 2018.
- [20] I. Kurniawan, A. Sholeh, and P. D. Mariadi, "Pemeriksaan Amonia dalam Air Menggunakan Metode Fenat dengan Variasi Suhu dan Waktu Inkubasi," *Gunung Djati Conf. Ser.*, vol. 7, pp. 77–82, 2022.
- [21] H. H. Dahlan, E. Dewi, and A. S. Utami, *Modul Ajar Proses Industri Kimia*. Palembang: Bening Media Publishing, 2023.
- [22] N. Fardhilah, *Memahami Unsur, Senyawa, dan Campuran*. Semarang: ALPRIN, 2019.
- [23] V. V. Kosegeran, E. Kendekallo, S. R. U. A. Sompie, and B. Bahrin, "Perancangan alat ukur kadar karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan hidro karbon (HC) pada gas buang kendaraan bermotor," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 2, no. 3, pp. 50–56, 2013, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/2146>
- [24] Philip Kristanto, "Sistem Injeksi Hidrogen untuk Mengurangi Emisi Hidrokarbon," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 122–126, 1999,
- [25] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, "Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah secara Termal," *Peratur. Menteri Lingkung. Hidup dan Kehutan. Nomor 70 Tahun 2016*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [26] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun," *Menteri Lingkung. Hidup Dan Kehutan. Republik Indones.*, no. April, pp. 5–24, 2021.

LAMPIRAN

**Data Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran Menggunakan Insinerator
Tanggal 23 Desember 2024**

○ **Pembakaran 1 Kondisi Scrubber Mati**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|-----------|-------------|------------------------|-----------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,69 | 68 | 5,7 | 14,32 |
| 2 | 0,49 | 115 | 3,9 | 16,11 |
| 3 | 0,34 | 70 | 3,4 | 16,80 |
| 4 | 0,27 | 76 | 4,1 | 15,94 |
| 5 | 0,23 | 67 | 4,1 | 15,92 |
| 6 | 0,16 | 56 | 3,3 | 16,87 |
| 7 | 0,18 | 55 | 3,6 | 16,43 |
| 8 | 0,28 | 58 | 5,6 | 14,42 |
| 9 | 0,16 | 51 | 4,2 | 15,83 |
| 10 | 0,23 | 47 | 3,4 | 16,85 |
| Rata-Rata | 0.303 | 66.3 | 4.13 | 15.949 |

○ **Pembakaran 2 Kondisi Scrubber Mati**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|-----------|-------------|------------------------|-----------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0.23 | 41 | 3.8 | 15.94 |
| 2 | 0,68 | 55 | 12,5 | 7,16 |
| 3 | 0,48 | 63 | 6,6 | 13,41 |
| 4 | 0,70 | 56 | 10,9 | 8,78 |
| 5 | 0,27 | 41 | 5,3 | 14,87 |
| 6 | 0,44 | 38 | 6,3 | 13,66 |
| 7 | 0,25 | 46 | 3,5 | 16,06 |
| 8 | 0.09 | 49 | 2.6 | 17.75 |
| 9 | 0.31 | 51 | 3 | 17.23 |
| 10 | 0.16 | 62 | 2.5 | 17.88 |
| Rata-Rata | 0.361 | 50.2 | 5.7 | 14.274 |

○ **Pembakaran 3 Kondisi Scrubber Mati**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|-----------|-------------|------------------------|-----------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,44 | 74 | 3,3 | 16,83 |
| 2 | 0,33 | 76 | 3,1 | 17,16 |
| 3 | 0,20 | 47 | 5,5 | 14,49 |
| 4 | 0,26 | 60 | 7,2 | 12,65 |
| 5 | 0,41 | 81 | 9,2 | 10,43 |
| 6 | 0,22 | 50 | 7,7 | 11,88 |
| 7 | 0,73 | 97 | 8,7 | 10,81 |
| 8 | 0,35 | 69 | 6,3 | 13,44 |
| 9 | 0,30 | 63 | 5,6 | 14,29 |
| 10 | 0,16 | 52 | 4,2 | 15,78 |
| Rata-Rata | 0.34 | 66.9 | 6.08 | 13.776 |

**Data Emisi Gas Buang Menggunakan Cairan Amonia Pada Scrubber
Tanggal 25 Desember 2024**

- **Pembakaran 1 Kondisi Scrubber Nyala Dengan Cairan Amonia
Konsentrasi 1%**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|-----------|-------------|------------------------|-----------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,03 | 16 | 1,8 | 19,05 |
| 2 | 0,04 | 21 | 2,5 | 18,08 |
| 3 | 0,05 | 24 | 3,2 | 17,04 |
| 4 | 0,25 | 23 | 3,4 | 16,98 |
| 5 | 0,14 | 17 | 2,5 | 18,19 |
| 6 | 0,13 | 16 | 2,7 | 18,06 |
| 7 | 0,10 | 12 | 2,0 | 18,85 |
| 8 | 0,06 | 0 | 2,0 | 18,75 |
| 9 | 0,41 | 0 | 4,1 | 15,74 |
| 10 | 0,09 | 11 | 1,9 | 19,22 |
| Rata-Rata | 0.13 | 14 | 2.61 | 17.996 |

- **Pembakaran 2 Kondisi Scrubber Nyala dengan cairan amonia konsentrasi 1%**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|--------|----------|---------------------|--------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,09 | 29 | 3,4 | 16,75 |
| 2 | 0,11 | 31 | 3,1 | 17,02 |
| 3 | 0,09 | 16 | 1,8 | 19,11 |
| 4 | 0,09 | 14 | 2,0 | 18,93 |
| 5 | 0,19 | 20 | 3,4 | 17,01 |
| 6 | 0,19 | 28 | 3,1 | 17,03 |
| 7 | 0,08 | 19 | 1,7 | 19,32 |
| 8 | 0,12 | 20 | 2,2 | 18,69 |
| 9 | 0,00 | 34 | 0,8 | 19,91 |
| 10 | 0,00 | 29 | 0,0 | 20,54 |
| Rata-Rata | 0.096 | 24 | 2.15 | 18.431 |

- **Pembakaran 3 Kondisi Scrubber Nyala dengan cairan amonia konsentrasi 1%**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|--------|----------|---------------------|--------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,22 | 38 | 2,5 | 17,86 |
| 2 | 0,17 | 38 | 3,3 | 16,55 |
| 3 | 0,21 | 37 | 2,7 | 17,70 |
| 4 | 0,14 | 31 | 2,3 | 18,85 |
| 5 | 0,16 | 30 | 2,2 | 18,32 |
| 6 | 0,15 | 28 | 2,2 | 18,43 |
| 7 | 0,12 | 30 | 2,0 | 18,53 |
| 8 | 0,13 | 31 | 2,0 | 18,47 |
| 9 | 0,16 | 38 | 2,7 | 17,52 |
| 10 | 0,16 | 30 | 3,1 | 16,89 |
| Rata-Rata | 0.162 | 33.1 | 2.5 | 17.912 |

- **Pembakaran 1 Kondisi Scrubber Nyala dengan cairan amonia konsentrasi 3%**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|--------|----------|---------------------|--------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,00 | 1 | 0,2 | 20,34 |
| 2 | 0,02 | 17 | 1,3 | 19,36 |
| 3 | 0,01 | 18 | 1,1 | 19,55 |
| 4 | 0,04 | 19 | 1,9 | 18,47 |
| 5 | 0,03 | 20 | 1,8 | 18,51 |
| 6 | 0,04 | 22 | 2,3 | 17,77 |
| 7 | 0,05 | 25 | 1,8 | 18,30 |
| 8 | 0,12 | 27 | 2,8 | 16,91 |
| 9 | 0,05 | 27 | 2,4 | 17,71 |
| 10 | 0,05 | 27 | 2,3 | 17,69 |
| Rata-Rata | 0.041 | 20.3 | 1.79 | 18.461 |

- **Pembakaran 2 Kondisi Scrubber Nyala dengan cairan amonia konsentrasi 3%**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|--------|----------|---------------------|--------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,04 | 4 | 1,3 | 19,21 |
| 2 | 0,15 | 21 | 2,1 | 18,13 |
| 3 | 0,07 | 11 | 1,7 | 18,96 |
| 4 | 0,22 | 18 | 1,8 | 18,55 |
| 5 | 0,11 | 4 | 1,8 | 18,51 |
| 6 | 0,15 | 9 | 2,9 | 17,26 |
| 7 | 0,17 | 10 | 2,9 | 17,18 |
| 8 | 0,15 | 10 | 2,8 | 17,56 |
| 9 | 0,24 | 15 | 3,1 | 16,56 |
| 10 | 0,15 | 10 | 2,9 | 17,32 |
| Rata-Rata | 0.145 | 11.2 | 2.33 | 17.924 |

- **Pembakaran 3 Kondisi Scrubber Nyala dengan cairan amonia konsentrasi 3%**

| Nilai Emisi Gas Buang | | | | |
|-----------------------|--------|----------|---------------------|--------------------|
| Data ke- | Emisi | | | |
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0,08 | 2 | 2,8 | 17,12 |
| 2 | 0,19 | 11 | 3,2 | 16,42 |
| 3 | 0,18 | 10 | 3,0 | 16,79 |
| 4 | 0,18 | 9 | 3,2 | 16,60 |
| 5 | 0,11 | 10 | 2,4 | 17,96 |
| 6 | 0,17 | 12 | 2,9 | 17,17 |
| 7 | 0,09 | 6 | 2,1 | 18,34 |
| 8 | 0,15 | 11 | 2,8 | 17,30 |
| 9 | 0,15 | 10 | 2,9 | 17,12 |
| 10 | 0,15 | 9 | 2,9 | 17,20 |
| Rata-Rata | 0.145 | 9 | 2.82 | 17.202 |

- **Data Optimum Nilai Emisi Gas Buang CO, HC, CO₂, Dan O₂**
 - **Kondisi Scrubber Non-Aktif tanpa cairan amonia (AA0)**

| Pembakaran | Rata-Rata Nilai Emisi | | | |
|------------------|-----------------------|----------|---------------------|--------------------|
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0.278 | 73.17 | 3.73 | 16.35 |
| 2 | 0.470 | 49.83 | 7.52 | 15.66 |
| 3 | 0.358 | 68.50 | 6.90 | 12.90 |
| Rata-Rata | 0.369 | 63.83 | 6.05 | 14.97 |

➤ **Kondisi Scrubber Nyala dengan cairan amonia konsentrasi 1% (AA1)**

| Pembakaran | Rata-Rata Nilai Emisi | | | |
|------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-----------------------|
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0.118 | 18.83 | 2.72 | 17.87 |
| 2 | 0.125 | 21.33 | 2.52 | 18.07 |
| 3 | 0.158 | 32.33 | 2.45 | 18.06 |
| Rata-Rata | 0.134 | 24.17 | 2.56 | 18.0 |

➤ **Kondisi Scrubber Nyala dengan cairan amonia konsentrasi 3% (AA3)**

| Pembakaran | Rata-Rata Nilai Emisi | | | |
|------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-----------------------|
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| 1 | 0.032 | 20.17 | 1.70 | 18.66 |
| 2 | 0.145 | 12.17 | 2.20 | 18.10 |
| 3 | 0.153 | 9.67 | 2.80 | 17.21 |
| Rata-Rata | 0.110 | 14.0 | 2.23 | 17.991 |

Perhitungan Persentase Emisi Gas Buang

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{0,118 - 0,278}{0,278} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 57,49\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{0,125 - 0,47}{0,47} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 73,4\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{0,158 - 0,358}{0,358} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 55,81\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{0,032 - 0,278}{0,278} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 88,62\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{0,145 - 0,47}{0,47} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 69,15\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{0,153 - 0,358}{0,358} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 57,21\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas HC Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{18,83 - 73,17}{73,17} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 74,26\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas HC Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{21,33 - 48,83}{48,83} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 57,19\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas HC Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{32,33 - 68,5}{68,5} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 52,8\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas HC Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{20,17 - 73,17}{73,17} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 72,44\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas HC Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{12,17 - 49,83}{49,83} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 75,59\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas HC Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{9,67 - 68,5}{68,5} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 85,89\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO₂ Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{2,72 - 3,73}{3,73} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 27,23\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO₂ Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{2,52 - 7,52}{7,52} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 66,52\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO_2 Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{2,45 - 6,9}{6,9} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 64,49\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO_2 Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{1,7 - 3,73}{3,73} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 54,46\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO_2 Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{2,2 - 7,52}{7,52} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 70,73\%$$

- **Pesentase Penurunan Emisi Gas CO_2 Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Penurunan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = \frac{2,8 - 6,9}{6,9} \times 100\%$$

$$\%Penurunan = 59,42\%$$

- **Pesentase Kenaikan Emisi Gas O_2 Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Kenaikan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = \frac{17,87 - 16,35}{16,35} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = 9,31\%$$

- **Pesentase Kenaikan Emisi Gas O_2 Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Kenaikan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = \frac{18,07 - 15,6}{15,66} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = 15,41\%$$

- **Pesentase Kenaikan Emisi Gas O_2 Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

$$\%Kenaikan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 1\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = \frac{18,06 - 12,9}{12,9} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = 39,99\%$$

- **Pesentase Kenaikan Emisi Gas O_2 Pembakaran 1 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Kenaikan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = \frac{18,46 - 15,95}{15,95} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = 15\%$$

- **Pesentase Kenaikan Emisi Gas O_2 Pembakaran 2 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Kenaikan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = \frac{18,1 - 15,66}{15,66} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = 15,6\%$$

- **Pesentase Kenaikan Emisi Gas O_2 Pembakaran 3 dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

$$\%Kenaikan = \frac{\text{Nilai Ventury Amonia 3\%} - \text{Nilai Ventury Mati}}{\text{Nilai Ventury Mati}} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = \frac{17,21 - 12,9}{12,9} \times 100\%$$

$$\%Kenaikan = 33,40\%$$

Perhitungan Rata-Rata Penurunan Nilai Emisi Gas Pembakaran Sebanyak Tiga Kali Dengan Kondisi Ventury Menyala Menggunakan Larutan Amonia Konsentrasi 1% dan 3%

- **Larutan Amonia Konsentrasi 1%**

- a. Gas CO

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = \frac{57,49 + 73,40 + 55,81}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = 62,23\%$$

- b. Gas HC

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = \frac{74,26 + 57,19 + 52,8}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = 61,42\%$$

- c. Gas CO_2

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = \frac{27,23 + 66,52 + 64,49}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = 52,75\%$$

- d. Gas O_2

$$\text{Rata - Rata \%Kenaikan} = \frac{9,31 + 15,41 + 39,99}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Kenaikan} = 21,57\%$$

- **Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

- Gas CO

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = \frac{88,62 + 69,15 + 57,21}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = 71,66\%$$

- Gas HC

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = \frac{72,44 + 75,59 + 85,89}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = 77,97\%$$

- Gas CO₂

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = \frac{54,46 + 70,73 + 59,42}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Penurunan} = 61,54\%$$

- Gas O₂

$$\text{Rata - Rata \%Kenaikan} = \frac{14,16 + 15,6 + 33,40}{3}$$

$$\text{Rata - Rata \%Kenaikan} = 21,05\%$$

- **Nilai Penurunan dan Kenaikan Emisi Gas Buang Larutan Amonia Konsentrasi 1% dan Larutan Amonia Konsentrasi 3%**

| Variabel | Emisi Gas Buang | | | |
|---|-----------------|----------|---------------------|--------------------|
| | CO (%) | HC (ppm) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
| Ventury Wet Scrubber Menyala Dengan Larutan Amonia Konsentrasi 1% (AA1) | -62.23 | -61.42 | -52.75 | +21.57 |
| Ventury Wet Scrubber Menyala Dengan Larutan Amonia Konsentrasi 3% (AA3) | -71.66 | -77.97 | -61.54 | +21.05 |

Perhitungan Takaran Larutan Amonia

Rumus yang digunakan:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Keterangan:

C_1 = Konsentrasi larutan awal

V_1 = Volume larutan awal

C_2 = Konsentrasi larutan akhir

V_2 = Volume larutan akhir

- Perhitungan Larutan Cairan Amonia Konsentrasi 1%
 - $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$
 - $25\% \times V_1 = 1\% \times 15l$
 - $V_1 = \frac{1\% \times 15l}{25\%}$
 - $V_1 = 0,6 \text{ liter}$
- Perhitungan Larutan Cairan Amonia Konsentrasi 3%
 - $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$
 - $25\% \times V_1 = 1\% \times 15l$
 - $V_1 = \frac{3\% \times 15l}{25\%}$
 - $V_1 = 1,8 \text{ liter}$
 -

Perhitungan Konversi Nilai Emisi Gas CO Kedalam % ke mg/Nm^3

- Larutan Amonia Konsentrasi 1% (0,118%)

➤ Konversi dari Persen Volume ke mg/Nm^3 :

$$\text{Nilai dalam } mg/Nm^3: \frac{0,118}{100} \times 10.000 = 1180 \text{ } mg/Nm^3$$

- Larutan Amonia Konsentrasi 3% (0,032%)

➤ Konversi dari Persen Volume ke mg/Nm^3 :

$$\text{Nilai dalam } mg/Nm^3: \frac{0,032}{100} \times 10.000 = 320 \text{ } mg/Nm^3$$

DOKUMENTASI PENELITIAN

