

**ALPEN: ALAT PENYERAP GAS KARBON DIOKSIDA PADA KNALPOT
KENDARAAN BERMOTOR DENGAN PEMANFAATAN NATRIUM KARBONAT****Evan Arya Pratama, Aulia Nadia Pramesti****Ida Astuti Setyaningrum, S.Pd., Widya Nurhayati, S.Pd.****SMA PKP DKI JAKARTA**

Jl. Lkr. Pkp No.1, Klp. Dua Wetan, Kec. Ciracas, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota
Jakarta 13730

Abstrak - Salah satu sumber pemanasan global berasal dari emisi karbon dioksida. Kendaraan bermotor merupakan salah satu sektor penyumbang emisi karbon dioksida terbesar. Penelitian yang telah dilakukan oleh Cundari et al. (2015) menunjukkan bahwa Na_2CO_3 mampu menyerap CO_2 dengan titik optimum yang dicapai pada variasi larutan Na_2CO_3 25%(b/b). Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan alat penyerap karbon dioksida (CO_2) pada kendaraan bermotor dan mengetahui kemampuan Na_2CO_3 sebagai penyerap CO_2 . Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development (RnD)* berupa pengembangan alat penyerap karbon dioksida yang menggabungkan sistem katup dan metode zig-zag. Uji coba dilakukan menggunakan kendaraan berjenis Honda BeAT dan hasil emisi karbon dioksida diuji menggunakan alat QRO-402 *gas analyzer* dengan rentang pengukuran CO_2 0-20%. Didapatkan hasil rata-rata jumlah CO_2 yang berkurang adalah 7,73% dengan rata-rata efisiensi alat adalah 44,8% dan ketidakpastian relatif sebesar 1,55%.

Kata kunci: *natrium karbonat, karbon dioksida, ALPEN, penyerap, knalpot*

A. Pendahuluan

Saat ini, salah satu isu lingkungan yang umum kita jumpai adalah pemanasan global. Pemanasan global berhubungan dengan proses meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi. Proses peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi diawali dari gas rumah kaca yang tidak terserap oleh tanaman dan menebal di atmosfer yang menyebabkan radiasi inframerah tertahan dan tidak bisa terpantul keluar (KLHK, 2018.) Meningkatnya suhu permukaan bumi menyebabkan beberapa hal, diantaranya meningkatnya volume air laut, meningkatkan curah hujan di daerah dengan iklim tropis, hingga kekeringan tanah (Susanta & Sutjahjo, 2007.)

Pemanasan global diakibatkan oleh beberapa faktor, emisi karbon dioksida merupakan penyebab utamanya. Menurut data dari Energy Institute (2023) emisi karbon yang berasal dari sektor energi pada tahun 2022 mencapai 34,374 miliar ton dalam skala global,

sedangkan Indonesia menyumbang emisi karbon sebesar 692 juta ton CO₂ dan menjadikan Indonesia menempati peringkat 6 negara penyumbang emisi karbon dunia.

Mayoritas emisi gas rumah kaca Indonesia, khususnya CO₂ bersumber dari alih fungsi lahan, transportasi, pembangkit listrik berbahan bakar fosil, dan sebagian kecil dari sumber lainnya (Ritchie et al.) Penggunaan bahan bakar cair oleh sektor transportasi diperkirakan mencapai 62% dan menjadikan sektor transportasi sebagai penyumbang utama emisi gas rumah kaca (Kementerian PPN.)

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2024) Republik Indonesia, pada tahun 2022 terdapat 148.261.817 kendaraan bermotor di Indonesia yang sebagian besar merupakan jenis kendaraan sepeda motor sebanyak 125.305.332 unit dengan jenis sepeda motor yang digunakan didominasi oleh sepeda motor jenis BeAT yang mencapai 23% (Jakpat Survey Reports, 2023.) Hal itu menjadi permasalahan serius mengingat sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang polusi udara terbesar terutama pada daerah Jakarta dan sekitarnya yang mencapai 44% (KLHK, 2023.)

Dalam mengatasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh kendaraan bermotor, Pemerintah DKI Jakarta telah mengeluarkan kebijakan uji emisi berdasarkan Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 66 Tahun 2020 tentang uji emisi gas buang kendaraan bermotor. Kebijakan ini bertujuan untuk mengukur gas buang dari kendaraan bermotor dan mendeteksi kualitas mesin kendaraan. Lebih dari 900 ribu kendaraan sudah diuji selama tiga tahun berlalunya kebijakan ini. Namun, capaian dari kendaraan yang sudah diuji ini masih tergolong rendah (Dinas Lingkungan Hidup, 2023.)

Usaha lain yang telah dilakukan dalam mengatasi pencemaran udara oleh kendaraan bermotor yaitu dengan membuat alat penyaring yang memanfaatkan adsorben, salah satunya menggunakan kalium hidroksida. Namun, penggunaan kalium hidroksida sebagai adsorben masih memiliki kelemahan. Kalium hidroksida merupakan basa kuat sehingga bersifat korosif terhadap logam dan jaringan serta dapat menyebabkan iritasi. Tak hanya itu, kalium hidroksida memiliki kelemahan lain, yaitu biaya produksinya yang lebih mahal (Ilhan, 2024.)

Natrium karbonat (Na₂CO₃) telah banyak dipelajari sebagai kandidat yang menjanjikan untuk penangkapan CO₂ karena biayanya yang rendah, kelimpahan tinggi, penggunaan kembali, dan suhu operasi sedang (Cai et al., 2019.)

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti tertarik untuk membuat ALPEN, yaitu alat penyerap gas karbon dioksida pada kendaraan dengan memanfaatkan Na₂CO₃ yang lebih

aman untuk ditangani, lebih mudah didapat, dan memiliki kemampuan dalam menyerap CO_2 . ALPEN ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai alat penyerap gas CO_2 berbasis Na_2CO_3 pada kendaraan bermotor yang dapat mengurangi emisi karbon dioksida.

B. Kajian Teori dan Tinjauan Pustaka

1. Alat Penyerap

Menurut KBBI, alat merupakan suatu benda yang digunakan untuk mengerjakan sesuatu; perkakas, perabot, yang digunakan untuk mencapai maksud, sedangkan penyerapan berasal dari kata serap yang berarti proses, cara, perbuatan menyerap; peristiwa penyerapan suatu unsur ke dalam unsur lain sehingga bercampur atau menggantikan unsur yang lama.

Alat penyerap karbon dioksida merupakan salah satu dari banyaknya jenis alat penyerap. Alat penyerap karbon dioksida memiliki beragam wujud tergantung dengan bahan yang digunakan, salah satunya yang telah dibuat oleh Aisyah & Syahadatun (2024) yaitu alat penyerap karbon dioksida berwujud padat dengan pemanfaatan jamur tiram. Dari penelitian yang telah dilakukan, penyusunan komponen secara zig-zag dapat memaksimalkan penyerapan pada alat. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Mubarak (2021) menunjukkan bahwa metode tersebut dapat mengurangi hambatan aerodinamis.

Mekanisme katup diartikan sebagai rangkaian yang disusun secara sistematis dengan tujuan membuka saluran intake serta membuka saluran *exhaust* (Prayuda, 2022.) Katup berfungsi sebagai lajur bagi campuran bahan bakar dan udara masuk ke silinder atau sebagai lajur bagi gas sisa untuk keluar dari silinder (Noor & Misbachudin, 2019.) Terinspirasi dari sistem katup tersebut, dibuatlah sistem katup pada ALPEN yang akan menutup saat alat penyerap tidak digunakan dan akan terbuka saat alat digunakan.

ALPEN memadukan pemasangan komponen secara zig-zag yang mengikuti konsep aliran fluida dengan sistem katup yang masing-masing memiliki fungsinya sendiri. Metode aliran fluida zig-zag ini berguna untuk mereduksi hambatan aerodinamis dan memaksimalkan penyerapan. Sistem katup ini berguna untuk mengalirkan bahan penyerap karbon dioksida.

2. Karbon Dioksida

Karbon dioksida merupakan material yang tersusun oleh satu atom karbon dan dua atom oksigen (O_2). Rumus kimia karbon dioksida dituliskan CO_2 . Karbon dioksida berbentuk gas dan pada keadaan temperatur serta tekanan standar di atmosfer bumi. Karbon dioksida tidak berwarna, tidak berbau, tidak mudah terbakar serta sedikit asam.

Karbon dioksida dapat dihasilkan oleh proses alami yang bersumber dari hewan, tumbuhan, pembusukan dan respirasi oleh mikroba, serta pembakaran biomassa (vanLoon & Duffy, 2011.)

Karbon dioksida (CO₂) merupakan polutan utama dari emisi gas buang kendaraan bermotor yang berbahaya jika terhirup oleh manusia. Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer oleh emisi CO₂ dari kendaraan bermotor berdampak pada meningkatnya suhu bumi dan memicu terjadinya efek rumah kaca yang saat ini menjadi isu dunia yaitu pemanasan global serta perubahan iklim (Faradilla et al., 2016.)

Berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi kadar CO₂ pada atmosfer, salah satunya dengan teknologi CCUS (*Carbon Capture, Utilization, and Storage*). CCUS merupakan teknologi yang memungkinkan penangkapan CO₂ dari fasilitas industri beremisi tinggi untuk diangkut dan disimpan secara permanen. CCUS juga memungkinkan cara rendah-karbon untuk memproduksi listrik dan hidrogen yang merupakan dua pembawa energi penting yang dapat membantu mendekarbonisasi berbagai sektor (Serin, 2023.)

Selain dengan teknik tersebut, CO₂ di atmosfer dapat dikurangi melalui bahan penyerap, salah satunya menggunakan larutan Na₂CO₃. Gas CO₂ akan mengalami reaksi kimia dengan larutan penyerap dan terjadi proses absorpsi kimia.

3. Absorpsi

Absorpsi merupakan proses penyerapan atau pemisahan bahan tertentu dari suatu campuran gas baik secara fisik maupun kimia (Kurniawan et al., 2022.) Absorpsi juga dapat diartikan sebagai proses menghilangkan salah satu komponen gas dengan cara melarutkannya menggunakan cairan yang sesuai (Kartohardjono et al., 2007.) Absorpsi terbagi menjadi absorpsi fisika dan absorpsi kimia.

Absorpsi fisika merupakan proses absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Absorpsi kimia melibatkan reaksi kimia antara pelarut cair dengan alir gas dan solut tetap di fase cair. Absorpsi dengan reaksi kimia lebih menguntungkan untuk pemisahan, meskipun demikian absorpsi fisika menjadi penting jika dengan reaksi kimia tidak dapat dilakukan jadi selain terjadi kelarutan juga terjadi reaksi. Alat yang memisahkan gas oleh zat cair disebut *absorber* (Ardhiany & Kunci, 2018)

Salah satu proses absorpsi kimia yaitu penyerapan gas karbon dioksida dengan menggunakan larutan natrium karbonat. Penelitian yang dilakukan oleh Y. Cai et al.

(2018) menunjukkan bahwa Na_2CO_3 yang terhidrasi menyediakan kontak gas-cair yang sangat baik untuk penangkapan CO_2 .

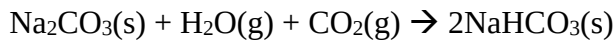
4. Natrium Karbonat

Natrium karbonat atau yang biasa dikenal sebagai *soda ash* merupakan senyawa dengan rumus kimia Na_2CO_3 . Natrium karbonat atau *soda ash* sangat menyerap air, bersifat basa, dan terasa dingin bila bersentuhan dengan tangan (Haryanto & Suheryanto, 2008.)

Dalam kondisi kerja normal, natrium karbonat tidak memberikan efek toksik. Konsumsi oral natrium karbonat pada manusia lebih dari 15 gram berpotensi mematikan. Natrium karbonat juga dapat memberi efek iritasi pada kulit dan selaput lendir (Jumalia & Zainul, 2019.) Na_2CO_3 atau *soda ash* memiliki sifat yang stabil terhadap panas (Bashyal, 2023.)

Soda ash yang disimpan dibawah kondisi lembab akan menyebabkan kadar alkalinitasnya menurun karena mampu menyerap uap air dan karbon dioksida dari lingkungan. Uap air dan karbon dioksida dapat bereaksi dengan *soda ash* pada suhu diatas 400°C untuk membentuk natrium bikarbonat (Rahma, 2022.)

Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Natrium bikarbonat merupakan senyawa anorganik dengan rumus molekul NaHCO_3 , mempunyai berat molekul 84 dan merupakan hasil reaksi antara larutan natrium karbonat dengan gas CO_2 (Holleman & Wiberg, 2001.)

Natrium bikarbonat berwujud kristal, tidak berbau, berwarna putih bubuk dengan rasa garam serta sedikit basa. Struktur kristalnya adalah prisma monoklinik. Ukuran partikel yang tersedia secara komersial beragam, mulai dari bubuk halus hingga granul (Rowe et al., 2006.) Natrium bikarbonat tidak berbahaya, namun penyimpanannya harus diperhatikan. Natrium bikarbonat sebaiknya disimpan di tempat kering dan berventilasi agar terjaga dari kelembapan (Chemategroup, 2023.)

NaHCO_3 merupakan produk dari reaksi antara Na_2CO_3 dengan CO_2 . CO_2 dihasilkan dari berbagai proses dan salah satunya berasal dari proses pembakaran pada kendaraan bermotor. Karbon dioksida yang diabaikan dapat menumpuk dan berisiko menimbulkan pemanasan global (Primasanti et al., 2022.) Beberapa penelitian menunjukkan bahwa Na_2CO_3 merupakan bahan yang menjanjikan untuk menangkap CO_2 . Na_2CO_3 untuk mengurangi emisi karbon dioksida yang dihasilkan oleh pembakaran kendaraan bermotor

sebelum dilepaskan ke atmosfer.

5. Kendaraan bermotor

Berdasarkan UU Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan yang dimaksud dengan kendaraan bermotor ialah kendaraan yang digerakkan oleh peralatan mekanik berupa mesin selain kendaraan yang berjalan di atas rel, sedangkan kendaraan bermotor umum adalah setiap kendaraan yang digunakan untuk angkutan barang dan/atau orang dengan dipungut bayaran.

Pasal 47 UU Nomor 22 Tahun 2009 mengelompokkan kendaraan menjadi dua, yaitu kendaraan bermotor dan kendaraan tidak bermotor. Yang termasuk ke dalam jenis kendaraan bermotor, yaitu sebagai berikut:

- a. Sepeda motor
- b. Mobil penumpang
- c. Mobil bus
- d. Mobil barang
- e. Kendaraan khusus.

Berdasarkan fungsinya, kendaraan bermotor dibagi menjadi kendaraan motor perseorangan dan kendaraan bermotor umum. Kendaraan motor umum meliputi mobil penumpang, mobil bus, serta mobil barang.

Kendaraan seperti sepeda motor maupun kendaraan roda empat berkontribusi besar terhadap polusi udara yang berkontribusi terhadap pembentukan GRK (Kementerian Perhubungan, 2022.) Knalpot merupakan sumber terbesar polusi kendaraan bermotor. Knalpot menyumbang 65-85% polusi yang bersumber dari gas buang (Siregar, 2022.)

6. Knalpot

Knalpot merupakan bagian dari sistem pembuangan gas sisa pembakaran yang fungsinya menyalurkan gas sisa ke udara sekaligus sebagai peredam suara yang turut terbawa pada aliran gas buang (FT UNY, 2003.)

Menurut Reddy et al. (2012) *Exhaust system* memiliki bagian-bagian utama, antara lain

- a. *Exhaust manifold (header)*
- b. *Catalytic converter*
- c. *Muffler*



Gambar 2.1 Header (sumber: <https://images.app.goo.gl/BgkEzGrGeWuZjNr19>)

Exhaust manifold atau yang biasa disebut sebagai *header* knalpot merupakan saluran yang bertujuan untuk menggabungkan keseluruhan sistem knalpot dengan sistem buang pada kendaraan bermotor (Pranata, 2021.)



Gambar 2.2 Catalytic converter (sumber: GridOto)

Catalytic converter merupakan alat yang digunakan untuk mengubah gas berbahaya seperti seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (Nox) menjadi gas yang lebih aman (Reddy et al., 2012.)



Gambar 2.3 Muffler (sumber: www.thunder-muffler.com)

Sedangkan *muffler* sendiri adalah bagian knalpot yang fungsinya untuk mengurangi tekanan sekaligus mendinginkan gas sisa pembakaran (Syahruji, & Ghofur, A., 2019.)

Pada kendaraan knalpot memiliki beberapa fungsi, yaitu untuk menyalurkan gas bekas sisa pembakaran ke udara luar, sebagai peredam getaran akibat ledakan pembakaran serta tekanan gas buang, serta katup buang sebagai pintu keluar bagi gas sisa

pembakaran ke udara luar dengan melewati knalpot terlebih dahulu (FT UNY, 2003.).

7. Tinjauan Pustaka

- a. Cundari et al. (2015) melalui penelitiannya dalam “Pengaruh Penggunaan Solven Natrium Karbonat (Na_2CO_3) Terhadap Absorpsi CO_2 pada Biogas Kotoran Sapi dalam Spray Column” hasilnya menunjukkan bahwa Na_2CO_3 mampu menyerap CO_2 dengan titik optimumnya dicapai pada larutan natrium karbonat 25%(b/b).
- b. Aisyah et al. (2024) dalam penelitiannya yang berjudul “MEF-20: Adsorben Berbasis Zeolit Dan Kitosan Jamur Tiram Sebagai Filter Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor” menunjukkan bahwa penyusunan komponen secara zig-zag dapat memaksimalkan penyerapan pada alat.

C. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian pengembangan atau *Research and Development*. Metode penelitian dan pengembangan merupakan metode penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan dan menciptakan menghasilkan, menguji keefektifan suatu produk (Yuliani & Banjarnahor, 2021.) Penelitian pengembangan ini menggunakan model ADDIE (*Analyze, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*) yang terdiri dari lima tahapan, berikut penjelasannya.

a. Analyze (Analysis)

Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah dan identifikasi produk yang akan dikembangkan sehingga dapat menyelesaikan solusi dengan tepat.

b. Design (Desain)

Pada tahap *design* dilakukan perancangan konsep produk yang akan dikembangkan.

c. Development (Pengembangan)

Merupakan implementasi dari tahap *design* dimana desain yang telah dibuat direalisasikan.

d. Implementation (Implementasi)

Merupakan uji coba produk sebagai dengan tujuan untuk menerapkan produk yang telah dibuat.

e. Evaluation (Evaluasi)

Merupakan tahapan mengevaluasi produk yang telah diujicobakan dengan tujuan untuk memperbaiki kekurangan yang ada pada produk sebagai media pembelajaran.

1. Pemilihan Validator

Menurut Sugiyono (2017) setiap pakar diminta untuk menilai desain tersebut, sehingga selanjutnya dapat diketahui kelemahan dan kekuatannya. Validasi ALPEN dilakukan oleh validator ahli guna mengetahui kelemahan dan kelebihan dari ALPEN. Validator ahli yang memvalidasi penelitian ini yaitu Guru fisika serta laboran di SMA PKP Jakarta dan mekanik bengkel AHASS Mantab.

2. Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

a. Studi literatur

Pada penelitian ini, studi literatur digunakan untuk mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan topik yang dibahas. Data yang dikumpulkan berasal dari jurnal artikel, buku, maupun laporan.

b. Observasi

Metode observasi pada penelitian ini dilakukan dengan pengamatan langsung serta pencatatan hasil uji coba ALPEN guna mengetahui kemampuan ALPEN dalam mengurangi emisi karbon dioksida yang dikeluarkan kendaraan bermotor.

c. Perancangan instrumen penelitian

Instrumen penelitian merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengumpulkan data. Instrumen penelitian ini meliputi

1) Lembar Observasi

Lembar observasi digunakan untuk memperoleh data-data yang diperlukan oleh peneliti.

Tabel 3.1 Tabel Lembar Observasi

No.	Waktu		Jumlah CO ₂ yang berkurang (%volume)
	5 Menit		
	Jumlah CO ₂ Tanpa Perlakuan (%volume)	Jumlah CO ₂ Setelah Pemasangan ALPEN (%volume)	
1.			
2.			
3.			
<u>x</u>			

2) Angket Validitas

Angket validitas dalam penelitian ini berfungsi untuk mengetahui kelayakan ALPEN untuk digunakan (Maryam, 2022.)

Tabel 3.2 Indikator Validitas

Indikator	Item	Butir soal
Tampilan	Desain	5 butir
	Keamanan	
	Kenyamanan	
Kesesuaian	Kebutuhan saat ini	6 butir
	Pemasangan komponen	
	Katup	
	Tempat penyaring	
Inovasi	Bentuk	6 butir
	Solusi baru	
	Cara kerja	
	Manfaat	
	Zig-zag	
	Katup	
Kemudahan Penggunaan	Pemasangan	4 butir
	Perawatan	
	Penggunaan	
	Cara kerja	
Fungsi	Filter knalpot	7 butir
	Metode aliran fluida	
	Sistem katup	
	Tempat penyaring	

3. Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif dengan data yang diolah bersumber dari:

a. Uji validitas produk

Uji validitas produk dalam penelitian ini dilakukan dengan tujuan menilai data yang telah dikumpulkan setelah pengujian ALPEN. Validator merupakan guru fisika dan laboran di SMA PKP serta mekanik di bengkel AHASS Mantab.

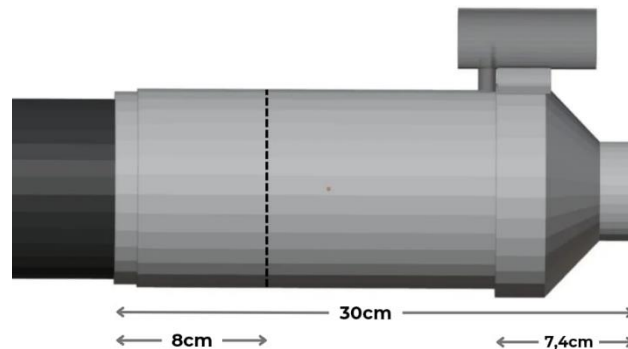
b. Uji coba produk

Uji coba produk dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan ALPEN. Pengujian ALPEN dilakukan di bengkel AHASS Mantab Cibubur dengan menggunakan QRO-402 *gas analyzer*.

4. Perencanaan ALPEN

Perencanaan ALPEN dibuat sampai tahap pembuatan prototype dengan skala 1:1. ALPEN memiliki beberapa komponen utama, yaitu:

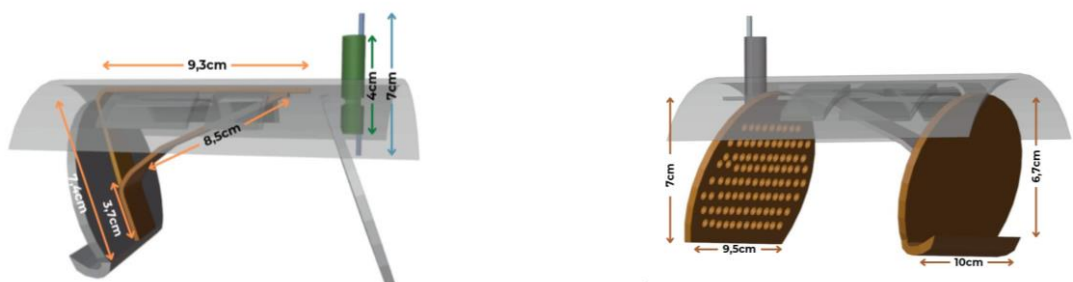
a. Kerangka luar alat



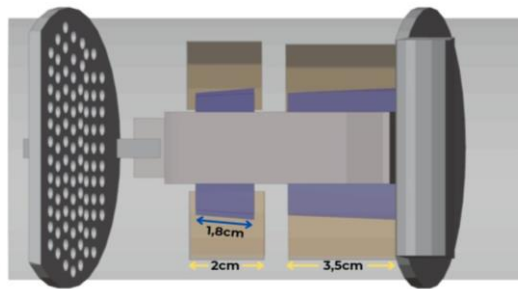
Gambar 3.1 Rancangan kerangka luar ALPEN

Pada kerangka luar ALPEN memiliki dua bagian yaitu bagian penyambung antara ALPEN dengan knalpot sepanjang 8 cm dan ALPEN sepanjang 30 cm. Bahan yang digunakan untuk kerangka luar ini adalah pipa.

b. Sistem katup dan tempat terjadinya reaksi



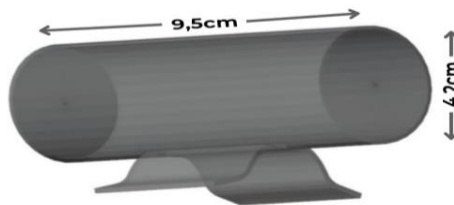
Gambar 3.2 Rancangan sistem katup tampak samping



Gambar 3.3 Rancangan sistem katup tampak bawah

Bahan yang digunakan untuk bagian *prototype* katup adalah pipa, sedangkan tempat terjadinya reaksi kimia terdiri atas kain kasa dan plat pipa. Kain kasa dipilih karena kain kasa memiliki ukuran pori-pori yang dapat memfilter kotoran atau partikel lain serta tahan terhadap zat kimia (Sunarto, 2008.)

c. Tangki Na_2CO_3



Gambar 3.4 Tangki larutan Na_2CO_3

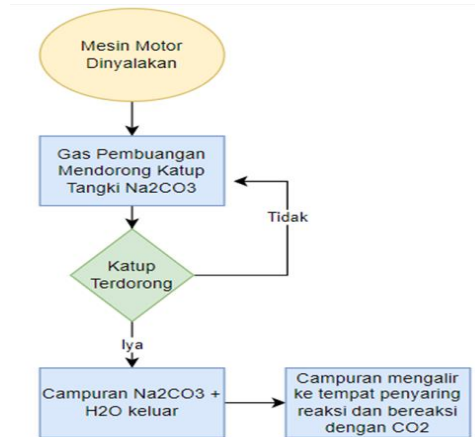
Tangki larutan Na_2CO_3 memiliki diameter 4,2 cm dan tinggi 9,5 cm. Bahan yang digunakan untuk bagian tangki Na_2CO_3 pada *prototype* ALPEN adalah pipa. Pada saat uji coba *prototype* ALPEN, tangki Na_2CO_3 dibuat sementara menggunakan botol bekas parfum dan selang elastis untuk memudahkan pengambilan data.



Gambar 3.5 Tangki larutan Na_2CO_3 sementara

5. Cara kerja ALPEN

Cara kerja ALPEN dijelaskan melalui tahapan alur sistem alat. Cara kerja ALPEN ini secara umum digambarkan menggunakan alur sistem sebagai berikut.



Gambar 3.6 Alur cara kerja alat

D. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil

Penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih dalam mengenai alat penyerap gas karbon dioksida pada knalpot kendaraan bermotor dengan Pemanfaatan Natrium Karbonat. Adapun hasil yang didapat berupa hasil uji emisi gas buang kendaraan dan hasil validasi. Uji coba dilaksanakan di bengkel AHASS Mantab yang berlokasi di Cibubur, Kec. Ciracas, Jakarta Timur pada 1 dan 4 Oktober 2024.

a. Hasil uji emisi gas buang kendaraan

Uji coba ALPEN dilakukan dengan variasi larutan Na_2CO_3 25%(b/b) pada sepeda motor jenis Honda BeAT menggunakan alat QRO-402 *gas analyzer* yang memiliki rentang pengukuran CO_2 0-20% (QROTECH) dan didapatkan hasil percobaan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Uji Emisi Gas Buang Kendaraan

No.	Waktu		CO ₂ yang berkurang (%volume)
	5 Menit		
	Jumlah CO ₂ Tanpa Perlakuan (%volume)	Jumlah CO ₂ Setelah Pemasangan ALPEN (%volume)	
1.	14,8	6,9	7,9

2.	12,7	5,2	7,5
3.	14,7	6,9	7,8
$\bar{x}$	14,067		7,73

Pada percobaan pertama menggunakan ALPEN, didapatkan hasil akhir CO₂ yang dikeluarkan knalpot sebanyak 6,9% dengan jumlah CO₂ yang berkurang sebesar 7,9%. Percobaan kedua dengan ALPEN didapatkan hasil akhir CO₂ yang dihasilkan knalpot sebanyak 5,2% dengan CO₂ yang berkurang sebesar 7,5%. dan pada percobaan ketiga didapatkan hasil akhir CO₂ yang dihasilkan knalpot sebanyak 6,9% dengan pengurangan CO₂ sebesar 7,8%. Dari ketiga hasil uji coba tersebut maka didapatkan rata-rata pengurangan gas CO₂ oleh ALPEN sebesar 7,73%.

$$\text{Rata-rata pengukuran} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\text{Simpangan baku} \quad \Delta x = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \sum (x_i)^2}{n-1}}$$

$$\text{Ketidakpastian} \quad \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\%$$

Dengan :

$\bar{x}$ = rata-rata pengukuran

x_i = kadar ppm baik alat pembanding atau sensor

n = banyaknya pengukuran

Δx = simpangan baku (Rochmania & Yantidewi, 2021.)

$$\text{Efisiensi alat} = \eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100\%$$

$$\text{Hasil pengukuran} = (\bar{x} \pm \Delta x)$$

Tabel 4.2 Perhitungan ketidakpastian relatif

No	Pengurangan Jumlah CO ₂ (x_i)	(x_i) ²
1.	7,9%	62,41%
2.	7,5%	56,25%
3.	7,8%	60,84%

Σ	23,2%	179,5%
----------	-------	--------

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-rata pengukuran} &= \bar{x} = \frac{(7,9\%+7,5\%+7,8\%)}{3} = 7,73\% \\
 \text{Simpangan baku} &= \Delta x = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(179,5)-(23,2)^2}{3-1}} = 0,12\% \\
 \text{Ketidakpastian relatif} &= \frac{0,12\%}{7,73\%} \times 100\% = 1,55\% \\
 \text{Efisiensi alat} &= \eta = \frac{6,9}{14,8} \times 100\% = 46,6\% \quad (1) \\
 &\quad \eta = \frac{5,2}{12,7} \times 100\% = 41\% \quad (2) \\
 &\quad \eta = \frac{6,9}{14,7} \times 100\% = 47\% \quad (3) \\
 \text{Hasil pengukuran} &= (7,73\% \pm 0,12\%)
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Efisiensi Alat

No.	Jumlah CO ₂ Tanpa Perlakuan (%volume)	Jumlah CO ₂ Setelah Pemasangan ALPEN (%volume)	Efisiensi Alat
1.	14,8	6,9	46,6%
2.	12,7	5,2	41%
3.	14,7	6,9	47%
$\bar{x}$	14,067	6,33	44,8%

Pengukuran data di atas menggunakan rentang pengukuran CO₂ pada alat QRO-402 *gas analyzer*, yaitu 0-20%. Data kemudian dikonversikan dengan rentang pembacaan 0-100% dan didapatkan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Perhitungan ketidakpastian relatif

No	Pengurangan Jumlah CO ₂ pada Konversi 0-100% (x_i)	$(x_i)^2$
1.	39,5%	1560,25%
2.	37,5%	1406,25%
3.	39%	1521%
Σ	116%	4487,5%

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-rata pengukuran} &= \bar{x} = \frac{(39,5\%+37,5\%+39\%)}{3} = 38,7\% \\
 \text{Simpangan baku} &= \Delta x = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(4487,5)-(116)^2}{3-1}} = 0,6\% \\
 \text{Ketidakpastian relatif} &= \frac{0,6\%}{38,67\%} \times 100\% = 1,55\% \\
 \text{Efisiensi alat} &= \eta = \frac{6,9\%}{14,8\%} \times 100\% = 46,6\% \quad (1) \\
 &\eta = \frac{5,2\%}{12,7\%} \times 100\% = 41\% \quad (2) \\
 &\eta = \frac{6,9\%}{14,7\%} \times 100\% = 47\% \quad (3) \\
 \text{Hasil pengukuran} &= (38,7\% \pm 0,6\%)
 \end{aligned}$$

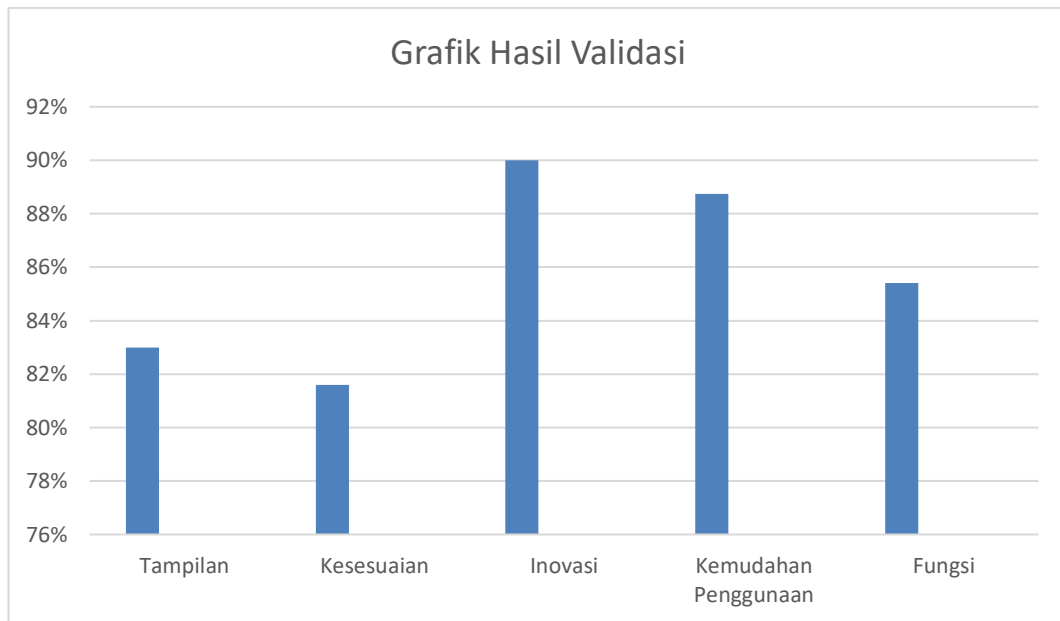
Tabel 4.5 Efisiensi Alat

No.	Jumlah CO ₂ Tanpa Perlakuan (%volume) pada Konversi 0-100%	Jumlah CO ₂ Setelah Pemasangan ALPEN (%volume) pada Konversi 0-100%	Efisiensi Alat
1.	74	34,5	46,6%
2.	63,5	26	41%
3.	73,5	34,5	47%
$\bar{x}$	70,34	31,67	44,8%

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan rata-rata pengurangan CO₂ adalah 7,73% untuk rentang pengukuran 0-20% dan 38,7% pada rentang pembacaan 0-100%. ALPEN memiliki rata-rata efisiensi sebesar 44,8% dengan ketidakpastian relatif sebesar 1,55%.

b. Hasil validasi

Berdasarkan validasi yang dilakukan oleh validator, didapatkan hasil validasi sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Hasil Validasi

Dengan keterangan sebagai berikut:

Tabel 4.6 Interpretasi Nilai

No	Nilai	Keterangan
1.	0%-20%	Sangat kurang baik
2.	21%-40%	Kurang baik
3.	41%-60%	Cukup baik
4.	61%-80%	Baik
5.	81%-100%	Sangat baik

Maka didapatkan hasil interpretasi sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Interpretasi

No	Aspek	Nilai	Keterangan
1.	Tampilan	83%	Sangat baik
2.	Kesesuaian	81,6%	Sangat baik
3.	Inovasi	90%	Sangat baik
4.	Kemudahan Penggunaan	88,75%	Sangat baik
5.	Fungsi	85,4%	Sangat baik

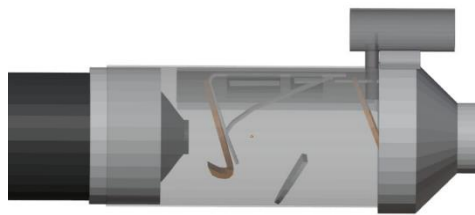
2. Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat masalah yang perlu diselesaikan dalam perancangan ALPEN, yaitu: cara membuat sistem katup yang

memungkinkan larutan Na_2CO_3 tidak dapat mengalir keluar dari tangki saat kendaraan tidak digunakan dan sistem katup yang dapat memungkinkan tekanan gas buang kendaraan dapat mendorong sistem katup untuk mengeluarkan larutan Na_2CO_3 . Setelah permasalahan pada ALPEN diidentifikasi peneliti mencari solusi yang tepat untuk mengatasi masalah–masalah tersebut.

Setelah solusi dari permasalahan tersebut ditemukan, langkah selanjutnya adalah membuat perancangan konsep ALPEN yang akan dikembangkan. Berikut desain alat ALPEN yang digunakan pada penelitian ini:

Gambar 4.2 Desain ALPEN



Komponen pada ALPEN disusun secara zig-zag untuk memaksimalkan penyerapan dan mengurangi hambatan aerodinamis (Aisyah et al., 2024; Mubarok, 2021). Dalam perkembangannya desain ALPEN mengalami beberapa perubahan. Untuk menyelesaikan masalah pengaliran pada sistem katup, katup dipasang selang silikon untuk mencegah kebocoran pada larutan. Pada saat kendaraan dimatikan, selang silikon berada dalam posisi tertahan sehingga larutan tidak memungkinkan untuk mengalir, sedangkan saat kendaraan dinyalakan, gaya dorong dari gas buang akan membuat selang dalam posisi lurus sehingga memungkinkan larutan untuk mengalir.

Untuk menyelesaikan masalah pendorongan sistem katup, dipasang penyangga pada bagian belakang pendorong sehingga bagian pendorong lebih stabil saat mendorong katup. tak hanya itu, bagian pendorong diberi lekukan yang berfungsi untuk mengumpulkan gaya dorong dari gas buang sehingga pendorong dapat bergerak dengan baik.

Namun, berdasarkan uji coba yang telah dilakukan didapatkan bahwa ALPEN masih memiliki permasalahan–permasalahan, yaitu larutan Na_2CO_3 yang tersebar tidak merata pada bagian penyaringan.

Rancangan desain akhir ALPEN kemudian direalisasikan dalam bentuk *prototype*. *Prototype* ALPEN kemudian diuji coba pada kendaraan honda BEaT menggunakan QRO-402 *gas analyzer*. QRO-402 *gas analyzer* memiliki rentang pengukuran CO_2 0-20%

dan didapatkan hasil uji coba sebagai berikut:

Rata-rata kadar CO₂ yang dikeluarkan kendaraan bermotor tanpa perlakuan apapun adalah sebesar 14,067%. Selanjutnya uji coba dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan ALPEN dan didapatkan jumlah CO₂ yang berkurang pada percobaan pertama sebesar 7,9%. Jumlah CO₂ yang berkurang pada percobaan kedua sebesar 7,5% dan jumlah CO₂ yang berkurang pada percobaan ketiga sebesar 7,8%. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Y. Cai et al. (2018) yang menyatakan bahwa Na₂CO₃ yang terhidrasi menyediakan kontak gas-cair yang sangat baik untuk penangkapan CO₂.

ALPEN memiliki keefektifan alat sebesar 44,8% dengan ketidakpastian relatif sebesar 1,55%.

E. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian, yaitu ALPEN merupakan alat penyerap karbon dioksida yang dapat dipasang pada knalpot sepeda motor dengan pengembangan berupa penggabungan antara sistem katup dan metode zig-zag. Uji coba dilakukan menggunakan QRO-402 *gas analyzer* dengan rentang pengukuran CO₂ 0-20% dan didapatkan hasil uji coba *prototype* ALPEN dengan variasi larutan Na₂CO₃ 25%(b/b) sebagai berikut: Pada percobaan pertama CO₂ berkurang sebanyak 7,9%, pada percobaan kedua CO₂ berkurang sebanyak 7,5%, dan pada percobaan ketiga CO₂ berkurang sebanyak 7,8%. Rata-rata pengurangan jumlah CO₂ adalah 7,73%. Hal ini menunjukkan bahwa ALPEN mampu mengurangi emisi karbon dioksida yang dihasilkan pada kendaraan bermotor.

2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

- a. Perlunya pengembangan lebih lanjut terkait sistem pengaturan laju alir Na₂CO₃ melalui sistem pegas (per) yang terletak pada sistem katup
- b. Diperlukannya pengembangan terkait penyatuan antara ALPEN dengan knalpot secara permanen.
- c. Diperlukan adanya pengembangan lebih lanjut terkait design ALPEN sehingga ALPEN dapat digunakan oleh semua tipe motor.
- d. Perlu adanya pengembangan lebih lanjut terkait desain sistem katup yang lebih efektif.
- e. Perlunya penelitian lebih lanjut terkait volume natrium karbonat yang diperlukan dalam jarak tertentu.
- f. Perlunya penelitian lebih lanjut terkait rentang pergantian kain kasa.

Daftar Pustaka

- Aisyah, F. S., & Syahadatun, A. (2024). MEF-20: Adsorben Berbasis Zeolit Dan Kitosan Jamur Tiram Sebagai Filter Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *EKSTRAKSI*, 1, 5–10.
- Ardhiany, S., & Kunci, K. (2018). Proses Absorpsi Gas CO₂ Dalam Biogas Menggunakan Alat Absorber Tipe Packing dengan Analisa Pengaruh Laju Alir Adsorben NaOH. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 09, 56.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit)*, 2021-2022. Badan Pusat Statistik. Diakses dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTcjMg==/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis--unit-.html>
- Cai, T., Johnson, J. K., Ye Wu, & Chen, X. (2019). *Toward Understanding the Kinetics of CO₂ Capture on Sodium Carbonate*. 11(9). <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.8b20000>
- Cai, Y., Wang, W., Li, L., Wang, Z., Wang, S., Ding, H., Zhang, Z., Sun, L., & Wang, W. (2018). Effective capture of carbon dioxide using hydrated sodium carbonate powders. *Materials*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/ma11020183>
- Chemategroup. (2023). *What Is Sodium Bicarbonate*. Chemategroup. Diakses dari <https://www.chemategroup.com/id/what-is-sodium-bicarbonate/>
- Cundari, L., Selpiana, S., Wijaya, C. K., & Sucia, A. (2015). Pengaruh Penggunaan Solven Natrium Karbonat (Na₂CO₃) terhadap Absorpsi CO₂ pada Biogas Kotoran Sapi dalam Spray Column. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(4), 56-58.
- Dinas Lingkungan Hidup. (2023). *Upaya Perangi Polusi dengan Uji Emisi*. Dinas Lingkungan Hidup. Diakses dari <https://www.jakarta.go.id/page/upaya-perangi-polusi-dengan-uji-emisi>
- Energy Institute. (2023). *Statistical Review of World Energy* (72nd ed.), 12.
- Faradilla, A. R., Yulinawati, H., & Suswanto, E. (2016). Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Adsorben Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida pada Emisi Kendaraan Bermotor. 1–2. <https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/semnas/article/view/874/775>
- Haryanto, T., & Suheryanto, D. (2008). *Analisa Pengaruh Soda Abu Terhadap Pelorodan Lilin Batik dan Kekuatan Tarik Kain Batik Sutra*. 25, 17–26.
- Ilhan, V. (2024, January 9). *Sodium Hydroxide vs Potassium Hydroxide*. PETRONAFT. Diakses dari <https://www.petronaftco.com/sodium-hydroxide-vs-potassium-hydroxide/#drilling-products>
- Jakpat Survey Reports. (2023, December 20). *Motorcycle Use in Indonesia*. Jakpat. Diakses

- dari <https://insight.jakpat.net/motorcycle-use-in-indonesia/>
- Jumalia, R., & Zainul, R. (2019). Natrium Karbonat: Termodinamika dan Transport Ion. *Jurnal FMIPA UNP*, 6(2).
- Kamus. 2016. Pada KBBI Daring. Diakses dari <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/kamus>
- Kartohardjono, S., Anggara, Subihi, & Yuliusman. (2007). Absorpsi CO₂ dari Campurannya dengan CH₄ atau N₂ Melalui Kontakor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelrut Air. *MAKARA of Technology Series*, 11(2), 97–99.
- Kementerian Perhubungan. (2022). Tekan Polusi, Kemenhub Dorong Elektrifikasi Kendaraan Bermotor. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Diakses dari <https://dephub.go.id/post/read/tekan-polusi,-kemenhub-dorong-elektrifikasi-kendaraan-bermotor>
- Kementerian PPN. (2024). *Transportasi*. Kementerian PPN. Diakses dari <https://lcdi-indonesia.id/grk-transportasi/>
- KLHK. (2018). *MENGUKUR DAN REDUKSI GAS RUMAH KACA*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Diakses dari http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/home/index.php?page=detail_news&newsid=474
- KLHK. (2023). Uji Emisi dan Kendaraan Listrik Jadi Solusi Tekan Polusi. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Diakses dari <https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/7311/uji-emisi-dan-kendaraan-listrik-jadi-solusi-tekan-polusi>
- Kurniawan, A., Fatimura, M., Nurlela, & Masriatini, R. (2022). *Pengaruh Variasi Laju Alir Gas Alam Terhadap Absorpsi Gas CO₂ dan Waktu Pembakaran Gas Alam*. 7, 73–74.
- Maryam. 2022. Lembar Validasi Ahli Desain Alat Peraga Pipa Statistik Pada Pembelajaran Statistika Siswa Kelas IV SDN Pulau Alalak Kabupaten Barito Kuala. Diakses pada: <https://www.scribd.com/document/683274815/LEMBAR-VALIDASI-AHLI-DESAIN-ALAT-PERAGA-PIPA-STATISTIK-Maryam-3061856151>
- Mubarok, Muh. I. (2021). *Analisis Pengurangan Hambatan Aerodinamika Menggunakan Dimple Konfigurasi Zig-Zag Dan Blowing Pada Model Kendaraan*. Gowa: Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
- Noor, M., & Misbachudin. (2019). Pengaruh Perubahan Satuan Timing Buka Tutup Katup Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Sepeda Motor Shogun 125cc. *Jurnal Mesin Industri dan Otomotif*, 1–2.
- Pemerintah Indonesia. (2009). *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 22*

- TAHUN 2009 TENTANG LALU LINTAS DAN ANGKUTAN JALAN. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Pertamina. (2023). CRISIS: A PATHWAY TO ENHANCE ENERGY RESILIENCE. *Pertamina Energy Institute*, 9, 40. <https://www.energyinstitute.id/>
- Pranata, A. (2021). *Pemanfaatan Limbah Skrap Alumunium pada Saluran Gas Buang Seped Motor untuk Mengurangi Pencemaran Udara*. Medan: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 7–10.
- Prayuda, A. (2022). *Materi Ajar Memahami Mekanisme Prinsip Kerja Katup*.
- Primasanti, Y., & Aryani, A. (2022). Analisis Asap dan Emisi Gas Buang Bus Bagi Kesehatan Petugas Ticketing Halte. *JIKI*. 15, 67.
- QROTECH. *Gas Analyzer (QRO-402)*. Diakses dari http://qrotech.com/en/product/qro_1?tpf=product/view&category_code=11&code=109
- Reddy, Mr., & Reddy, Km. (2012). Design And Optimization Of Exhaust Muffler In Automobiles. *International Journal Of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(5), 395–398. www.ijera.com
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2024). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data. Diakses dari <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions#introduction>
- Rochmania, A., & Yantidewi, M. (2021). Monitoring Kandungan CO₂ Di Udara Berbasis IoT dengan Nodemcu ESP8266 dan Sensor MQ135. In *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF) Jilid* (Vol. 17, Issue 3), 258.
- Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Owen, S. C. (2006). *Handbook of Pharmaceutical Excipients Fifth Edition* (5th ed.). Pharmaceutical Press, 665-668.
- Serin, E. (2023). *What technology do we need to cut carbon emissions?*. Diakses dari <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-technology-do-we-need-to-cut-carbon-emissions/>
- Siregar, A. M., Chandra Amirsyahputra Siregar, Affandi, Wawan Septiawan Damanik, Toto Herdianto, & Ardi Syahputra. (2022). Pemanfaatan skrap besi ST-40 pada knalpot untuk mengurangi pencemaran udara. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 3(2), 128–135.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Administrasi dilengkapi Metode R&D* (3rd ed.). Alfabeta.
- Susanta, G., & Sutjahjo, H. (2007). *Akankah Indonesia tenggelam akibat pemanasan global?* Penebar Plus. <https://books.google.co.id/books?id=mQe7BgwhNkkC>. 6-7
- Syahruji, & Ghofur, A. (2019). *Penggunaan Kuningan Sebagai Bahan Catalytic Converter*

Terhadap Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Suzuki Shogun Axelo 125. SJME Kinematika. 4(2), 71.

Tim Penyusun UNY.(2003). Teknik Dasar Motor Diesel. Yogyakarta: Bagian Proyek Pengembangan Kurikulum Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 8-24.

vanLoon, G. W., & Duffy, S. J. (2011). *Environmental Chemistry: A Global Perspective*. OUP Oxford. <https://books.google.co.id/books?id=VUCcAQAAQBAJ>

Holleman, A. F. & Wiberg, E. (2001). *Inorganic Chemistry*. Academic Press. <https://books.google.co.id/books?id=Mtth5g59dEIC>

Yuliani, W., & Banjarnahor, N. (2021). *METODE PENELITIAN PENGEMBANGAN (RND) DALAM BIMBINGAN DAN KONSELING. 5(3), 114–115.*