

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Emisi Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) merupakan hasil samping dari proses pembakaran pada mesin diesel yang terjadi ketika suhu pembakaran tinggi dan terdapat kelebihan oksigen di dalam ruang bakar. Gas NO<sub>x</sub> terdiri dari senyawa seperti nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) yang bersifat reaktif dan berbahaya bagi lingkungan maupun kesehatan manusia. Keberadaan NO<sub>x</sub> di udara dapat memicu terbentuknya ozon di permukaan bumi, menyebabkan iritasi saluran pernapasan, serta berkontribusi terhadap terjadinya hujan asam yang dapat merusak ekosistem dan material logam. Oleh karena itu, emisi NO<sub>x</sub> menjadi salah satu fokus utama dalam pengendalian pencemaran udara yang diatur dalam berbagai regulasi emisi mesin pembakaran.

Sedangkan Carbon Monoksida (CO) merupakan gas beracun yang terbentuk akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna di dalam mesin. Gas ini tidak berwarna dan tidak berbau, namun sangat berbahaya karena dapat mengikat hemoglobin dalam darah lebih kuat dibanding oksigen, sehingga menghambat distribusi oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Paparan CO dalam jumlah tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan, pusing, bahkan keracunan serius. Selain itu, gas CO juga berperan dalam pembentukan ozon di lapisan troposfer yang berdampak negatif terhadap kualitas udara dan kesehatan manusia. (Shipyards et al., n.d.).

Amonia dapat digunakan sebagai solusi mengurangi NO<sub>x</sub> di mana amonia bereaksi dengan NO<sub>x</sub> membentuk nitrogen (N<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O), sehingga secara signifikan menurunkan kadar NO<sub>x</sub> (Sawitri, 2019). Larutan amonia akan disemprotkan ke dalam exhaust sehingga emisi akan bereaksi dengan larutan amonia, metode ini biasanya disebut metode SCR untuk *Selective Catalytic Reduction* dan SNCR *Selective Non-Catalytic Reduction*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan suatu rangkaian eksperimen menggunakan mesin diesel merek Weifang 2105D. Tujuan dari eksperimen ini untuk mengkaji sekaligus membuktikan bagaimana pengaruh penyemprotan fluida reduktif terhadap karakteristik emisi gas buang yang dihasilkan mesin bagaimana mesin diesel Weifang yang digunakan belum memiliki treatment emisi gas buang. Dengan pengujian ini diharapkan dapat diperoleh data empiris yang mampu menunjukkan sejauh mana penerapan metode penyemprotan fluida reduktif dapat menurunkan kadar polutan serta meningkatkan kualitas emisi yang dihasilkan. Maka berdasarkan uraian diatas, diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan yang lebih dalam pengendalian polusi udara terlebih khusus pada mesin diesel. Sehingga peneliti tertarik melakukan penelitian dengan judul **"PENGARUH PENYEMPROTAN FLUIDA REDUKTIF TERHADAP EMISI GAS BUANG PADA**

## **MESIN DIESEL”.**

### **1.2 Teori**

#### **1.2.1 Emisi Gas Buang**

Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran mesin dari berbagai jenis kendaraan, termasuk kendaraan beroda, perahu/kapal, dan pesawat terbang. Emisi ini terjadi akibat proses pembakaran yang tidak sempurna pada sistem pembuangan dan pembakaran mesin, serta partikel yang dihasilkan karena kurangnya oksigen saat pembakaran berlangsung (Widiatmika, 2015).

#### **1.2.2 Karakteristik Emisi pada Mesin Diesel**

Oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) mencakup NO, NO<sub>2</sub>, dan senyawa oksida nitrogen lainnya. Salah satu komponen utamanya adalah nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), gas berwarna coklat kemerahan yang sangat reaktif dan terbentuk di udara melalui oksidasi nitrogen monoksida (NO). Sumber utama emisi NO<sub>x</sub> dari aktivitas manusia berasal dari proses pembakaran pada suhu tinggi.

NO<sub>x</sub> memiliki peran penting dalam pembentukan ozon di permukaan bumi melalui reaksi dengan senyawa organik volatil (VOC) di bawah pengaruh sinar matahari. Selain itu, nitrogen oksida turut berkontribusi pada timbulnya hujan asam dan berdampak pada lingkungan, seperti perubahan komposisi serta persaingan spesies tumbuhan di ekosistem lahan basah maupun daratan, menurunnya jarak pandang, pengasaman air tawar, serta eutrofikasi (pertumbuhan alga berlebihan yang mengurangi kadar oksigen di air) di wilayah pesisir dan muara. Hal ini juga dapat meningkatkan kandungan zat beracun yang berbahaya bagi ikan serta biota akuatik lainnya.

Dari sisi kesehatan, NO<sub>x</sub> menimbulkan risiko serius bagi manusia. Untuk mengendalikan emisi NO<sub>x</sub> dari mesin diesel, diberlakukan survei dan persyaratan sertifikasi yang menghasilkan penerbitan Sertifikat Pencegahan Polusi Udara Internasional Mesin (EIAPP). Kepatuhan lebih lanjut diwajibkan melalui peraturan 13.8 dan 5.3.2 dalam Kode Teknis NO<sub>x</sub> 2008 (resolusi MEPC.177(58)) (Shipyard et al., n.d.).

NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oksida) merupakan kelompok gas yang berada di atmosfer dan tersusun terutama atas nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Meskipun terdapat jenis nitrogen oksida lainnya, kedua senyawa ini merupakan polutan udara yang paling dominan. Nitrogen monoksida bersifat tidak berwarna dan tidak berbau, sedangkan nitrogen dioksida memiliki ciri berwarna coklat kemerahan dengan aroma yang tajam. Nitrogen oksida terbentuk dari reaksi antara nitrogen dan oksigen pada suhu tinggi, seperti yang terjadi dalam proses pembakaran pada mesin kendaraan maupun pembangkit listrik. Senyawa ini berperan sebagai penyebab pencemaran udara, pembentukan kabut asap, serta hujan asam, dan memberikan dampak buruk bagi kesehatan serta lingkungan. Faktor utama yang memengaruhi

pembentukan NOx adalah suhu dan kandungan oksigen. Semakin tinggi temperatur pembakaran dan semakin lama gas berada di dalam silinder, semakin besar pula jumlah NOx termal yang dihasilkan (Widiatmika, 2015).

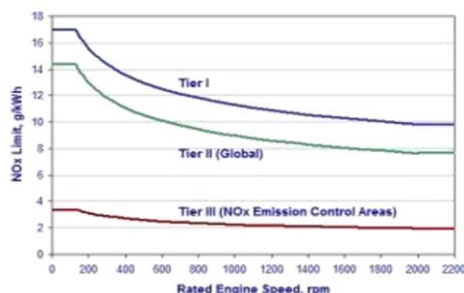
Karbon monoksida (CO) yang keluar melalui knalpot akan bercampur dengan udara sekitar. Jika terhirup oleh manusia, gas ini masuk ke saluran pernapasan, kemudian ke paru-paru, dan selanjutnya berikatan dengan hemoglobin dalam darah membentuk karboksihemoglobin (COHb). Semakin tinggi kadar CO yang masuk ke tubuh, semakin besar pula risiko yang ditimbulkan, bahkan bisa berakibat fatal hingga kematian. Karena sifatnya yang berupa gas tidak berbau, tidak berwarna, namun sangat beracun, CO dikenal sebagai silent killer.

Daya ikat CO terhadap hemoglobin jauh lebih kuat dibanding oksigen, yakni sekitar 240 kali lipat. Jika kadar HbCO dalam darah meningkat, tubuh akan mulai menunjukkan gejala. Pada kadar HbCO 10% dapat muncul sakit kepala, 20% menyebabkan mual dan sesak napas, 30% menimbulkan gangguan penglihatan dan penurunan konsentrasi, 40–50% bisa menyebabkan pingsan atau koma, dan jika berlanjut dapat berakhir dengan kematian. Paparan jangka panjang juga bisa menimbulkan gangguan saraf, serangan jantung, stroke, hingga kematian janin dalam kandungan.

Sumber utama peningkatan CO dalam darah berasal dari asap rokok dan emisi kendaraan bermotor. Di lingkungan dalam ruangan, gas ini juga bisa menimbulkan building associated illnesses yang ditandai dengan gejala seperti sakit kepala, mual, dan muntah. Karbon monoksida sendiri adalah gas beracun yang tidak berwarna, tidak berbau, mudah terbakar, dan merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar atau senyawa yang mengandung karbon (Maryanto et al., 2014).

Adapun aturan emisi gas buang pada mesin diesel diatur pada marpol annex VI regulasi 13. (Fitzmaurice, 2023)

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 January 2000	17.0	45.n-0.2 e.g. 720 rpm - 12.1	9.8
II	1 January 2011	14.4	44.n-0.23 e.g. 720 rpm - 9.7	7.7
III	1 January 2016	3.4	9.n-0.2 e.g. 720 rpm - 2.4	2.0



Gambar 1. Aturan Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel Menurut Marpol Annex VI Regulasi 13

Dimana :

- Tier I, yang diatur dalam Lampiran VI tahun 1997, berlaku bagi mesin

diesel yang dipasang pada kapal dengan tanggal pembangunan antara 1 Januari 2000 hingga 1 Januari 2011, dengan batas emisi sebesar 17 g/kWh.

- Tier II dan Tier III ditetapkan melalui amandemen Lampiran VI tahun 2008. Untuk Tier II, mesin diesel pada kapal yang dibangun setelah 1 Januari 2011 dibatasi emisi NO<sub>x</sub>-nya hingga 14,4 g/kWh. Sementara itu, pada Tier III, mesin diesel pada kapal yang dibangun sejak 1 Januari 2016 harus memenuhi batas emisi lebih ketat, yakni 3,4 g/kWh, saat beroperasi di area pengendalian emisi (ECA). Apabila beroperasi di luar ECA, maka batas Tier II tetap diberlakukan.
- Ketentuan Tier I juga berlaku bagi mesin diesel laut dengan daya lebih dari 5.000 kW dan kapasitas silinder ≥ 90 liter yang dipasang pada kapal yang dibangun antara 1 Januari 1990 hingga 1 Januari 2000. Untuk mesin tersebut, metode pengendalian yang telah disetujui dan disertifikasi wajib diterapkan sesuai dengan Kode Teknis NO<sub>x</sub>.
- Kode Teknis NO<sub>x</sub> sendiri mengatur prosedur wajib pengujian, survei, dan sertifikasi mesin diesel laut. Prosedur ini bertujuan agar produsen mesin, pemilik kapal, serta otoritas terkait dapat memastikan bahwa seluruh mesin diesel laut yang termasuk dalam ketentuan memenuhi batas emisi NO<sub>x</sub> sebagaimana tercantum dalam Peraturan 13 Lampiran VI.

Berikut adalah peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2021 tentang baku mutu emisi mesin dengan pembakaran dalam:

BAKU MUTU EMISI MESIN DENGAN PEMBAKARAN DALAM ATAU *GENSET*

No	Kapasitas	Bahan Bakar	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm <sup>3</sup> )
1.	101 – 500 KW	Minyak	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	3400
			Karbon Monoksida (CO)	170
		Gas	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	300
			Karbon Monoksida (CO)	450
2.	501 KW – 1000 KW	Minyak	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	1850
			Karbon Monoksida (CO)	77
			total partikulat	95
			Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	160
		Gas	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	300
			Karbon Monoksida (CO)	250
			Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	150
3.	1001 KW – 3000 KW	Minyak	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	2300
			Karbon Monoksida (CO)	168
			total partikulat	90
		Gas	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	150
			Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	285
			Karbon Monoksida (CO)	250
		Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	60	

Gambar 2. Baku Mutu Emisi Mesin Dengan Pembakaran Dalam atau Genset

(Lingkungan et al., 2021)

### 1.2.3 Amonia

Amonia dapat bersifat toxic bagi manusia apabila jumlah yang masuk ke dalam tubuh melebihi kemampuan sistem detoksifikasi. Zat ini dapat masuk melalui sistem pernapasan maupun pencernaan. Risiko utama berasal dari terhirupnya uap amonia, yang dapat menimbulkan iritasi pada mata, kulit, serta saluran pernapasan. Keberadaan amonia di perairan umumnya merupakan hasil penguraian senyawa nitrogen organik, misalnya protein dan urea, maupun nitrogen anorganik dari dekomposisi sisa organisme seperti tumbuhan dan biota laut yang mati. Proses penguraian tersebut dilakukan oleh mikroba dan jamur melalui mekanisme amonifikasi.

Menurut ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*), lembaga kesehatan masyarakat federal yang berfokus pada limbah berbahaya, larutan amonia dengan konsentrasi 35–50% berupa cairan bening tidak berwarna, yang terdiri dari amonia terlarut dalam air. Senyawa ini bersifat korosif terhadap jaringan biologis maupun logam. Walaupun amonia lebih ringan daripada udara, uap yang keluar akibat kebocoran pada awalnya dapat berada dekat permukaan tanah. Paparan jangka panjang pada konsentrasi rendah maupun paparan sesaat dengan konsentrasi tinggi berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan serius akibat inhalasi.

Bahan dasar pembuatan amonia adalah nitrogen ( $N_2$ ) dan hidrogen ( $H_2$ ) dengan perbandingan mol 1 : 3. Reaksi kimia pembentukannya dinyatakan sebagai berikut:



Amonia yang dilarutkan dalam air dikenal sebagai amonia rumah tangga atau amonium hidroksida. Dalam bentuk larutan, amonia akan terionisasi menjadi ion amonium ( $NH_4^+$ ) dan ion hidroksida ( $OH^-$ ), yang menyebabkan larutan bersifat basa. Konsentrasi larutan amonia umumnya dinyatakan dalam satuan Baumé. Pada kondisi komersial, larutan amonia pekat biasanya memiliki konsentrasi sekitar 26° Baumé, setara dengan ±30% berat amonia pada suhu 15,5 °C (Mesin et al., 2025).



Gambar 3. Larutan Amonia 25%

Gas amonia pada konsentrasi rendah sudah mampu menimbulkan aroma khas yang tajam dan mudah terdeteksi. Pada tingkat konsentrasi menengah, paparan amonia dapat menyebabkan iritasi pada mata serta gangguan pada

saluran pernapasan. Sementara itu, pada kadar yang lebih tinggi, amonia berpotensi menimbulkan kerusakan jaringan berupa ulkus pada mata serta iritasi berat pada sistem pernapasan. Menurut Nasional Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1992, Departement of Helath and Human Service, U.S. kadar efek kesehatan dari amonia dalam tabel berikut:

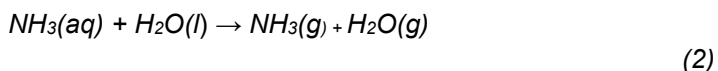
Table 1. Data Efek Kesehatan dari Amonia

Kadar (ppm)	Respon Kesehatan
24-50	Iritasi mata dan saluran pernapasan atas setelah sepuluh menit paparan.
51-130	Iritasi hidung dan tenggorokan.
500-1720	Perubahan tingkat pernapasan dan timbul batuk.
2500-6500	Sesak napas dengan cepat, luka bakar (mata, wajah dan mulut)
Diatas 10.000	Edema paru, berpotensi fatal akumulasi cairan di paru-paru dan kematian

(Siswanti et al., 2016)

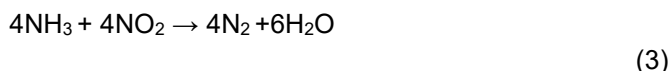
#### 1.2.4 Reaksi Amonia Terhadap Emisi Gas Buang (NOx)

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 NOx. Berikut ini merupakan reaksi antara amonia dan NOx:

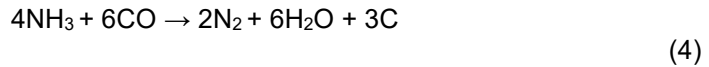


Reaksi ini mengubah NOx menjadi nitrogen ( $N_2$ ) dan uap air, yang tidak berbahaya, sehingga sangat penting dalam pengendalian pencemaran udara. (Mesin et al., 2025)

#### 1.2.5 Reaksi Amonia Terhadap Emisi Gas Buang CO

Amonia bisa bereaksi dengan gas karbon monoksida (CO) jika berada pada suhu tinggi, seperti yang terjadi dalam pembakaran mesin diesel atau proses

pembakaran lain yang menghasilkan panas tinggi. Pada kondisi tersebut, amonia dan CO akan mengalami reaksi kimia seperti berikut:

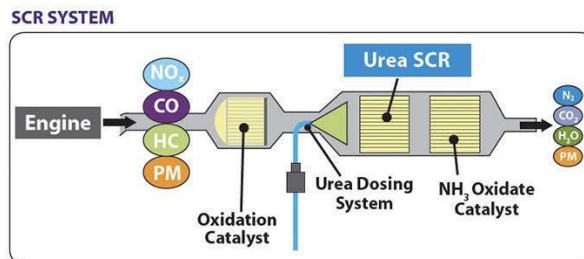


Hasil dari reaksi antara amonia dengan Gas CO adalah menghasilkan nitrogen dan juga air. Hal ini disebabkan karena amonia memiliki densitas energi yang tinggi yang membantu dalam mengurangi emisi CO dengan meningkatkan efisiensi pembakaran. (Mesin et al., 2025)

### 1.2.6 Teknologi Spray Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang

Dalam perkembangannya amonia banyak digunakan sebagai alternatif dalam mengurangi emisi gas berbahaya. Amonia dipercaya dapat mengurangi gas berbahaya seperti nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) yang sering dihasilkan dari pembakaran pada dunia industri maupun transportasi. Adapun penerapan teknologi ini yaitu sebagai berikut:

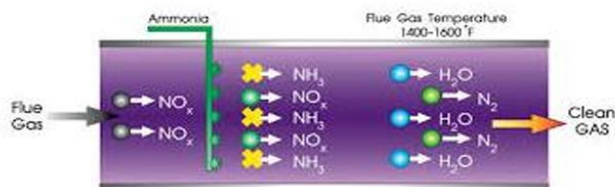
*Selective Catalytic Reduction* (SCR) adalah teknologi pengendali emisi yang menggunakan katalis untuk mereduksi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) menjadi gas nitrogen (N<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O) yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Prinsip kerja dari SCR ini adalah dengan cara menyemprotkan bahan reduktor seperti gas amonia, cairan amonia atau larutan urea kedalam aliran gas buang. Bahan ini kemudian bereaksi dengan NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> yang sangat tinggi, mencapai 90-95%.



Gambar 4. *Selective Catalytic Reduction* (SCR)

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.

*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<sub>x</sub>) menjadi gas nitrogen (N<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O). Dalam proses SNCR ini bahan reduktor seperti gas amonia atau larutan urea disemprotkan langsung ke dalam zona suhu optimal gas buang, yaitu antara 900-1100° C. Tanpa keberadaan katalis, reaksi hanya mengandalkan panas untuk mendorong penguraian NO<sub>x</sub>. Adapun efisiensi dari penggunaan SNCR ini yaitu hanya berkisar 30-70% (Mesin et al., 2025).



Gambar 5. *Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)*

*Reduksi Katalitik Selektif (SCR)* dan *Reduksi Non-Katalitik Selektif (SNCR)* NO<sub>x</sub> adalah dua teknologi pasca-pembakaran utama, yang umum digunakan dalam instalasi pembakaran besar seperti boiler pembangkit listrik, boiler industri, kilang, insinerator limbah dan mesin diesel. Meskipun SCR memiliki efisiensi pengurangan NO<sub>x</sub> yang lebih tinggi, SCR juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain biaya investasi modal yang tinggi, biaya operasional yang lebih tinggi daripada kebanyakan opsi lain, masa pakai katalis yang terbatas, keracunan katalis, kebutuhan ruang yang besar untuk pemasangan, dan tekanan hulu yang lebih tinggi untuk memungkinkan aliran gas buang melalui katalis. Sebaliknya, SNCR telah mengurangi masalah SCR. Selain itu, SCR dapat digunakan dalam layanan kotor dan fouling serta lebih mudah untuk dimodifikasi. Karena alasan-alasan ini, SNCR paling cocok untuk negara-negara berkembang (Hossain et al., 2007). Selain itu menurut (Shaiful & Ishak, 2011) SNCR berbasis urea merupakan teknologi pengendalian emisi NO<sub>x</sub> yang ekonomis, sederhana, dan efektif untuk sistem pembakaran bersuhu menengah dan kapasitas kecil, terutama di negara berkembang di mana biaya dan ruang instalasi menjadi pertimbangan utama.

### 1.2.7 Larutan

Larutan adalah campuran homogen yang tersusun dari pelarut dan zat terlarut. Dalam kehidupan sehari-hari, larutan umumnya diasosiasikan dengan campuran berbentuk cair, misalnya larutan gula, garam, maupun asam. Larutan memiliki sifat koligatif yang dipengaruhi oleh jumlah partikel zat terlarut, bukan oleh jenis zatnya. Saat zat terlarut dimasukkan ke dalam pelarut, larutan akan mengalami perubahan tertentu, seperti penurunan tekanan uap jenuh, peningkatan titik didih, penurunan titik beku, serta timbulnya tekanan osmosis (Mesin et al., 2025).

Jumlah partikel yang ada di dalam larutan dipengaruhi oleh konsentrasi dan karakteristik larutannya. Berdasarkan kemampuannya menghantarkan arus listrik, larutan terbagi menjadi larutan elektrolit dan nonelektrolit. Larutan nonelektrolit tidak dapat menghantarkan listrik, contohnya glukosa, sukrosa, urea, dan amonia. Sebaliknya, larutan elektrolit mampu menghantarkan listrik.

Oleh karena itu, dalam menentukan campuran yang sesuai pada suatu larutan, diperlukan konsentrasi yang tepat sesuai kebutuhan. Untuk menghitung konsentrasi larutan, digunakan rumus khusus yang dapat membantu menentukan nilainya.

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

(5)

Keterangan:

$C_1$  = konsentrasi larutan awal

$V_1$  = Volume larutan awal

$C_2$  = konsentrasi larutan akhir

$V_2$  = Volume larutan akhir

### 1.2.8 Efisiensi

Efisiensi reduksi emisi digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan proses penyemprotan larutan amonia ( $\text{NH}_3$ ) dalam menurunkan kadar gas buang, khususnya  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  dan  $\text{CO}$ , pada mesin diesel.

Menurut (*China Classification*, 2021) Efisiensi laju reaksi emisi gas buang dapat diperoleh dari rumus berikut:

$$\eta = \frac{C_{sebelum} - C_{sesudah}}{C_{sebelum}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

$C_{sebelum}$  = Konsentrasi emisi gas buang yang diukur sebelum penyemprotan amonia

$C_{sesudah}$  = Konsentrasi emisi gas buang yang diukur sesudah penyemprotan amonia

Nilai efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa proses reduksi dengan  $\text{NH}_3$  berhasil mengikat dan menurunkan kadar  $\text{NO}_x$  secara signifikan. Efisiensi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti:

- Suhu gas buang
- Konsentrasi larutan  $\text{NH}_3$
- Waktu kontak antara  $\text{NH}_3$  dan gas buang

### 1.3 Rumusan Masalah

1. Apakah penyemprotan  $\text{NH}_3$  mempengaruhi konsentrasi  $\text{NO}_x$  dan  $\text{CO}$  pada emisi gas buang?
2. Bagaimana konsentrasi  $\text{NO}_x$  dan  $\text{CO}$  pada emisi gas sebelum dan sesudah penyemprotan  $\text{NH}_3$ ?

### 1.4 Batasan Masalah

Sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir, maka penulis memberikan batasan masalah agar permasalahan yang dibahas tidak erlalu melebar. Batasan masalah yang dibahas dalam tugas akhi ini adalah:

1. Penelitian ini berfokus pada mesin **Weifang tipe 2105D** yang ada pada laboratorium permesinan Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui eksperimen yang dilakukan pada laboratorium permesinan Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Pada penelitian ini berfokus pada emisi gas buang  $\text{NO}_x$  dan  $\text{CO}$  karena keterbatasan alat.
4. Untuk mengetahui pengurangan emisi gas buang dilakukan eksperimen dengan menginjeksikan  $\text{NH}_3$  pada exhaust.

### **1.5 Tujuan dan Manfaat**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penyemprotan NH<sub>3</sub> pada emisi gas buang
2. Mengetahui konsentrasi akhir NOX dan CO setelah dilakukan penyemprotan NH<sub>3</sub> pada emisi gas buang.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain

1. Dapat mengetahui efisiensi pengurangan emisi gas menggunakan fluida reduktif.
2. Dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan upaya pengurangan emisi gas buang.

## **BAB II**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan dengan objek mesin diesel, pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di laboratorium Permesinan Kapal Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Adapun Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025 – selesai. Berikut gambaran umum mengenai lokasi penelitian seperti terlihat pada gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 6. Lokasi Penelitian

#### **2.2 Prosedur Penelitian**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data dilakukan beberapa hal, yaitu:

1. Perumusan Masalah

Pada tahap ini, dirumuskan masalah yang akan diselesaikan dalam tugas penelitian ini. Rumusan masalah yang disusun menjadi aspek utama dalam analisis penelitian ini, berdasarkan data yang telah diperoleh nantinya.

2. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, penulis akan mengumpulkan sebanyak mungkin referensi yang relevan dengan tema penelitian ini guna mendukung keberhasilannya. Sumber referensi mencakup berbagai jurnal yang diperoleh melalui internet, serta buku. Selain itu, penelitian sebelumnya berkaitan dengan topik ini juga dipertimbangkan. Fokus utama studi literatur diarahkan pada teknologi dan metode pengendalian emisi gas buang mesin diesel, khususnya terkait reduksi senyawa Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) dan Sulfur Dioksida (CO).

3. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan seperti data mesin diesel, data pembuatan modifikasi knalpot serta data yang akan dilakukan dalam percobaan.

4. Mempersiapkan Alat dan Bahan

Dalam tahap mempersiapkan alat dan bahan ini yaitu menyiapkan mesin, air,

- amonia dan sistem penyemprotannya.
5. Pengukuran Emisi Sebelum Penyemprotan  
Pengukuran emisi sebelum penyemprotan merupakan tahap awal untuk mengetahui kadar gas buang mesin diesel dalam kondisi normal tanpa perlakuan larutan  $\text{NH}_3$ . Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat gas analyzer untuk mengukur konsentrasi gas seperti  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ , dan  $\text{CO}$ . Hasil pengukuran ini berfungsi sebagai data pembanding guna menilai efektivitas penyemprotan  $\text{NH}_3$  dalam menurunkan emisi pada tahap selanjutnya.
  6. Penyemprotan Amonia ( $\text{NH}_3$ )  
Merupakan proses dimana larutan amonia yang telah divariasikan konsentrasinya disemprotkan kedalam area exhaust untuk mereduksi emisi dari hasil pembakaran mesin diesel.
  7. Pengukuran Emisi Setelah Penyemprotan Amonia ( $\text{NH}_3$ )  
Pengukuran emisi setelah penyemprotan amonia merupakan tahap untuk mengetahui perubahan kadar gas buang mesin diesel setelah dilakukan injeksi atau penyemprotan larutan  $\text{NH}_3$  ke dalam sistem exhaust. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas amonia dalam mereduksi senyawa pencemar seperti  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ , dan  $\text{CO}$ . Pengukuran dilakukan menggunakan alat gas analyzer pada kondisi mesin yang sama dengan sebelum penyemprotan, sehingga hasilnya dapat dibandingkan secara akurat. Data yang diperoleh menunjukkan sejauh mana penyemprotan amonia mampu menurunkan emisi gas berbahaya pada sistem gas buang. Pengujian ini terdapat tiga variabel yaitu menggunakan larutan amonia dengan konsentrasi 2%, 4% dan 6%.
  8. Analisa Pengaruh Fluida Reduktif Terhadap Emisi Gas Buang  
Analisis pengaruh fluida reduktif terhadap emisi gas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana cairan reduktor, seperti larutan amonia ( $\text{NH}_3$ ), mampu menurunkan kadar gas pencemar hasil pembakaran mesin diesel. Dalam proses ini, fluida reduktif disemprotkan ke dalam aliran gas buang agar bereaksi dengan senyawa berbahaya seperti  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ , dan  $\text{CO}$ . Reaksi kimia yang terjadi mengubah senyawa beracun tersebut menjadi senyawa yang lebih aman, seperti nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Melalui analisis hasil pengukuran sebelum dan sesudah penyemprotan, dapat diketahui efektivitas fluida reduktif dalam mengurangi emisi gas buang serta perannya dalam meningkatkan kinerja sistem pengendalian emisi mesin diesel.
  9. Kesimpulan dan Saran  
Setelah melakukan pengolahan data dan analisis hasil penelitian, penulis menyusun kesimpulan yang disesuaikan dengan tujuan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya. Selain itu, penulis juga memberikan saran yang dapat dijadikan acuan bagi peneliti selanjutnya sebagai bahan pengembangan atau penyempurnaan penelitian dimasa mendatang.
  10. Selesai  
Penulis telah selesai dalam melakukan penelitian dengan membuat laporan yang telah disusun secara sistematis.

## 2.3 Penyajian Data

### 2.3.1 Data Mesin

Dalam Penelitian ini, mesin diesel yang digunakan dalam eksperimen adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Mesin Diesel Weifang

Adapun data mesin diesel sebagai berikut :

Tabel 2. Spesifikasi Mesin

Merk Mesin	Weifang
Tipe	2105D
Daya Mesin	18 kW/ 1500 HP
Bore	105
Stroke	117
Berat Mesin	240 Kg
Fuel Consumption (g/kw.h)	243.3
Exhaust Temperatur (°c)	470

### 2.3.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut;

#### 2.3.1.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

##### 1. Exhaust

Exhaust merupakan saluran pembuangan gas hasil pembakaran mesin yang berfungsi untuk mengalirkan emisi dari ruang bakar menuju lingkungan. Pada mesin diesel, exhaust menjadi komponen penting karena gas buang yang dikeluarkan mengandung senyawa pencemar seperti nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), sulfur oksida (SO<sub>2</sub>), serta partikulat (PM) yang berpotensi mencemari udara dan membahayakan kesehatan. Dalam penelitian ini, exhaust tidak hanya berfungsi sebagai jalur pembuangan, tetapi juga dimodifikasi menjadi ruang reaksi dengan menambahkan port injeksi dan nozzle untuk menyemprotkan larutan reduktif

berupa  $\text{NH}_3$  (amonia). Modifikasi ini bertujuan agar amonia dapat bercampur dengan aliran gas buang dan bereaksi secara kimia dengan senyawa  $\text{NO}_x$  maupun  $\text{CO}$  sehingga konsentrasinya dapat berkurang.



Gambar 8. Exhaust Mesin

## 2. Pompa Sentrifugal

Pompa digunakan untuk mengalirkan cairan  $\text{NH}_3$  menuju exhaust. Pompa yang digunakan yaitu pompa FOUR ONLY water system pump dengan spesifikasi voltage 12 V, ampere 0,8 A, dapat mengalirkan air 1-2 LPM.



Gambar 9. Pompa Sentrifugal

## 3. Gas Analyzer

Gas Analyzer merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur gas buang dari hasil pembakaran mesin yang keluar melalui exhaust. Gas analyzer yang digunakan yaitu *Bacharach PCA3*. Alat ini mampu mengukur emisi gas  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$  dan  $\text{SO}_2$  dengan prinsip kerja menerapkan sistem *Non Dispersive infrared (NDIR)* dan *electrochemical*.



Gambar 10. Gas Analyzer Bacharach PCA 3

#### 4. Tachometer

Tachometer digunakan untuk mengukur RPM pada mesin, dalam hal ini menggunakan tiga variasi RPM yaitu 1000, 1200 dan 1500 RPM.



Gambar 11. Tachometer

#### 5. Nozzle

Alat penyemprot fluida reduktif berupa larutan  $\text{NH}_3$  (amonia) ke dalam aliran gas buang pada exhaust mesin diesel. Peran utama nozzle adalah mengubah aliran cairan dari pompa menjadi butiran semprotan halus sehingga luas permukaan larutan meningkat. Dengan bentuk semprotan yang lebih halus, pencampuran antara amonia dan gas buang menjadi lebih merata, sehingga reaksi kimia dengan senyawa polutan seperti  $\text{NO}_x$  dan  $\text{CO}$  dapat berlangsung lebih efektif.



Gambar 12. Nozzle

#### 6. Selang

Sebagai media penghantar fluida reduktif (larutan  $\text{NH}_3$ ) dari wadah penampung menuju pompa, lalu dari pompa ke nozzle yang terpasang pada exhaust mesin diesel. Dengan adanya selang, aliran larutan amonia dapat diarahkan secara aman dan terkontrol ke titik injeksi.



Gambar 13. Selang

#### 7. Gelas Ukur

Gelas ukur dalam proses pencampuran atau pengenceran amonia, gelas ukur digunakan untuk menentukan volume amonia pekat yang akan diencerkan, mengukur volume air bersih yang dibutuhkan sesuai perhitungan dan membantu memastikan bahwa total larutan yang dihasilkan sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan.



Gambar 14. Gelas Ukur

### 2.3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Larutan NH<sub>3</sub>

NH<sub>3</sub> digunakan sebagai bahan atau sampel yang akan disemprotkan melalui exhaust. Amonia yang digunakan memiliki konsentrasi 25% yang nantinya akan dicampurkan dengan air bersih sehingga mempunyai konsentrasi yang berbeda sesuai yang diinginkan, pada percobaan ini menggunakan 2%, 4% dan 6%.



Gambar 15. Larutan Amonia 2%, 4% & 6%

2. Air Bersih

Air digunakan sebagai bahan untuk melarutkan amonia.



Gambar 16. Air Bersih

### 3. Solar

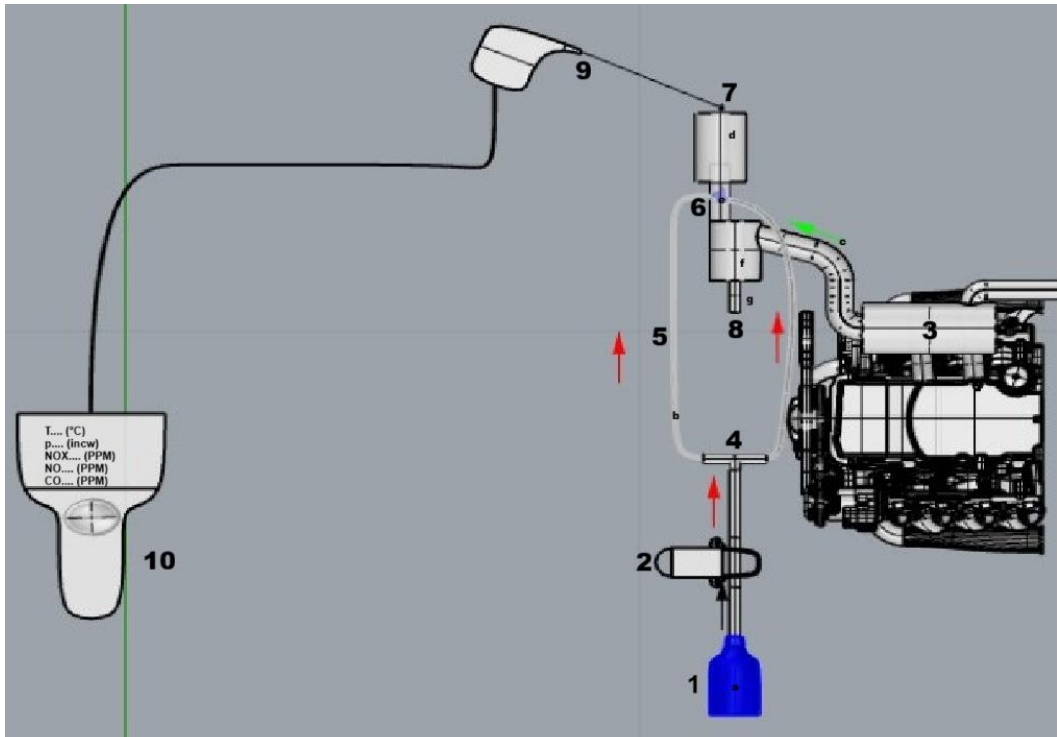
Solar digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel yang nantinya akan menghasilkan emisi gas buang.



Gambar 17. Solar

#### 2.3.2. Instalasi Exhaust

Instalasi exhaust berfungsi sebagai sistem saluran pembuangan gas hasil pembakaran yang mengalir dari ruang bakar mesin diesel menuju lingkungan luar. Dalam penelitian ini, instalasi exhaust memiliki peranan penting sebagai media transportasi utama gas buang yang menjadi objek pengujian. Gas buang dialirkan melalui sistem ini dari manifold mesin menuju titik penyemprotan fluida reduktif berupa larutan amonia ( $\text{NH}_3$ ) yang telah dirancang secara khusus untuk berinteraksi dengan komponen gas hasil pembakaran. Dengan demikian, instalasi exhaust tidak hanya berperan sebagai saluran pembuangan, tetapi juga sebagai wadah terjadinya proses pencampuran dan reaksi kimia antara fluida reduktif dengan senyawa polutan seperti nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ). Selain itu, instalasi ini juga berfungsi sebagai jalur pengambilan sampel gas buang yang akan dianalisis menggunakan alat gas analyzer.



Gambar 18. Instalasi Exhaust

Keterangan gambar:

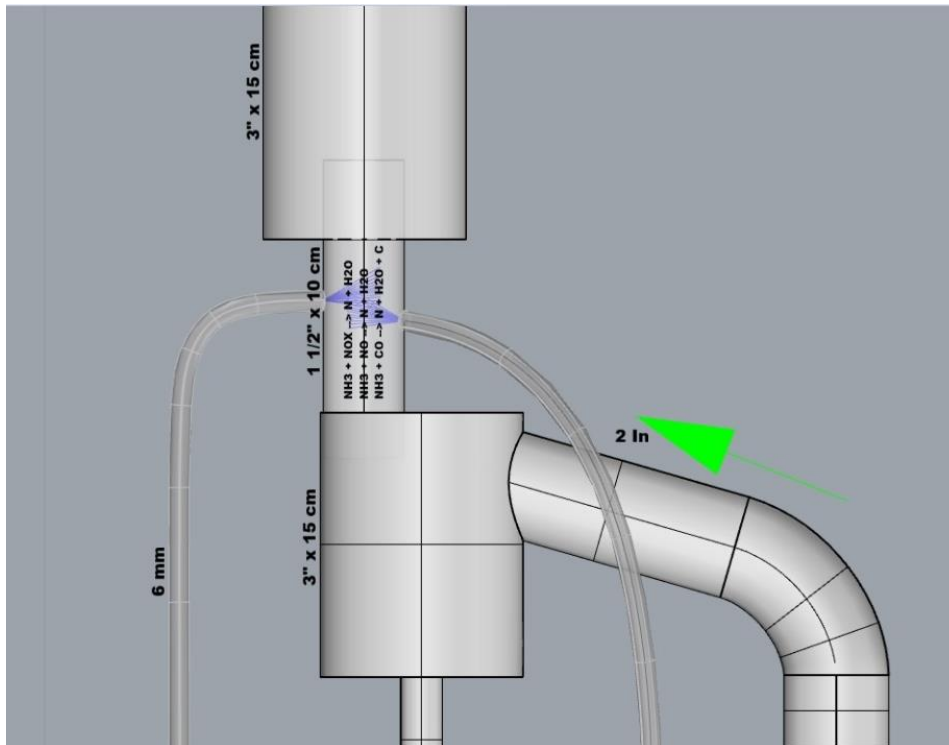
1. Wadah NH<sub>3</sub>
2. Pompa sentrifugal
3. Sumber gas NOX dan CO
4. Selang penghantar fluida reduktif (NH<sub>3</sub>)
5. Sambungan 3 selang
6. Titik penyemprotan
7. Gas keluar
8. H<sub>2</sub>O keluar
9. Sensor Gas Analyzer Bacharach PCA 3
10. Display Gas Analyzer Bacharach PCA 3

Keterangan dimensi sistem penyemprotan:

- a. Wadah larutan NH<sub>3</sub> 600 mL
- b. Selang penghantar fluida reduktif (NH<sub>3</sub>) 6mm
- c. Pipa exhaust 2"
- d. exhaust bagian gas keluar 3"
- e. exhaust tempat penyemprotan NH<sub>3</sub> 1 ½"
- f. exhaust bagian gas keluar 3"
- g. pipa H<sub>2</sub>O keluar ½"

Keterangan panah:

Panah merah alur fluida reduktif amonia dan panah hijau sumber gas buang NOx dan CO



Gambar 19. Detail Penyemprotan Amonia

### 2.3.3. Penentuan Dimensi Exhaust

Penentuan dimensi exhaust pada eksperimen ini dilakukan penggantian dan modifikasi ulang exhaust salah satunya perubahan dimensi exhaust dari 5 in ke 3 in. Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan saat pengurangan dimensi pada exhaust dari 5 in ke 3 in yaitu agar saat penyemprotan larutan amonia bisa lebih efektif dimana proses reduksi membutuhkan waktu tinggal yang cukup didalam aliran gas buang agar amonia dapat bereaksi optimal dengan NOx. Dengan memperkecil diameter exhaust dari 5 in ke 3 in kecepatan aliran gas buang meningkat dan juga tekanan balik sedikit naik, menyebabkan turbulensi dan waktu kontak gas dengan amonia lebih lama, selain itu diameter pipa yang lebih kecil menciptakan pola aliran yang lebih seragam dan turbulen, sehingga penyemprotan amonia menjadi lebih merata dan tidak cepat terdorong keluar sebelum bereaksi dan hal ini dapat meningkatkan peluang reaksi reduksi.

Menurut (Gülmez, 2021) dan (Lheywood, n.d. ), studi tersebut melaporkan bahwa peningkatan back-pressure hingga 3,2 kPa sudah menurunkan efisiensi volumetrik secara nyata, sementara setelah penggantian exhaust dari 5 in ke 3 in masih bisa dikategorikan aman karena rata-rata *back pressure* gas buang saat eksperimen 0,93 kPa. Terbukti dari *backpressure* aktual data lokasi lab dan tekanan

gas buang 0,934058 kPa dan tekanan atm pada lokasi 101,13 kPa sehingga  $P_{\text{exhaust}} = 101,13 + 0,934058 = 102,06$  (hasil pengukuran terhadap atmosfer) sehingga *backpressure* didapatkan pada persamaan  $P_{\text{back}} = P_{\text{exhaust}} - P_{\text{atm}} = 0,93$  kPa

#### 2.3.4. Sistem Penyemprotan

Sistem penyemprotan dirancang untuk menginjeksikan fluida reduktif berupa larutan NH<sub>3</sub> ke dalam exhaust mesin diesel. Tujuan dari sistem ini adalah agar amonia dapat bercampur dengan aliran gas buang dan bereaksi secara kimia dengan senyawa NOX maupun CO sehingga konsentrasinya dapat dikurangi.

Sistem penyemprotan ini terdiri dari wadah penampung larutan amonia, pompa bertekanan rendah, selang penghubung, serta nozzle yang dipasang pada area exhaust. Pompa berfungsi memberikan tekanan agar larutan dapat dialirkan menuju nozzle, sedangkan nozzle menghasilkan semprotan halus yang memudahkan pencampuran fluida dengan gas buang. Port injeksi dipasang pada dinding exhaust, tepat setelah keluaran mesin dan sebelum titik pengukuran emisi. Posisi ini dipilih agar fluida reduktif memiliki waktu pencampuran yang cukup dengan gas buang sebelum dilakukan analisis konsentrasi NOX dan CO, pada dinding exhaust dipasang 2 nozzle dengan ukuran 3mm. Sebelum eksperimen dimulai, larutan amonia disiapkan dengan konsentrasi yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan ke dalam wadah penampung. Pada saat mesin beroperasi, pompa dijalankan untuk mendorong larutan menuju nozzle. Penyemprotan dilakukan bersamaan dengan aliran gas buang pada exhaust, dengan variasi konsentrasi injeksi (2%; 4%; dan 6%) yang disesuaikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap konsentrasi emisi gas buang.

Pada percobaan ini, setiap variasi konsentrasi larutan amonia, yaitu 2%, 4%, dan 6%, menggunakan total volume sebanyak 600 mL setiap percobaan. Dengan demikian, pada masing-masing variasi konsentrasi tersebut digunakan 600 mL larutan amonia yang berfungsi sebagai fluida reduktif. Proses penyemprotan dilakukan secara *intermiten*, yaitu dengan pola penyemprotan selama 30 detik, kemudian dihentikan selama 30 detik untuk proses pengambilan data, ketika mesin berada dalam kondisi beroperasi.

#### 2.3.5. Persiapkan Alat dan Bahan dalam Proses Pelarutan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pelarutan NH<sub>3</sub>:

- Amonia 25%, larutan amonia (NH<sub>3</sub>) dengan konsentrasi 25% dalam air. Artinya, setiap 100 mL larutan mengandung sekitar 25 mL amonia murni dan sisanya adalah air sebagai pelarut.
- Air bersih, Air bersih yang digunakan dalam pembuatan atau pengenceran larutan amonia adalah air yang tidak mengandung zat pengotor dalam jumlah signifikan, sehingga tidak mempengaruhi kemurnian dan konsentrasi larutan yang dihasilkan.
- Gelas ukur, Dalam proses pencampuran atau pengenceran amonia, gelas ukur digunakan untuk menentukan volume amonia pekat yang akan diencerkan, mengukur volume air bersih yang dibutuhkan sesuai perhitungan dan membantu memastikan bahwa total larutan yang dihasilkan sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan.
- Sarung tangan, masker dan kacamata pelindung. Dalam proses pengenceran sarung tangan berperan untuk melindungi kulit dari kontak

langsung dengan larutan  $\text{NH}_3$  yang dapat menyebabkan iritasi sementara masker berfungsi untuk mencegah terhirupnya uap  $\text{NH}_3$  yang berbau tajam, menyengat dan dapat mengiritasi saluran pernafasan sementara kacamata pelindung untuk melindungi mata dari percikan larutan  $\text{NH}_3$  dan uap amonia dapat menyebabkan iritasi pada mata.

### 2.3.6 kerangka Alur Penelitian

