

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 (NO_x) 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 NO_x 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].

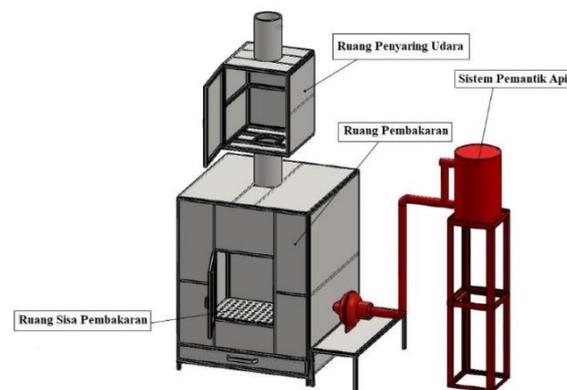
7. *“REMOVAL OF CO₂ GREENHOUSE GAS BY AMMONIA SCRUBBING”*

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.

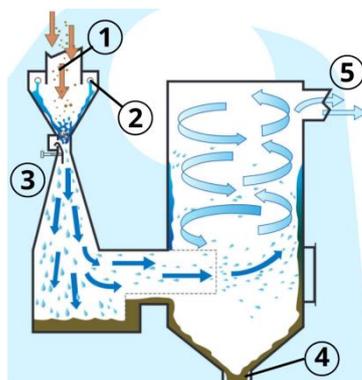
3. Karakteristik Biologi

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.

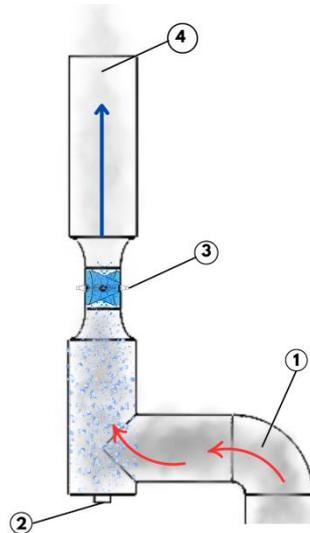
3. Mekanisme gerak *Brown*, gerak tidak teratur yang dihasilkan oleh benturan acak molekul gas, digunakan oleh partikel berukuran sangat kecil. Saat *droplet* menyebar, partikel-partikel ini ditangkap. Kumpulan karena difusi adalah proses yang paling penting untuk partikel dengan diameter kurang dari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

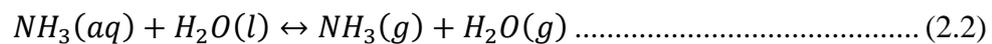
Adapun sifat - sifat yang dimiliki amonium hidroksida diantaranya yaitu, sebagai berikut:

- 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:

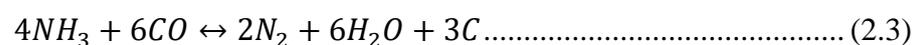


Ketika larutan amonia dipanaskan, terutama pada suhu tinggi, amonia dapat terurai menjadi gas amonia (NH_3) dan uap air (H_2O). Semakin tinggi suhu, semakin cepat proses dekomposisi ini terjadi. Pada suhu tinggi, energi kinetik molekul meningkat, sehingga molekul amonia lebih mudah untuk menguap.

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

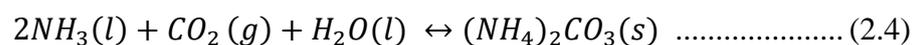
memiliki densitas energi yang tinggi yang membantu dalam mengurangi emisi CO dengan meningkatkan efisiensi pembakaran[4].

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.

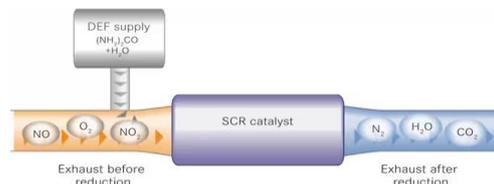
2.8. Teknologi *Spray* Amonia Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang

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 (NOx) 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 (NOx) menjadi gas nitrogen (N_2) dan uap air (H_2O) 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 NOx 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 NOx yang sangat tinggi, mencapai 90-95%.



Gambar 2.6 *Selective Catalytic Reduction (SCR)*

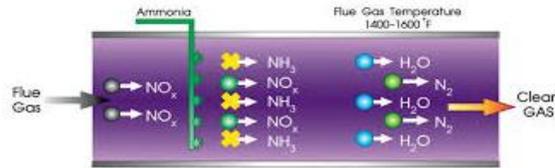
(Sumber: Edmuds.com)

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].



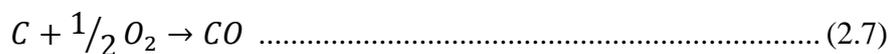
Gambar 2.8 Emisi Gas Buang Industri

(Sumber: Rimbakita.com)

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

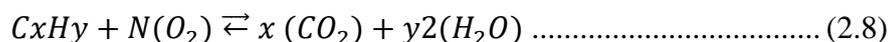
1. Karbon Monoksida

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.)