

Kinetika Absorbsi CO₂ dari Gas Emisi Kendaraan Bermotor dengan Menggunakan Absorben Monoethanolamine (MEA) pada Reaktor Gelembung Pancaran

Wahyu Andanu¹, Didiek Hari Nugroho², Akbar Ismi A P³

¹⁻³ Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Email: whyandanu@gmail.com¹, dh.nugroho@polsri.ac.id², akbar.ismi.aziz@gmail.com³

Alamat: Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan Indonesia 30139

Korespondensi penulis: penulis.pertama@email.com

Abstract. Exhaust gas produced by motor vehicles contains several types of emissions, such as carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), oxides of nitrogen (NOx), dust particles including lead (Pb), oxides of sulfur (SOx), and carbon dioxide (CO₂). The content of the exhaust gas consists of about 30% carbon dioxide, 27% carbon monoxide, 25% hydrocarbons, 10% oxides of nitrogen, 9% oxides of sulfur, and 8% dust particles. Of the various types of polluting gases, carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), and hydrocarbons (HC) account for the highest percentage of harmful gases. Excessive concentrations of CO₂ in the air can trigger the greenhouse effect, which contributes to an increase in atmospheric temperature and causes global warming. Carbon dioxide (CO₂) in high concentrations can cause respiratory distress, although at levels below 1.5% by volume it is not considered harmful. Therefore, methods are needed to reduce air pollution, particularly that caused by CO₂. One of the methods used is the absorption process using Monoethanolamine liquid. This process is carried out by utilizing a Jet Bubble Reactor for CO₂ absorption and using a Gas Analyzer for CO₂ gas analysis. The variables set in the study include gas flow rate (0.3, 0.4, 0.5 liter/minute), liquid flow rate (0.6, 0.7, 0.8 liter/minute), temperature (30°C, 40°C, 50°C), and solution concentration (0.1 M, 0.2 M, 0.3 M, 0.4 M). Based on initial analysis, CO₂ levels were detected at 3213 ppm. Under the condition of solution concentration of 0.3 M, temperature of 50°C, liquid flow rate of 0.4 liters/minute, and gas flow rate of 0.6 liters/minute, the amount of CO₂ absorbed was reduced to 413 ppm, showing a CO₂ conversion rate of 87.14%.

Keywords: Exhaust Gas Emissions, Carbon Dioxide Absorption, Global Warning, Bubble Column Reactor.

Abstrak. Gas buang yang disebabkan oleh kendaraan bermotor memuat beberapa jenis emisi, seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NOx), partikel debu termasuk timbal (Pb), oksida sulfur (SOx), serta karbon dioksida (CO₂). Kandungan dalam gas buang tersebut terdiri dari sekitar 30% karbon dioksida, 27% karbon monoksida, 25% hidrokarbon, 10% oksida nitrogen, 9% oksida sulfur, dan 8% partikel debu. Dari berbagai jenis gas pencemar, karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (HC) merupakan gas berbahaya dengan persentase tertinggi. Konsentrasi CO₂ yang berlebihan di udara dapat memicu terjadinya efek rumah kaca, yang berkontribusi pada peningkatan suhu atmosfer dan menyebabkan pemanasan global. Karbon dioksida (CO₂) dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan gangguan pernafasan, meskipun pada kadar di bawah 1,5% volume tidak dianggap berbahaya. Oleh karena itu, diperlukan metode untuk mengurangi polusi udara, khususnya yang disebabkan oleh CO₂. Salah satu metode yang digunakan adalah proses absorpsi menggunakan cairan Monoethanolamine. Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan Reaktor Gelembung Pancaran untuk absorpsi CO₂ dan menggunakan Gas Analyzer untuk analisis gas CO₂. Variabel yang diatur dalam penelitian meliputi laju alir gas (0,3, 0,4, 0,5 liter/menit), laju alir cair (0,6, 0,7, 0,8 liter/menit), suhu (30°C, 40°C, 50°C), serta konsentrasi larutan (0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M). Berdasarkan analisis awal, kadar CO₂ terdeteksi sebesar 3213 ppm. Pada kondisi konsentrasi larutan 0,3 M, suhu 50°C, laju alir cair 0,4 liter/menit, dan laju alir gas 0,6 liter/menit, jumlah CO₂ yang terabsorpsi berkurang menjadi 413 ppm, menunjukkan tingkat konversi CO₂ sebesar 87,14%.

Kata Kunci : Emisi Gas Buang, Absorpsi Karbon Dioksida, Pemanasan Global, Reaktor Gelembung Pancaran.

1. LATAR BELAKANG

Udara merupakan unsur yang sangat penting bagi kehidupan manusia, baik bagi tumbuhan maupun hewan. Aktivitas manusia meningkat di berbagai sektor seperti industri, peternakan, pertanian, perikanan, dan transportasi. Polusi udara terbanyak berasal dari asap knalpot kendaraan. Kendaraan listrik merupakan kendaraan darat yang digerakkan oleh perangkat teknologi, sementara kendaraan darat yang memakai mesin dikenal sebagai sepeda motor atau mobil. Mobil mengandung berbagai jenis gas yang dapat menyebabkan masalah kesehatan, dan konsentrasi polutan yang terlalu tinggi dapat membahayakan makhluk hidup termasuk manusia. Selain merusak tanaman dan material, tetapi juga kegagalan lainnya, seperti, mengurangi visibilitas dan konsentrasi bau polutan di udara luar. Faktor – faktor seperti jumlah pencemar, sifat bahan, dan iklim mempengaruhi dampak tersebut (Manik, 2007).

Emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor mengandung berbagai jenis polutan, antara lain karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), partikel debu termasuk timbal (Pb), oksida sulfur (SO_x), dan karbon dioksida (CO₂). Komposisi dari gas buang tersebut terdiri dari 30% karbon dioksida, 27% karbon monoksida, 25% hidrokarbon, 10% oksida nitrogen, 9% oksida sulfur, dan 8% partikel debu. Di antara polutan-polutan tersebut, karbon dioksida, karbon monoksida, dan hidrokarbon merupakan gas yang paling berbahaya dengan persentase tertinggi. Paparan gas-gas ini di luar batas yang ditentukan dapat mengancam kesehatan manusia dan bahkan dapat berujung pada kematian (Basuki, 2007).

Gas buang merupakan hasil sisa pembakaran bahan bakar dalam mesin kendaraan. Emisi gas buang kendaraan bermotor menjadi topik yang banyak diperbincangkan dan mendapat perhatian serius di berbagai kalangan global. Hal ini disebabkan oleh dampak negatif yang signifikan dari gas buang terhadap lingkungan (Wardana, 2004). Seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang beroperasi, emisi gas buang yang dihasilkan juga akan terus bertambah. Peningkatan emisi ini dikhawatirkan dapat meningkatkan tingkat pencemaran udara serta memberikan dampak buruk bagi kesehatan manusia.

Kandungan karbon dioksida (CO₂) yang berlebihan di atmosfer dapat memicu efek rumah kaca, yang pada akhirnya meningkatkan suhu udara dan menyebabkan pemanasan global. Selain itu, pada konsentrasi tinggi, CO₂ dapat mengakibatkan gangguan pernapasan, meskipun pada kadar kurang dari 1,5% volume dianggap tidak berbahaya. Untuk mengurangi polusi udara, khususnya dari gas CO₂, diperlukan metode yang efektif, salah satunya adalah proses absorpsi menggunakan larutan Monoethanolamine (Sriharti, 2014).

Pada tahun 2012, Endang Srihari melakukan penelitian tentang absorpsi CO₂ menggunakan monoethanolamine dengan begitu pada penelitian ini proses absorpsi CO₂ dengan MEA dapat dikatakan proses absorpsi disertai dengan reaksi kimia di mana jumlah CO₂ yang terserap akan bertambah sejalan dengan meningkatnya konsentrasi MEA (Nugroho & Hariyadi, 2014). Pada tahun 2018, Nugroho, D. H., dkk melakukan penelitian tentang penyerapan CO₂ menggunakan larutan MEA pada kolom absorber. Variabel yang digunakan adalah laju alir gas, laju alir liquid dan temperatur. Pada variabel laju alir terendah 20 NL/m didapatkan efisiensi penyerapan tertinggi, efisiensi penyerapan akan meningkat sejalan dengan bertambahnya laju alir liquid dan pada temperatur tertinggi 60 °C didapatkan nilai efisiensi penyerapan tertinggi (Treybal, 1981). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan reaktor gelembung pancaran (*Jet Bubble reactor*). Variabel yang digunakan adalah konsentrasi MEA, temperatur, laju alir gas dan laju alir cair.

2. KAJIAN TEORITIS

Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

Emisi kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran utama di kota-kota besar di Indonesia. Pencemaran udara sangat erat kaitannya dengan konsumsi energi bahan bakar minyak. Konsumsi bahan bakar minyak berakibat polutan ke atmosfer dalam skala yang besar, sehingga perlu upayaupaya untuk pengendalian pencemaran udara agar tidak semakin meningkat emisinya, yang dapat meningkatkan resiko penyakit dan gas rumah kaca (GRK) sebagai akibat emisi kendaraan bermotor. Di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70%. Faktor-faktor penting yang menyebabkan dominannya pengaruh sektor transportasi terhadap pencemaran udara perkotaan di Indonesia antara lain (Indonesia Fuel Quality Monitoring 2011, Kementerian Lingkungan Hidup, 2011):

1. Perkembangan jumlah kendaraan yang cepat (eksponensial)
2. Tidak seimbangnya prasarana transportasi dengan jumlah kendaraan yang ada
3. Pola lalu lintas perkotaan yang berorientasi memusat, akibat terpusatnya kegiatan-kegiatan perekonomian dan perkantoran di pusat kota
4. Masalah turunan akibat pelaksanaan kebijakan pengembangan kota yang ada, misalnya daerah pemukiman penduduk yang semakin menjauhi pusat kota
5. Kesamaan waktu aliran lalu lintas
6. Jenis, umur dan karakteristik kendaraan bermotor

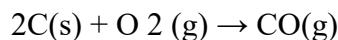
7. Faktor perawatan kendaraan
8. Jenis bahan bakar yang digunakan
9. Jenis permukaan jalan
10. Siklus dan pola mengemudi (driving pattern).

Jumlah pertumbuhan kendaraan bermotor, merupakan tindakan yang dapat dilihat dengan progressive contextualization (Vayda, 1986) Ketika ingin mendeskripsikan suatu pengerasakan lingkungan (terkait di sini masalah pencemaran udara akibat transportasi), terbukti, tidak terbatas hanya melihat aktor-aktor pengguna transportasi saja. Namun, kita juga dapat melihat lebih luas lagi

bahwa tindakan-tindakan tersebut berdampak bagi hidup dan kehidupan. Hal ini dapat terlihat dari pertumbuhan kendaraan bermotor yang mengeluarkan emisi dan mencemarkan udara di sekitar kita.

Senyawa Yang Ada Pada Asap Kendaraan Bemotor

1. Karbon Monoksida (CO)



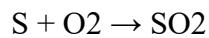
Karbon monoksida atau CO merupakan senyawa gas tanpa warna, bau, dan rasa yang terbentuk dari hasil pembakaran tidak sempurna bahan-bahan yang mengandung zat arang atau bahan organik, baik dari kegiatan individu ataupun industri. Terciptanya gas karbon monoksida umumnya diakibatkan oleh pembakaran biomassa atau kayu bakar, industri, kendaraan bermotor, kompor gas, minyak tanah, arang, dan lain sebagainya. Emisi karbon monoksida yang menyumbang jumlah utama dalam hal pencemaran adalah akibat asap kendaraan bermotor. Oleh sebab itu, para aktivis lingkungan sangat gencar mengkampanyekan penggunaan transportasi umum, karena pencemaran dari gas karbon monoksida ini sangat mengancam kesehatan. Penyebab utama munculnya karbon monoksida adalah terbentuknya reaksi antara karbon dan oksigen pada pembakaran yang tidak sempurna. Berikut ini adalah beberapa penyebab paling nyata dari terbentuknya gas ini, antara lain ;

- Asap pembuangan kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar tidak ramah lingkungan.
- Pembakaran hasil-hasil pertanian seperti sampah bekas panen, sisa kayu di hutan yang ditebang, dan sisa tanaman di perkebunan.
- Penggunaan bahan bakar seperti bensin, minyak tanah, gas alam, dan kayu yang tidak terbakar sempurna.
- Pemanas ruangan dengan bahan bakar tidak ramah lingkungan.

- Asap rokok.
- Asap dari pembuangan atau sisa industri, dan lain sebagainya.

Karbon monoksida terbentuk dari sebuah proses pembakaran atau reaksi kimia yang tidak sempurna. Umumnya, Ketika proses pembakaran berlangsung tekanan yang naik yaitu sebesar 40 hingga 60 bar pada temperatur 2.000 hingga 2.500 derajat celcius. Dalam ilmu kimia, proses pembakaran yang terjadi antara bahan bakar senyawa karbon dapat dijabarkan dalam rumusan $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2$. Kemudian, atom karbon yang dilambangkan dengan huruf (C) yang dioksidasi dengan gas oksigen (O_2) akan menghasilkan gas berupa senyawa karbon dioksida (CO_2) serta panas yang dikeluarkan sebagai produk dari proses pembakaran. Gas karbon dioksida yang diproduksi adalah bentuk pembakaran sempurna yang aman untuk lingkungan karena tidak beracun. (A. Aji Prakoso, 2019-2023).

2. Oksida sulfur (SO_2)



Sulfur Dioksida adalah senyawa gas beracun yang tidak berwarna, tetapi memiliki bau yang menyengat. Gas ini terbentuk dari gabungan unsur belerang (S) dan juga oksigen (O_2). Oleh karena itu, rumus kimia sulfur dioksida adalah SO_2 . SO_2 termasuk pada kelompok gas yang reaktif. Jadi, sulfur dioksida ini dapat dengan mudah larut pada air dan bereaksi membentuk berbagai senyawa berbahaya, seperti asam belerang, asam sulfat, dan juga partikel sulfat. Gas SO_2 berasal dari lepasan gunung berapi, pembakaran bahan fosil, atau bahan-bahan lain yang mengandung belerang. Itu sebabnya, senyawa ini juga sering disebut dengan istilah belerang dioksida, sulfur anhidrida, sulfur oksida, atau asam sulfur anhidrida. Senyawa ini dapat merusak dan menghambat pertumbuhan tanaman, merusak ekosistem air, bahkan menyebabkan beberapa masalah Kesehatan. (Nafisah, 2024).

3. Suspended Particular Matter (SPM)

Partikulat merupakan polusi udara yang berbentuk padatan maupun cairan dengan ukuran kurang dari 10 mikrometer. Partikulat menyebabkan beberapa dampak negatif bagi manusia dan lingkungan. Partikulat atau yang juga disebut sebagai particulate matter atau particle pollution (PM) dilansir dari U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) adalah campuran kompleks yang berukuran sangat kecil yang berbentuk partikel kecil atau tetesan (droplet) cairan. Adapun partikel yang dikategorikan, yaitu:

- Debu (dust)
- Kotoran (dirt)
- Jelaga (soot)
- Asap (smoke)
- Tetesan cairan (droplet)

Partikulat terbentuk dari berbagai macam ukuran, dengan ukurannya kira-kira 10 mikrometer yang dapat masuk ke dalam paru-paru kita dan menyebabkan masalah kesehatan yang serius. Berikut ini adalah jenis-jenis ukuran partikulat yang umum digunakan sebagai parameter pencemaran udara, yaitu:

- PM10 adalah partikulat kasar (coarse) yang memiliki ukuran partikel diameter lebih kecil dari 10 mikrometer. Jenis ini dapat menyebabkan iritasi mata Anda, hidung, dan juga tenggorokan. PM10 dapat berupa debu dari jalan, lokasi pertanian, debu pertambangan, debu dari lokasi pembangunan, atau palung sungai yang kering.
- PM2,5 adalah partikulat halus (fine) yang memiliki ukuran partikel diameter lebih kecil dari 2,5 mikrometer. Partikel ukuran ini yang sangat berbahaya karena sangat halus dan tidak bisa dilihat dan sangat mudah masuk ke dalam bagian paru-paru Anda, atau bahkan dapat masuk ke dalam aliran darah. (Dewi, 2023)

4. Oksida Nitrogen (NOx)



NOx terbentuk ketika bahan bakar terbakar pada suhu tinggi. NO2 adalah salah satu pencemar yang timbul akibat proses pembakaran. Umumnya spesies dari NOx merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. NOx menimbulkan dampak pada kesehatan seperti gangguan pernapasan, radang paru-paru (pneumonia) bahkan kematian. Oksida nitrogen yang berada di udara dapat membentuk partikel oksida nitrogen seperti nitrat yang berukuran sangat halus sehingga dapat masuk ke jaringan sensitif paru-paru dan menyebabkan atau memperburuk penyakit pernapasan seperti bronkhitis dan empisema. Orang yang sehat tidak akan terpengaruh pajanan NOx dengan konsentrasi rendah. Sementara orang berpenyakit asma atau penyakit pernapasan lainnya lebih rentan terhadap NOx karena menyebabkan penyempitan saluran napas. (Dollaris Riauaty Suhadi, Agustus 2013)

5. Ozon (O₃)

Ozone (O₃). Ini merupakan polutan berbahaya yang ada di permukaan tanah sebagai penyusun utama kabut asap yang terbentuk dari reaksi terhadap sinar matahari bersama-sama dengan nitrogen oksida (NO_x) dan volatile organic compounds (VOC) dari asap kendaraan, bahan kimia dan limbah industri.

Terkait dengan gas rumah kaca (GRK), sektor transportasi Indonesia saat ini merupakan konsumen terbesar produk minyak bumi dan sumber yang besar dari emisi gas rumah kaca (GRK) secara keseluruhan. Tanpa adanya tindakan yang signifikan untuk mengurangi intensitas karbon dari sektor transportasi maka emisi GRK diperkirakan akan meningkat dua kali lipat dalam waktu kurang dari 10 tahun, dan akan sangat berpengaruh terhadap perubahan iklim dunia. Perubahan iklim merupakan tantangan strategis dan tantangan pembangunan yang dihadapi Indonesia. Pemerintah Indonesia mengakui bahwa perubahan iklim merupakan isu pembangunan ekonomi dan perencanaan yang penting. Pemerintah Indonesia juga mengakui bahwa tindakan sejak dulu untuk melakukan mitigasi dan adaptasi akan bermanfaat secara strategis maupun secara ekonomi bagi Indonesia. Sebagai salah satu langkah penting dalam melakukan mitigasi, Pemerintah Indonesia telah memulai Kajian Opsi Pembangunan Rendah Karbon sebagai kesempatan untuk mengevaluasi dan mengembangkan opsi-opsi strategis dalam rangka mengurangi intensitas emisi tanpa mengorbankan tujuan-tujuan pembangunan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memanfaatkan reaktor kolom gelembung pancaran dengan gas CO₂ dari emisi kendaraan bermotor sebagai sampel, serta larutan monoethanolamine sebagai absorben. Kegiatan penelitian berlangsung pada Maret hingga April 2024 di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang. Proses penelitian mencakup persiapan bahan baku, pengujian, pengumpulan data, dan analisis hasil percobaan, yang semuanya dilakukan di laboratorium tersebut. Peralatan utama yang digunakan adalah reaktor kolom gelembung pancaran, sementara gas CO₂ dari emisi kendaraan bermotor menjadi bahan baku utama dalam penelitian ini. Alat yang digunakan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 1 Alat Penelitian

Komponen	Jumlah
Seperangkat alat kolom gelembung pancaran	1 Unit
<i>Gas Bag</i>	12 buah
<i>Gas Analyzer</i>	1 Unit
Emisi Gas Buang Kendaraan Motor	1 Unit

Bahan yang dipakai dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2 Bahan Penelitian

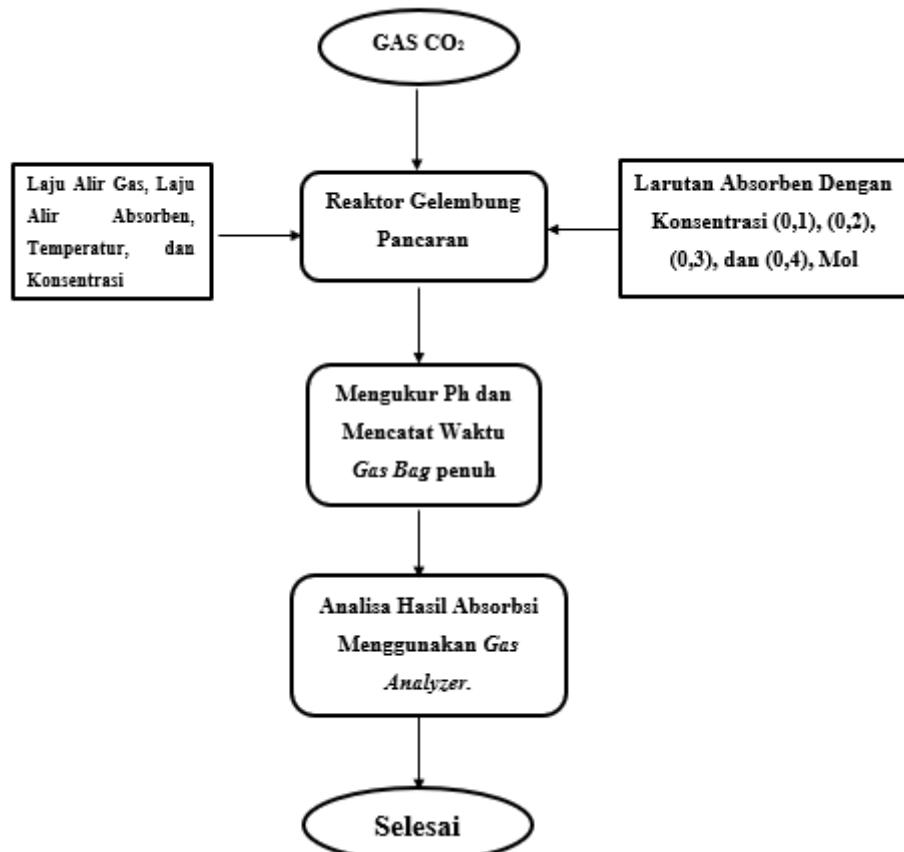
Komponen	Jumlah
Monoethanolamine (MEA)	500 gr
Motor	1 Buah
Aquadest	60 L

Data yang digunakan dari penelitian ini berasal dari beberapa variasi perlakuan yang ada pada Tabel 3

Tabel 3 Variasi Perlakuan Terhadap Sampel

Variabel Tetap	Variabel Bebas
Emisi Gas Buang Kendaraan Motor : CO ₂ sebesar 3212 ppm	Laju Alir Cairan : (0,6), (0,7), dan (0,8) L/m
Volume tumpug Gas bag : 2000 ml	Konsentrasi Absorben : (0,1), (0,2), (0,3) dan (0,4) M
Volume cairan absorben : 5000 ml	Temperatur : 30 ⁰ C, 40 ⁰ C dan 50 ⁰ C Laju Alir gas : (0,3), (0,4), (0,5) Liter/menit

Adapun diagram alir proses penelitian dapat dilihat dibawah ini



Gambar 1 Diagram Alir Proses Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Analisa Gas CO_2

Penelitian ini mencakup pengukuran tingkat CO_2 sebelum dan setelah proses absorpsi pada emisi gas buang kendaraan bermotor. Kendaraan yang digunakan adalah sepeda motor yang telah berusia 16 tahun, dengan asumsi bahwa pembakarannya tidak sempurna, sehingga menghasilkan kadar CO_2 yang relatif tinggi. Sebagai absorben, digunakan larutan monoethanolamine (MEA) dengan variasi konsentrasi tertentu. Pengukuran kadar CO_2 dilakukan menggunakan perangkat *Multi Detector Gas Analyzer* di Laboratorium Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses absorpsi gas CO_2 yang dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor dan untuk mengevaluasi dampak dari berbagai variabel proses terhadap tingkat absorpsi gas CO_2 . Variabel-variabel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi konsentrasi absorben, suhu, laju alir gas, dan laju alir cairan. Data terbaik dari masing-masing variabel akan dikombinasikan dengan variabel lainnya untuk mendapatkan hasil yang optimal. Hasil analisis pengukuran disajikan dalam tabel 3.1.1 dan 3.1.2.

Tabel 4 Hasil Analisa Gas CO_2 Awal

Parameter	Nilai	Satuan
CO_2	3212	ppm

Tabel 5 Hasil Analisis Gas CO_2 Proses

No	Konsentrasi (M)	Laju Alir gas (L/menit)	Laju Alir Liquid (L/menit)	Temperatur (C)	Sebelum	Sesudah
					CO_2 (ppm)	CO_2 (ppm)
1.	0,1	0,3	0,6	30		646
2.	0,2	0,3	0,6	30		557
3.	0,3	0,3	0,6	30		427
4.	0,4	0,3	0,6	30		465
5.	0,3	0,3	0,6	40		746
6.	0,4	0,3	0,6	40	3212	637
7.	0,3	0,3	0,6	50		470
8.	0,4	0,3	0,6	50		426
9.	0,4	0,4	0,6	50		413
10.	0,4	0,5	0,6	50		433
11.	0,4	0,4	0,7	50		490
12.	0,4	0,4	0,8	50		463

Pembahasan

Absorpsi CO₂ adalah metode pemisahan gas CO₂ dengan memanfaatkan pelarut atau absorben untuk menangkap gas tersebut. Teknik ini sering digunakan dan menjadi pilihan utama dalam industri pengolahan gas karena memiliki tingkat efisiensi yang tinggi serta menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. Proses absorpsi CO₂ memerlukan adanya kontak langsung antara absorben (pelarut) dengan gas sumber (Fatimura, 2021).

Gas CO₂ yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Emisi tersebut kemudian diarahkan ke dalam larutan absorben monoethanolamine dengan variasi konsentrasi tertentu. Penelitian ini menggunakan reaktor gelembung pancaran, yang berfungsi untuk menghubungkan fasa gas dengan fasa cair. Selama proses tersebut, massa berpindah dari fasa gas ke fasa cair (Altway, 2018). Reaksi yang terjadi melibatkan gas CO₂ dengan monoethanolamine (Setiadi, et.al., 2008).



Dengan $R = MEA = HOCH_2CO_2^-$

Persamaan laju reaksi (Setiadi, et.al., 2008).

$$r = -kC_{CO_2}C_{MEA}$$

$$k = \frac{\left\{ -A \ln \left(\frac{(C_{CO_2})_t}{(C_{CO_2})_0} \right) - \frac{1}{2} B \ln \left(\frac{\{(C_{MEA})_0 - 2(C_{CO_2})_0\} + 2(C_{CO_2})_t}{(C_{MEA})_0} \right) \right\}}{t}$$

Mencari nilai A dan B:

$$A \left(\{(C_{MEA})_0 - 2(C_{CO_2})_0\} + 2(C_{CO_2})_t \right) + B(C_{CO_2})_t = 1$$

Untuk mencari nilai A, maka misalkan $(C_{CO_2})_t = 0$

$$A = \frac{1}{\{(C_{MEA})_0 - 2(C_{CO_2})_0\}}$$

Untuk mencari nilai B, maka misalkan $(C_{CO_2})_t = \frac{1}{2}(C_{MEA})_0 - (C_{CO_2})_0$

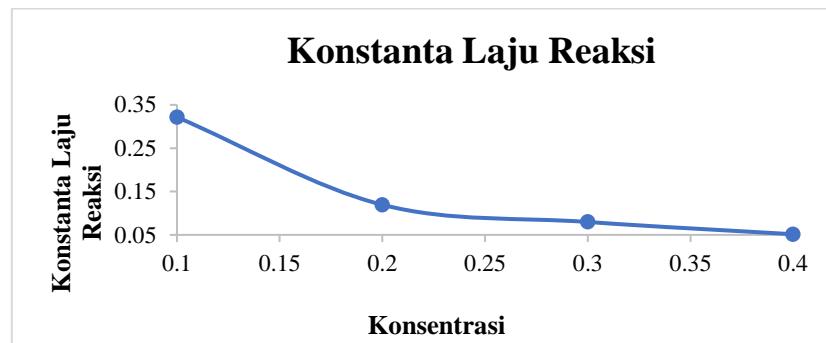
$$B = \frac{1}{\left\{ \frac{1}{2}(C_{MEA})_0 - (C_{CO_2})_0 \right\}}$$

Dan untuk mencari konversi CO₂ adalah:

$$Konversi CO_2 = \frac{(C_{CO_2})_0 - (C_{CO_2})_t}{(C_{CO_2})_0} \times 100\%$$

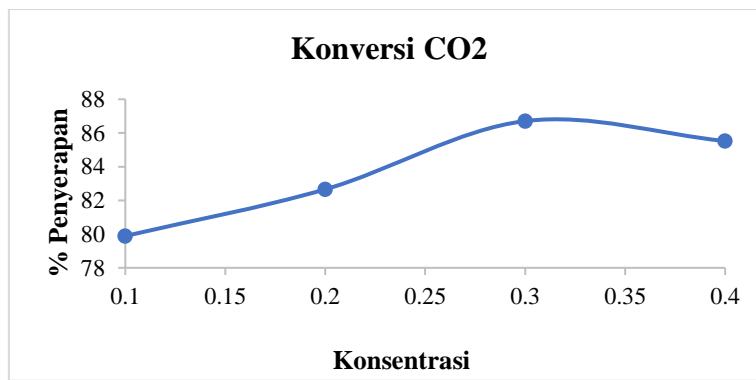
Pengaruh Konsentrasi Terhadap Konstanta Laju Reaksi dan Konversi CO₂.

Pada variabel ini digunakan konsentrasi 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4 M dengan variabel tetap temperatur 30 °C, laju alir gas 0,3 Liter/menit dan laju alir cair 0,6 liter/menit. Pada gambar terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi maka konstanta laju reaksi akan semakin menurun. Ini disebabkan karena konstanta laju reaksi berbanding terbalik dengan konsentrasi. Konstanta laju reaksi tertinggi terdapat pada konsentrasi 0,1 M dan terendah pada konsentrasi 0,4 M



Gambar 2 Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Konstanta Laju Reaksi

Pada gambar 2 konsentrasi absorben 0,3 M dan 0,4 M didapatkan % konversi gas CO₂ tertinggi sebesar 86,7% dan 85,5 %. Berdasarkan grafik dapat dianalisa bahwa semakin besar konsentrasi absorben maka semakin besar pula konversi gas CO₂ namun pada konsentrasi 0,4 M konversi penyerapan CO₂ mengalami penurunan sebesar 1,2%. ini sebabkan karena pada konsentrasi 0,4 M larutan MEA sudah mencapai titik jenuh sehingga konversi penyerapannya kurang maksimal. Menurut Endang Srihari, semakin besar konsentrasi MEA maka semakin besar pula CO₂ yang akan terserap [5].



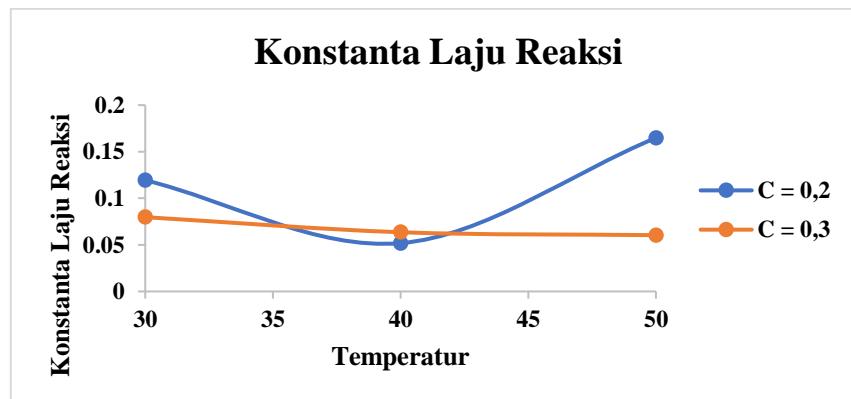
Gambar 3 Grafik Konsentrasi Vs Konversi CO2

Pada gambar 3 Pada konsentrasi absorben 0,3 M dan 0,4 M didapatkan % konversi gas CO₂ tertinggi sebesar 86,7% dan 85,5 %. Berdasarkan grafik dapat dianalisa bahwa semakin besar konsentrasi absorben maka semakin besar pula konversi gas CO₂ namun pada konsentrasi 0,4 M konversi penyerapan CO₂ mengalami penurunan sebesar 1,2%. ini sebabkan karena

kebocoran pada tabung reaktor gelembung pancaran sehingga proses absorbs tidak berjalan maksimal. Menurut Endang Srihari, tingginya konsentrasi MEA maka semakin tinggi juga CO₂ yang akan terserap [5].

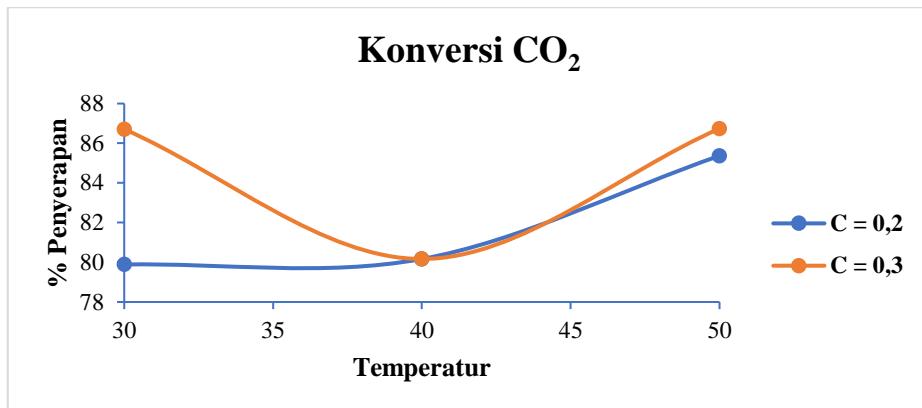
Pengaruh Temperatur Terhadap Konstanta Laju Reaksi dan Konversi CO₂

Pada variabel percobaan ini menggunakan variasi konsentrasi terbaik dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya, dimana konsentrasi yang dipakai adalah 0,2 M dan 0,3, temperatur 40 °C, 50°C, laju alir gas 0,3 liter/menit dan laju alir liquid 0,6 liter/menit. Data ini diambil berdasarkan nilai konstanta laju reaksi dan konversi CO₂ terbaik. Pada gambar 3.2.2.1 di ketahui bahwa, pada konsentrasi 0,2 M dan temperatur 50°C didapatkan konstanta laju reaksi tertinggi karena konstanta laju reaksi dipengaruhi oleh suhu, dan konsentrasi. Semakin besar temperatur maka nilai konstanta laju reaksi akan semakin tinggi juga. Namun pada konsentrasi 0,2 dan temperatur 40 °C mengalami penurunan, ini sebabkan karena kebocoran pada alat sehingga waktu tunggu gas bag semakin lama. Waktu yang tercatat pada proses ini sebesar 11,30 menit namun pada kondisi normal gas bag akan terisi penuh dalam waktu rata-rata 6 menit. Kebocoran pada alat juga berpengaruh pada konsentrasi 0,2 M, sehingga terlihat pada grafik mengalami penurunan nilai konstanta laju reaksi.



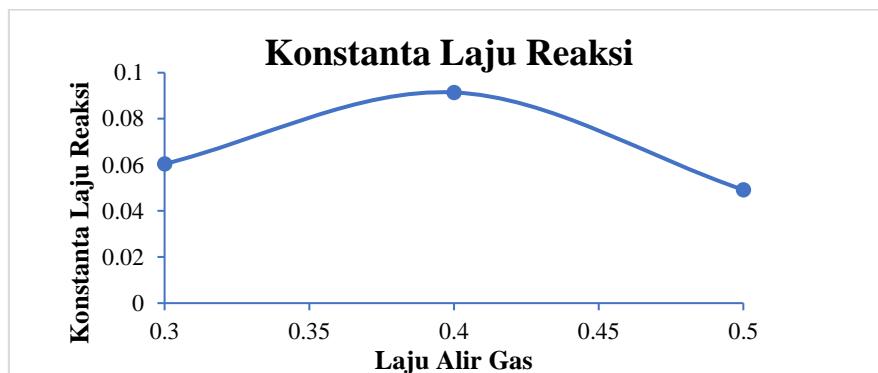
Gambar 4 Grafik Temperatur Terhadap Konstanta Laju Reaksi

Pada gambar 4 terlihat pada konsentrasi 0,2 M konversi penyerapan CO₂ mengalami peningkatan sejalan dengan meningkatnya temperatur. Namun pada temperatur 30 °C dengan konsentrasi 0,3 M terjadi penururan konversi penyerapan CO₂. Ini disebabkan karena kebocoran pada tabung reaktor gelembung pancaran dan menguapnya larutan absorben sehingga reaksi yang terjadi didalam reaktor tidak maksimal.

Gambar 5 Grafik Temperatur Terhadap Konversi CO₂

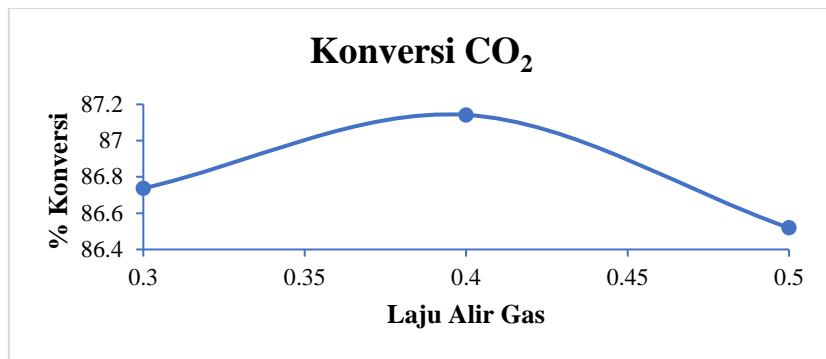
Pengaruh Laju Alir Gas (Qg) terhadap konstanta laju reaksi dan konversi CO₂

Variabel bebas yang digunakan adalah laju alir gas (0,4), (0,50 liter/menit), laju alir liquid 0,6 liter/menit, temperatur 50 °C dan konsentrasi 0,3 M. Pada gambar 3.2.3.1 terlihat pada laju alir 0,4 liter/menit konstanta laju reaksi sudah mencapai titik maksimum dengan nilai 0,0912 jam⁻¹.ppm⁻¹. Namun pada laju alir gas 0,5 liter/menit mengalami kejemuhan sehingga nilai konstanta laju reaksi menurun.



Gambar 6 Grafik Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Konstanta Laju Reaksi

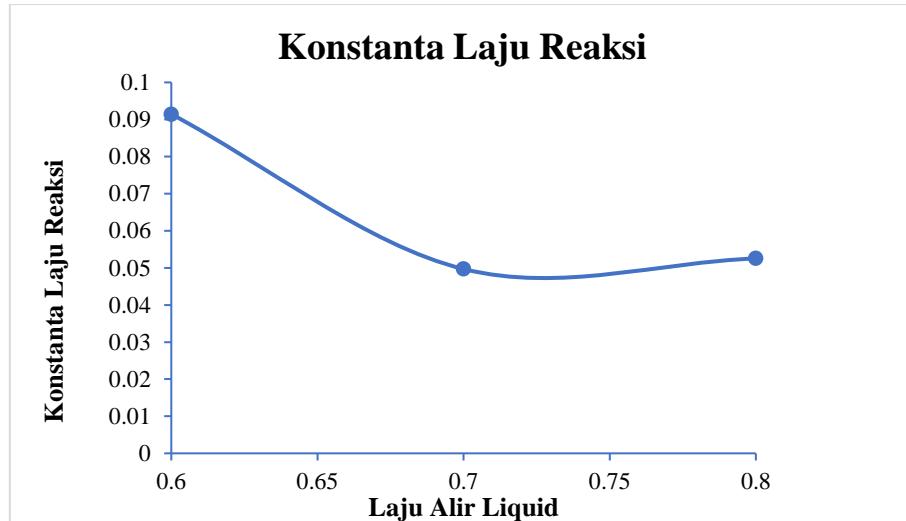
Pada gambar 6 didapat konversi terbesar 87,14 % dengan laju alir gas 0,4 liter/menit. Dapat diketahui bahwa pada laju alir gas 0,4 liter/menit reaktor gelembung pancaran sudah mencapai titik optimum. Pada variabel proses ini menggunakan variasi laju alir gas (0,4), (0,5) liter/menit, laju alir liquid 0,6 liter/menit, temperatur 50 °C, dan konsentrasi 0,3 M.



Gambar 7 Grafik Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Konversi CO₂

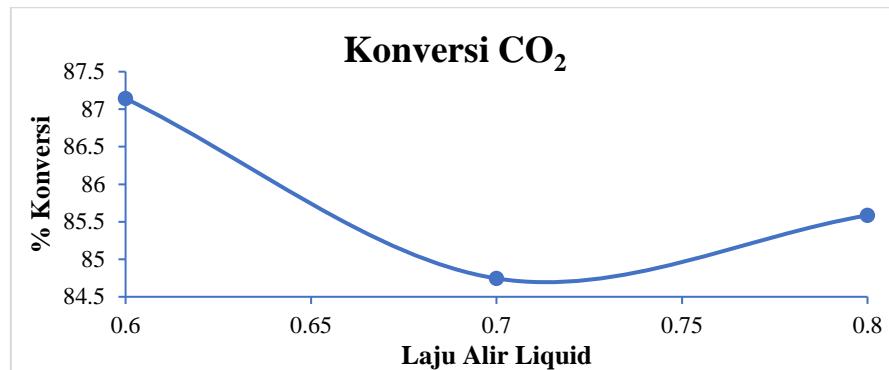
Pengaruh Laju Alir Liquid (Q_L) terhadap konstanta laju reaksi dan konversi CO₂

Variabel bebas yang digunakan adalah laju alir liquid (0,7), (0,8) liter/menit, laju alir gas 0,8 liter/menit, temperatur 50 °C dan konsentrasi 0,3 M. Pada gambar 3.2.4.1 konstanta laju reaksi tertinggi terdapat pada laju alir 0,6 liter/menit dengan nilai 0,09144 jam⁻¹.ppm⁻¹ dengan waktu 5,58 menit. Ini disebabkan oleh pengaruh waktu kontak gas dan larutan cukup lama sehingga reaksi absorpsi yang terjadi pada reaktor semakin baik. Sebaliknya, pada laju alir cair 0,7 dan 0,8 liter/menit, terjadi penurunan karena waktu kontak antara gas dan larutan menjadi lebih singkat, yang menunjukkan bahwa durasi kontak sangat mempengaruhi konstanta laju reaksi.



Gambar 8 Grafik Pengaruh Laju Alir liquid Terhadap Konstanta Laju Reaksi

Pada gambar 8 konversi CO₂ yang paling besar pada laju alir 0,6 sebanyak 87,14%, dapat dikatakan semakin lama waktu kontak gas dan larutan di dalam reaktor maka akan semakin besar konversi yang terjadi di dalam reaktor gelembung pancaran [10]. Menurut Ali [8], meningkatkan laju alir absorben akan mengurangi konsentrasi CO₂ dalam cairan, yang pada gilirannya akan meningkatkan driving force untuk perpindahan massa [11].



Gambar 9 Grafik Pengaruh Laju Alir liquid Terhadap Konversi CO2

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan tidak sekadar mengulangi data, tetapi berupa substansi pemaknaan. Ia dapat berupa Didapatkan hasil bahwa

1. Proses absorpsi CO₂ dari emisi gas buang kendaraan bermotor dengan larutan MEA dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu : Konsentrasi MEA, temperatur, laju alir gas dan laju alir liquid.
2. Semakin tinggi konsentrasi MEA maka semakin besar pula konversi CO₂ tetapi konstanta laju reaksi semakin menurun. Semakin tinggi temperatur maka konstanta laju reaksi akan semakin bertambah.
3. Berdasarkan konstanta laju reaksi dan konversi CO₂ pada alat reaktor gelembung pancaran didapatkan kondisi optimum pada variabel konsentrasi, temperatur, laju alir gas dan laju alir cair. Dimana kondisi operasi terbaik berada pada konsentrasi 0,3 M, temperatur 50 °C, Q_g 0,4 Liter/menit dan Q_L 0,6 liter/menit.

REFERENSI

- Altway, K. R. A. (2008). Analisa transfer massa disertai reaksi kimia pada absorpsi CO₂ dengan larutan K₂CO₃ dalam packed column. *Jurnal Teknik Kimia*, 2(2), 119–126.
- Basuki, K. T. (2007). Penurunan konsentrasi CO dan NOx pada emisi gas buang dengan menggunakan media penyisipan TiO₂ lokal pada karbon aktif. *Jurnal Sains Teknologi*, 1(1), 9–10.
- Dewi, N. A. (2023, April 4). Partikulat, polusi udara yang sering tidak disadari dan dampaknya. Megah Anugerah Energi. <https://solarindustri.com/blog/partikulat/>
- Dollaris, R., & Suhadi, A. S. (2013, Agustus). Pedoman penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan. Kementerian Lingkungan Hidup, 22–23.

- Endang, R. P., & Srihari, P. (2012). Absorpsi gas CO₂ menggunakan monoethanolamine. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya.
- Fatimura, R. M. M. (2021). Pengaruh laju alir absorben dan waktu kontak K₂CO₃. Inovasi Teknik Kimia, 6(2), 81–84.
- Manik. (2007). Pengolahan lingkungan hidup. Jakarta: Djambatan.
- Nafisah, N. (2024, Februari 13). Sulfur dioksida adalah: Arti, sumber, fungsi, dan dampaknya. Megah Anugerah Energi. <https://solarindustri.com/blog/sulfur-dioksida/>
- Nugroho, D. H. (2025). Teknik pengelolaan lingkungan (konsep dan aplikasi). In S. M. Rahmadhani (Ed.), Teknik pengolahan limbah gas CO₂ industri (pp. 139–154). Padang: Pustaka Buku Nusantara.
- Nugroho, D. H., & Hasan, A. (2024). Reaktor kimia: Konsep dasar perancangan dan studi kasus perhitungan neraca massa reaktor kimia dengan menggunakan Polymath. Yogyakarta: Deepublish.
- Nugroho, D. H., Sari, R., & Tivandale, T. (2018). CO₂ removal from natural gas using monoethanolamine (MEA) in packed absorber. Journal of Built Environment, Technology, and Engineering, 4(May), 29–32.
- Setiadi, N. T., Hadiyani, T., Hantizen, & Supramono, D. (2008). Studi absorpsi CO₂ menggunakan kolom gelembung pancaran limbah amonia berpancar jet (Jet Bubble Column). Makara Journal of Technology, 31–37.
- Treybal, R. E. (1981). Mass transfer operation (3rd ed.). Tokyo: McGraw-Hill.
- Wardhana, A. W. (2004). Dampak pencemaran lingkungan. Yogyakarta: Andi.