

Efektivitas Absorben Kimia pada Wet Scrubber untuk Menurunkan Emisi CO dan CO₂

Sevila Rizki Damayanti, Novirina Hendrasarie*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: novirina@upnjatim.ac.id

Diterima: 3 Mei 2024

Disetujui: 25 November 2024

Abstract

Burning bricks can pollute the surrounding air because the smoke produced contains CO and CO₂ emissions. This burning causes air pollution and a greenhouse effect (damage to the ozone layer) due to the emission of carbon monoxide gas. Air containing CO and CO₂ emissions can be cleaned using the absorption method. The use of a wet scrubber and chemical absorbents that are alkaline in nature will help maximise the absorption process. The aim of this research is to test which absorbent among KOH, NaOH and H₂O has the best performance in reducing CO and CO₂ levels using a wet scrubber reactor design with pall ring media in the brick burning process. The independent variables used consist of variations in absorbent type, absorbent concentration and media height. The absorbents used are NaOH, KOH and H₂O. The respective concentrations of NaOH and KOH absorbents used were 2N, 4N and 6N. The height of the pall ring media was varied to 20 cm and 40 cm. The highest percentage reduction of CO reached 97.9% and CO₂ 96.0% when using 6N KOH absorbent and 40 cm pall ring media.

Keywords: *absorption, wet scrubber, co, co₂, naoh, koh, h₂o, pall ring*

Abstrak

Pembakaran batu bata dapat mencemari udara lingkungan karena asap yang dihasilkan mengandung emisi CO dan CO₂. Pembakaran ini dapat menimbulkan pencemaran udara dan efek rumah kaca (kerusakan lapisan ozon) akibat emisi gas karbon monoksida. Udara yang mengandung emisi CO dan CO₂ ini dapat dimurnikan menggunakan metode absorpsi. Penggunaan wet scrubber dan absorben kimia yang bersifat basa akan membantu memaksimalkan proses absorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji absorben mana diantara KOH, NaOH, dan H₂O, yang mempunyai kinerja terbaik untuk menurunkan kadar CO dan CO₂ menggunakan rancangan reaktor wet scrubber dengan media pall ring pada proses pembakaran batu bata. Variabel bebas yang digunakan terdiri dari variasi jenis absorben, konsentrasi absorben, dan ketinggian media. Absorben yang digunakan adalah NaOH, KOH, dan H₂O. Konsentrasi masing-masing absorben NaOH dan KOH yang digunakan yaitu 2N, 4N, dan 6N. Ketinggian media pall ring divariasikan menjadi 20 cm dan 40 cm. Persentase tertinggi penurunan CO mencapai 97,9% dan CO₂ mencapai 96.0% pada penggunaan absorben KOH 6N dan media pall ring 40 cm.

Kata Kunci: *absorpsi, wet scrubber, co, co₂, naoh, koh, h₂o, pall ring*

1. Pendahuluan

Pembakaran pada proses pembuatan batu bata pada umumnya menggunakan kayu bakar. Pembakaran ini menghasilkan emisi gas karbon monoksida yang diproduksi dari tungku pembakaran batu bata [1]. Salah satu dampak yang diakibatkan gas karbon adalah pemanasan global [2]. Penyebab utama pemanasan global adalah jenis gas yang menyebabkan peningkatan suhu pada atmosfer bumi. Salah satu gas yang menjadi pemicu pemanasan global adalah karbon dioksida (CO₂) [3]. Selain itu, parameter pencemar utama seperti karbon monoksida (CO), memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia, khususnya terkait dengan masalah pernapasan. [4] Karbon monoksida dihasilkan dari bahan bakar yang terbakar secara parsial karena pembakaran yang tidak lengkap atau akibat campuran bahan bakar dan udara yang kaya akan bahan bakar (kurangnya udara) [5]. Parameter pencemar utama seperti karbon monoksida (CO), memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia, khususnya terkait dengan masalah pernapasan. Selain itu, angin merupakan faktor utama dalam penyebaran polusi udara, dengan skala angin dari yang lokal hingga sirkulasi global memainkan peran penting dalam proses ini [6]. Langkah-langkah yang telah diambil oleh pemerintah untuk mengantisipasi tingkat polusi udara adalah dengan melakukan pemantauan kualitas udara ambien [7].

Emisi udara yang dihasilkan dari pembakaran batu bata dapat dikurangi dengan metode absorpsi untuk mengurangi gas CO dan CO₂ [8]. Absorpsi merupakan proses mengontakkan udara yang mengandung gas emisi dengan absorben larutan kimia [9]. Metode absorpsi dapat diaplikasikan pada reaktor wet scrubber. Wet scrubber merupakan alat pemurni udara dengan prinsip kerja mengalirkan cairan (absorben) pada aliran udara yang mengandung gas emisi, sehingga gas akan terfiltrasi ketika melewati cairan absorben [10].

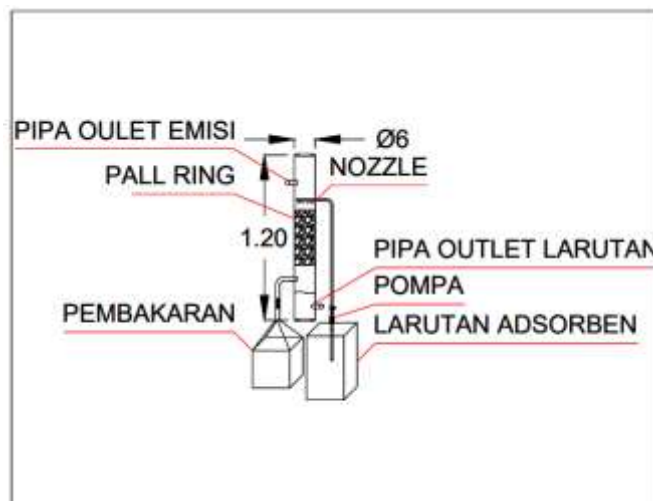
Absorben kimia memainkan peran penting dalam scrubber basah untuk mengurangi emisi CO dan CO₂. Berbagai penelitian telah menyoroti efektivitas senyawa kimia yang berbeda dalam sistem Absorben [11] [12]. Misalnya, larutan NaOH telah digunakan untuk secara signifikan mengurangi emisi NO pada mesin pembakaran internal [13]. Selain itu, penyerapan SO₂ dan NO_x dalam scrubber basah telah dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH, konsentrasi ion, dan potensi oksidasi cairan absorben [14]. Selanjutnya, simulasi telah menunjukkan bahwa jenis pengepakan dan diameter kolom pada peredam dapat berdampak pada efisiensi penghilangan CO₂, dengan desain khusus terbukti lebih efektif dalam mengurangi tingkat CO₂ [15]. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya memilih penyerap kimia yang tepat dan desain scrubber untuk secara efektif menurunkan emisi CO dan CO₂ dalam proses industri.

Pada penelitian ini, wet scrubber yang dipakai yaitu tipe kolom packed karena tipe ini memiliki efisiensi yang tinggi dalam proses absorpsi gas. Kolom packed merupakan kolom vertikal yang memiliki dua masukan yaitu masukan air dan masukan gas. Air masuk melewati kolom bagian atas, sedangkan gas masuk melewati kolom bagian bawah [16].

Berdasarkan permasalahan diatas, maka peneliti ingin menguji absorben mana diantara KOH, H₂O, dan NaOH yang mempunyai kinerja terbaik dengan parameter kinerja adalah kadar CO dan CO₂ menggunakan rancangan reaktor wet scrubber dengan media pall ring.

2. Metode Penelitian

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah *wet scrubber* jenis kolom packed yang terbuat dari kaca akrilik dengan tinggi 1,2 meter. Media yang digunakan berupa pall ring. Reaktor wet scrubber berjumlah satu buah sesuai dengan variasi jenis media yang digunakan.



Gambar 1. Rancangan Reaktor Wet Scrubber
 Sumber: [16]



Gambar 2. Rancangan Reaktor Wet Scrubber Asli
Sumber : Dokumentasi (2024)



Gambar 3. Pall Ring
Sumber : Dokumentasi (2024)

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah CO dan CO₂. Variabel bebas yang digunakan terdiri dari variasi jenis absorben, konsentrasi absorben, dan ketinggian media. Absorben yang digunakan adalah absorben NaOH, KOH, dan H₂O. Konsentrasi masing-masing absorben NaOH dan KOH yang digunakan yaitu 2N, 4N, dan 6N. Ketinggian media pall ring divariasikan menjadi 20 cm dan 40 cm.

Sebelum dilakukan penelitian utama, terlebih dahulu dilakukan pengujian emisi awal untuk mengetahui kandungan CO dan CO₂ yang dihasilkan oleh pembakaran batu bata. Pengujian dilakukan pada titik maksimum pembakaran batu bata. Proses penelitian utama dilakukan dengan sistem batch yaitu proses pengisian dan proses absorpsi dilakukan didalam satu reaktor, udara yang berasal dari pembakaran batu bata akan langsung dimasukkan ke reaktor tanpa adanya pengaturan laju aliran udara.

Pada reaktor wet scrubber terdiri dari dua masukan yaitu dari atas dan dari bawah. Masukkan dari atas berfungsi sebagai inlet dari cairan absorben, sedangkan masukkan dari bawah berfungsi sebagai inlet dari udara yang akan di bersihkan. Pada prosesnya udara yang berasal dari pembakaran batu bata akan masuk dari inlet yang berada dibawah reaktor. Kemudian udara tersebut akan naik melewati media pall ring dan larutan absorben yang turun dari inlet yang berada diatas reaktor, sehingga terjadi pertukaran molekul oleh udara yang mengandung gas CO dan CO₂ dengan absorben. Gas CO dan CO₂ tersebut akan tertahan didalam absorben dan ikut keluar melalui outlet larutan absorben. Udara yang telah dibersihkan akan keluar melalui outlet pipa udara yang terpasang dibagian atas reaktor.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Jenis Absorben Dan Tinggi Media Dalam Menurunkan Gas CO Hasil Pembakaran Batu Bata

CO atau karbon monoksida merupakan gas yang tidak memiliki warna dan tidak berbau. CO berasal dari pembakaran kurang sempurna bahan yang mengandung karbon atau bahan organik. Pada penelitian utama, analisis parameter CO dilakukan sebelum dan sesudah melalui proses absorpsi didalam reaktor wet scrubber. Kadar gas CO awal pembakaran batu bata berjumlah 1500 buah sebelum diolah di reaktor wet

scrubber adalah sebesar $360000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan kadar dan persentase penurunan gas CO setelah melalui proses pengolahan di reaktor wet scrubber disajikan dalam **Tabel 1** dibawah ini.

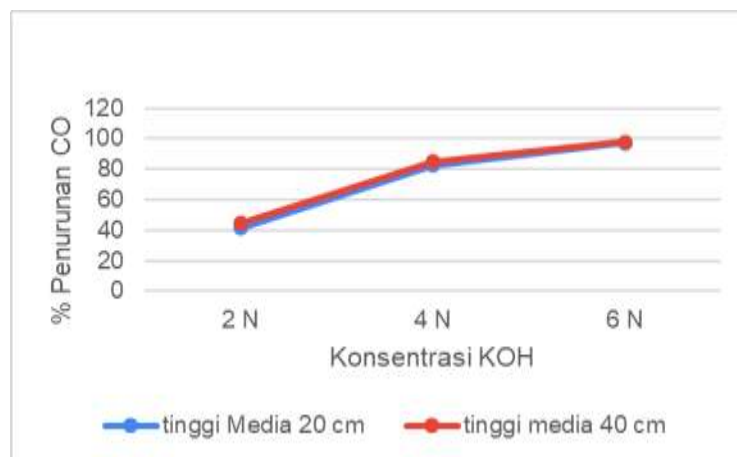
Tabel 1. Pengaruh Jenis Absorben dan Tinggi Media Pall Ring Terhadap Persentase (%) Penurunan Parameter CO

Jam	Jenis Absorben	Konsentrasi (N)	Tinggi Media	Inlet CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Outlet CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Baku Mutu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Removal
09.00 - 10.00	KOH	2	20	360000	211300	10000	41,3
09.00 - 10.00			40	360100	199100	10000	44,7
09.00 - 10.00		4	20	360118	62500	10000	82,6
10.00 - 11.00			40	360200	54500	10000	84,9
10.00 - 11.00		6	20	360236	10400	10000	97,1
10.00 - 11.00			40	360264	7600	10000	97,9
11.00 - 12.00	NaOH	2	20	360330	187700	10000	47,9
11.00 - 12.00			40	360338	155400	10000	56,9
11.00 - 12.00		4	20	360350	57200	10000	84,1
12.00 - 13.00			40	360400	54300	10000	84,9
12.00 - 13.00		6	20	360447	15300	10000	95,8
12.00 - 13.00			40	360498	9400	10000	97,4
13.00 - 14.00	H ₂ O	-	20	360508	260400	10000	27,8
13.00 - 14.00		-	40	360510	240200	10000	33,4

Sumber : Hasil Analisis (2024)

A. Pengaruh Absorben KOH dan Tinggi Media Terhadap Gas CO

Pada **Gambar 4** dapat diketahui bahwa persentase penurunan CO semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi absorben KOH dan semakin tinggi nya media pall ring. Persentase penurunan CO tertinggi didapatkan pada penggunaan absorben KOH dengan konsentrasi 6N dan tinggi media pall ring 40 cm yaitu sebesar 97,9% dengan kadar akhir CO sebesar $7600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kadar akhir CO ini sudah memenuhi standar baku mutu berdasarkan lampiran VII PP No. 22 tahun 2021 yaitu sebesar $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

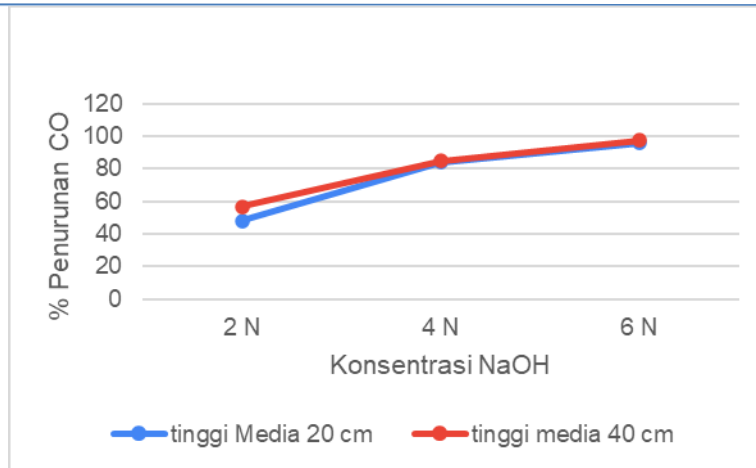


Gambar 4. Pengaruh Absorben KOH dan Tinggi Media Terhadap % Penurunan Gas CO

Sumber : Hasil Analisis (2024)

B. Pengaruh Absorben NaOH dan Tinggi Media Terhadap Gas CO

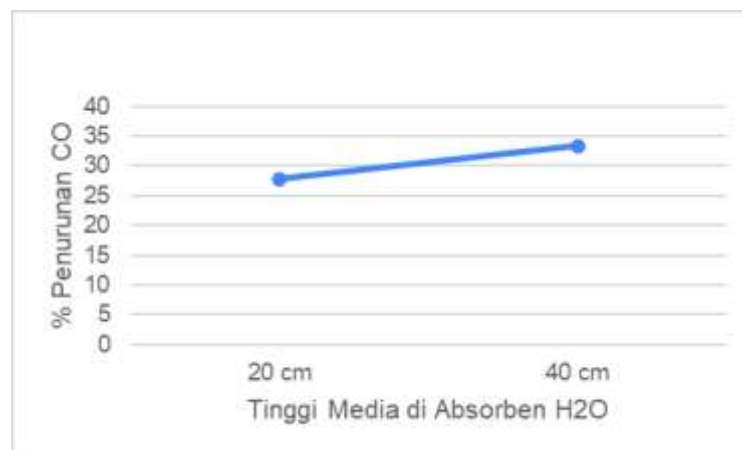
Pada **Gambar 5** dapat diketahui bahwa persentase penurunan CO semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi absorben NaOH dan semakin tinggi nya media pall ring. Persentase penurunan CO tertinggi didapatkan pada penggunaan absorben NaOH dengan konsentrasi 6N dan tinggi media pall ring 40 cm yaitu sebesar 97,4% dengan kadar akhir CO sebesar $9400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kadar akhir CO ini sudah memenuhi standar baku mutu berdasarkan lampiran VII PP No. 22 tahun 2021 yaitu sebesar $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 5. Pengaruh Absorben NaOH dan Tinggi Media Terhadap % Penurunan Gas CO
Sumber : Hasil Analisis (2024)

C. Pengaruh Absorben H₂O dan Tinggi Media Terhadap Gas CO

Pada **Gambar 6** dapat diketahui bahwa H₂O atau air dapat digunakan sebagai absorben untuk menurunkan gas CO. Pada proses absorpsi gas CO oleh H₂O, hal yang paling berpengaruh adalah penggunaan tinggi media. Persentase penurunan CO tertinggi didapatkan pada penggunaan tinggi media pall ring 40 cm yaitu sebesar 33,4% dengan kadar akhir CO₂ sebesar 240200 ppm.



Gambar 6. Pengaruh Absorben H₂O dan Tinggi Media Terhadap % Penurunan Gas CO
Sumber : Hasil Analisis (2024)

Pengaruh Jenis Absorben Dan Tinggi Media Dalam Menurunkan Gas CO₂ Hasil Pembakaran Batu Bata

CO₂ atau karbon dioksida merupakan jenis gas yang tidak memiliki warna dan tidak memiliki bau ketika berada pada suhu kamar. Karbon dioksida merupakan bagian alami dari siklus karbon Bumi. Karbon dioksida dapat berasal dari pembakaran. Pada penelitian utama, analisis parameter CO₂ dilakukan sebelum dan sesudah melalui proses absorpsi didalam reaktor wet scrubber. Kadar gas CO₂ awal pembakaran batu bata sejumlah 1500 buah sebelum diolah di reaktor wet scrubber adalah sebesar 22100 ppm. Sedangkan kadar dan persentase penurunan gas CO₂ setelah melalui proses pengolahan di reaktor wet scrubber disajikan dalam **Tabel 2** dibawah ini.

Tabel 2. Pengaruh Jenis Absorben dan Tinggi Media Pall Ring Terhadap Persentase (%) Penurunan Parameter CO₂

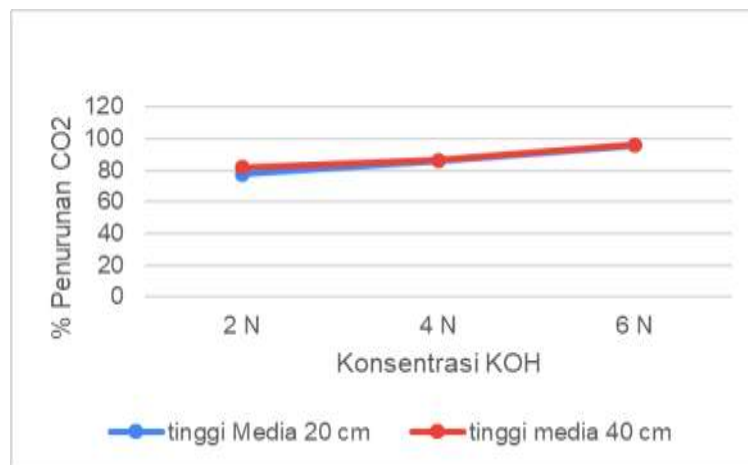
Jam	Jenis Absorben	Konsentrasi (N)	Tinggi Media (cm)	Inlet CO ₂ (ppm)	Outlet CO ₂ (ppm)	Baku Mutu (ppm)	% Removal
09.00 - 10.00	KOH	2	20	22100	3700	1000	77,4
09.00 - 10.00			40	22100	3400	1000	81,9
09.00 - 10.00		4	20	22200	1200	1000	86,0
10.00 - 11.00			40	22280	1000	1000	86,5

Jam	Jenis Absorben	Konsentrasi (N)	Tinggi Media (cm)	Inlet CO ₂ (ppm)	Outlet CO ₂ (ppm)	Baku Mutu (ppm)	% Removal	
10.00 - 11.00	NaOH	6	20	22450	500	1000	95,5	
10.00 - 11.00			40	22253	400	1000	96,0	
11.00 - 12.00		2	20	22700	4200	1000	60,4	
11.00 - 12.00			40	22780	4100	1000	62,7	
11.00 - 12.00		4	6	20	22880	2300	1000	73,8
12.00 - 13.00				40	23100	2000	1000	78,4
12.00 - 13.00	H ₂ O	-	20	23130	1000	1000	91,4	
12.00 - 13.00			40	23140	900	1000	91,8	
13.00 - 14.00	H ₂ O	-	20	23170	12000	1000	48,2	
13.00 - 14.00			40	23200	10000	1000	56,9	

Sumber : Hasil Analisis (2024)

A. Pengaruh Absorben KOH dan Tinggi Media Terhadap Gas CO₂

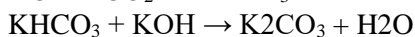
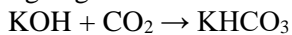
Pada **Gambar 7** dapat diketahui bahwa persentase penurunan CO₂ semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi absorben KOH dan semakin tinggi nya media pall ring. Persentase penurunan CO₂ tertinggi didapatkan pada penggunaan absorben KOH dengan konsentrasi 6N dan tinggi media pall ring 40 cm yaitu sebesar 96,0% dengan kadar akhir CO₂ sebesar 900 ppm. Kadar akhir CO₂ ini sudah memenuhi baku mutu berdasarkan NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) yaitu sebesar 1000 ppm.



Gambar 7. Pengaruh Absorben KOH dan Tinggi Media Terhadap % Penurunan Gas CO₂

Sumber : Hasil Analisis (2024)

Larutan KOH bersifat higroskopik sehingga dapat mengikat gas CO₂ [17]. Reaksi antara absorben KOH dengan gas CO₂ adalah sebagai berikut [18].

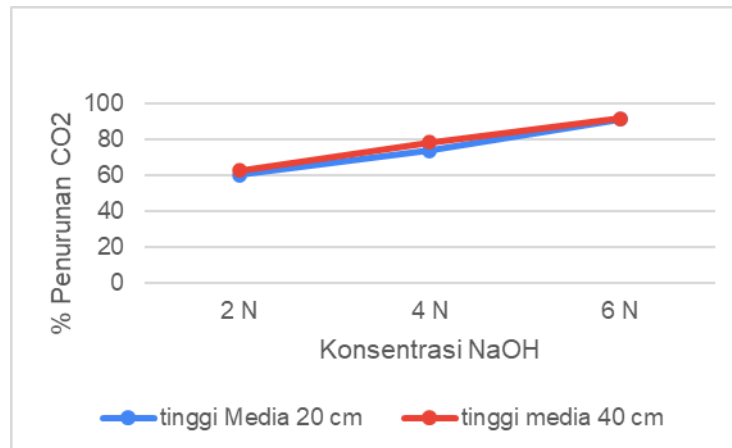


Proses absorpsi terjadi secara kimiawi. Reaksi kimia yang terjadi yaitu irreversible, dimana CO₂ pada fase gas akan di absorpsi oleh larutan KOH pada fase cair. Ketika gas CO₂ yang mendekati interfas cair akan larut dan langsung bereaksi dengan larutan KOH [19].

B. Pengaruh Absorben NaOH dan Tinggi Media Terhadap Gas CO₂

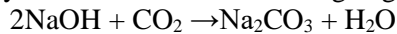
Pada **Gambar 8** dapat diketahui bahwa persentase penurunan CO₂ semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi absorben NaOH dan semakin tinggi nya media pall ring. Persentase penurunan CO₂ tertinggi didapatkan pada penggunaan absorben NaOH dengan konsentrasi 6N dan tinggi media pall ring 40 cm yaitu sebesar 91,8% dengan kadar akhir CO₂ sebesar 1900 ppm. Kadar akhir CO₂ ini

tidak memenuhi baku mutu berdasarkan NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) yaitu sebesar 1000.



Gambar 8. Pengaruh Absorben NaOH dan Tinggi Media Terhadap % Penurunan Gas CO₂
 Sumber : Hasil Analisis (2024)

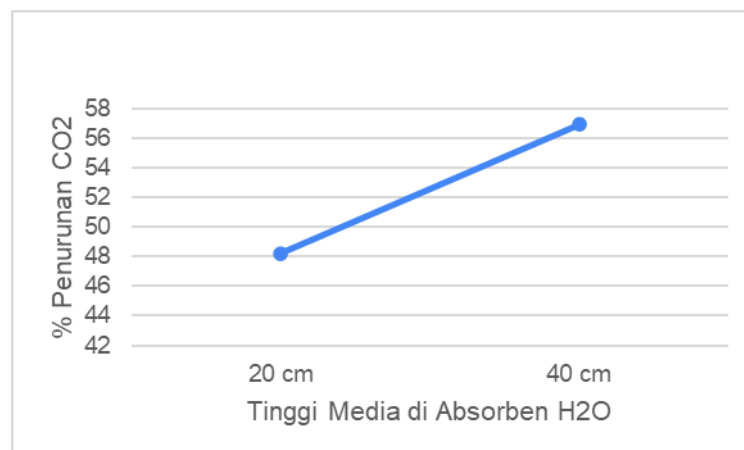
NaOH adalah jenis basa kuat yang dapat bereaksi dengan gas tanpa bantuan dari katalis [20]. Dalam prosesnya NaOH akan bereaksi dengan gas CO₂ menjadi senyawa disodium karbonat [21].



Larutan Na₂CO₃ yang dihasilkan berupa endapan halus yang mengubah cairan didalam reaktor wet scrubber menjadi keruh [22]. Na₂CO₃ (disodium karbonat) ini merupakan senyawa kimia yang biasa digunakan dalam proses netralisasi [23].

C. Pengaruh Absorben H₂O dan Tinggi Media Terhadap Gas CO₂

Pada **Gambar 9** dapat diketahui bahwa H₂O dapat digunakan sebagai absorben untuk menurunkan gas CO₂. Pada proses absorpsi CO₂ oleh H₂O, hal yang paling berpengaruh adalah penggunaan tinggi media. Semakin tinggi media pall ring yang diaplikasikan maka akan semakin lama waktu kontak antara gas CO₂ dengan absorben dan media. Hal ini menyebabkan perpindahan massa yang terjadi semakin banyak. Persentase penurunan CO₂ tertinggi didapatkan pada penggunaan tinggi media pall ring 40 cm yaitu sebesar 56,9% dengan kadar akhir CO₂ sebesar 10000 ppm.



Gambar 9. Pengaruh Absorben H₂O dan Tinggi Media Terhadap % Penurunan Gas CO
 Sumber : Hasil Analisis (2024)

Absorpsi menggunakan H₂O memiliki persentase penurunan yang tidak begitu besar, karena kelarutan gas CO₂ terhadap air tidak begitu besar, dimana ikatan antara H₂O dengan CO₂ terjadi tapi tidak begitu besar sehingga penurunan gas CO₂ hanya sedikit [23].

Efektivitas Absorben Larutan Kimia dan Media Pall Ring

Pada proses penelitian, absorben yang digunakan ada 3 yaitu NaOH, KOH, dan H₂O. Absorben NaOH terdiri dari konsentrasi 2N, 4N, dan 6N. Absorben KOH terdiri dari konsentrasi 2N, 4N, dan 6N. Kemudian untuk tinggi media pall ring yang digunakan ada 2 variasi yaitu 20 cm dan 40 cm. Dari penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa absorben KOH 6N dan tinggi media pall ring 40 cm memiliki efektifitas yang paling tinggi dalam menurunkan kadar gas CO dan CO₂.

Absorben KOH lebih efektif dibandingkan dengan absorben NaOH dan H₂O, karena sifat absorben KOH lebih mudah larut dalam air dibandingkan dengan NaOH, sehingga memiliki lebih banyak molekul yang tersedia untuk bereaksi dengan CO dan CO₂ yang terlarut dalam air. KOH memiliki kelarutan yang tinggi dalam air, sehingga dapat dengan mudah larut dan berdisosiasi menjadi ion hidroksida (OH⁻) yang reaktif dalam larutan. Ini meningkatkan kemampuannya untuk bereaksi dengan CO dan CO₂. KOH secara kimia lebih reaktif terhadap CO dan CO₂ dibandingkan dengan NaOH. Reaksi antara KOH dan CO₂ menghasilkan kalium karbonat (K₂CO₃), yang memiliki kelarutan yang lebih tinggi dalam air daripada natrium karbonat (Na₂CO₃) yang dihasilkan dari reaksi antara NaOH dan CO₂. Ini berarti lebih banyak CO₂ dapat larut dalam larutan KOH daripada dalam larutan NaOH. Hal ini dibuktikan dengan nilai persentase penurunan gas CO₂ yang paling tinggi. Reaksi KOH dengan CO juga dapat menghasilkan kalium karbonat dan karbon, yang kemudian dapat bereaksi lebih lanjut dengan air untuk membentuk hidrogen karbonat (HCO₃⁻) dan ion hidroksida. Energi ionisasi unsur logam alkali semakin rendah seiring dengan bertambahnya ukuran logam yang berarti semakin ke bawah energi ionisasi logam alkali semakin kecil. Sehingga kemampuan ionisasi dalam air akan semakin rendah. Oleh karena itu, basa alkali KOH lebih baik mereduksi gas CO dan CO₂ daripada NaOH karena energi ionisasi logam Kalium (K) lebih tinggi daripada Natrium (Na).

Variasi konsentrasi KOH memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi output gas CO dan CO₂. Semakin tinggi konsentrasi KOH yang digunakan, maka akan semakin tinggi pula persentase penurunan gas CO dan CO₂ yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena semakin banyak gas CO dan CO₂ yang diserap, sehingga gas CO dan CO₂ yang keluar akan semakin sedikit.

Absorpsi menggunakan H₂O memiliki persentase penurunan yang paling kecil dibandingkan dengan absorben NaOH dan KOH, karena kelarutan gas CO dan CO₂ terhadap air tidak begitu besar, dimana ikatan antara H₂O dengan gas CO dan CO₂ terjadi tapi tidak begitu besar sehingga penurunan gas CO dan CO₂ hanya sedikit.

Penggunaan media pall ring yang semakin tinggi akan semakin meningkatkan persentase penurunan gas CO dan CO₂. Hal ini dikarenakan waktu kontak antara gas CO dan CO₂ dengan absorben dan media akan semakin lama, sehingga menyebabkan perpindahan massa gas ke cairan yang terjadi semakin banyak.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan analisis data yang diperoleh, maka dapat diketahui bahwa absorben KOH memiliki efektifitas yang paling tinggi dalam menurunkan kadar gas CO dan CO₂ dibandingkan dengan absorben NaOH dan H₂O, karena KOH memiliki sifat kebasaaan yang paling tinggi diantara ketiganya. Penggunaan absorben KOH mampu mencapai persentase penurunan gas CO sebesar 97,9 % dengan kadar akhir 7600 µg/m³ dan gas CO₂ sebesar 98,2 % dengan kadar akhir 400 ppm. Kemudian tinggi media pall ring 40 cm lebih efektif dibandingkan dengan 20 cm, karena semakin tinggi media maka waktu kontak antara gas CO dan CO₂ dengan absorben dan media akan semakin lama, sehingga menyebabkan perpindahan massa gas ke cairan yang terjadi semakin banyak.

5. Referensi

- [1] Sucahyo, S. E., Firdaus, N. A., & Lintang, L. (2018). Pengelolaan dan Pemanfaatan Limbah Lumpur PDAM Cilacap. *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 3(2), 81-88.
- [2] Hendrasarie, N., & Octarika, H. D. (2020). Kajian Gas Karbon Monoksida (CO) Kendaraan Bermotor Pada Rencana Jalur Moda Raya Terpadu Surabaya. *Prosiding ESEC*, 1(1), 33-42.
- [3] Hendrasarie, N., & Luchmanandri, R. (2023). Analisis Dampak Lingkungan melalui Life Cycle Assesment (LCA) di Industri Keramik Mojokerto. *Prosiding ESEC*, 4(1), 7-13.
- [4] Putro, R. K. H., Amalia, A., & Hendrasarie, N. (2021). Pengaruh Luas Ruang Terbuka Hijau Terhadap Penurunan No2 Berdasarkan Nilai Total Kolom Citra Satelit Gome 2 Metop-B. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 13(2), 108-113..

- [5] Hendianto, M. R., & Hendrasarie, N. (2020). Kemampuan Filter Rokok Non-Pakai Sebagai Adsorben Dalam Mengurangi Gas Emisi CO Dan HC. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(4).
- [6] Hendrasarie, N. (2007). Kajian efektifitas tanaman dalam menyerap kandungan Pb di udara. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 3(2), 1-15.
- [7] Nurlaili, D. K., & Hendrasarie, N. (2024). Analisa Kualitas Lingkungan Udara Ambien (PM_{2.5}) di Kota Surabaya. *Journal Serambi Engineering*, 9(1), 7988-7995.
- [8] Harihastuti, N., Widiasta, I. N., Djayanti, S., Harsono, D., & Sari, I. R. J. (2010). *Pengurangan Emisi Co₂ Pada Gas Buang Boiler Dengan Teknologi Absorpsi Melalui Membran Serat Berpori*. Indonesian Ministry of Industry.
- [9] Rofienda, R. (2010). Penyerapan Polutan Gas Co Dari Emisi Gas Cerobong Dengan Penyerap NaOH. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 23(2), 1-5.
- [10] Abdurrahman, A., Soehartanto, T., & Sudarmanta, B. (2013). Rancang Bangun Alat Purifikasi Biogas Dengan Menggunakan Cao Dan Water Scrubber (Studi Kasus Plant Biogas.. *Semin. Nas. Pascasarj. Xiii*, (15).
- [11] Ramaswamy, K., Jule, L. T., N, N., Subramanian, K., & Seenivasan, V. (2022). Reduction of environmental chemicals, toxicity and particulate matter in wet scrubber device to achieve zero emissions. *Scientific Reports*, 12(1), 9170.
- [12] Chotimah, C., Syafitri, N. N., & Udyani, K. Absorber Design Simulation For CO₂ Using K₂CO₃ Absorbent With Aspen HYSYS V. 10 Software. *Konversi*, 11(2).
- [13] Chin, T., Tam, I. C., & Yin, C. Y. (2022). Comparison of various chemical compounds for the removal of SO₂ and NO_x with wet scrubbing for marine diesel engines. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8873-8891.
- [14] Premkumar, S., & Balaji, G. (2021, April). Study on efficient removal of NO from CI engine exhaust gas by wet scrubbing method using NaOH solution. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1130, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.
- [15] de Mello Innocentini, M. D., Lovero, F. G., Ferreira, A. S., Das, T. K., & Tronville, P. (2021). Environmental and economic issues concerning the use of wet scrubbers coupled to bagasse-fired boilers: a case study in the Brazilian sugarcane industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(8), 2319-2335.
- [16] Dwinanda, V. C. (2017). Perancangan Wet Scrubber sebagai Unit Pengurang Kadar H₂S pada Produksi Biogas di PT Enero Mojokerto. *Surabaya: Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [17] A. I. Sya'roni, "Analisa Warna Api dan Suhu Pembakaran Biogas Limbah Pasar Yang Sudah Dipurifikasi Dengan Kalium Hidroksida," Repository UNEJ, Jember, 2016.
- [18] Kanedi, M. (2017). Alternatif Bahan Pembungkus Kalium Hidroksida (KOH) dalam Penyerapan O₂ dalam Percobaan Respirasi. *Jurnal Penelitian Sains*, 19(1), 19104-17.
- [19] Hermawan, D., Hamidi, N., & Sasongko, M. N. (2016). Performansi purifikasi biogas dengan koh based absorbent. *Rekayasa Mesin*, 7(2), 65-73.
- [20] Hermanto, H., & Susanty, A. (2016). Pengaruh konsentrasi NaOH dan laju alir gas pada proses pemurnian biogas. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 10(1), 88-93.
- [21] Robiah, R., Renaldi, U., & Melani, A. (2021). Kajian pengaruh laju alir NaOH dan waktu kontak terhadap absorpsi gas CO₂ menggunakan alat absorber tipe sieve tray. *Jurnal Distilasi*, 6(2), 27-35.
- [22] Mara, M. (2012). Analisis penyerapan gas karbondioksida (CO₂) dengan larutan NaOH terhadap kualitas biogas kotoran sapi. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(1).
- [23] Islamiyah, M. (2016). Perancangan Filter Purifikasi Biogas (CO₂, H₂S) Dengan Menggunakan Absorpsi (CaO, NaOH) Dan Water Scrubber (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).