

# Analisis Reduksi Emisi Gas Kendaraan Bermotor Menggunakan Adsorben Berbasis Biomassa Limbah Tempurung Siwalan

Riko Ferdinand Abdillah\*, Muhammad Abdus Salam Jawwad

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

\*Koresponden email: rikobobi13@gmail.com

Diterima: 3 November 2025

Disetujui: 06 Desember 2025

## Abstract

Incomplete combustion of fossil fuels resulting from motor vehicle emissions releases hazardous pollutants such as carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC). The high levels of these gases in emissions pose a significant threat to public health, creating an urgent need to develop and implement highly efficient processing or reduction technologies to ensure exhaust gas emission parameters remain within safe limits. This study demonstrates that activated carbon derived from siwalan (lontar) shell, specifically after activation with 25% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is highly effective in lowering exhaust gas emission levels, with the greatest reduction achieved using the largest adsorbent mass of 100 grams. The effectiveness of this adsorption is further supported by the statistical results of the Two-Way ANOVA model, which confirmed a significant influence of both adsorbent mass and adsorption process time. Consequently, the use of activated carbon from siwalan shell proves to be an effective and efficient solution for mitigating motor vehicle gas pollution. It holds significant potential for use as an emission reduction tool, particularly for older motor vehicles that lack existing emission control devices, and serves as a vital effort to comply with government regulations aimed at maintaining stable ambient air quality.

**Keywords:** *palmyra palm fruit shell, emission reduction, adsorbent, motor vehicles*

## Abstrak

Pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna dari kendaraan bermotor melepaskan polutan berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC). Tingginya kadar gas dalam emisi sangat berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat, sehingga muncul kebutuhan mendesak untuk mengembangkan dan mengaplikasikan teknologi pengolahan atau pereduksi yang memiliki tingkat efisiensi tinggi untuk parameter emisi gas buang berada di ambang batas aman. Penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang dibuat dari tempurung siwalan dan diaktivasi dengan 25% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sangat efektif dalam menurunkan kadar emisi gas buang, dengan penurunan terbesar dicapai menggunakan massa adsorben 100 gram. Efektivitas adsorpsi ini dikuatkan oleh hasil uji statistika model Anova Two Way dimana terdapat pengaruh antara massa adsorben dan waktu proses adsorpsi. Dengan demikian, penggunaan karbon aktif tempurung siwalan ini terbukti menjadi solusi yang efektif dan efisien untuk mengurangi polusi gas dari kendaraan bermotor dan sangat potensial jika digunakan untuk pereduksi emisi kendaraan bermotor, khususnya kendaraan bermotor jenis lama yang tidak memiliki alat pengendali emisi, serta dalam upaya untuk menaati peraturan yang telah diatur oleh pemerintah dalam menjaga kestabilan kualitas udara ambien.

**Kata Kunci:** *tempurung siwalan, reduksi emisi, adsorben, kendaraan bermotor*

## 1. Pendahuluan

Saat ini di Indonesia, jumlah kendaraan bermotor yang dimiliki oleh masyarakat semakin meningkat dari tahun ke tahun. Permasalahan ini menjadi penyumbang utama pencemaran udara, terutama di wilayah perkotaan [1]. Proses pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna pada mesin kendaraan bermotor menghasilkan berbagai zat pencemar berbahaya, diantaranya karbon monoksida (CO) dan Hidrokarbon. Kedua parameter pencemar tersebut merupakan komponen utama dalam emisi gas buang kendaraan dan sangat berpengaruh terhadap kualitas udara serta kesehatan manusia [2].

Karbon Monoksida (CO) adalah gas beracun yang tidak berwarna, dan tidak berbau, terbentuk akibat pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar hidrokarbon. Hidrokarbon (HC), yang berasal dari bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna, berperan sebagai prekursor pembentukan ozon troposferik yang bersifat iritasi bagi saluran pernapasan dan dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf serta bersifat karsinogenik dan memicu penyakit kanker [3]. Emisi CO dan HC dari kendaraan bermotor dapat meningkat secara signifikan jika mesin tidak dirawat dengan baik, penggunaan bahan bakar berkualitas rendah, atau

sistem pembakaran mengalami kerusakan. Timbulan emisi tersebut tidak hanya mencemari udara, tetapi juga memberikan dampak langsung terhadap kesehatan manusia serta ekosistem. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan, salah satunya melalui teknologi adsorpsi menggunakan material ramah lingkungan seperti karbon aktif.

Karbon aktif merupakan bahan berpori dengan luas permukaan tinggi yang mampu menangkap dan mengikat molekul gas pencemar melalui proses adsorpsi fisik maupun kimia. Karbon aktif dari tempurung siwalan, sebagai limbah biomassa yang kaya kandungan karbon, memiliki struktur mikropori dan gugus fungsional permukaan yang dapat dimodifikasi. Salah satu cara untuk memodifikasi permukaan karbon aktif tersebut adalah dengan menggunakan senyawa seperti Natrium Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), dengan menggunakan senyawa ini, porositas karbon aktif dapat ditingkatkan, sehingga dapat memperbesar kapasitas adsorpsi terhadap molekul gas berbahaya [4].

Proses adsorpsi terjadi ketika molekul gas CO dan HC menempel pada permukaan karbon aktif akibat adanya gaya *Van Der Waals* atau ikatan kimia permukaan. Proses yang terjadi pada reduksi gas CO dan HC adalah secara fisik karena ukurannya kecil dan tidak reaktif. Oleh karena itu, pemanfaatan karbon aktif dari tempurung siwalan tidak hanya memanfaatkan limbah organik, tetapi juga berpotensi sebagai solusi praktis dan berkelanjutan dalam mengendalikan emisi gas dari kendaraan bermotor [5].

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan penyisihan gas CO dan HC pada adsorben yang dihasilkan dari karbon aktif tempurung siwalan yang telah diaktivasi menggunakan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan mengkomparasikan hasil emisi gas sebelum ditambahkannya adsorben dengan hasil emisi gas yang telah ditambahkan adsorben tempurung siwalan.

## 2. Metode Penelitian

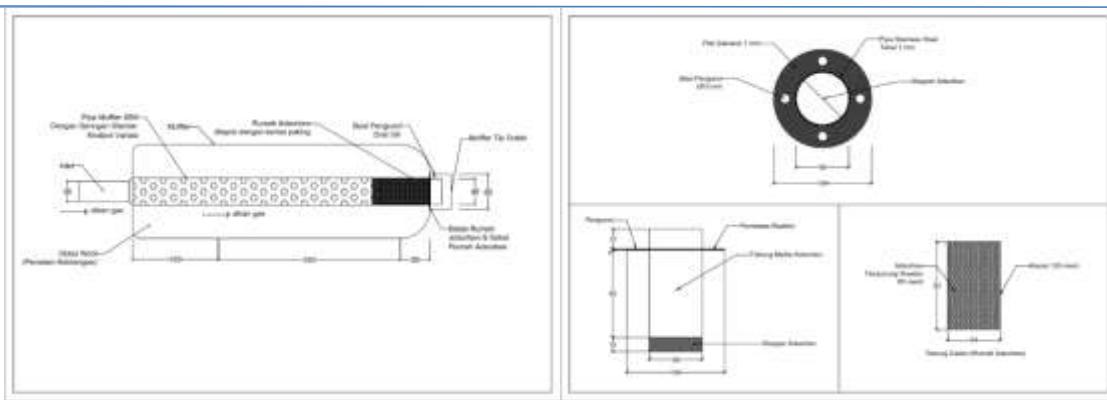
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan kendaraan bermotor Astrea Tahun 1992. Peralatan yang digunakan yang dalam pengambilan data konsentrasi emisi adalah *Gas Analyzer* merk *Brain Bee AGS – 668* yang telah dilakukan kalibrasi sebelumnya agar dapat mendeteksi emisi gas yang dihasilkan dari kendaraan bermotor dengan baik. Penelitian dilakukan selama 120 menit, dengan setiap menit yang telah ditentukan dilakukan pengukuran konsentrasi emisi gas yang dihasilkan dari kendaraan bermotor. Waktu yang telah ditentukan antara lain adalah 1 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit, 90 menit, dan 120 menit. Variasi massa media adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 50 gram, 75 gram, dan 100 gram.

### Persiapan Bahan

Proses persiapan bahan media karbon aktif tempurung siwalan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Cheresmisinoff pada tahun 1978, dimana tahap persiapan bahan dimulai dari tahap pembersihan tempurung siwalan dari sabut yang tersisa dari bagian tempurung siwalan, kemudian dilakukan proses pengeringan dengan penjemuran dibawah panas matahari dengan suhu  $\pm 35^\circ\text{C}$ . Setelah tempurung siwalan kering, dilakukan proses karbonisasi menggunakan pirolisator dengan suhu berkisar diantara  $250 - 300^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Setelah tempurung siwalan berubah bentuk menjadi karbon, dilakukan proses penumbukan dan Mesling dengan ukuran butiran sebesar 60 mesh. Karbon aktif dengan ukuran yang seragam, dilanjutkan proses aktivasi secara menggunakan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25% selama 1 hari [6].

### Desain Reaktor

Dalam penelitian ini, reaktor dibuat dengan memodifikasi knalpot bawaan yang dimiliki oleh kendaraan tersebut dengan memperbesar dimensi outlet yang dimiliki knalpot bawaan hingga sebesar 5 cm agar memberikan ruang bagi media adsorben. Adapun reaktor yang disiapkan disajikan di **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Detail Reaktor Adsorpsi  
 Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2025

Bagian reaktor terbagi menjadi 2, bagian pertama merupakan tabung media adsorben, dimana tabung media adsorben ini dibentuk menggunakan plat besi berukuran panjang 15 cm dan memiliki diameter lingkaran adalah 4,8 cm, nantinya tabung ini akan diisi menggunakan bagian kedua dari reaktor. Bagian kedua dari reaktor ini merupakan rumah adsorben, dimana adsorben yang telah disiapkan akan diisi ke dalam rumah adsorben yang dibuat menggunakan kawat lantur berukuran 120 mesh yang bersifat lunak dan dapat memudahkan aliran gas yang melewati proses adsorpsi.

### Analisis Data

Dalam penelitian ini metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kemampuan penyerapan atau removal kadar CO dan HC dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$\% \text{removal} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

Selain itu, untuk mengetahui pengaruh – pengaruh dari proses adsorpsi, dilakukan analisis statistika menggunakan model ANOVA Two – Way [7]. Pada penelitian ini analisis statistika dengan model Anova Two – Way dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang dihasilkan dari faktor besaran massa adsorben dan waktu pengujian yang telah ditentukan sebelumnya terhadap perubahan kadar CO dan HC dari proses adsorpsi yang dihasilkan dari pengujian gas buang kendaraan bermotor.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif

Hasil yang didapatkan dari proses adsorpsi dengan cara mengambil sampel secara *indirect* dengan bantuan gas analyzer, dihasilkan bahwa karbon aktif berpengaruh signifikan dalam proses reduksi emisi CO dan HC. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan nilai konsentrasi emisi gas yang dihasilkan pada masing-masing variasi massa adsorben dan disajikan pada **Tabel 1**.

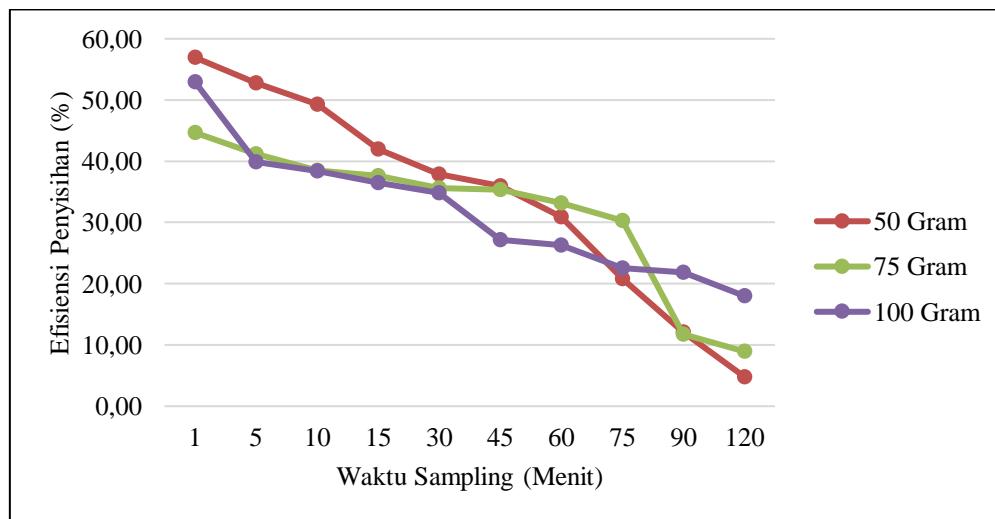
**Tabel 1.** Kadar CO Dan Kadar HC Hasil Proses Adsorpsi

| Massa Adsorben | Waktu Sampling | Kadar CO (ppm) |             |                   | Kadar HC (ppm) |             |                   |
|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|-------------------|
|                |                | Kadar awal     | Kadar akhir | Persen Penyisihan | Kadar awal     | Kadar akhir | Persen Penyisihan |
| 50 Gram        | 1              |                | 32.300      | 56,93             |                | 179         | 79,54             |
|                | 5              |                | 35.400      | 52,80             |                | 258         | 70,51             |
|                | 10             |                | 38.000      | 49,33             |                | 306         | 65,03             |
|                | 15             |                | 43.500      | 42,00             |                | 325         | 62,86             |
|                | 30             |                | 46.600      | 37,87             |                | 333         | 61,94             |
|                | 45             | 75.000         | 48.000      | 36,00             | 875            | 372         | 57,49             |
|                | 60             |                | 51.800      | 30,93             |                | 421         | 51,89             |
|                | 75             |                | 59.400      | 20,80             |                | 434         | 50,40             |
|                | 90             |                | 65.900      | 12,13             |                | 505         | 42,29             |
| 75 Gram        | 120            |                | 71.400      | 4,80              |                | 540         | 38,29             |
|                | 1              |                | 41.500      | 44,67             |                | 327         | 62,63             |
|                | 5              |                | 44.100      | 41,20             |                | 330         | 62,29             |

| Massa Adsorben | Waktu Sampling | Kadar CO (ppm) |             |                   | Kadar HC (ppm) |             |                   |
|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|-------------------|
|                |                | Kadar awal     | Kadar akhir | Persen Penyisihan | Kadar awal     | Kadar akhir | Persen Penyisihan |
|                | 10             |                | 46.100      | 38,53             |                | 344         | 60,69             |
|                | 15             |                | 46.800      | 37,60             |                | 377         | 56,91             |
|                | 30             |                | 48.300      | 35,60             |                | 380         | 56,57             |
|                | 45             |                | 48.500      | 35,33             |                | 401         | 54,17             |
|                | 60             |                | 50.100      | 33,20             |                | 464         | 46,97             |
|                | 75             |                | 52.300      | 30,27             |                | 481         | 45,03             |
|                | 90             |                | 66.200      | 11,73             |                | 497         | 43,20             |
|                | 120            |                | 68.300      | 8,93              |                | 584         | 33,26             |
| 100 Gram       | 1              |                | 35.300      | 52,93             |                | 304         | 65,26             |
|                | 5              |                | 45.100      | 39,87             |                | 305         | 65,14             |
|                | 10             |                | 46.200      | 38,40             |                | 330         | 62,29             |
|                | 15             |                | 47.600      | 36,53             |                | 375         | 57,14             |
|                | 30             |                | 48.900      | 34,80             |                | 379         | 56,69             |
|                | 45             |                | 54.600      | 27,20             |                | 420         | 52,00             |
|                | 60             |                | 55.300      | 26,27             |                | 423         | 51,66             |
|                | 75             |                | 58.100      | 22,53             |                | 444         | 49,26             |
|                | 90             |                | 58.600      | 21,87             |                | 474         | 45,83             |
|                | 120            |                | 61.500      | 18,00             |                | 476         | 45,60             |

Sumber: Hasil Pengamatan, 2025

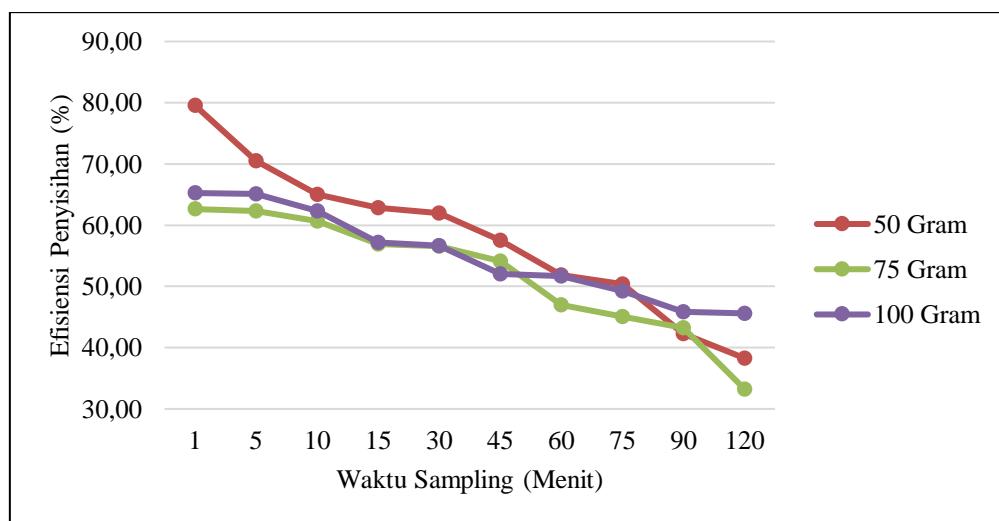
Untuk memudahkan pembacaan data pada tabel, berikut disajikan grafik yang menggambarkan kemampuan penyisihan kadar CO dan HC oleh karbon aktif yang dihasilkan kendaraan bermotor selama proses adsorpsi pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



**Gambar 2.** Kemampuan Penyisihan Emisi CO Oleh Karbon Aktif  
Sumber : Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan **Gambar 2** dan **Gambar 3**, dapat dilihat bahwa pemberian adsorben dengan variasi massa adsorben sebesar 50, 75, dan 100 gram secara signifikan dapat menurunkan konsentrasi emisi gas polutan CO dan HC. Pada parameter CO, nilai kadar awal CO yang menunjukkan konsentrasi emisi yang dimiliki kendaraan bermotor adalah sebesar 75.000 ppm atau sebesar 7,5% Vol. Selain itu, terlihat bahwa efisiensi penyisihan gas CO mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu proses adsorpsi. Pada awal proses (1 menit), efisiensi penyisihan tertinggi diperoleh pada adsorben 50 gram sebesar 56,93%, diikuti oleh 100 gram sebesar 52,93%, dan adsorben 75 gram sebesar 44,67%. Kondisi ini menjelaskan bahwa permukaan karbon aktif masih tersedia dalam jumlah yang cukup besar atau tersedia untuk berinteraksi dengan molekul CO [8], sehingga proses penyerapan berlangsung sangat efektif [9]. Namun seiring meningkatnya waktu kontak hingga menit ke-120, kemampuan adsorben tempurung siwalan dalam menyisihkan emisi CO mengalami penurunan yang sangat besar, dengan nilai kemampuan penyisihan terukur pada menit ke-120 hanya sebesar 4,80% untuk adsorben 50 gram; 8,93% untuk adsorben 75 gram;

18% untuk adsorben 100 gram. Penurunan ini diakibatkan karena penumpukan molekul polutan CO yang dihasilkan dari kendaraan pada pori-pori permukaan adsorben [10].



Gambar 3. Kemampuan Penyisihan Emisi HC Oleh Karbon Aktif

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Untuk parameter HC, terlihat pola yang hampir sejenis dengan parameter CO. Kadar awal kendaraan bermotor pada kondisi *over estimate* atau yang mengasumsikan kendaraan dalam kondisi terburuk menunjukkan nilai kadar HC sebesar 875 ppm. Kemampuan penyisihan adsorben pada awal proses adsorpsi (1 menit) menunjukkan kemampuan penyisihan yang cukup tinggi, dengan nilai sebesar 79,54% untuk adsorben 50 gram; 62,63% untuk adsorben 75 gram; dan 65,26% untuk adsorben 100 gram. Kondisi ini menjelaskan bahwa permukaan karbon aktif masih tersedia dalam jumlah yang cukup besar atau tersedia untuk berinteraksi dengan molekul HC, sehingga proses penyerapan berlangsung efektif pada menit awal proses adsorpsi. Selain itu, terlihat bahwa seiring meningkatnya waktu kontak hingga menit ke-120, kemampuan adsorben tempurung siwalan dalam menyisihkan emisi HC mengalami penurunan yang sangat besar, dengan nilai kemampuan penyisihan terukur pada menit ke-120 hanya sebesar 38,29% untuk adsorben 50 gram; 33,26% untuk adsorben 75 gram; 45,60% untuk adsorben 100 gram.

Penurunan ini diakibatkan karena penumpukan molekul polutan HC yang dihasilkan dari kendaraan pada pori-pori permukaan adsorben. Adsorben 100 gram cenderung lebih efektif dalam menjaga konsentrasi HC tetap rendah jika dibandingkan dengan massa 50 dan 75 gram, dengan nilai akhir hanya sekitar 476 ppm, hampir setengah dari kadar awal dan apabila dibandingkan dengan baku mutu HC pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2023, angka ini masih jauh dibawah ambang batas yang telah ditentukan yakni 2.200 ppm [11]. Hal ini mempertegas bahwa massa adsorben yang lebih tinggi dapat memberikan kemampuan adsorpsi yang lebih maksimal terhadap senyawa hidrokarbon, seperti yang diulas pada penelitian yang dilakukan oleh Winoko dan Wicaksono pada tahun 2021 [10].

Secara Keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan adsorben berpengaruh signifikan terhadap efektivitas penurunan konsentrasi gas buang CO dan HC. Meskipun tidak adanya penurunan yang mencapai 100% baik pada variasi massa sebesar 50, 75, dan 100 gram. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif hanya mampu menyerap sebagian besar saja emisi gas buang CO yang dikeluarkan oleh sepeda motor [12], dan sementara gas sisanya tidak dapat teradsorpsi ke dalam pori – pori karbon aktif dan akan tetap keluar dari tabung adsorpsi sebagai emisi gas buang. Dari ketiga variasi massa tersebut menunjukkan bahwa semakin besar massa adsorben yang digunakan, maka semakin besar pula efektivitasnya dalam menekan konsentrasi emisi pada kendaraan bermotor. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan tahun 2018, dimana kapasitas permukaan yang lebih luas akan memberikan lebih banyak tempat atau situs aktif untuk menangkap molekul polutan, sehingga mampu untuk menurunkan konsentrasi gas buang secara optimal [13].

#### Analisis Statistika

Analisis statistika dengan model ANOVA Two – Way digunakan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi massa dan waktu pengujian terhadap penurunan kadar CO dan HC dalam kendaraan

bermotor. Hasil uji dari ANOVA Two – Way terhadap parameter CO dan HC dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

| General Linear Model: Parameter CO versus Massa, Waktu   |         |               |                                       |        |       |       |
|--|---------|---------------|---------------------------------------|--------|-------|-------|
| Factor   | Type    | Levels        | Values                                |        |       |       |
| Massa  | fixed   | 3             | 50, 75, 100                           |        |       |       |
| Waktu  | fixed   | 10            | 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120 |        |       |       |
| Analysis of Variance for CO, using Adjusted SS for Tests |         |               |                                       |        |       |       |
| Source   | DF      | Seq SS        | Adj SS                                | Adj MS | F     | P     |
| Massa  | 2       | 122.30        | 122.30                                | 61.15  | 3.93  | 0.038 |
| Waktu  | 9       | 1472.30       | 1472.30                               | 163.59 | 10.51 | 0.000 |
| Error  | 16      | 280.30        | 280.30                                | 15.57  |       |       |
| Total  | 29      | 1874.89       |                                       |        |       |       |
| Model Summary  |         |               |                                       |        |       |       |
| S  | 3.94613 | R-Sq = 85.05% | R-Sq(adj) = 75.91%                    |        |       |       |

**Gambar 4.** Hasil Analisis Anova Two - Way Penurunan Parameter CO

Sumber: Hasil Analisis, 2025

| General Linear Model: Parameter HC versus Massa, Waktu   |         |               |                                       |        |       |       |
|--|---------|---------------|---------------------------------------|--------|-------|-------|
| Factor   | Type    | Levels        | Values                                |        |       |       |
| Massa  | fixed   | 3             | 50, 75, 100                           |        |       |       |
| Waktu  | fixed   | 10            | 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120 |        |       |       |
| Analysis of Variance for HC, using Adjusted SS for Tests |         |               |                                       |        |       |       |
| Source   | DF      | Seq SS        | Adj SS                                | Adj MS | F     | P     |
| Massa  | 2       | 299.54        | 299.54                                | 149.77 | 10.75 | 0.001 |
| Waktu  | 9       | 612.45        | 612.45                                | 68.05  | 4.58  | 0.002 |
| Error  | 18      | 250.90        | 250.90                                | 13.94  |       |       |
| Total  | 29      | 1162.90       |                                       |        |       |       |
| Model Summary  |         |               |                                       |        |       |       |
| S  | 3.73346 | R-Sq = 88.42% | R-Sq(adj) = 75.24%                    |        |       |       |

**Gambar 5.** Hasil Analisis Anova Two – Way Penurunan Parameter HC

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**, menunjukkan bahwa seluruh faktor memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi CO dan HC, baik faktor massa adsorben dan waktu pengujian. Hasil dibuktikan dengan nilai P – Value pada faktor massa adsorben masing masing adalah sebesar 0,038 dan 0,001, nilai ini masih jauh di bawah ambang batas yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,05. Hal ini membuktikan bahwa massa adsorben berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar CO dan HC pada kendaraan bermotor. Selain faktor massa adsorben, waktu pengujian juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar CO dan HC dengan nilai P – Value adalah sebesar 0,000 dan 0,002, nilai ini sudah jauh di bawah ambang batas yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,05. Berpengaruhnya faktor waktu pengujian ini kemungkinan dapat diakibatkan karena faktor eksternal yang dalam hal ini adalah faktor kondisi operasional mesin kendaraan bermotor. Suhu yang meningkat seiring berjalannya waktu pada kendaraan dapat mengakibatkan meningkatnya konsentrasi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor [14].

Selain itu, hal yang mempengaruhi penurunan konsentrasi CO dan HC adalah kondisi pembakaran pada ruang bakar. Pembakaran yang tidak merata pada ruang bakar, dapat mengakibatkan residu yang kemudian dapat meningkatkan konsentrasi emisi seiring berjalannya waktu [15]. Dengan demikian, waktu pengujian merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi CO dan HC.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa media karbon aktif tempurung siwalan yang telah diaktifasi menggunakan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25% dengan variasi massa adsorben 50, 75, dan 100 gram mampu menyerap emisi CO dan HC dengan optimal, meskipun persen penyisihan tidak menunjukkan angka yang besar dengan maksimum penyerapan hanya sebesar 56,93% untuk emisi gas CO yang terjadi di adsorben dengan massa sebesar 50 gram pada menit ke 1, dan 79,54% untuk emisi gas HC yang terjadi di adsorben dengan massa 50 gram pada menit ke 1 proses adsorpsi. Namun massa adsorben sebesar 100 gram

lebih stabil dalam mempertahankan konsentrasi emisi gas CO dan HC yang paling rendah jika dibandingkan dengan massa adsorben yang lainnya.

## 5. Referensi

- [1] A. Dirga, A. W. Wahab, And Maming, "Analisis Kadar Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) Dari Kendaraan Bermotor Yang Melalui Penyerap Karbon Aktif Dari Kulit Buah Durian (Durio Zibethinus)," *J. Corresp. Author*, Pp. 1–7, 2011.
- [2] Prawoto, "Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbahan Gas Cair (Lgv) Dan Pertamax Pada Kondisi Uji Awal Dingin Dan Panas," *J. Tek. Lingkung.*, Vol. 12, No. 1, Pp. 67–74, 2011.
- [3] M. I. Saputra, "Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan, Bangunan Bersejarah Dan Ekosistem : Kondisi Global Dan Di Indonesia," *Syntax Lit.*, Vol. 8, No. 2, 2023.
- [4] I. Ismiyati, D. Marlita, And D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Manaj. Transp. Logistik*, Vol. 1, No. 3, P. 241, 2014, Doi: 10.54324/J.Mtl.V1i3.23.
- [5] M. R. Hendianto And N. Hendrasarie, "Kemampuan Filter Rokok Non-Pakai Sebagai Adsorben Dalam Mengurangi Gas Emisi Co Dan Hc," *J. Serambi Eng.*, Vol. 5, No. 4, Pp. 1427–1433, 2020, Doi: 10.32672/Jse.V5i4.2355.
- [6] P. N. Cheremisinoff And A. Moretti, *Carbon Adsorption Handbook*, 1st Ed. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, Inc, 1978.
- [7] I. Indriyani, U. Rizqi, And U. Mahmudah, "Bagaimana Kreativitas Dan Keaktifan Mahasiswa Mempengaruhi Pemahaman Materi Abstrak Matematika Melalui E-Learning," *Al Khawarizmi J. Pendidik. Dan Pembelajaran Mat.*, Vol. 4, No. 2, P. 112, 2020, Doi: 10.22373/Jppm.V4i2.8130.
- [8] J. Sinto, "Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida Dan Hidrokarbon Pada Kendaraan Bermotor Dengan Karbon Aktif Berbahan Baku Limbah Kulit Pisang," Universitas Indonesia, 2018.
- [9] F. Mubin, A. Binilang, And Dkk, "Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Di Kelurahan Istiqlal Kota Manado," *Sipil Stat.*, Vol. 4, No. 3, Pp. 211–223, 2016, Accessed: Jul. 07, 2022. [Online]. Available: <Https://Ejournal.Unsrat.Ac.Id/Index.Php/Jss/Article/View/11622>.
- [10] Y. A. Winoko And A. G. Wicaksono, "Aktifasi Tempurung Kelapa Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Motor Bakar," *Rang Tek. J.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 104–108, 2021, Doi: 10.31869/Rtj.V4i1.2211.
- [11] Men-Lhk, "Permen Lhk \_ 2023," *Menteri Lingkung. Hidup Dan Kehutan.*, No. July, Pp. 1–23, 2023.
- [12] A. Nabilah, "Aplikasi Sabut Kelapa Sebagai Bioadsorben Logam Timbal (Pb) Dalam Media Air," Universitas Islam Indonesia, 2022.
- [13] F. Redha, R. Junaidy, And I. Hasmita, "Penyerapan Emisi Co Dan Nox Pada Gas Buang Kendaraan Menggunakan Karbon Aktif Dari Kulit Cangkang Biji Kopi," *Biopropal Ind.*, Vol. 9, No. 1, Pp. 37–47, 2018.
- [14] Ismiyati, D. Marlita, And D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang," *J. Manajeen Transp. Logistik*, Vol. 1, No. 3, Pp. 241–248, 2014, [Online]. Available: <Https://Journal.Itlirisakti.Ac.Id/Index.Php/Jmtranslog/Article/View/23/24>.
- [15] Y. Fitrianingsih, S. Pramadita, And S. Apriyanti N.H, "Analisis Konsentrasi Karbon Monoksida (Co ) Pada Ruang Parkir Ayani Mega Mall Kota Pontianak," No. 13, Pp. 1–10, 2011.