

BAB III

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selain mengerjakan tugas – tugas yang diberikan kepada peserta magang, saya juga mengkaji mengenai air balas, emisi NO_x, peraturan yang mengatur mengenai air balas dan emisi NO_x, dan bagaimana cara penanganannya. Saya juga akan memaparkan mengenai inovasi yang saya berikan kepada perusahaan tempat dimana saya melakukan kegiatan magang.

3.1 Air Balas

Air balas pada kapal adalah air yang digunakan sebagai penyeimbang dan pemberat kapal selama berlayar (M. Nabil, 2020). Fungsinya utamanya adalah menjaga keseimbangan kapal saat berlayar. Pengisian dan pembuangan air balas kapal dilakukan sesuai dengan peraturan dan prosedur khusus guna mencegah dampak negatif terhadap ekologi. Sistem balas merupakan sistem yang memungkinkan kapal untuk tetap seimbang dalam kondisi trim depan, trim belakang, dan keadaan oleng. Dalam perencanaannya, pengisian air balas saat berlayar harus mempertimbangkan keamanan awak kapal. Ada dua metode yang umum digunakan untuk pengisian air ballast, yaitu saat kapal bersandar dan saat kapal sedang berlayar. Komponen yang terlibat dalam pengisian air laut ke dalam tangki balas kapal meliputi seachest, pompa balas, dan saluran balas (Heru B.N, 2020).

Meskipun air ballast memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan kapal, pengelolaannya juga dapat menimbulkan masalah serius saat dilakukan pembuangan, karena dapat mengganggu ekosistem di perairan yang berbeda (M. Nabil, 2020). Oleh karena itu, ada peraturan dan prosedur khusus yang harus diikuti dalam pengisian dan pembuangan air ballast kapal untuk mencegah dampak pencemaran ekologi. Dalam pengisian air balas, kapal harus memastikan bahwa air yang diambil dari perairan sekitarnya tidak mengandung bahan berbahaya atau kontaminan yang dapat merusak ekosistem. Setelah digunakan, air ballast harus dibuang dengan mematuhi aturan yang telah ditetapkan untuk meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Ini melibatkan pemilihan lokasi pembuangan yang tepat dan memperhatikan kualitas air sebelum dibuang.

Melalui peraturan dan prosedur yang ketat, pengelolaan air balas pada kapal diupayakan untuk melindungi dan mempertahankan kelestarian ekosistem perairan. Dengan demikian, penggunaan air balas dalam navigasi kapal dapat dilakukan dengan memperhatikan aspek lingkungan yang penting bagi keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem laut. Dalam pengoperasian kapal, prosedur pengisian dan pembuangan air balas memerlukan perhatian yang sangat serius, mengingat dampak yang ditimbulkannya dapat sangat berbahaya. Pentingnya memperhatikan prosedur ini terletak pada kesadaran akan konsekuensi negatif yang dapat timbul akibat pengelolaan yang tidak tepat terhadap air balas. Pengisian air balas pada kapal harus dilakukan dengan hati-hati dan mematuhi aturan yang telah ditetapkan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa air yang digunakan sebagai balas tidak mengandung zat-zat berbahaya atau kontaminan yang dapat merusak ekosistem laut. Dalam pengambilan air balas, perlu dipertimbangkan sumber air yang digunakan, serta upaya untuk mengurangi risiko polusi atau pencemaran air selama proses ini.

Selain itu, pembuangan air balas juga harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian. Proses ini harus memperhatikan peraturan dan prosedur khusus yang ditetapkan untuk mencegah dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh air balas yang dibuang. Pilihan lokasi pembuangan yang tepat, evaluasi kualitas air sebelum pembuangan, dan mematuhi batasan lingkungan yang telah ditetapkan adalah langkah-langkah penting untuk meminimalkan dampak berbahaya yang mungkin terjadi (Muhammad et.al, 2022). Dalam konteks ini, kesadaran akan bahaya yang terkait dengan pengelolaan air balas menjadi kunci dalam menjaga keamanan ekologi perairan. Kesalahan atau kelalaian dalam prosedur ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada ekosistem laut, termasuk kehilangan keanekaragaman hayati, penurunan kualitas air, dan gangguan terhadap organisme laut yang ada. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan setiap langkah dalam proses pengisian dan pembuangan air balas dengan tingkat kehati-hatian yang tinggi untuk melindungi lingkungan dan menjaga keseimbangan ekosistem perairan yang sangat penting.

Berikut adalah beberapa prosedur dan peraturan dalam pengisian dan pembuangan air balas pada kapal (Utoko et.al, 2021) :

1. Pengisian Air Balas

- a) Pengisian air balas dapat dilakukan ketika kapal sedang bersandar pada suatu pelabuhan
- b) Pengisian air balas dapat dilakukan ketika kapal sedang berlayar di lautan
- c) Pastikan kapal berada dalam posisi yang tepat untuk pengisian air balas. Periksa dan pastikan sistem balas kapal dalam kondisi baik dan siap untuk digunakan.
- d) Tentukan sumber air yang akan digunakan untuk pengisian air balas. Sumber air ini harus memenuhi persyaratan kualitas air yang ditetapkan dalam peraturan, seperti kandungan organisme hidup yang terbatas dan tidak adanya zat berbahaya.
- e) Aktifkan sistem balas dan mulai mengisi air balas ke dalam tangki balas kapal. Pastikan pengisian dilakukan secara perlahan dan terkontrol untuk mencegah gangguan dan masuknya organisme hidup yang tidak diinginkan.
- f) Selama pengisian, monitor dan pantau kualitas air balas secara teratur. Lakukan pengukuran kualitas air seperti kepadatan organisme hidup, parameter fisik, dan parameter kimia untuk memastikan bahwa air balas memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

2. Pembuangan Air Balas

- a) Pastikan kapal berada dalam posisi yang tepat untuk pembuangan air balas. Periksa dan pastikan sistem balas dalam kondisi baik dan siap untuk digunakan.
- b) Tentukan wilayah pembuangan yang ditentukan oleh peraturan dan standar. Pastikan wilayah tersebut aman dan tidak menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan.

- c) Sebelum melakukan pembuangan, lakukan pengukuran kualitas air balas untuk memastikan bahwa air balas memenuhi persyaratan yang ditetapkan sebelum pembuangan dilakukan.
- d) Aktifkan sistem pembuangan air balas dan buang air balas ke laut sesuai dengan prosedur yang ditetapkan. Pastikan pembuangan dilakukan dengan hati-hati dan sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- e) Setelah pembuangan, lakukan pemantauan lanjutan terhadap wilayah pembuangan untuk memastikan tidak terjadi dampak negatif terhadap lingkungan.

Penting untuk dicatat bahwa prosedur pengisian dan pembuangan air balas dapat bervariasi tergantung pada peraturan dan standar regional atau nasional yang berlaku. Kapal harus selalu mematuhi peraturan dan prosedur yang relevan untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan ekosistem perairan (Basuki et.al, 2018). Air balas kapal bisa berasal dari berbagai sumber, seperti sistem pendingin mesin, sistem pemadam kebakaran, sanitasi, atau sistem pengolahan air limbah. Sumber air balas selain untuk keseimbangan kapal adalah sebagai berikut (Bela D.H, 2019) :

1. Sistem Pendingin Mesin

Kapal menggunakan air untuk mendinginkan mesin dan peralatan yang menghasilkan panas selama operasi. Air ini mengalir melalui sistem pendingin dan kemudian dibuang kembali ke laut setelah mengambil panas dari peralatan tersebut. Dalam beberapa kasus, air ini juga dapat melibatkan penggunaan bahan kimia pendingin tertentu yang harus diperhatikan agar tidak mencemari lingkungan.

2. Sistem Pemadam Kebakaran

Air balas juga bisa berasal dari sistem pemadam kebakaran kapal. Kapal dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran yang menggunakan air untuk memadamkan atau mengendalikan api saat terjadi kebakaran. Setelah digunakan, air bekas ini biasanya dibuang kembali ke laut.

3. Sanitasi

Air balas juga terkait dengan penggunaan air dalam sistem sanitasi kapal, seperti toilet, wastafel, atau pancuran. Air yang digunakan untuk keperluan sanitasi ini dibuang kembali ke laut setelah melalui proses pengolahan atau pemisahan limbah untuk memastikan bahwa tidak ada pencemaran yang signifikan.

4. Sistem Pengolahan Air Limbah

Kapal modern biasanya dilengkapi dengan sistem pengolahan air limbah yang memproses limbah cair, seperti air dari wastafel atau toilet, sebelum dibuang kembali ke laut. Sistem ini mencakup proses pemisahan, filtrasi, dan pengolahan kimia untuk menghilangkan kontaminan dan memastikan bahwa air yang dibuang memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan.

3.1.1 Peraturan dan Kebijakan Yang Mengatur Mengenai Air Balas

Dengan adanya peraturan dan kebijakan pemerintah Indonesia yang mengatur penggunaan air balas pada kapal, diharapkan dapat mengurangi dampak negatif pembuangan air balas bagi lingkungan dan menjaga keberlanjutan ekosistem laut (M.Yusuf, 2017). Berikut adalah peraturan dan kebijakan pemerintah Indonesia yang mengatur penggunaan air balas pada kapal :

1. Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Air Balas Kapal

Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Air Balas Kapal adalah peraturan yang mengatur tentang pengelolaan air balas pada kapal. Berikut adalah beberapa poin penting dari peraturan ini (Eliza, 2020) :

- a) Kapal harus membuang air ballast pada tempat yang telah ditentukan oleh pemerintah.
- b) Kapal harus memiliki instalasi pengolahan air ballast yang memadai untuk menghindari terjadinya pencemaran.
- c) Kapal harus mematuhi persyaratan dan prosedur pengisian dan pembuangan air ballast yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

- d) Pelanggaran terhadap peraturan ini dapat dikenakan sanksi administratif dan pidana.

Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2012 bertujuan untuk mengendalikan dan mengelola air ballast kapal agar tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Peraturan ini juga mengatur tentang persyaratan dan prosedur pengisian dan pembuangan air ballast pada kapal serta sanksi yang diberikan jika terjadi pelanggaran (I. Abdillah et.al, 2020).

2. Peraturan IMO (International Maritime Organization)

Organisasi Maritim Internasional (IMO) adalah badan khusus Perserikatan Bangsa-Bangsa yang bertanggung jawab untuk mengembangkan dan memelihara kerangka peraturan yang komprehensif untuk pelayaran di seluruh dunia. IMO telah mengembangkan badan konvensi internasional yang komprehensif dan ratusan rekomendasi yang mengatur setiap aspek pelayaran, termasuk keselamatan, masalah lingkungan, masalah hukum, kerjasama teknis, keamanan maritim, dan efisiensi pelayaran. Beberapa perjanjian utama IMO termasuk Konvensi Internasional untuk Keselamatan Jiwa di Laut (SOLAS), Konvensi Internasional untuk Pencegahan Pencemaran dari Kapal (MARPOL), dan Konvensi Internasional tentang Standar Pelatihan, Sertifikasi, dan Pengawasan untuk Pelaut (STCW). IMO berkedudukan di London, Inggris, dan diwakili oleh 175 Negara Anggota, tiga Anggota Asosiasi, dan berbagai Organisasi Antarpemerintah (IGO) dan Organisasi Non-Pemerintah (LSM). Peraturan ini mengatur tentang pengisian dan pembuangan air ballast kapal untuk mencegah dampak pencemaran ekologi (MARPOL, 2020).

Salah satu regulasi terbaru IMO adalah regulasi International Maritime Organization 2020 atau dikenal juga dengan Sulphur 2020 atau MARPOL 2020. Regulasi ini mengamanatkan kapal untuk menggunakan bahan bakar dengan kandungan sulfur kurang dari 0,5 persen untuk mengurangi emisi sulfur oksida (SOx) berbahaya oleh industri maritim. . IMO juga telah mengembangkan peraturan lain, seperti Sistem Pengumpulan Data (DCS) yang melacak konsumsi bahan bakar, jarak perjalanan, dan durasi perjalanan, dan Konvensi Internasional untuk Kontrol dan Pengelolaan Air Balas dan Sedimen Kapal, yang bertujuan untuk mengontrol dan mengelola air pemberat dan sedimen yang dihasilkan oleh kapal (MARPOL, 2020).

3. Peraturan Presiden Nomor 132 Tahun 2015

Peraturan yang mengesahkan The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. Berikut adalah beberapa poin penting dari peraturan ini :

- a. Peraturan ini mengesahkan The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments.
- b. Tujuan dari peraturan ini adalah untuk mengendalikan dan mengelola air balas kapal dan sedimen yang dihasilkan oleh kapal.
- c. Peraturan ini berlaku untuk semua kapal yang berlayar di perairan Indonesia.
- d. Kapal harus memiliki instalasi pengolahan air balas yang memadai untuk menghindari terjadinya pencemaran.
- e. Peraturan ini juga mengatur tentang persyaratan dan prosedur pengisian dan pembuangan air balas pada kapal.
- f. Pemerintah Indonesia memiliki kewajiban untuk memastikan bahwa kapal-kapal yang berlayar di perairan Indonesia mematuhi peraturan ini.
- g. Pelanggaran terhadap peraturan ini dapat dikenakan sanksi administratif dan pidana.

3.1.2 Data Kedatangan Kapal Di Pelabuhan Surabaya

Tabel berikut berisi data tentang jumlah kapal yang sandar dan berangkat kapal pada Bulan Januari – Maret di Pelabuhan Surabaya adalah sebagai berikut :

No.	Nama Pelayaran	Januari	Februari	Maret
1.	ALP (Atosim Lampung Pelayaran)	9 Kapal	9 Kapal	11 Kapal
2.	DLN (Dharma Lautan Nusantara)	30 Kapal	26 Kapal	24 Kapal
3.	PELNI (Pelayaran Nasional Indonesia)	57 Kapal	47 Kapal	46 Kapal
4.	DLU (Dharma Lautan Utama)	100 Kapal	99 Kapal	112 Kapal
5.	TMU (Timur Mila Utama)	7 Kapal	11 Kapal	9 Kapal
6.	BLS (Berlian Lautan Sejahtera)	62 Kapal	58 Kapal	44 Kapal
7.	JN (Jembatan Nusantara)	10 Kapal	7 Kapal	8 Kapal
Total		275 Kapal	257 Kapal	254 Kapal

Tabel 3.1 Data Kedatangan Kapal Di Pelabuhan Surabaya

3.1.3 Dampak Air Balas Bagi Lingkungan

Pada **Tabel 3.1** menunjukkan bahwa frekuensi kapal yang sandar dan berangkat di Pelabuhan Surabaya cenderung padat. Dengan semakin tingginya frekuensi kapal di pelabuhan maka akan meningkat pula frekuensi pembuangan air balas di pelabuhan (I Putu P.B, 2017). Selama periode Januari hingga Maret, terdapat penurunan jumlah kapal yang tiba. Meskipun demikian, penurunan tersebut tidak begitu signifikan dan masih terjadi kepadatan. Pada bulan Maret, tercatat kedatangan dua kapal pesiar dengan Gross Tonage yang tinggi. Gross Tonage atau Tonase Kotor mengacu pada ukuran volume dari semua ruangan yang terletak di bawah geladak kapal, termasuk ruangan di atas kapal. Semakin tinggi nilai Gross Tonage, semakin banyak pula air balas yang dihasilkan oleh kapal tersebut (Yannis et al., 2017).

Pembuangan air balas pada kapal dapat memiliki dampak yang berbahaya bagi lingkungan (Dany D.P et al, 2020). Tidak hanya itu, air balas yang dibuang ke laut juga mengandung timbal yang dapat membahayakan lingkungan. Adanya bahan pencemar yang terus-menerus masuk dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan peningkatan konsentrasi bahan pencemar tersebut di perairan dan lapisan tanah di dasar laut. Berikut adalah beberapa dampak berbahaya pembuangan air balas kapal (Y. Akhmad, 2015) :

1. Terbawanya spesies asing dari ekosistem lain saat pembuangan air balas (*deballasting*) dapat membahayakan kehidupan lingkungan laut setempat, merusak ekosistem, dan mengancam keanekaragaman hayati. Spesies berbahaya ini salah satunya adalah lamprey dan kerang zebra. Kedua spesies ini merupakan spesies invasif yang dapat membahayakan ekosistem laut.
2. Air balas yang mengandung bahan kimia, limbah organik, nutrisi berlebih, atau zat beracun dapat mencemari perairan. Ini dapat menyebabkan penurunan kualitas air, mengganggu ekosistem laut, dan mengancam kehidupan organisme laut. Salah satu bahan pencemar berbahaya pada air balas adalah timbal. Timbal dapat menyebabkan penyakit bagi manusia seperti gangguan fungsi ginjal, gangguan sistem kekebalan tubuh, dan gangguan sistem saraf (Y.Maya, 2018).
3. Air balas yang dibuang ke laut dapat menyebabkan penyakit yang secara potensial dapat menyebabkan masalah kesehatan bagi manusia seperti keracunan makanan laut yaitu keracunan bakteri (seperti salmonellosis atau campylobacteriosis), iritasi kulit, kolera, dan banyak penyakit berbahaya lainnya.

3.1.4 Strategi penanganan untuk meminimalisir pembuangan air balas

Sangat penting untuk meminimalisir pembuangan air balas yang tidak terkelola dengan baik. Air balas yang tidak dikelola dengan baik sangat berbahaya bagi lingkungan dan ekosistem laut. Berikut beberapa cara untuk mengurangi dampak negatif pembuangan air ballast bagi lingkungan adalah sebagai berikut (M.Sholikin et.al, 2016) :

1. *Ballast Water Management Treatment System (BWMTS)*

Ballast Water Management Treatment System (BWMTS) adalah sistem pengolahan air balas kapal sebelum dibuang ke laut. Berikut adalah cara kerja dari *Ballast Water Management Treatment System (BWMTS)* :

- Metode Kimia

- a) *Hydrogen Peroxide*

Bahan kimia ini digunakan sebagai metode chlorination. Hydrogen Peroxide ditambahkan pada air balas untuk mematikan organisme yang hidup pada air balas. Cara ini cukup aman digunakan karena bahan yang digunakan terlarut dalam air.

- b) *Chlorine Dioxide*

Sama seperti diatas, bahan kimia ini digunakan sebagai metode chlorination. Cara ini efektif untuk membunuh semua mikroorganisme, bakteri, dan patogen lain.

- c) *Ozonation*

Penggunaan metode ini adalah dengan menambahkan gas ozone (1-2 mg/l) ke dalam air balas, yang akan terurai dan bereaksi dengan bahan kimia lain untuk membunuh mikroorganisme. *Ozonate Generator* diperlukan untuk mengolah air balas dalam jumlah besar.

- Metode Mekanik

- a) *Filtration*

Metode ini menggunakan saringan dengan backwashing otomatis sebagai sarana untuk membersihkan air balas. Cara ini biasanya menggunakan mesh dengan ukuran 10 – 50 mikrometer.

b) *Hydrocyclone / Cyclonic separation*

Metode ini menggunakan rotasi sentrifugal air untuk memisahkan partikel – partikel yang ada pada air balas. Keefektifan dari metode ini bergantung pada densitas dari partikel dan air disekitarnya, ukuran partikel, kecepatan rotasi, dan waktu.

- Metode Fisika

a) *Ultraviolet (UV) Radiation*

Cara ini menggunakan sinar UV yang dihasilkan oleh quartz sleeve untuk mengubah struktur DNA dari mikroorganisme, sehingga mencegahnya untuk bereproduksi. Cara ini sangat umum digunakan di industri perawatan air karena efektif pada hampir semua mikroorganisme.

b) *Deoxygenation*

Cara ini dilakukan dengan mengurangi tekanan oksigen pada bagian ruang diatas air, dengan memasukkan gas inert atau metode vakum pada tangki balas. Cara ini juga berguna untuk mengurangi kecenderungan korosi pada tangki balas.

c) *Heat*

Cara ini menggunakan panas sebagai sarana untuk mematikan organisme pada air balas. Panas yang digunakan untuk metode ini bisa menggunakan berbagai macam sumber seperti, main engine, boiler, funnel, dan lain – lain.

- Pengukuran kualitas air

Setelah melalui serangkaian langkah seperti filtrasi, deoksigenasi, dan perlakuan kimia, tahap pengukuran kualitas air dilakukan untuk memverifikasi bahwa air balas telah melalui proses pengolahan yang memadai dan memenuhi standar yang telah ditetapkan sebelum dibuang kembali ke lingkungan. Pengukuran kualitas air ini melibatkan berbagai parameter yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik air yang dihasilkan. Beberapa parameter fisik digunakan untuk mengukur kualitas air, seperti pH (tingkat keasaman atau

kebiasaan), salinitas (kadar garam), dan kekeruhan (kandungan partikel padat di dalam air). Parameter-parameter ini memberikan informasi penting tentang kondisi fisik air balas dan membantu menentukan apakah air tersebut telah mencapai tingkat kualitas yang diharapkan.

Selain itu, parameter kimia juga menjadi bagian penting dari pengukuran kualitas air. Parameter kimia meliputi analisis komponen-komponen kimia tertentu yang dapat ada dalam air balas, seperti konsentrasi zat pencemar atau bahan kimia tertentu yang mungkin terkandung dalam air. Pengukuran ini memungkinkan untuk mengidentifikasi keberadaan zat-zat yang berpotensi merusak lingkungan jika dilepaskan secara tidak terkontrol. Selanjutnya, penggunaan flowcytometer juga dapat dilakukan untuk mengukur parameter patogen dalam air balas. Flowcytometer adalah alat yang digunakan untuk menghitung dan mengidentifikasi mikroorganisme berbahaya atau patogen dalam air. Dengan menggunakan alat ini, dapat dilakukan analisis yang lebih akurat terhadap adanya bakteri, virus, atau organisme mikroskopis lainnya yang mungkin ada dalam air balas.

Melalui serangkaian pengukuran dan analisis ini, dapat dipastikan bahwa air balas telah menjalani proses pengolahan yang tepat dan memenuhi standar yang telah ditetapkan sebelum dibuang kembali ke lingkungan. Hal ini penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem perairan dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat pembuangan air balas yang tidak terkontrol.

Komponen *Ballast Water Management Treatment System* terbagi menjadi beberapa unit atau kelompok. Komponen yang ada dalam *Ballast Water Management Treatment System* adalah sebagai berikut :

1. *Filter Unit*

Merupakan suatu komponen dari Ballast Water Management Treatment System yang digunakan untuk menghilangkan organisme yang berukuran 50 μ m atau yang lebih besar. Organisme di tangkap oleh filter kemudian dibuang ke overboard melalui jalur backwash. Untuk

perawatan Ballast Water Treatment dilakukan setiap dua minggu sekali yaitu filter wash dan setelah selesai ballasting atau deballasting. Filter wash merupakan proses pencucian filter unit dengan cara menekan air tawar langsung secara spray ke filter element oleh pemakaian air di dalam filter dan mengurangi tekanan diferensial filter yang meningkat. Setelah selesai ballasting pastikan melakukan filter wash untuk membersihkan organisme dan komponen lain dari laut.



Gambar 3.1 Filter Unit

2. *Ultra Violet Reactor*

Merupakan suatu komponen dari Ballast Water Management Treatment System yang menghasilkan UV reactor iradiasi ultra violet ray pada organisme yang lebih kecil dari $50\mu\text{m}$ yang melewati filter dan mensterilkannya. Setiap 5000 jam, lampu Ultra violet harus diganti. Untuk mengoptimalkan penggunaan dari Ultra violet pada Ballast Water Treatment System.



Gambar 3.2 Ultra Violet Reactor

3. *Backwash Pump*

Merupakan suatu komponen dari Ballast Water Management Treatment System yang berfungsi ketika kehilangan tekanan dari Filter unit, Pompa Backwash mendukung operasi backwash filter unit dengan menggunakan air laut (air laut yang disaring) dari outlet filter atau air tawar.



Gambar 3.3 Backwash Pump

4. *Control Panel*

Merupakan suatu komponen dari Ballast Water Management Treatment System dimana alat ini digunakan sebagai handle dalam pengoprasian sistem Ballast Water Treatment. Di panel tersebut telah tersedia SD Card untuk tempat penyimpanan record data pada saat pengoprasian.



Gambar 3.4 Control Panel

5. *Source Panel*

Merupakan suatu komponen dari Ballast Water Management Treatment System yang berfungsi sebagai power supply pada rangkaian elektrik

Ballast Water Treatment System. Pada rangkaian elektrik BWTS di aliri tegangan 100v dan 24v. Source panel berada di ruangan upper deck, yang mana di tempat ini harus sering di bersihkan agar rangkaian elektrik bersih dari debu dan kotoran.



Gambar 3.5 Source Panel

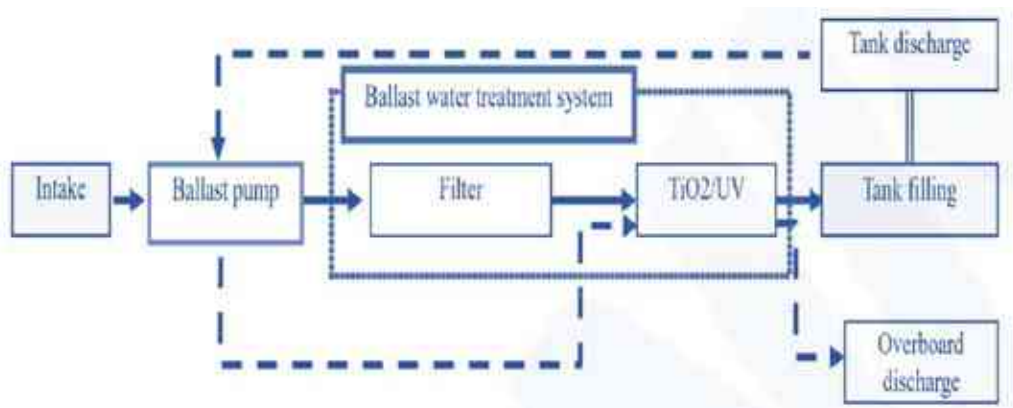
6. *Ballast Pump*

Merupakan permesinan bantu yang digunakan untuk mensupply ballast water dari sea chest menuju BWTS dan ballast tank maupun dari ballast tank menuju BWTS dan overboard.



Gambar 3.6 Ballast Pump

Dari berbagai komponen saling berhubungan dalam mengolah air balas sebelum dibuang ke laut agar air balas yang dibuang tidak berbahaya bagi lingkungan dan bagi ekosistem laut.



Gambar 3.7 *Ballast Water Management Treatment System*

2. *Advanced Oxidation Technology (AOT)*

Advanced Oxidation Technology (AOT) adalah sebuah teknologi yang digunakan dalam pengolahan air untuk menghilangkan kontaminan organik dan zat-zat berbahaya yang sulit diuraikan menggunakan metode konvensional (Sarjito J, 2010). AOT melibatkan penggunaan senyawa oksidasi yang kuat, seperti ozon (O_3), hidrogen peroksida (H_2O_2), dan radikal hidroksil ($\cdot OH$), untuk mengoksidasi dan menguraikan senyawa organik yang ada dalam air. AOT biasanya melibatkan kombinasi proses oksidasi dan reduksi yang berlangsung secara simultan. Beberapa metode yang sering digunakan dalam AOT antara lain :

3. **Ozonasi**

Ozon (O_3) digunakan sebagai agen oksidasi untuk menghancurkan senyawa organik yang terdapat dalam air. Ozon dapat memecah ikatan kimia dan mengoksidasi senyawa yang sulit diuraikan, termasuk senyawa organik yang berbahaya dan zat-zat polutan.

4. **Fotokatalisis**

Proses ini melibatkan penggunaan katalis, seperti titanium dioksida (TiO_2), yang diaktifkan oleh sinar ultraviolet (UV). Katalis tersebut mempercepat reaksi oksidasi dan penguraian senyawa organik dalam air.

5. Hidrogen Peroksida (H₂O₂)

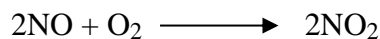
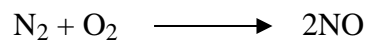
Hidrogen peroksida digunakan sebagai agen oksidasi tambahan yang dapat meningkatkan efektivitas proses AOT. Hidrogen peroksida menghasilkan radikal hidroksil (OH·) yang sangat reaktif, yang dapat mengoksidasi senyawa organik yang sulit diuraikan. Kelebihan dari AOT adalah kemampuannya dalam menguraikan senyawa organik yang sulit dihilangkan dengan metode konvensional, seperti bahan kimia beracun, zat pewarna, dan senyawa organik yang stabil (Tjahjono et.al, 2017). AOT juga dapat menghilangkan bau dan rasa yang tidak diinginkan dalam air. Namun, penggunaan AOT juga memerlukan perhatian terhadap pengendalian dosis oksidasi dan keamanan penggunaan bahan kimia yang terlibat. Aplikasi AOT dalam pengolahan air mencakup pengolahan air minum, pengolahan air limbah, pengolahan air ballast, dan pengolahan air industri. AOT dapat digunakan sebagai metode pra-pengolahan atau sebagai langkah pengolahan tambahan untuk memastikan kualitas air yang lebih baik dan mengurangi dampak lingkungan dari kontaminan organik yang sulit diuraikan.



Gambar 3.8 *Advanced Oxidation Technology*

3.2 Emisi Gas NO_x

Nitrogen oksida (NO_x) adalah salah satu jenis bahan pencemar udara, disamping bahan pencemar udara lain seperti debu, NH₃, Pb, CO, SO₂, hidrokarbon, H₂S, dan lain-lain, yang secara sendiri atau bersamaan memiliki potensi membahayakan kesehatan lingkungan dan masyarakat (Cristiane et.al, 2014). Di dalam atmosfer, NO_x merupakan suatu kelompok gas yang terutama terdiri dari dua komponen utama yaitu gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂), serta oksida-oksida nitrogen lainnya yang sangat kecil jumlahnya. NO merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya NO₂ berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Secara umum proses pembentukan dari gas NO_x ini sendiri mengikuti persamaan reaksi :



Nitrogen oksida (NO_x) adalah senyawa gas di atmosfer yang merupakan komponen besar yang terdiri dari nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang sedikit. Gas-gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda pada setiap gasnya dan gas-gas tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan. NO₂ berpengaruh buruk terhadap kesehatan manusia yang dapat menyebabkan menurunnya fungsi paru-paru dan meningkatnya risiko kanker (Hamra et al., 2015). Dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar yang berpotensi menimbulkan paparan gas nitrogen dioksida NO₂ bagi makhluk hidup, maka harus diperhatikan mengenai konsentrasi NO₂ di udara ambien serta memprediksi risiko kesehatan lingkungan.

Pada suhu kamar, pembentukan NO yang dihasilkan dari reaksi antara gas oksigen dan gas nitrogen akan berlangsung sangat lambat. Berbeda dengan hal ini, pada temperatur diatas 1200°C, gas oksigen dan gas nitrogen akan bereaksi sangat cepat untuk menghasilkan nitrit oksida. Konsentrasi NO_x di udara pada daerah perkotaan biasanya mencapai 0,5 ppm, atau 10-100 kali lebih tinggi daripada udara di daerah pedesaan. Pencemaran NO_x di udara mempunyai dampak terhadap lingkungan, baik langsung maupun tidak langsung. Dampak langsung dari pencemaran udara ini adalah terjadinya hujan asam yang dapat menyebabkan berbagai kerugian dan kerusakan, baik pada tanaman, bangunan dan lain-lain. Disamping itu, polusi NO_x ini dapat berdampak terhadap kesehatan manusia, seperti bronkitis dan asma (Prayudi, 2003).

Oksida nitrogen (NO_x) merupakan gas yang diemisikan dari hasil pembakaran yang mana sebagian besar polutan NO_x berasal dari pembakaran pada mesin kendaraan. Polutan NO_x menimbulkan dampak lingkungan seperti hujan asam, efek rumah kaca, asap foto kimia, dan pelubangan lapisan ozon. Sementara itu, karbon monoksida (CO) juga diemisikan dari pembakaran mesin kendaraan yang mana gas tersebut bersifat racun. Gas CO menghambat aliran O₂ berikatan dengan hemoglobin darah sehingga hemoglobin tersebut berikatan dengan CO membentuk COHb. Kadar COHb dalam darah lebih dari 50% dapat menyebabkan kematian (Stefanus et.al, 2015). Oleh karena itu, emisi NO_x dan CO pada pembakaran mesin kendaraan perlu direduksi sehingga menjadi kendaraan ramah lingkungan.

Penggunaan bahan bakar grade rendah untuk operasional kapal akan memberikan suatu keuntungan yaitu berkurangnya biaya operasional. Namun bahan bakar grade rendah seperti minyak residu atau *Heavy Fuel Oil* (HFO) memiliki kandungan belerang lebih dari 20 kali kandungan belerang pada minyak distilasi seperti *Marine Diesel Oil*. *Heavy fuel oil* (HFO) merupakan hasil sisa proses penyulingan minyak mentah (residu). Memiliki nilai viskositas (kekentalan) yang lebih tinggi dibandingkan jenis bahan bakar yang lain sehingga diperlukan heat exchanger atau heater agar dapat digunakan untuk proses pembakaran pada mesin

(I Made A., 2018). Marine Fuel Oil adalah jenis bahan bakar yang didapat dan diolah dari residu penyulingan minyak bakar. Marine Fuel Oil atau dapat dikenal juga sebagai minyak bakar bertekstur kental dan berwarna hitam pekat. Lebih kental dan lebih gelap dari diesel (Hendra P. et.al, 2015). Oleh sebab itu, selain dikenal sebagai minyak bakar, Marine Fuel Oil (MFO) juga dikenal sebagai minyak hitam. Marine Fuel Oil pada dasarnya digunakan sebagai bahan bakar pada mesin di industri-industri berat.

Hal ini menyebabkan penggunaan HFO menghasilkan kadar Sulphur Oxide (SO_x) pada gas buang juga mencapai lebih dari 20 kali, sedangkan kadar Particulate Matter (PM) meningkat hingga 9 kali dari penggunaan MDO (Ariana, 2008). Kondisi ini mengakibatkan jumlah emisi dari gas buang motor diesel untuk aktivitas di pelabuhan menunjukkan nilai yang sangat tinggi. Sebagai contoh, setiap harinya sekitar 23 ton SO_x, 40 ton Nitrogen Oxide (NO_x), dan 3.33 ton PM dihasilkan dari pengoperasian diesel di wilayah Pelabuhan Oakland (Sevin et.al, 2005), sedangkan di Pelabuhan Los Angeles setiap tahunnya diprediksi sekitar 1760 ton PM mencemari udara yang dihasilkan dari motor diesel. Dari nilai itu sekitar 87% berasal dari motor diesel kapal, sedangkan sisanya berasal dari peralatan untuk bongkar muat dan alat transportasi darat yang lain.

3.2.1 Peraturan dan Kebijakan yang Mengatur Emisi NO_x

Peraturan dan kebijakan yang mengatur tentang emisi NO_x kapal bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dan kesehatan masyarakat akibat emisi gas buang kapal. Berikut adalah beberapa peraturan dan kebijakan yang mengatur mengenai emisi NO_x pembuangan kapal sebagai berikut :

1. Lampiran VI MARPOL 73/78

Lampiran VI MARPOL 73/78 adalah lampiran terakhir pada Konvensi Internasional untuk Pencegahan Polusi dari Kapal yang mengatur tentang pencegahan pencemaran udara dari kapal. Lampiran VI MARPOL 73/78 mengatur emisi ke atmosfer dari polutan tertentu dari kapal, termasuk nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur oksida (SO_x).

Lampiran VI MARPOL 73/78 menetapkan batas emisi NO_x untuk mesin kapal dan juga menetapkan Kode Teknis Pengendalian Emisi Nitrogen Oksida dari Mesin Diesel Kapal. Konvensi MARPOL 73/78 berlaku bagi seluruh kapal berbendera negara-negara yang telah mengadopsi konvensi tersebut.

Lampiran VI MARPOL 73/78 menetapkan batas emisi NO_x untuk mesin kapal. Batas emisi NO_x yang ditetapkan berdasarkan Tier, yaitu standar emisi yang diterapkan pada mesin baru. Berikut adalah batas emisi NO_x yang ditetapkan berdasarkan Tier :

1. Tier 1 (berlaku sejak 1 Januari 2000): 17 gram per kilowatt hour (g/kWh)
2. Tier 2 (berlaku sejak 1 Januari 2011): 14.4 g/kWh
3. Tier 3 (berlaku sejak 1 Januari 2016): 3.4 g/kWh

Dalam rangka mematuhi Lampiran VI MARPOL 73/78, kapal harus memenuhi batas emisi NO_x yang telah ditetapkan dan menggunakan teknologi pengendalian emisi yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

2. International Maritime Organization

International Maritime Organization (IMO) adalah organisasi khusus yang merupakan bagian dari Perserikatan Bangsa-Bangsa dan didirikan pada tahun 1948 dengan tujuan mengoordinasikan keselamatan maritim internasional dan pelaksanaannya. Organisasi ini secara rutin mengembangkan peraturan yang didukung oleh badan-badan klasifikasi dan surveyor maritim, untuk memastikan bahwa setiap kapal mematuhi peraturan yang berlaku. Selain itu, IMO juga bertanggung jawab atas keselamatan dan keamanan kegiatan pelayaran, serta mencegah pencemaran laut yang disebabkan oleh kapal.

Peran IMO sangat penting dalam bidang keselamatan laut, dan mereka berperan aktif dalam mengatur emisi gas buang dari kapal melalui "Regulations for the prevention of air pollution from ships" (Annex VI). Tujuan dari peraturan ini adalah untuk meminimalkan emisi gas buang yang dihasilkan oleh kapal, termasuk NO_x, SO_x, dan berbagai polutan lainnya. IMO berusaha untuk memastikan bahwa kapal-kapal mematuhi standar emisi yang ditetapkan dalam peraturan tersebut, dengan tujuan menjaga kebersihan dan kualitas udara di sekitar perairan internasional.

Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, IMO berkolaborasi dengan negara-negara anggotanya dan berbagai pemangku kepentingan, termasuk industri maritim, untuk mengembangkan solusi inovatif dan menerapkan teknologi yang ramah lingkungan dalam sektor perkapalan. Mereka juga menyediakan pedoman dan panduan teknis untuk membantu negara-negara anggota dalam implementasi peraturan dan praktik terbaik yang terkait dengan pengurangan emisi dan perlindungan lingkungan laut. Selain itu, IMO juga berperan sebagai forum global untuk diskusi dan pertukaran informasi tentang isu-isu maritim, termasuk pengelolaan bencana maritim, perlindungan keanekaragaman hayati laut, serta pengembangan regulasi dan standar baru yang relevan dengan perubahan lingkungan dan teknologi dalam industri perkapalan.

Melalui perannya yang luas dalam mengatur keselamatan maritim, pencegahan pencemaran laut, dan pengurangan emisi gas buang dari kapal, IMO berusaha untuk mempromosikan keberlanjutan dan kelestarian lingkungan laut global. Dalam upayanya untuk mencapai tujuan ini, organisasi ini terus beradaptasi dengan perkembangan terkini dalam industri perkapalan dan menjaga keterlibatan aktif dengan negara-negara anggotanya, agar dapat mengatasi tantangan dan merespons perubahan yang berkaitan dengan keselamatan maritim dan perlindungan lingkungan laut di era modern.. Batasan yang diatur oleh IMO adalah sebagai berikut :

1. Fase I: Berlaku sejak 2000 untuk mesin baru dengan daya lebih dari 130 kW. Batasan emisi NO_x untuk mesin diesel adalah 17,0 g/kWh, sedangkan untuk mesin bertenaga gas adalah 45,0 g/kWh.
2. Fase II: Berlaku sejak 2011 untuk mesin baru dengan daya lebih dari 130 kW. Batasan emisi NO_x untuk mesin diesel adalah 14,4 g/kWh, sedangkan untuk mesin bertenaga gas adalah 45,0 g/kWh.
3. Fase III: Berlaku sejak 2016 untuk mesin baru dengan daya lebih dari 130 kW dan mesin yang mengalami modifikasi signifikan. Batasan emisi NO_x untuk mesin diesel adalah 3,4 g/kWh, sedangkan untuk mesin bertenaga gas adalah 17,0 g/kWh.

Batasan emisi NO_x ini berlaku untuk kapal baru atau mesin baru yang diinstal setelah tanggal tertentu yang ditetapkan oleh IMO. Untuk kapal yang sudah ada sebelum tanggal tersebut, batasan emisi NO_x mungkin berbeda tergantung pada regulasi yang berlaku di negara atau wilayah tertentu.

3.2.2 Data Emisi NO_x selama 3 hari pada Bulan Januari di Pelabuhan Surabaya

Salah satu emisi gas yang berbahaya adalah NO_x. Di bawah ini merupakan data dari Emisi NO_x yang dihasilkan kapal yang ada di Pelabuhan Surabaya dalam jangka waktu 3 hari pada Bulan Januari adalah sebagai berikut :

Hari	NO _x (Kg)	NO _x (g)	Rata – rata power (KW)	Total NO _x (g / Kw)	IMO Tier I (Annex VI)		Kategori
					NO _x Limit $45 \times n^{-0,2} \text{ g / KW}$	RPM $130 \leq n < 2000$	
1.	274,90	274900	4500	61,09	12,51	600	Pencemar
	272,80	272800	4500	60,62	12,51	600	Pencemar
	198,49	198490	4500	44,10	12,51	600	Pencemar
	200,91	200910	4500	44,64	12,51	600	Pencemar
	79,13	79130	4500	17,58	12,51	600	Pencemar
2.	97,77	97770	4500	21,72	12,51	600	Pencemar
	84,27	84270	4500	18,72	12,51	600	Pencemar
	72,46	72460	4500	16,10	12,51	600	Pencemar
	60,80	60800	4500	13,51	12,51	600	Pencemar
	114,02	114020	4500	25,33	12,51	600	Pencemar
3.	56,85	56850	4500	12,63	12,51	600	Pencemar
	90,21	90210	4500	20,04	12,51	600	Pencemar
	13,90	13900	4500	3,08	12,51	600	Tidak Pencemar
	155,73	155730	4500	34,60	12,51	600	Pencemar
	135,52	135520	4500	30,11	12,51	600	Pencemar

Tabel 3.2 Data Emisi NO_x selama 3 hari pada Bulan Januari di Pelabuhan Surabaya

Berikut ini diperlihatkan **Tabel 3.2** yang memuat hasil total polutan NOx yang telah diatur oleh Marine Pollution Annex VI Tier I. Jumlah total NOx ini dihitung dengan membagi jumlah NOx (dalam gram) dengan rata-rata daya yang diasumsikan sebesar 4500 Kilowatt (Kw). Batas-batas NOx yang telah ditetapkan oleh Marine Pollution adalah sebesar 12,51 gram per Kilowatt-hour (g/KWh), yang diperoleh melalui penggunaan rumus $45 \times n^{-0,2}$ g/KWh, dengan asumsi bahwa $n = 600$ RPM. Berdasarkan hasil yang tercantum dalam **Tabel 3.2**, terdapat total hasil NOx selama 3 hari yaitu 1026,25 Kilogram (Kg), 429,34 Kg, dan 452,22 Kg. Hasil tersebut diperoleh dengan membagi jumlah NOx (dalam gram) dengan rata-rata daya yang digunakan, dimana rata-rata daya tersebut didasarkan pada asumsi 4500 Kw. Adapun batas batas NOx yang telah ditetapkan oleh Marine Pollution adalah sebesar 12,51 g/KWh, yang dihasilkan dari penggunaan rumus $45 \times n^{-0,2}$ g/KWh, dengan asumsi bahwa $n = 600$ RPM.

Rumus Total NOx :

$$\frac{NOx (Kg)}{1000} = \frac{274,90}{1000}$$

$$NOx (g) = 274900$$

$$\text{Rata -rata power} = 4500 \text{ KW (asumsi)}$$

$$\text{RPM} = 600 \text{ (asumsi)}$$

$$\text{Total NOx} = \frac{NOx (g)}{KW}$$

$$\text{Total NOx} = \frac{274900}{4500}$$

$$\text{Total NOx} = 61,09$$

- Rumus NO_x Limit :

$$NO_x \text{ Limit} = \frac{45 \times n^{-0,2} \text{ g}}{KW}$$

$$NO_x \text{ Limit} = \frac{45 \times 600^{-0,2} 274900}{4500}$$

$$NO_x \text{ Limit} = 12,51$$

Berdasarkan hasil perhitungan dapat diperoleh hasil total NO_x sebesar 61,09. Total NO_x limit sebesar 12,51. Dapat disimpulkan bahwa hasil emisi kapal tersebut sangat besar dan telah melebihi batas maksimal NO_x yang telah ditetapkan oleh *Marine Pollution*. Sebagian besar kapal yang sandar di Pelabuhan Surabaya menghasilkan emisi NO_x yang cukup besar dan sangat jauh dari ambang batas yang telah ditetapkan. Hal ini menandakan bahwa masih banyak kapal yang menggunakan bahan bakar yang tidak sesuai standar atau menggunakan mesin kapal yang tidak sesuai standar yang telah ditetapkan.

3.2.3 Dampak Emisi NO_x Pada Lingkungan

Seperti yang kita ketahui, perubahan komposisi udara dari keadaan normal, yang dikenal sebagai pencemaran udara, memiliki dampak pada suhu dalam kehidupan manusia. Pembangunan transportasi yang terus berkembang terutama transportasi laut sebagai tanggapan terhadap permintaan jasa, rupanya telah menyebabkan permasalahan lingkungan. Saat ini, kita semua menyadari bahwa polusi udara juga dapat menyebabkan efek rumah kaca, yang pada gilirannya dapat menghasilkan pemanasan global atau pemanasan bumi (Sudrajad, 2006).

Emisi yang melebihi batas minimal memiliki dampak yang sangat berbahaya bagi lingkungan sekitar. Gas NO_x merupakan penyebab terjadinya kabut asap dan awan coklat yang meliputi kota-kota besar dan mengakibatkan buruknya kualitas udara (M. Haikal, 2019). Emisi NO_x dapat menyebabkan hujan asam dan kerusakan lapisan ozon. Selain itu, NO_x juga memiliki dampak negatif terhadap ekosistem, hewan, dan tanaman. Kedua bentuk NO_x , yaitu NO dan NO_2 , sangat berbahaya bagi manusia. Penelitian mengenai aktivitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa NO_2 memiliki tingkat keacuhan empat kali lebih tinggi dibandingkan NO (I Gede O.D, 2013). NO_2 adalah gas beracun bagi manusia, dan efeknya tergantung pada dosis dan durasi paparan yang diterima oleh individu. Emisi yang melebihi batas minimal memiliki dampak yang sangat berbahaya bagi lingkungan sekitar. Dampak yang diakibatkan oleh emisi NO_x adalah sebagai berikut :

a) Pencemaran Udara

NO_x berkontribusi terhadap pembentukan ozon troposferik (ozon di lapisan udara yang dekat dengan permukaan bumi), yang merupakan komponen utama polusi udara. Ozon troposferik yang berlebih dapat menyebabkan masalah pernapasan, iritasi pada mata dan saluran pernapasan, serta menyebabkan penurunan kualitas udara secara keseluruhan. Pencemaran udara oleh gas NO₂ dapat menyebabkan timbulnya Peroxy Acetil Nitrates ini menyebabkan iritasi pada mata yang menyebabkan mata terasa pedih dan berair.

Campuran PAN bersama senyawa kimia lainnya yang ada di udara sehingga dapat menyebabkan terjadinya kabut fotokimia atau Photo Chemistry smog yang akan berdampak terhadap lingkungan dan bersifat karsinogenik. Salah satu dampak terhadap lingkungan di jalan raya yaitu akibat timbulnya asap tebal yang dapat mengakibatkan berkurangnya jarak pandang sehingga bisa menyebabkan kecelakaan (Seaton, 2015). Photo Chemistry Smog atau asap kabut fotokimia merupakan campuran kompleks dari berbagai macam pencemar yang terbentuk karena reaksi-reaksi kimia yang terjadi dengan sinar matahari. Asap kabut fotokimia disebabkan oleh beberapa senyawa polutan dari beberapa sumber yang merupakan aktivitas manusia sehari-hari (Smith, 2015).

Jenis pencemaran udara sendiri dibagi menjadi 3 berdasarkan ciri fisik, faktor penyebab terjadinya pencemar, dan pola penyebaran pencemar. Menurut (Soedomo, 2001) ada beberapa jenis pencemaran udara tergantung dari pengelompokannya, yaitu :

- Dilihat dari ciri fisik, bahan pencemar berupa :
 - a. Partikel (debu, aerosol, timah hitam)
 - b. Gas (CO, NO_x, SO_x, H₂S, Hidrokarbon)
 - c. Energi (suhu dan kebisingan)
- Berdasarkan kejadian terbentuknya pencemar, yaitu :
 - a. Pencemar primer ialah pencemar yang diemisikan langsung oleh sumber
 - b. Pencemar sekunder ialah pencemar yang terbentuk karena reaksi di udara antara berbagai zat.

- Berdasarkan pola penyebaran emisi pencemar, yaitu :
 - a. Sumber titik (point source) ialah sumber yang diam, seperti cerobong asap
 - b. Sumber garis (line source) ialah sumber yang bergerak berasal dari kendaraan bermotor.
 - c. Sumber area (area source) ialah sumber berasal dari pembakaran terbuka di daerah permukiman, pedestrian dan lain-lain

b) Pencemaran Air

Emisi NO_x dapat menyebabkan pencemaran air melalui fenomena yang dikenal sebagai hujan asam. Hujan asam terjadi ketika gas NO_x bereaksi dengan oksigen dan air di atmosfer, membentuk asam nitrat dan asam nitrit. Setelah terbentuk, asam-asam ini jatuh ke permukaan tanah dan air melalui proses presipitasi, seperti hujan atau salju. Ketika asam nitrat dan asam nitrit mencapai tanah, mereka dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem darat. Tingkat keasaman yang tinggi dalam tanah dapat menghambat pertumbuhan tanaman, mengganggu keseimbangan nutrisi dan mengurangi ketersediaan nutrisi yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan produktivitas pertanian dan merusak keanekaragaman hayati di ekosistem darat (I Gede Oka, 2013).

Selain itu, ketika asam nitrat dan asam nitrit mencapai perairan, mereka dapat menyebabkan pencemaran air. Kedua jenis asam ini dapat merusak ekosistem perairan dengan beberapa cara. Pertama, konsentrasi keasaman yang tinggi dapat mengganggu organisme air, termasuk ikan, serangga air, dan makroinvertebrata, serta menyebabkan kerusakan pada telur ikan dan larva. Kedua, hujan asam juga dapat menguras nutrisi yang penting dari tanah, seperti kalsium dan magnesium, dan mengangkutnya ke perairan. Hal ini dapat mengganggu keseimbangan nutrisi dalam perairan dan menyebabkan eutrofikasi yang merugikan ekosistem akuatik.

Pencemaran air yang disebabkan oleh hujan asam memiliki dampak jangka panjang yang merugikan, termasuk penurunan kualitas air, kerugian keanekaragaman hayati, dan ketidakseimbangan ekosistem. Oleh karena itu,

penting untuk mengurangi emisi NO_x dan mengadopsi langkah-langkah pengendalian polusi udara yang efektif guna mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan air. Selain itu, praktik pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan juga perlu diterapkan untuk melindungi ekosistem air dan menjaga kualitas air yang baik bagi kehidupan manusia dan keanekaragaman hayati.

c) Pemanasan Global

Emisi NO_x juga memiliki dampak terhadap efek rumah kaca dan pemanasan global yang signifikan. NO_x memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan senyawa-senyawa lain dalam atmosfer, membentuk ozon di lapisan atmosfer atas yang berperan sebagai gas rumah kaca. Ketika jumlah gas rumah kaca meningkat, terjadi peningkatan kemampuan atmosfer untuk menahan panas, yang pada gilirannya dapat menyebabkan peningkatan suhu global secara keseluruhan. Dampak pemanasan global yang diakibatkan oleh peningkatan suhu global memiliki konsekuensi yang luas terhadap lingkungan dan kehidupan manusia. Perubahan iklim yang signifikan terjadi, termasuk perubahan pola cuaca seperti peningkatan kejadian cuaca ekstrem, pergeseran pola curah hujan, dan meningkatnya frekuensi dan intensitas badai. Selain itu, suhu rata-rata permukaan bumi juga mengalami peningkatan yang berdampak pada ekosistem darat dan perairan, termasuk pencairan es di kutub yang menyebabkan kenaikan permukaan air laut dan ancaman terhadap pulau-pulau dan daerah pesisir.

Perubahan lingkungan yang disebabkan oleh pemanasan global memiliki konsekuensi serius bagi kehidupan manusia dan ekosistem. Perubahan suhu dan pola curah hujan dapat mengganggu pertanian, menyebabkan penurunan hasil panen, dan mengancam keamanan pangan. Ekosistem darat dan perairan juga mengalami gangguan, termasuk penurunan keanekaragaman hayati, migrasi spesies yang tidak normal, dan kerusakan terumbu karang. Oleh karena itu, penting untuk mengurangi emisi NO_x dan upaya pengendalian polusi udara secara keseluruhan guna mengurangi kontribusinya terhadap pemanasan global.

Tindakan mitigasi seperti penggunaan teknologi yang lebih bersih dan efisien, penggunaan energi terbarukan, dan pengembangan transportasi berkelanjutan diperlukan untuk mengurangi emisi NO_x dan meminimalkan dampak negatifnya terhadap perubahan iklim dan keberlanjutan lingkungan.

d) Eutrofikasi

NO_x juga memiliki kemampuan untuk menyebabkan eutrofikasi dalam ekosistem perairan. Emisi NO_x yang berasal dari berbagai sumber seperti pembakaran kendaraan dan pembangkit listrik dapat mencapai perairan melalui deposit udara dan aliran air. Ketika kelebihan nitrogen dari NO_x masuk ke perairan, hal ini dapat merangsang pertumbuhan alga yang berlebihan di dalam ekosistem perairan. Pertumbuhan alga yang berlebihan ini dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan secara signifikan. Kelebihan nitrogen memberikan nutrisi yang melimpah bagi alga, yang menyebabkan populasi alga berkembang dengan cepat. Fenomena ini dikenal sebagai "blooming alga". Ketika alga mengalami pertumbuhan yang tak terkendali, mereka membentuk lapisan padat di permukaan air atau membentuk alga yang terapung di dalam perairan. Keberadaan alga yang berlebihan ini dapat menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air, mengurangi tingkat oksigen di bawah permukaan air, dan menciptakan kondisi anaerobik yang tidak sehat bagi organisme air lainnya.

Akibatnya, penurunan kualitas air terjadi dalam ekosistem perairan yang terkena dampak eutrofikasi. Kehilangan keanekaragaman hayati dapat terjadi karena beberapa spesies organisme air tidak dapat bertahan hidup di lingkungan yang berubah akibat pertumbuhan alga yang berlebihan. Selain itu, gangguan pada rantai makanan dan interaksi ekosistem juga terjadi, karena perubahan kondisi perairan mengakibatkan pergeseran dalam populasi organisme air, termasuk ikan dan makroinvertebrata. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengurangi emisi NO_x guna mengatasi masalah eutrofikasi dalam ekosistem perairan. Upaya pencegahan pencemaran air dengan mengontrol emisi NO_x dari sumber-sumber utama seperti transportasi dan industri sangatlah penting. Selain itu, penerapan metode pengelolaan air yang berkelanjutan, seperti pengendalian erosi dan penggunaan pupuk yang bijaksana, dapat membantu mengurangi kelebihan

nitrogen yang mencapai perairan. Dengan demikian, kita dapat melindungi kualitas air, mempertahankan keanekaragaman hayati, dan menjaga keseimbangan ekosistem perairan yang penting bagi kehidupan manusia dan organisme lainnya.

e) Penyakit Berbahaya Bagi Makhluk Hidup

Emisi NO_x memiliki potensi untuk menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan manusia dan hewan. Kehadiran NO_x dalam udara dapat menghasilkan efek negatif pada kesehatan pernapasan karena sifatnya yang korosif dan reaktif. Ketika manusia atau hewan menghirup udara yang terkontaminasi oleh NO_x, senyawa tersebut dapat bereaksi dengan lendir dan cairan di saluran pernapasan, menyebabkan iritasi pada jalan napas. Ini dapat mengakibatkan gejala seperti batuk, sesak napas, nyeri dada, dan peradangan pada saluran pernapasan. Pada individu yang menderita penyakit pernapasan seperti asma, bronkitis, atau penyakit paru obstruktif kronik, paparan NO_x dapat memperburuk kondisi mereka dan menyebabkan serangan pernapasan yang lebih parah.

Selain manusia, hewan juga rentan terhadap efek iritasi NO_x pada saluran pernapasannya. Hewan yang hidup di lingkungan yang terpapar tinggi emisi NO_x, seperti hewan peliharaan, ternak, dan hewan liar, dapat mengalami masalah pernapasan seperti batuk, sesak napas, dan peradangan pada saluran pernapasan mereka. Oleh karena itu, penting untuk mengurangi emisi NO_x guna melindungi kesehatan manusia dan hewan. Upaya pengendalian polusi udara, seperti mengadopsi teknologi yang lebih bersih dan efisien dalam transportasi dan industri, serta mengimplementasikan kebijakan yang mengatur batas emisi NO_x, sangat diperlukan untuk mengurangi paparan dan dampak iritasi pada saluran pernapasan. Dengan menjaga kualitas udara yang baik dan mengurangi emisi NO_x, kita dapat melindungi kesehatan pernapasan manusia dan hewan serta meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan.

f) Hujan Asam

Emisi NO_x juga memiliki peran penting dalam pembentukan asam hujan. Ketika NO_x berinteraksi dengan partikel-partikel di udara, seperti amonia, sulfat, atau partikel debu, reaksi tersebut dapat menghasilkan pembentukan asam nitrat dan asam nitrit. Asam-asam ini kemudian dapat terlarut dalam air dan jatuh ke

permukaan bumi bersama dengan hujan atau presipitasi lainnya, membentuk apa yang kita kenal sebagai asam hujan. Dampak asam hujan yang disebabkan oleh keberadaan NO_x memiliki konsekuensi yang merusak bagi lingkungan dan kesehatan. Ketika asam hujan mengenai tanaman, mereka dapat mengalami kerusakan pada daun, batang, dan akar. Asam nitrat dan asam nitrit dalam tanah dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tanaman, mengganggu keseimbangan nutrisi, dan mengurangi produktivitas pertanian. Selain itu, asam hujan yang mencapai perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air dengan merusak ekosistem air tawar dan laut.

Dalam ekosistem air, asam hujan dapat mengganggu organisme air seperti ikan, serangga air, dan makroinvertebrata. Kehadiran asam hujan dalam perairan mengubah tingkat keasaman air, menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut, dan dapat merusak habitat alami serta keanekaragaman hayati di dalamnya. Hal ini dapat mengganggu rantai makanan perairan dan mengganggu keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Selain dampak lingkungan, asam hujan juga memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia dan hewan. Paparan jangka panjang terhadap asam hujan dapat menyebabkan masalah pernapasan, iritasi kulit, dan meningkatkan risiko penyakit pernapasan seperti asma. Hewan yang hidup di lingkungan yang terpapar tinggi asam hujan juga dapat mengalami gangguan kesehatan, termasuk kerusakan pada sistem pernapasan mereka.

Oleh karena itu, pengurangan emisi NO_x sangat penting dalam mengatasi masalah asam hujan. Langkah-langkah pengendalian polusi udara yang efektif, seperti penggunaan teknologi yang lebih bersih dalam transportasi dan industri, serta kebijakan yang mengatur batas emisi NO_x, dapat membantu mengurangi pembentukan asam hujan dan melindungi lingkungan, kesehatan manusia, dan keseimbangan ekosistem air yang penting bagi kehidupan kita semua.

3.2.4 Penanganan Emisi NO_x

Kebijakan yang dikeluarkan oleh Organisasi Maritim Internasional (IMO) memiliki tujuan untuk mengendalikan emisi polutan dari kapal-kapal di seluruh dunia. Salah satu kebijakan tersebut adalah membatasi penggunaan bahan bakar dengan kadar sulfur tidak lebih dari 0,5%, sebagaimana tertera dalam *Marine*

Pollution 73/78 Annex VI. Dalam konteks ini, pemerintah Indonesia juga mengambil langkah-langkah untuk membatasi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kapal-kapal yang beroperasi di perairan negara ini.

Pemerintah Indonesia menerapkan tes dan kontrol emisi pada kapal-kapal sebagai salah satu langkah untuk membatasi dampak polusi yang ditimbulkan oleh emisi kapal. Dengan mengatur tes dan kontrol emisi, pemerintah dapat memastikan bahwa kapal-kapal yang beroperasi di perairan Indonesia mematuhi batasan emisi yang telah ditentukan. Tindakan ini bertujuan untuk melindungi lingkungan dan menjaga keberlanjutan sumber daya alam yang ada. Selain itu, pemerintah Indonesia juga fokus pada pengembangan pelabuhan yang menggunakan energi terbarukan, seperti energi listrik (Dian et.al, 2008). Dengan mengadopsi energi terbarukan dalam kegiatan bongkar muat di pelabuhan, pemerintah bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses tersebut dan secara langsung mengurangi emisi yang berpotensi merugikan lingkungan. Penggunaan energi listrik dalam pelabuhan dapat menggantikan penggunaan bahan bakar fosil yang umumnya digunakan oleh alat berat dan kendaraan di pelabuhan (M. Haikal, 2019). Dengan demikian, dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan pelabuhan dapat dikurangi secara signifikan.

Kebijakan yang dikeluarkan oleh Organisasi Maritim Internasional (IMO) menerapkan pembatasan terhadap penggunaan bahan bakar dengan kadar sulfur tidak melebihi 0,5%, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam *Marine Pollution 73/78 Annex VI*. Di Indonesia, pemerintah telah mengadopsi kebijakan yang mengatur batasan-batasan terhadap kapal-kapal yang berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu langkah yang diambil adalah menerapkan tes dan pengendalian emisi pada kapal-kapal tersebut.

Selain itu, pemerintah Indonesia juga sedang gencar dalam upaya pengembangan pelabuhan yang menggunakan energi terbarukan, khususnya energi listrik. Tujuan dari langkah ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dalam kegiatan bongkar muat di pelabuhan dan secara efektif mengurangi emisi yang berbahaya bagi lingkungan. Dengan demikian, upaya ini bertujuan untuk mengurangi dampak

negatif terhadap lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi operasional di pelabuhan.

Berikut adalah beberapa cara dan metode untuk menangani emisi NO_x :

a. *Exhaust Gas Re circulation (EGR)*

Exhaust Gas Recirculation (EGR) pada kapal bekerja dengan cara mengalirkan kembali sebagian gas buang atau gas pembakaran kembali ke dalam ruang bakar untuk dicampur dengan udara segar sebelum proses pembakaran berlangsung. Tujuan dari sistem EGR ini adalah untuk mengurangi kadar oksigen dalam ruang bakar dan menurunkan suhu pembakaran, sehingga mengurangi pembentukan nitrogen oksida (NO_x) yang merupakan salah satu polutan utama dalam emisi kapal. Berikut adalah cara kerja yang terjadi dalam operasi *Exhaust Gas Re circulation* pada kapal :

- *Pemisahan Gas Buang (Particulate Separator)*

Unit EGR adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk memisahkan gas buang dari saluran pembuangan atau cerobong kapal. Gas buang ini umumnya mengandung senyawa nitrogen oksida (NO_x). Proses pemisahan ini dilakukan dengan menggunakan teknologi yang dirancang khusus untuk mengurangi jumlah NO_x yang dilepaskan ke lingkungan. Unit EGR bekerja dengan cara mengarahkan gas buang melalui suatu sistem yang terdiri dari berbagai komponen, seperti katup dan pipa pengarah. Saat gas buang mengalir melalui unit EGR, nitrogen oksida terkandung di dalamnya dipisahkan dan ditangkap. Dengan demikian, unit EGR membantu mengurangi emisi NO_x yang dihasilkan oleh kapal.

Proses pemisahan gas buang ini memiliki manfaat yang signifikan, terutama dalam hal melindungi lingkungan. Dengan mengurangi jumlah NO_x yang dilepaskan ke udara, unit EGR membantu mengurangi polusi udara dan dampak negatifnya terhadap kualitas udara dan kesehatan manusia.

- Pembersihan Gas Buang

Proses pembersihan gas buang adalah langkah penting yang dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan zat-zat berbahaya, seperti sulfur dioksida (SO_2), karbon dioksida (CO_2), dan senyawa-senyawa lainnya yang dapat mencemari udara dan berkontribusi pada polusi lingkungan. Pembersihan ini menjadi kunci dalam upaya untuk menjaga kualitas udara yang sehat dan melindungi ekosistem. Untuk mencapai pembersihan yang efektif, digunakan berbagai metode yang telah terbukti efisien. Salah satu metode yang umum digunakan adalah penggunaan scrubber atau penghambur. Scrubber adalah perangkat yang menggunakan media penyaring atau cairan pembersih untuk menghilangkan zat-zat berbahaya dari gas buang. Dalam proses ini, gas buang melewati scrubber dan kontak dengan media pembersih yang mampu menyerap atau mengikat zat-zat berbahaya tersebut, sehingga gas yang keluar dari scrubber menjadi lebih bersih.

Selain scrubber, katalis juga digunakan dalam proses pemurnian gas buang. Katalis adalah substansi yang mempercepat reaksi kimia tanpa ikut berubah secara permanen. Dalam konteks pembersihan gas buang, katalis digunakan untuk memfasilitasi reaksi kimia yang mengubah zat berbahaya menjadi zat yang kurang berbahaya atau lebih mudah ditangkap. Contohnya, katalis dapat digunakan untuk mengubah sulfur dioksida menjadi senyawa yang lebih aman atau mengkatalisis reaksi oksidasi untuk mengurangi jumlah karbon monoksida dalam gas buang.

- Pengaliran Kembali Gas Buang

Setelah gas buang menjalani proses pembersihan, gas yang telah bersih tersebut kemudian dialirkan kembali atau dikembalikan ke saluran udara masuk ke ruang bakar kapal. Tindakan ini dilakukan dengan tujuan untuk memanfaatkan kembali gas buang yang telah diproses, sehingga dapat memberikan beberapa manfaat yang signifikan. Penggunaan kembali gas buang yang telah dibersihkan juga dapat membantu dalam

memenuhi persyaratan peraturan dan standar emisi yang ditetapkan oleh otoritas maritim dan lingkungan. Dalam banyak yurisdiksi, terdapat batasan emisi yang telah ditetapkan untuk mengurangi dampak negatif industri perkapalan terhadap lingkungan. Dengan menggunakan gas buang yang telah diproses, kapal dapat memenuhi atau bahkan melebihi standar emisi yang ditetapkan, sehingga mencapai kepatuhan yang lebih baik.

Dengan mengalirkan kembali gas buang yang telah dibersihkan ke dalam saluran udara masuk ke ruang bakar kapal, ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh. Pertama, penggunaan kembali gas buang bersih ini dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dalam ruang bakar. Gas buang yang terkembali mengandung oksigen yang lebih tinggi dan lebih rendah konsentrasi zat-zat berbahaya. Hal ini dapat mengoptimalkan proses pembakaran dan menghasilkan efisiensi yang lebih baik dalam penggunaan bahan bakar, sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca.

- Pencampuran dengan Udara Segar

Gas buang yang telah dialirkan kembali dicampur dengan udara segar sebelum memasuki ruang bakar kapal, dengan tujuan untuk mengurangi konsentrasi oksigen dan menurunkan suhu pembakaran. Tindakan ini membawa beberapa manfaat yang penting dalam pengoperasian kapal yang efisien dan ramah lingkungan. Dengan mencampur gas buang yang telah diproses dengan udara segar sebelum masuk ke ruang bakar, konsentrasi oksigen dalam campuran tersebut dapat dikurangi. Hal ini disebabkan oleh adanya pengenceran gas buang dengan udara segar yang lebih rendah kandungan oksigennya. Penurunan konsentrasi oksigen ini memiliki efek yang positif dalam pengendalian pembakaran.

Dengan jumlah oksigen yang lebih rendah, pembakaran dapat menjadi lebih stabil dan kontrol suhu di dalam ruang bakar dapat lebih terjaga. Ini membantu mengurangi risiko terjadinya kondisi pembakaran

yang tidak diinginkan, seperti detonasi atau pembakaran tidak sempurna, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin dan meningkatkan emisi polutan. Selain itu, pencampuran gas buang yang telah diproses dengan udara segar juga berkontribusi pada penurunan suhu pembakaran di ruang bakar. Gas buang yang telah diproses memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan gas buang langsung dari proses pembakaran. Ketika gas buang yang lebih dingin dicampur dengan udara segar, suhu campuran menjadi lebih rendah secara keseluruhan. Penurunan suhu ini dapat membantu dalam mengurangi beban panas pada komponen mesin, mengurangi keausan, dan memperpanjang masa pakai mesin.

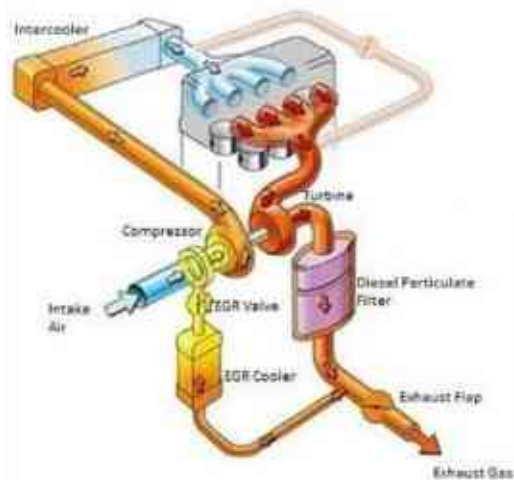
Pengurangan konsentrasi oksigen dan penurunan suhu pembakaran ini memiliki manfaat tambahan dalam pengurangan emisi. Dengan mengurangi konsentrasi oksigen, pembentukan oksida nitrogen (NO_x) dapat dikurangi karena suhu pembakaran yang lebih rendah. Selain itu, suhu pembakaran yang lebih rendah juga dapat mengurangi emisi partikel padat, karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (HC). Dengan demikian, mencampur gas buang yang diproses dengan udara segar membantu dalam memenuhi regulasi emisi yang ketat dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan.

- Reduksi Emisi NO_x

Sistem EGR, atau Recirculation Gas Buang, berfungsi dengan cara mengarahkan sebagian gas buang kembali ke dalam ruang bakar kapal. Dalam proses ini, gas buang yang telah dipisahkan dan diproses melalui unit EGR dicampur dengan udara segar sebelum memasuki ruang bakar. Ketika campuran ini terjadi, ketersediaan oksigen dalam udara masuk berkurang, dan suhu pembakaran menurun. Dengan mengurangi ketersediaan oksigen, sistem EGR mengurangi kecepatan dan intensitas reaksi kimia yang terjadi selama pembakaran. Hal ini menghambat pembentukan NO_x, yang terjadi ketika nitrogen di udara masuk bereaksi dengan oksigen dalam suhu tinggi. Dengan mengurangi

ketersediaan oksigen, reaksi pembentukan NO_x dapat ditekan secara signifikan.

Selain itu, dengan menurunkan suhu pembakaran, sistem EGR juga berkontribusi pada pengurangan pembentukan NO_x. Suhu yang lebih rendah mengurangi kecepatan reaksi dan mengurangi aktivitas kimia yang berperan dalam pembentukan NO_x. Dengan demikian, suhu pembakaran yang lebih rendah membatasi pembentukan NO_x dan membantu dalam mengurangi emisi gas yang berbahaya. Penggunaan sistem EGR menjadi langkah penting dalam mengendalikan emisi NO_x, karena NO_x merupakan salah satu polutan yang signifikan dalam polusi udara dan memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia serta lingkungan. Dengan mengurangi pembentukan NO_x selama proses pembakaran, sistem EGR berperan dalam menjaga kualitas udara yang lebih baik dan meminimalkan dampak negatif pada lingkungan.



Gambar 3.9 Exhaust Gas Re circulation

b) Selective Catalytic Reduction (SCR)

Unit *Selective Catalytic Reduction* (SCR) pada kapal adalah sistem pengurang emisi yang digunakan untuk mengurangi kadar nitrogen oksida (NO_x) dalam gas buang kapal. SCR menggunakan katalis untuk mereduksi NO_x menjadi nitrogen (N₂) dan air (H₂O) melalui reaksi kimiawi.

Berikut adalah cara kerja dalam operasi unit SCR pada kapal :

- **Penginjeksian Agen Reduksi (*Reduction Agent Injection*)**

Unit SCR memanfaatkan agen reduksi sebagai substansi kimia yang penting untuk mereduksi konsentrasi nitrogen oksida (NO_x). Agen reduksi yang umumnya digunakan dalam unit SCR adalah larutan urea atau amonia. Larutan ini berperan sebagai bahan kimia kunci yang dibutuhkan untuk menginisiasi dan mengkatalisasi reaksi pengurangan NO_x . Proses pengurangan NO_x dalam unit SCR melibatkan interaksi antara agen reduksi dan gas buang yang mengandung NO_x . Ketika gas buang melewati unit SCR, agen reduksi secara hati-hati disuntikkan ke dalam aliran gas tersebut melalui sistem penginjeksian yang disesuaikan secara khusus. Penginjeksian agen reduksi dilakukan dengan presisi tinggi untuk memastikan bahwa jumlah yang tepat diperkenalkan ke dalam reaktor SCR.

Setelah agen reduksi dicampur dengan gas buang, mereka berinteraksi dengan katalis yang ada dalam unit SCR. Pada suhu yang sesuai, agen reduksi bereaksi dengan NO_x dalam gas buang, mengubahnya menjadi nitrogen (N_2) yang tidak berbahaya dan uap air (H_2O). Reaksi ini disebut sebagai reaksi pengurangan NO_x . Sistem penginjeksian agen reduksi memiliki peran penting dalam memastikan efisiensi dan keberhasilan unit SCR. Dengan mengatur jumlah yang tepat dan waktu penginjeksian agen reduksi, unit SCR dapat mengoptimalkan proses pengurangan NO_x dan mengurangi emisi gas berbahaya ke lingkungan.

- **Penyemprotan Agen Reduksi (*Reduction Agent Spraying*)**

Agen reduksi yang disuntikkan akan diaplikasikan dalam bentuk kabut halus atau aerosol ke dalam aliran gas buang di sekitar katalis. Tujuan dari penyemprotan ini adalah untuk mencapai pencampuran yang optimal antara gas buang dan agen reduksi. Dalam proses penyemprotan agen reduksi, partikel-

partikel kecil dari agen reduksi akan dihasilkan dengan menggunakan teknik semprotan yang halus. Ini memungkinkan agen reduksi untuk mendispersikan secara merata dan menyeluruh ke dalam aliran gas buang yang melewati katalis di unit SCR. Dengan menghasilkan kabut halus atau aerosol, luas permukaan antara agen reduksi dan gas buang meningkat secara signifikan. Hal ini menciptakan kondisi yang menguntungkan untuk terjadinya reaksi kimia yang efisien dan cepat antara agen reduksi dan NO_x yang terkandung dalam gas buang. Pencampuran yang baik antara agen reduksi dan gas buang sangat penting, karena ini memaksimalkan interaksi mereka dan memastikan bahwa reaksi pengurangan NO_x dapat berjalan secara optimal.

Dengan melakukan penyemprotan agen reduksi dalam bentuk kabut halus atau aerosol, unit SCR dapat mencapai efisiensi tinggi dalam mengurangi emisi NO_x . Pencampuran yang baik juga memungkinkan agen reduksi untuk mencapai katalis dengan tepat, memaksimalkan kemampuannya dalam mereduksi NO_x menjadi produk yang lebih aman. Proses penyemprotan yang hati-hati dan perhatian terhadap pencampuran yang baik adalah faktor kunci dalam keberhasilan unit SCR. Dengan memastikan distribusi yang merata dan efektif dari agen reduksi di dalam aliran gas buang, unit SCR dapat mencapai pengurangan NO_x yang optimal dan memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengurangi dampak negatif emisi pada lingkungan dan kesehatan manusia.

- Reaksi di Katalis (Catalytic Reaction)

Gas buang yang mengandung NO_x dan agen reduksi yang telah disemprotkan akan melewati lapisan katalis yang terletak di dalam unit SCR. Katalis ini biasanya terdiri dari bahan seperti titanium dioksida atau vanadium pentoksida, yang memiliki

kemampuan untuk meningkatkan kecepatan reaksi pengurangan NO_x . Dalam unit SCR, katalis berperan sebagai agen yang mengkatalisasi reaksi pengurangan NO_x . Ketika gas buang dan agen reduksi melewati katalis, bahan katalitik di permukaan katalis berinteraksi dengan molekul NO_x dan agen reduksi secara simultan. Katalis dengan komposisi seperti titanium dioksida atau vanadium pentoksida memiliki sifat yang memungkinkan mereka untuk berfungsi sebagai katalis yang sangat efektif dalam merangsang reaksi kimia yang diinginkan. Molekul NO_x yang terikat pada permukaan katalis bereaksi dengan agen reduksi yang hadir, seperti urea atau amonia, dan mengalami pengurangan menjadi nitrogen dan uap air yang aman.

Kehadiran katalis yang tepat dalam unit SCR sangat penting karena mereka mempercepat laju reaksi pengurangan NO_x . Katalis mampu mengurangi energi aktivasi yang diperlukan untuk reaksi kimia, sehingga reaksi dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah dan lebih efisien. Dengan memanfaatkan katalis yang sesuai, unit SCR dapat mencapai tingkat efisiensi yang tinggi dalam mengurangi emisi NO_x . Katalis memainkan peran penting dalam memastikan bahwa reaksi pengurangan NO_x berlangsung secara efektif dan dapat diandalkan, sehingga membantu dalam memenuhi persyaratan regulasi emisi dan menjaga lingkungan serta kualitas udara yang lebih baik.

- Reduksi NO_x

Dalam proses reaksi katalitik, nitrogen oksida (NO_x) berinteraksi dengan agen reduksi di permukaan katalis, menghasilkan nitrogen (N_2) dan air (H_2O) yang merupakan senyawa yang aman dan tidak berbahaya. Proses ini dikenal sebagai reduksi NO_x , di mana NO_x diubah menjadi senyawa yang tidak merugikan bagi lingkungan dan kesehatan.

Reaksi reduksi NO_x adalah tahap kritis dalam unit SCR, di mana katalis memainkan peran penting dalam memfasilitasi interaksi antara NO_x dan agen reduksi. Ketika molekul NO_x terikat pada permukaan katalis, agen reduksi yang hadir bereaksi dengan NO_x, memecah ikatan nitrogen dan oksigen. Dalam hasil akhir reaksi ini, nitrogen diubah menjadi bentuk yang stabil seperti nitrogen gas (N₂), sedangkan oksigen bergabung dengan hidrogen dari agen reduksi untuk membentuk air (H₂O).

Proses reduksi NO_x sangat signifikan dalam mengurangi dampak negatif NO_x terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. NO_x adalah polutan udara yang berkontribusi terhadap pembentukan kabut asap dan polusi udara, serta dapat berkontribusi terhadap pembentukan hujan asam dan masalah pernapasan. Melalui reaksi katalitik yang efisien dalam unit SCR, NO_x dikonversi menjadi senyawa yang jauh lebih aman seperti nitrogen dan air, yang tidak memiliki efek merugikan bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

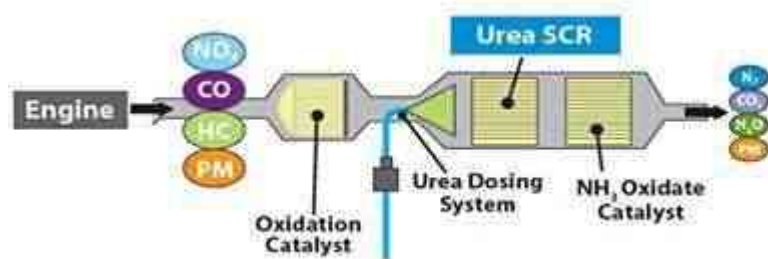
- Pengendalian Sistem (System Control)

Unit SCR dilengkapi dengan sistem pengendalian yang mengatur jumlah agen reduksi yang diinjeksikan berdasarkan informasi yang diperoleh dari sensor yang mengukur konsentrasi NO_x dalam gas buang. Sistem pengendalian ini bertujuan untuk memastikan dosis yang tepat dari agen reduksi yang diperlukan agar mencapai efisiensi pengurangan NO_x yang optimal. Sistem kontrol dalam unit SCR berperan sebagai otak yang mengendalikan operasi keseluruhan. Sensor-sensor yang terpasang secara strategis dalam aliran gas buang mendeteksi dan mengukur konsentrasi NO_x. Data yang diperoleh dari sensor tersebut dikirim ke sistem kontrol untuk analisis dan pemrosesan lebih lanjut.

Berdasarkan informasi dari sensor, sistem kontrol secara akurat dan real-time menentukan dosis yang diperlukan dari agen reduksi. Dalam menghitung dosis yang tepat, sistem kontrol mempertimbangkan berbagai faktor seperti karakteristik gas buang, suhu operasi, dan persyaratan emisi yang ditetapkan. Dengan memperhitungkan faktor-faktor ini, sistem kontrol dapat mengoptimalkan dosis agen reduksi untuk memastikan pengurangan NO_x yang paling efektif dan efisien.

Pengaturan dosis yang tepat dari agen reduksi sangat penting untuk menjaga keseimbangan yang optimal antara pengurangan NO_x dan penggunaan agen reduksi. Jika dosis terlalu rendah, efisiensi pengurangan NO_x mungkin tidak tercapai sepenuhnya. Di sisi lain, dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penggunaan agen reduksi yang tidak efisien dan berlebihan, mengakibatkan biaya yang tidak perlu.

Dengan menggunakan sistem kontrol yang canggih dan akurat, unit SCR dapat mengoptimalkan pengurangan NO_x dengan dosis agen reduksi yang tepat. Hal ini membantu mencapai efisiensi yang tinggi dalam mengurangi emisi NO_x, serta mengurangi penggunaan agen reduksi secara ekonomis. Dalam upaya untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, sistem kontrol memainkan peran penting dalam menjaga performa optimal dari unit SCR.



Gambar 3.10 *Selective Catalytic Reduction*

c) *Water Injection and Water emulsion*

Unit Water Injection dan Water Emulsion pada kapal adalah sistem yang digunakan untuk mengurangi emisi nitrogen oksida (NO_x) selama proses pembakaran di mesin kapal. Metode ini melibatkan penggunaan air sebagai agen pendingin atau pengemulsi yang dapat mengurangi suhu pembakaran dan pembentukan NO_x. Penerapan Water Injection dan Water Emulsion pada kapal bertujuan untuk mengurangi emisi NO_x dan memenuhi regulasi lingkungan yang ketat. Setiap unit Water Injection dan Water Emulsion dapat bervariasi tergantung pada desain mesin dan sistem kapal yang digunakan. Penting untuk memahami panduan pengoperasian dan pemeliharaan yang tepat dari unit-unit ini untuk memastikan kinerja yang optimal dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang berlaku.

Berikut adalah cara kerja setiap unit Water Injection dan Water Emulsion pada kapal:

- *Water Injection* (Injeksi Air)

Unit *Water Injection* berfungsi untuk menginjeksikan air langsung ke dalam ruang bakar kapal selama proses pembakaran. Proses ini dilakukan dengan mengatur aliran air secara terkendali dan menyemprotkannya ke dalam ruang bakar kapal. Umumnya, air diinjeksikan melalui nosel atau injektor yang ditempatkan di sekitar area pembakaran. Dalam unit *Water Injection*, penginjeksian air bertujuan untuk beberapa tujuan. Pertama, air bertindak sebagai agen pendingin yang membantu mengontrol suhu di dalam ruang bakar. Dengan memasukkan air ke dalam pembakaran, suhu yang dihasilkan dapat dikendalikan untuk mencegah overheat dan kerusakan pada sistem. Selain itu, air juga membantu dalam mengurangi emisi nitrogen oksida (NO_x) dengan menstabilkan suhu tinggi dan menghambat pembentukan NO_x yang berbahaya.

Proses penginjeksian air dilakukan dengan aliran yang terkendali, yang memungkinkan jumlah air yang disemprotkan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pada umumnya, injeksi air dilakukan secara proporsional terhadap kebutuhan mesin atau berdasarkan pengaturan yang

ditentukan. Hal ini memungkinkan untuk menyesuaikan jumlah air yang diinjeksikan sesuai dengan kondisi operasional dan memastikan bahwa efek pendinginan dan pengurangan emisi NO_x tercapai secara efisien.

Dengan menggunakan unit *Water Injection*, kapal dapat mengoptimalkan proses pembakaran dengan mengontrol suhu dan mengurangi emisi berbahaya. Penginjeksian air yang terkendali dan tepat dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja mesin, serta membantu dalam memenuhi regulasi lingkungan yang mengatur emisi kapal. Unit *Water Injection* merupakan salah satu solusi yang efektif untuk mengoptimalkan proses pembakaran dalam industri perkapalan, dengan manfaat yang meliputi pengendalian suhu, pengurangan emisi, dan peningkatan efisiensi mesin.

- Pendinginan Suhu Pembakaran

Penyemprotan air ke dalam ruang bakar memiliki peran utama sebagai agen pendingin yang berfungsi untuk menurunkan suhu pembakaran yang tinggi. Melalui penurunan suhu tersebut, proses pembentukan nitrogen oksida (NO_x) dapat dikurangi secara signifikan. Dalam proses pembakaran, suhu yang tinggi dapat berkontribusi terhadap pembentukan NO_x, yang merupakan polutan udara yang berbahaya. Dengan menggunakan air sebagai agen pendingin, suhu pembakaran dapat dikendalikan agar tetap dalam rentang yang lebih rendah. Hal ini membantu mencegah terbentuknya NO_x dalam jumlah yang berlebihan.

Air yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar berperan sebagai medium pendingin yang efektif. Ketika air disemprotkan ke dalam ruang bakar, partikel air tersebut akan menguap dan menyerap sebagian panas yang dihasilkan selama proses pembakaran. Dengan demikian, suhu ruang bakar dapat ditekan, mengurangi risiko terbentuknya NO_x. Penurunan suhu pembakaran secara efektif dapat menghambat reaksi kimia yang memicu pembentukan NO_x. Oleh karena itu, penggunaan air sebagai agen pendingin dapat memberikan manfaat signifikan dalam mengurangi emisi NO_x yang dihasilkan oleh proses pembakaran.

Melalui penggunaan air sebagai agen pendingin, kapal atau sistem pembakaran lainnya dapat mencapai pengendalian suhu yang lebih baik dan mengurangi emisi NO_x secara efektif. Dengan demikian, penggunaan air dalam ruang bakar sebagai metode pengurangan emisi NO_x merupakan salah satu strategi yang efektif dan ramah lingkungan untuk memenuhi persyaratan regulasi dan menjaga kualitas udara yang lebih baik.

- Pengurangan NO_x

Ketika air mencapai suhu tinggi di dalam ruang bakar, ia akan mengalami perubahan fase menjadi uap air. Pembentukan uap air ini memiliki efek yang signifikan dalam menyerap panas yang dihasilkan selama proses pembakaran, yang pada gilirannya membantu menurunkan suhu lebih lanjut. Pada suhu yang lebih rendah, dampaknya adalah reaksi kimia pembentukan nitrogen oksida (NO_x) menjadi NO_x yang lebih rendah atau bahkan dapat terjadi penurunan jumlah NO_x yang terbentuk.

Ketika air menguap menjadi uap air dalam ruang bakar, perubahan fase ini membutuhkan energi panas yang diambil dari lingkungan sekitarnya, termasuk panas yang dihasilkan selama proses pembakaran. Oleh karena itu, proses penguapan air dalam ruang bakar menyebabkan penyerapan panas yang signifikan, yang pada akhirnya mengurangi suhu secara efektif.

Dengan menurunkan suhu pembakaran, reaksi kimia yang memicu pembentukan NO_x menjadi terhambat. Pada suhu yang lebih rendah, terjadi pengurangan jumlah NO_x yang terbentuk atau terbentuknya NO_x dengan tingkat yang lebih rendah. Ini berarti bahwa dengan memasukkan air ke dalam ruang bakar dan mencapai penguapan yang efektif, dampak pembentukan NO_x dapat dikurangi secara drastis.

Penggunaan air dalam ruang bakar sebagai metode pendinginan tidak hanya berkontribusi dalam menurunkan suhu pembakaran, tetapi juga memainkan peran penting dalam mengurangi pembentukan NO_x. Melalui penguapan air, panas yang dihasilkan selama proses pembakaran dapat

diserap dengan efisien, menciptakan kondisi yang lebih menguntungkan untuk mengendalikan pembentukan NO_x.

Dalam konteks ini, pemberian air ke dalam ruang bakar menjadi strategi yang efektif untuk mengurangi emisi NO_x. Melalui proses penguapan yang efisien, suhu pembakaran dapat diturunkan, reaksi kimia pembentukan NO_x dapat terhambat, dan akibatnya, emisi NO_x dapat dikurangi atau ditekan ke tingkat yang lebih rendah.

- Water Emulsion (Emulsi Air)

Ketika air mencapai suhu tinggi di dalam ruang bakar, ia akan mengalami perubahan fase menjadi uap air. Pembentukan uap air ini memiliki efek yang signifikan dalam menyerap panas yang dihasilkan selama proses pembakaran, yang pada gilirannya membantu menurunkan suhu lebih lanjut. Pada suhu yang lebih rendah, dampaknya adalah reaksi kimia pembentukan nitrogen oksida (NO_x) menjadi NO_x yang lebih rendah atau bahkan dapat terjadi penurunan jumlah NO_x yang terbentuk.

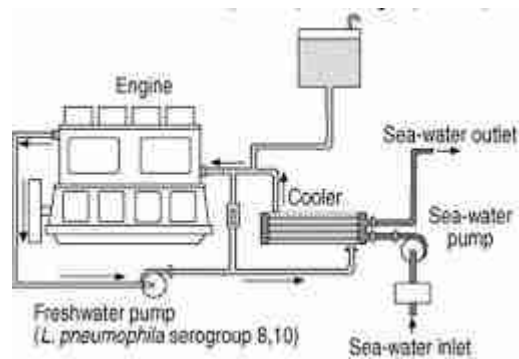
Ketika air menguap menjadi uap air dalam ruang bakar, perubahan fase ini membutuhkan energi panas yang diambil dari lingkungan sekitarnya, termasuk panas yang dihasilkan selama proses pembakaran. Oleh karena itu, proses penguapan air dalam ruang bakar menyebabkan penyerapan panas yang signifikan, yang pada akhirnya mengurangi suhu secara efektif.

Dengan menurunkan suhu pembakaran, reaksi kimia yang memicu pembentukan NO_x menjadi terhambat. Pada suhu yang lebih rendah, terjadi pengurangan jumlah NO_x yang terbentuk atau terbentuknya NO_x dengan tingkat yang lebih rendah. Ini berarti bahwa dengan memasukkan air ke dalam ruang bakar dan mencapai penguapan yang efektif, dampak pembentukan NO_x dapat dikurangi secara drastis.

Penggunaan air dalam ruang bakar sebagai metode pendinginan tidak hanya berkontribusi dalam menurunkan suhu pembakaran, tetapi juga memainkan peran penting dalam mengurangi pembentukan NO_x. Melalui penguapan air, panas yang dihasilkan selama proses pembakaran dapat

diserap dengan efisien, menciptakan kondisi yang lebih menguntungkan untuk mengendalikan pembentukan NOx.

Dalam konteks ini, pemberian air ke dalam ruang bakar menjadi strategi yang efektif untuk mengurangi emisi NOx. Melalui proses penguapan yang efisien, suhu pembakaran dapat diturunkan, reaksi kimia pembentukan NOx dapat terhambat, dan akibatnya, emisi NOx dapat dikurangi atau ditekan ke tingkat yang lebih rendah.



Gambar 3.11 *Water Injection and Water emulsion*

3.3 Inovasi Bagi Perusahaan

Terminal Penumpang di Gapura Surya Nusantara adalah salah satu lokasi di mana berbagai aktivitas manusia terjadi, baik dalam perdagangan maupun sebagai tempat keberangkatan atau kedatangan menggunakan transportasi laut. Pelabuhan ini menjadi titik pertemuan bagi orang-orang dengan latar belakang dan budaya yang beragam. Moda transportasi laut atau angkutan penyeberangan menjadi alternatif penting dalam menghubungkan pulau-pulau di Indonesia. Harga tiket yang terjangkau untuk semua kalangan masyarakat menjadi faktor krusial dalam mendorong kegiatan perekonomian. Karena itu, terciptanya transportasi yang aman, nyaman, dan ekonomis menjadi harapan seluruh elemen masyarakat. Tentunya, masyarakat juga berharap akan adanya pelayanan yang baik dan fasilitas yang memuaskan. Terminal Penumpang di Gapura Surya Nusantara berperan penting dalam memenuhi kebutuhan tersebut dan memberikan pengalaman positif kepada para pengguna jasa.

Dalam konteks ini, terminal penumpang di Gapura Surya Nusantara berfungsi sebagai gerbang utama untuk menghubungkan orang-orang dari berbagai daerah, memfasilitasi aktivitas perdagangan, dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Terminal ini memainkan peran vital dalam mendukung konektivitas antarwilayah di Indonesia, memperluas aksesibilitas bagi masyarakat, dan membantu dalam menggerakkan sektor pariwisata. Selain menjadi pusat transportasi, terminal penumpang juga menjadi tempat pertemuan dan interaksi antarindividu dengan latar belakang budaya yang berbeda. Hal ini menciptakan lingkungan yang kaya akan keragaman, saling belajar, dan memperkaya pengalaman sosial. Masyarakat mengharapkan bahwa terminal penumpang di Gapura Surya Nusantara memberikan layanan yang prima dan fasilitas yang memadai. Pelayanan yang baik termasuk dalam hal keamanan, kelancaran proses keberangkatan dan kedatangan, serta kenyamanan bagi para pengguna jasa. Fasilitas yang memuaskan seperti area tunggu yang nyaman, toilet yang bersih, sarana makanan dan minuman, serta aksesibilitas yang mudah bagi penyandang disabilitas juga diharapkan.

Dengan menyediakan layanan dan fasilitas yang memenuhi harapan masyarakat, terminal penumpang di Gapura Surya Nusantara dapat menjadi destinasi pilihan utama bagi para pengguna jasa dan mampu memberikan kontribusi positif dalam pengembangan sektor transportasi, pariwisata, dan perekonomian secara keseluruhan. Dengan adanya jumlah penumpang yang cukup banyak, penting bagi Pelabuhan untuk memastikan ketersediaan air yang memadai. Ketersediaan air merupakan faktor krusial dalam sektor pelayanan jasa, industri, dan berbagai sektor lainnya. Ketersediaan air mencakup baik air bersih maupun air minum. Air bersih merujuk pada air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan harus memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan untuk kesehatan dan dapat dikonsumsi setelah dimasak.

Sebagai batasan, air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan kualitas fisik, kualitas kimia, kualitas biologis, dan kualitas radiologis. Dengan memenuhi standar ini, air bersih dapat digunakan atau dikonsumsi tanpa menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi kesehatan manusia serta tetap menjaga kesejahteraan

masyarakat. Dalam konteks Pelabuhan, penting untuk memastikan bahwa pasokan air bersih memadai untuk memenuhi kebutuhan penumpang, karyawan, dan berbagai aktivitas yang dilakukan di pelabuhan. Ini melibatkan penyediaan sumber air yang cukup, pengolahan air yang efektif untuk memastikan kualitas air yang memenuhi standar, serta sistem distribusi air yang handal.

Ketersediaan air yang memadai di Pelabuhan memiliki dampak yang signifikan. Selain memberikan kepuasan kepada pengguna jasa dan karyawan, ini juga berperan dalam menjaga kesehatan dan kebersihan lingkungan di sekitar pelabuhan. Air yang memenuhi standar kualitas akan membantu mencegah penyakit, menjaga sanitasi, dan mendukung berbagai aktivitas di pelabuhan, termasuk kegiatan industri dan perdagangan. Oleh karena itu, penting bagi pelabuhan untuk mengimplementasikan strategi yang terkait dengan manajemen air yang efisien dan berkelanjutan. Ini meliputi pemantauan dan pengelolaan penggunaan air yang bijaksana, penggunaan teknologi yang inovatif untuk pengolahan air, serta kolaborasi dengan pihak-pihak terkait untuk memastikan pasokan air yang memadai dan menjaga kualitas air yang baik. Dengan memastikan ketersediaan air yang memadai dan berkualitas di Pelabuhan, dapat dihasilkan lingkungan yang sehat dan aman bagi semua pihak yang terlibat. Selain itu, ini juga akan mencerminkan komitmen pelabuhan dalam mendukung keberlanjutan lingkungan dan memberikan layanan yang optimal kepada pengguna jasa.

Berdasarkan hasil pengamatan yang saya lakukan, terdapat kekurangan dalam pengolahan air minum di Terminal Penumpang Gapura Surya Nusantara. Untuk mengatasi permasalahan ini, saya memiliki beberapa alternatif langkah yang dapat mendukung terwujudnya lingkungan pelabuhan yang sehat. Salah satu cara efektif untuk mengatasi permasalahan air adalah dengan menampung air hujan yang jatuh. Namun, agar dapat menampung air hujan secara maksimal dan memastikan kualitas air yang baik agar dapat digunakan kembali, diperlukan sistem penampungan air hujan yang baik.

Penampungan air hujan melibatkan langkah-langkah dalam mencegah aliran air hujan langsung masuk dan mengarahkannya ke tempat penampungan agar dapat dimanfaatkan. Namun, perlu diingat bahwa air hujan di daerah perkotaan dan industri seringkali mengandung berbagai kotoran. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengolahan air agar memenuhi standar kualitas yang baik sebelum digunakan kembali oleh masyarakat. Air yang dikonsumsi oleh masyarakat harus memenuhi syarat kesehatan, karena air merupakan medium yang sangat baik untuk pertumbuhan mikroorganisme yang dapat membahayakan kesehatan.

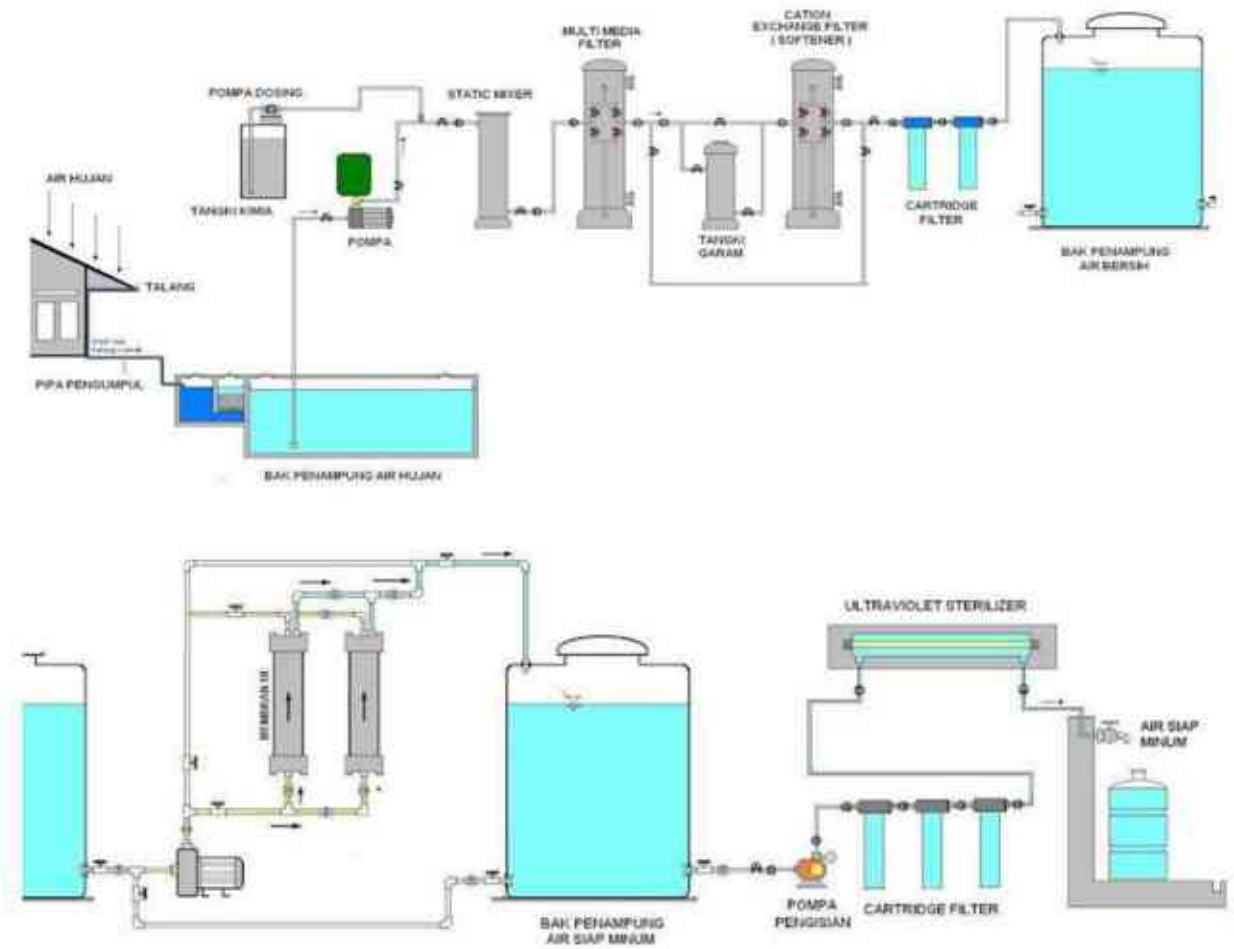
Pengolahan air untuk memperoleh air yang memenuhi persyaratan kualitas perlu dilakukan. Tahapan-tahapan dalam proses pengolahan air meliputi penyimpanan, penyaringan, dan klorinasi. Penyimpanan air merupakan langkah awal dalam pengolahan air, di mana air dijaga dalam kondisi yang aman dan terlindung dari kontaminasi. Proses penyaringan bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel dan zat-zat berbahaya dari air, sehingga kualitasnya meningkat. Terakhir, klorinasi digunakan untuk membunuh mikroorganisme yang mungkin masih ada dalam air setelah proses penyaringan.

Dengan mengimplementasikan langkah-langkah tersebut, diharapkan Terminal Penumpang Gapura Surya Nusantara dapat memperbaiki sistem pengolahan air minum yang ada. Hal ini akan membantu menciptakan lingkungan pelabuhan yang sehat dan aman bagi pengguna jasa serta menjaga kualitas air yang digunakan oleh masyarakat. Selain itu, upaya pengolahan air yang baik juga akan mendukung keberlanjutan lingkungan, serta memberikan pelayanan yang optimal kepada pengguna jasa dengan fasilitas yang memadai dan air minum yang berkualitas.

Tahap tahap pengolahan air hujan menjadi air minum adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kapasitas bak penampung atau reservoir berdasarkan tinggi curah hujan per tahun, luas bidang penangkap air, kebutuhan pokok pemakaian air dan jumlah hari kemarau.
2. Air hujan dikumpulkan melalui pipa talang air lalu dihimpun di reservoir air hujan atau tank air.

3. Air hujan akan dialirkan ke filter unit untuk mendapatkan air bersih. Selain itu bisa menggunakan flokulasi apabila terdapat berbagai kotoran atau partikel yang dapat mengendap.
4. Selanjutnya air akan melalui ultrafiltrasi untuk memfilter partikel yang sangat kecil dan halus
5. Air kemudian diolah melalui tahap klorinasi untuk membunuh segala macam organisme atau bakteri yang tersisa dan menjaga kualitas air.
6. Kemudian sebagai tahap tambahan dapat dilakukan proses sterilisasi dengan sinar UV.
7. Setelah itu air bisa dialirkan melalui pipa air minum ke tank air minum dan bisa langsung didistribusikan ke wastafel air siap minum



Gambar 3.12 Pengolahan Air Hujan Menjadi Air Minum

Pengolahan air hujan menjadi air minum dan air siap pakai di pelabuhan memiliki beberapa kelebihan yang dapat menjadi pertimbangan penting, antara lain:

1. Ketersediaan air yang berkelanjutan

Dalam upaya memanfaatkan sumber daya alam yang berlimpah dan berkelanjutan, penggunaan air hujan sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air minum dan air siap pakai di pelabuhan menjadi pilihan yang cerdas. Air hujan adalah salah satu sumber air yang dapat diperbaharui secara alami melalui siklus hidrologi yang terjadi di planet kita. Proses siklus hidrologi dimulai ketika air hujan turun dari atmosfer dan mencapai permukaan bumi. Setelah itu, air hujan tersebut mengalir ke dalam sungai, danau, dan waduk, serta meresap ke dalam tanah untuk mengisi akuifer. Selanjutnya, air ini dapat diambil dan dimanfaatkan sebagai sumber air minum dan air siap pakai di pelabuhan.

Keuntungan utama dari penggunaan air hujan adalah kemampuannya untuk diperbaharui secara alami. Karena siklus hidrologi terus berlangsung, pasokan air hujan tidak akan terputus, sehingga dapat digunakan secara berkesinambungan. Hal ini memberikan jaminan bahwa tidak ada kekhawatiran mengenai kelangkaan air di masa depan. Selain itu, menggunakan air hujan sebagai sumber air minum dan air siap pakai juga memiliki dampak positif terhadap lingkungan. Dengan mengumpulkan dan memanfaatkan air hujan, kita mengurangi ketergantungan pada sumber air permukaan seperti sungai dan danau. Hal ini dapat membantu menjaga keseimbangan ekosistem air dan mengurangi tekanan terhadap ekosistem alami.

2. Potensi penghematan air bersih

Dengan menggunakan air hujan sebagai sumber utama, pelabuhan memiliki kesempatan untuk mengurangi ketergantungan mereka terhadap pasokan air bersih dari sumber-sumber yang terbatas. Tindakan ini sangat penting mengingat adanya tekanan yang terus meningkat terhadap sumber air bersih di berbagai wilayah.

Dalam melaksanakan penggunaan air hujan, pelabuhan dapat mengurangi kebutuhan akan air bersih yang berasal dari sumber-sumber terbatas seperti sungai, danau, atau sumur. Dengan mengandalkan air hujan sebagai sumber utama, pelabuhan dapat mengurangi tekanan pada pasokan air bersih yang seringkali terbatas, terutama dalam situasi kelangkaan air yang dapat terjadi akibat perubahan iklim atau pertumbuhan populasi yang pesat.

Tindakan ini bukan hanya menguntungkan pelabuhan itu sendiri, tetapi juga komunitas sekitar yang bergantung pada pasokan air bersih yang terbatas. Dengan mengurangi permintaan terhadap sumber air bersih yang terbatas, pelabuhan membantu menjaga keberlanjutan pasokan air bagi masyarakat setempat. Hal ini berdampak positif pada kehidupan sehari-hari masyarakat, termasuk untuk keperluan minum, kebersihan, irigasi pertanian, dan kegiatan industri. Dalam jangka panjang, memanfaatkan air hujan sebagai sumber utama air di pelabuhan dapat menjadi langkah yang berkelanjutan dan bertanggung jawab. Dengan memaksimalkan penggunaan air hujan, pelabuhan dapat berkontribusi pada perlindungan dan pemeliharaan sumber air bersih yang terbatas. Tindakan ini sejalan dengan upaya global untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Dalam kesimpulannya, dengan memanfaatkan air hujan sebagai sumber air utama, pelabuhan dapat mengurangi ketergantungan mereka pada sumber air bersih yang terbatas. Hal ini membantu mengurangi tekanan pada pasokan air bersih dan menjaga keberlanjutan pasokan air bagi komunitas sekitar. Selain itu, tindakan ini juga mendukung upaya perlindungan lingkungan dan keberlanjutan sumber daya air di tingkat lokal maupun global.

3. Pengurangan biaya operasional

Memanfaatkan air hujan sebagai sumber utama air minum dan air siap pakai memiliki potensi untuk mengurangi biaya operasional pelabuhan yang terkait dengan pembelian air dari penyedia eksternal. Dalam banyak

kasus, air hujan dapat diperoleh secara gratis, sehingga penggunaannya dapat mengurangi beban finansial yang harus ditanggung oleh pelabuhan. Dengan menggunakan air hujan, pelabuhan tidak lagi perlu bergantung sepenuhnya pada pasokan air yang dibeli dari penyedia eksternal, yang sering kali melibatkan biaya yang signifikan. Sebaliknya, mereka dapat mengandalkan sumber daya air alami yang melimpah ini untuk memenuhi kebutuhan mereka. Dalam hal ini, pengolahan air hujan menjadi air minum dan air siap pakai juga dapat menghasilkan penghematan biaya yang signifikan. Proses pengolahan air hujan biasanya lebih sederhana dan kurang rumit dibandingkan dengan pengolahan air yang diambil dari sumber-sumber lain. Dengan demikian, pelabuhan dapat mengurangi biaya yang terkait dengan pengolahan air dan meminimalkan kebutuhan akan infrastruktur pengolahan yang kompleks.

Dengan mengurangi ketergantungan pada penyedia air eksternal dan mengandalkan air hujan yang tersedia secara gratis, pelabuhan dapat mengalokasikan sumber daya keuangan mereka untuk tujuan lain yang mendukung pengembangan dan operasional pelabuhan secara keseluruhan. Ini dapat termasuk investasi dalam infrastruktur yang lebih baik, peningkatan keberlanjutan lingkungan, atau pengembangan proyek-proyek inovatif lainnya. Dalam rangka mempertahankan kelangsungan operasional dan mencapai efisiensi finansial, memanfaatkan air hujan sebagai sumber air minum dan air siap pakai memberikan pelabuhan kesempatan untuk mengurangi biaya operasional terkait dengan pembelian air dari penyedia eksternal. Dengan menggunakan sumber daya alami yang melimpah ini, pelabuhan dapat mengurangi beban finansial mereka dan mengalokasikan sumber daya yang lebih baik untuk peningkatan kinerja dan pengembangan pelabuhan secara keseluruhan.

4. Mengurangi dampak lingkungan

Dengan memanfaatkan air hujan, pelabuhan memiliki kesempatan untuk mengurangi ketergantungan mereka pada pengambilan air dari sumber-sumber alam yang dapat memiliki dampak negatif terhadap ekosistem lokal, seperti sungai atau sumur. Tindakan ini penting untuk menjaga kelestarian ekosistem air yang sensitif. Dalam banyak kasus, pengambilan air yang berlebihan dari sungai atau sumur dapat menyebabkan penurunan debit air yang mengganggu keseimbangan ekosistem air. Hal ini dapat berdampak negatif pada keberlanjutan kehidupan air dan keberagaman spesies di dalamnya.

Dengan mengandalkan air hujan sebagai sumber utama, pelabuhan dapat mengurangi tekanan terhadap sumber-sumber alam yang lebih rentan terhadap degradasi. Selain itu, penggunaan air hujan sebagai sumber air minum dan air siap pakai juga membantu mengurangi pemakaian air tanah. Pemakaian air tanah yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah atau fenomena yang disebut *subsidence*. *Subsidence* dapat mengakibatkan kerusakan struktural pada bangunan dan infrastruktur, serta mengganggu keberlanjutan ekosistem bawah tanah. Dengan mengurangi pengambilan air tanah dan mengandalkan air hujan yang tersedia secara alami, pelabuhan dapat berperan dalam menjaga keseimbangan akuifer dan mencegah potensi kerusakan atau penurunan permukaan tanah. Tindakan ini berkontribusi pada pelestarian sumber daya air bawah tanah yang penting bagi kelangsungan hidup berbagai organisme serta keberlanjutan ekosistem secara keseluruhan.

Dalam keseluruhan, penggunaan air hujan sebagai sumber air minum dan air siap pakai oleh pelabuhan memiliki dampak positif dalam mengurangi pengambilan air dari sumber-sumber alam yang berdampak negatif terhadap ekosistem lokal. Selain itu, penggunaan air hujan juga membantu menjaga keseimbangan akuifer dan mencegah penurunan permukaan tanah yang dapat terjadi akibat pemakaian air tanah yang berlebihan. Dengan tindakan ini, pelabuhan dapat berperan dalam

melestarikan keanekaragaman hayati dan keberlanjutan ekosistem air yang penting bagi lingkungan sekitar.

5. Pengurangan risiko pencemaran

Air hujan secara umum memiliki tingkat kebersihan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air permukaan atau air tanah, karena belum terkontaminasi oleh polusi lingkungan. Dalam memanfaatkan air hujan sebagai sumber air minum dan air siap pakai, pelabuhan dapat memastikan bahwa air yang digunakan aman dan bebas dari kontaminan berbahaya dengan melakukan pengolahan air hujan yang tepat.

Pengolahan air hujan yang baik sangat penting untuk memastikan bahwa air yang digunakan oleh pelabuhan memenuhi standar kualitas air yang ditetapkan. Proses pengolahan melibatkan langkah-langkah seperti penyaringan, pemurnian, dan penghilangan kontaminan berbahaya, seperti logam berat atau bahan kimia beracun. Melalui pengolahan ini, pelabuhan dapat menjamin bahwa air hujan yang digunakan adalah air yang aman untuk diminum dan digunakan dalam berbagai keperluan. Dengan menggunakan air hujan yang telah melalui pengolahan yang baik, pelabuhan dapat menghindari risiko kontaminasi dan dampak negatif kesehatan yang dapat timbul dari penggunaan air yang terkontaminasi. Dalam hal ini, penggunaan air hujan sebagai sumber air minum dan air siap pakai memberikan keuntungan tambahan dalam menjaga kesehatan dan keselamatan bagi pengguna air tersebut, baik itu karyawan di pelabuhan maupun komunitas sekitar.

Selain itu, dengan memanfaatkan air hujan yang bersih, pelabuhan juga berkontribusi pada pelestarian sumber daya air dan lingkungan secara keseluruhan. Dengan mengurangi permintaan terhadap air permukaan atau air tanah yang mungkin tercemar, pelabuhan membantu melindungi dan menjaga keberlanjutan ekosistem air yang sensitif. Dalam rangka memastikan kualitas air yang aman dan sesuai dengan standar yang ditetapkan, pelabuhan dapat memanfaatkan keunggulan air hujan yang lebih bersih dan melalui pengolahan air yang tepat. Dengan tindakan ini,

pelabuhan dapat memberikan akses terhadap air yang aman dan bebas kontaminan bagi para pengguna, sambil turut serta dalam menjaga kelestarian sumber daya air dan lingkungan yang lebih luas.

Penggunaan air hujan sebagai sumber air minum dan air siap pakai di pelabuhan memiliki potensi untuk meningkatkan keberlanjutan operasional, mengurangi dampak lingkungan, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam. Namun, penting untuk melakukan pengolahan dan pengawasan yang tepat terhadap air hujan yang diolah agar memenuhi standar kualitas air yang ditetapkan untuk menjaga kesehatan dan keamanan penggunanya.