

Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor**Safri Gunawan^{1*}, Hanapi Hasan¹ & Ria Dini Wanty Lubis²**¹⁾ Pendidikan Teknik Mesin/Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan
Telp. (061) 6625791 Fax. (061) 6614002-6613319²⁾ Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan 20238, Indonesia

*Email: safri_gunawan@unimed.ac.id

ABSTRACT

This research utilizes corncob waste as activated carbon to be adsorbent. The objective of this research is to obtain the effect of corncob and sago powder as matrix composition in reducing vehicle exhaust gas emission. The composition used is 60 grams in every dough. It will be tested three times experimental which is 80:20, 70:30, 60:40 of corncob and sago powder variation of the composition, respectively. The result shows that the number of CO, HC, and CO₂ decreases to 0.24%, 75.87%, and 5.9%, respectively. The conclusion from this research show that activated carbon from corncob greatly affect exhaust gas emissions in a vehicle.

Keywords: *corncob, activated carbon, adsorbent, exhaust gas emission*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara terbesar di dunia dengan populasi jumlah penduduk sekitar 267 juta jiwa pada tahun 2019 [1]. Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia juga diikuti dengan peningkatan penggunaan jumlah transportasi terutama kendaraan bermotor yang meliputi mobil penumpang, mobil bis, mobil barang dan sepeda motor, padatnya kendaraan bermotor di sejumlah ruas jalan kota-kota besar sudah menjadi pemandangan yang lumrah sehari-hari. Hiruk pikuk kendaraan bermotor menyebabkan kemacetan yang cukup parah di sejumlah ruas jalan kota besar di Indonesia. Hal ini menjadi salah satu faktor timbulnya polusi udara yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia. Gas-gas yang dikeluarkan dari knalpot kendaraan bermotor merupakan salah satu penyebab timbulnya pencemaran lingkungan yang terjadi di udara. Polutan udara terjadi disebabkan oleh faktor utamanya adalah akibat gas-gas buang kendaraan bermotor yang tiap tahun bertambah dengan cepat berdasarkan data dari badan pusat statistik (BPS) diperoleh data bahwa dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2017 peningkatan jumlah kendaraan di Indonesia meningkat rata-rata sekitar 7,41% pertahun dengan rincian peningkatan jumlah kendaraan yang ada di Indonesia seperti pada tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1 peningkatan jumlah kendaraan 5 tahun terakhir di Indonesia

No.	Jenis Kendaraan Bermotor	Tahun				
		2013	2014	2015	2016	2017
1	Mobil Penumpang	11.484.514	12.599.038	13.480.973	14.580.666	15.493.068
2	Mobil Bis	2.286.309	2.398.846	2.420.917	2.486.898	2.509.258
3	Mobil Barang	5.615.494	6.235.136	6.611.028	7.063.433	7.523.550

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

No.	Jenis Kendaraan Bermotor	Tahun				
		2013	2014	2015	2016	2017
4	Sepeda motor	84.732.652	92.976.240	98.881.267	105.150.082	113.030.793
5	Jumlah	104.118.969	114.209.260	121.394.185	129.281.079	138.556.669
6	Peningkatan (%)		9,69	6,29	6,50	7,17

Seperti diketahui bahwa tingkat pencemaran udara di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, dimana kontribusi pencemaran udara berasal dari sektor transportasi mencapai 60–70%. Tingginya kontribusi pencemaran udara dari sektor transportasi menimbulkan masalah kualitas udara yang berdampak pada kesehatan manusia [2].

Polutan yang dikeluarkan kendaraan bermotor dan berdampak pada kesehatan manusia antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidro karbon (HC), Sulfur dioksida (SO₂), timah hitam (Pb) dan karbon dioksida (CO₂). Dari beberapa jenis polutan ini, karbon monoksida (CO) merupakan salah satu polutan yang paling banyak yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Polutan CO yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor memberi dampak negatif bagi kesehatan manusia. Karbon monoksida merupakan bahan pencemar berbentuk gas yang sangat beracun. Senyawa ini mengikat haemoglobin (Hb) yang berfungsi mengantarkan oksigen segar ke seluruh tubuh menyebabkan fungsi Hb membawa oksigen keseluruh tubuh menjadi terganggu. Berkurangnya persediaan oksigen keseluruh tubuh akan membuat sesak napas dan dapat menyebabkan kematian bila tidak segera mendapat udara segar kembali [3].

Pencemaran udara di Indonesia sudah sangat mengkhawatirkan. Pencemaran asap kendaraan bermotor menjadi sumber yang paling utama. Jumlah kendaraan bermotor yang tidak seimbang dengan jumlah pepohonan yang ada di Indonesia menjadi salah satu penghambat terjadinya pertukaran udara di Indonesia. Sifat konsumtif masyarakat Indonesia menjadikan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia menjadi lebih banyak sehingga berpengaruh terhadap tingginya pencemaran udara di Indonesia. Seiring peningkatan ekonomi dan jumlah penduduk, mobilitas kendaraan juga semakin meningkat. Peningkatan penggunaan bahan bakar di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan dimana pada tahun 1996 konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia hanya 9 juta kilo liter pertahun, tetapi pada tahun 2018 konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia meningkat menjadi 76 juta kilo liter pertahun artinya terjadi peningkatan 8,4 kali lipat. Dengan kata lain, setiap menit di Indonesia tidak kurang dari 146.604 liter bahan bakar habis terbakar menjadi asap knalpot.

Kemajuan ini juga seiring dengan meningkatnya populasi penduduk perkotaan. Meningkatnya ekonomi masyarakat serta aktivitas kerja yang tinggi juga menjadi salah satu alasan semakin cepatnya peningkatan jumlah kendaraan bermotor ditambah lagi dengan berbagai kemudahan yang diberikan dealer untuk dapat memperoleh kendaraan. Aktivitas kerja masyarakat kota yang tinggi sangat bergantung pada sarana transportasi kendaraan bermotor. Jarak tempat tinggal dan tempat kerja yang jauh, tidak akan sulit ditempuh jika ada sarana transportasi.

Di daerah perkotaan dan industri, parameter bahan pencemar yang perlu diperhatikan dalam hubungannya dengan penyakit saluran pernapasan adalah parameter gas SO₂, CO, NO₂ dan partikel debu. Sumber bahan pencemar udara menentukan jenis bahan pencemarnya [4]. CO merupakan hasil utama pembakaran bensin sebagai akibat dari proses pembakaran yang tidak sempurna, sedangkan HC merupakan emisi yang timbul karena bahan bakar yang belum terbakar tetapi sudah keluar bersama– sama gas buang. Selain itu, kedua gas tersebut cukup berbahaya bagi kesehatan

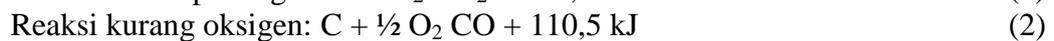
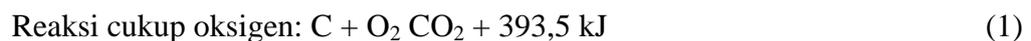
Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

manusia, bahkan dapat menyebabkan kematian apabila berada di atas standar baku mutu. Efeknya terhadap kesehatan yaitu CO apabila terhisap ke dalam paru-paru akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan tubuh. Sedangkan gas HC yang tinggi dapat merusak sistem pernafasan, penyebab kanker dan menimbulkan kabut asap yang membuat iritasi dan menyebabkan radang tenggorokan [5].

Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang telah ditingkatkan adsorpsinya dengan melakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif digunakan sebagai adsorben emisi gas CO, NO, dan NO_x karena tersedia dalam jumlah besar dan memiliki harga yang murah [6]. Adsorben kimia (berupa karbon aktif/arang aktif) secara teoritis dapat digunakan untuk mereduksi pencemaran udara [7]. Dari uraian yang sudah dipaparkan, peneliti tertarik untuk meneliti karbon aktif yang terbuat dari tongkol jagung terhadap persentase penurunan emisi CO, HC, CO₂, dan NO_x pada kendaraan bermotor.

Selama proses pembakaran, hidrogen akan bergabung dengan oksigen untuk membentuk air, dan karbon bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida. Jika dalam proses pembakaran oksigen tidak cukup tersedia, maka sebagian karbon akan bergabung dengan oksigen menjadi karbon monoksida. Akibat terbentuknya karbon monoksida, maka jumlah panas yang dihasilkan hanya 30 persen dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida sebagaimana ditunjukkan oleh reaksi kimia berikut [8].



Pada proses pembakaran, setelah akhir dari langkah kompresi terjadi loncatan api listrik busi merambat ke campuran bahan bakar-udara yang homogen dan membakar campuran tersebut. Reaksi pembakaran ideal adalah seperti berikut [9].



Untuk mendapatkan oksigen, pembakaran memanfaatkan udara dari lingkungan. Konsekuensinya segala unsur yang berada pada udara (nitrogen, oksigen, argon) ikut dalam reaksi pembakaran. Dengan komposisi 78% N₂, 21% O₂ dan 1% sisanya. Jumlah Nitrogen (N₂) dalam udara = 3,76 × lebih banyak dari O₂. Bahan bakar bensin terdiri dari hidrokarbon (senyawa unsur H dan C) dalam kelompok Parafin (C_nH_{2n+2}) yaitu C₈H₁₈

Bensin + udara + produk



Jika reaksi pembakaran setara dengan produk tanpa sisa bahan bakar, maka disebut reaksi ideal atau stoikiometrik. Pembakaran sempurna atau pembakaran stoikiometri adalah ketika proses pembakaran semua karbon dalam bahan bakar membentuk karbon dioksida dan semua hidrogen membentuk air di dalam produk. Persamaan di atas jika disetarakan menjadi:



Motor bakar dalam yang baik mempunyai komposisi gas buang berupa CO₂, H₂O, N₂ seperti reaksi di atas, namun adakalanya terjadi pembakaran yang kurang sempurna sehingga akan menghasilkan emisi gas berupa CO, HC, dan gas yang bersifat beracun. Agar dapat terjadi pembakaran yang sempurna diperlukan perbandingan yang tepat antara massa bahan-bakar/massa udara (*Air Fuel Ratio*). AFR ideal adalah 14,7:1 [10].

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Jagung adalah tanaman berumah satu (monokotil), kedudukan tanaman ini dalam taksonomi terletak pada famili *gramea* dengan biologi *Zea Mays* (tanaman jenis padi-padian). Limbah pertanian yang belum optimal dimanfaatkan dari pertanian jagung adalah tongkol jagung. Sebagian besar tongkol sampah jagung tongkol jagung hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan dibakar untuk menghilangkan sampah. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk mendapatkan alternatif terbaik pemanfaatan sampah tongkol jagung sehingga memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Dan salah satu pemanfaatan yang optimal dari tongkol jagung adalah dengan menjadikan tongkol jagung menjadi bahan dasar dalam pembuatan karbon aktif. Produksi jagung yang besar akan menyebabkan jumlah limbah sampah tongkol jagung yang besar. Tongkol jagung mempunyai massa sekitar 15–18% dari produksi jagung kering, artinya dengan produksi jagung sekitar 28,9 juta ton maka akan ada potensi sebesar 5,2 juta ton limbah tongkol jagung yang tidak termanfaatkan. Pemanfaatan tongkol jagung menjadi karbon aktif dikarenakan tongkol jagung memiliki kandungan dari unsur selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Karbon aktif merupakan adsorben terbaik dalam sistem adsorpsi. Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang tinggi sehingga pemanfaatannya dapat optimal. Karbon aktif yang baik harus memiliki luas permukaan yang besar sehingga daya absorpsinya juga besar [11]. Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan melakukan karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorph, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan pori-pori yang lebih luas. Karbon aktif dapat digunakan untuk menghilangkan bau, rasa, warna, dan kontaminan organik lainnya. Karbon aktif dapat berbentuk serbuk atau butiran, karbon aktif mempunyai luas permukaan per satuan berat yang besar, karena sangat banyaknya pori-pori halus (mikro pori) yang dimilikinya.

METODE PENELITIAN

Tongkol jagung

Tongkol jagung yang digunakan pada penelitian ini adalah tongkol jagung yang berasal dari Kecamatan Biru-Biru Kabupaten Deli Serdang, jagung yang sudah tua dan kering akan dilakukan penggilingan untuk mendapatkan biji jagungnya sedangkan tongkol jagung yang menjadi limbah akan diproses menjadi karbon aktif dengan cara melakukan pengeringan dengan metode pembakaran oksigen minimum selama lebih kurang 30 menit dan setelah tongkol jagung sudah kering, kemudian dihaluskan sampai menjadi serbuk halus seperti terlihat pada gambar 2.1.



(a)

(b)

Gambar 2.1. (a) tongkol jagung, (b) Serbuk arang tongkol jagung

Proses Pembuatan Spesimen

Adapun proses pembuatan arang tongkol jagung dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut; (1) keringkan kadar air pada tongkol jagung dengan metode pembakaran minim oksigen selama lebih kurang 30 menit seperti pada gambar 2.2., (2) Setelah itu dinginkan beberapa menit dan keluarkan tongkol jagung dari tempat pembakaran, pastikan semua tongkol jagung sudah menjadi arang seperti terlihat pada gambar 2.3., (3) Langkah selanjutnya haluskan arang tongkol jagung dengan penghalus (cobek) sampai benar-benar halus seperti pada gambar 2.4., dan (4) selanjutnya dilakukan penyaringan dengan menggunakan ayakan halus sehingga diperoleh ukuran yang seragam seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.2. Proses pembuatan arang tongkol jagung



Gambar 2.3. Hasil arang dari tongkol jagung

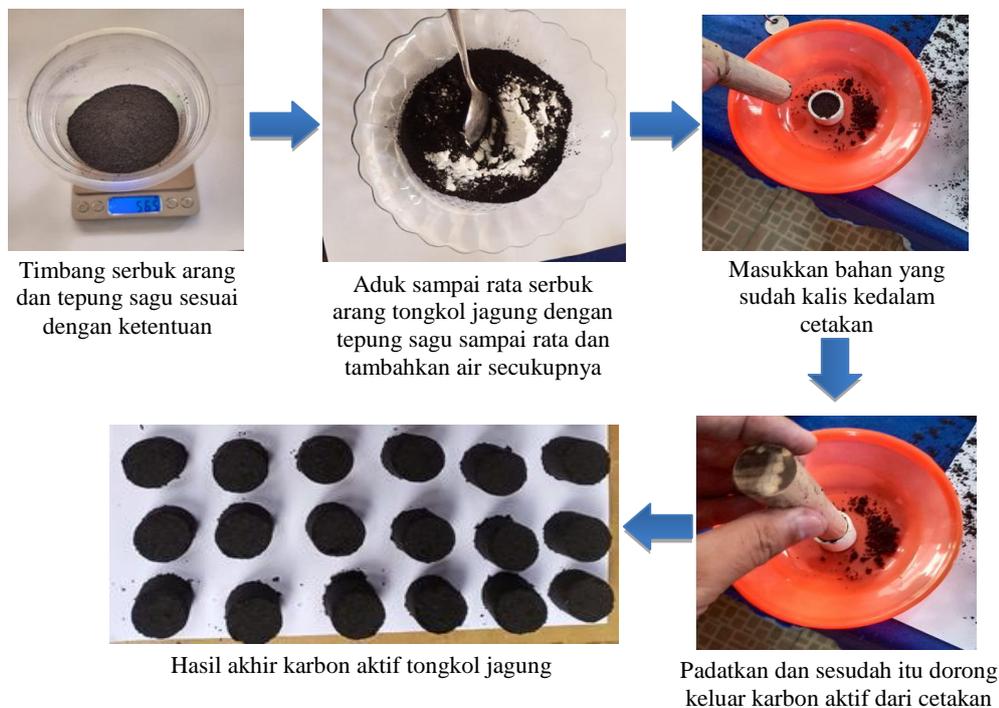


Gambar 2.4. penghalusan arang tongkol jagung



Gambar 2.5. Serbuk arang dari tongkol jagung

Tongkol jagung yang sudah menjadi serbuk arang dapat dicetak menjadi karbon aktif seperti pada gambar 2.6. Matriks yang digunakan adalah tepung sagu dengan komposisi sesuai dengan table 2.1.



Gambar 2.6. Tahapan proses pembuatan karbon aktif tongkol jagung

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Tabel 2.1 Komposisi karbon aktif berdasarkan persentase berat material penyusunnya

No.	Bahan	Komposisi (%) gram		
		80 : 20	70 : 30	60 : 40
1	Arang Tongkol Jagung	48	42	36
2	Tepung Sagu	12	18	24

Set-up Alat Uji

Pengujian emisi gas buang kendaraan bermotor menggunakan karbon aktif terlihat seperti pada gambar 2.7. Variabel yang ditetapkan adalah;

1. Variasi perbandingan komposisi tongkol jagung dengan tepung sagu seperti terlihat pada tabel 2.1.
2. Mesin bekerja pada putaran stasioner dan pada temperatur kerja mesin.
3. Bahan bakar yang digunakan adalah pertamax plus dengan oktan 94



Gambar 2.7. Set-up alat uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

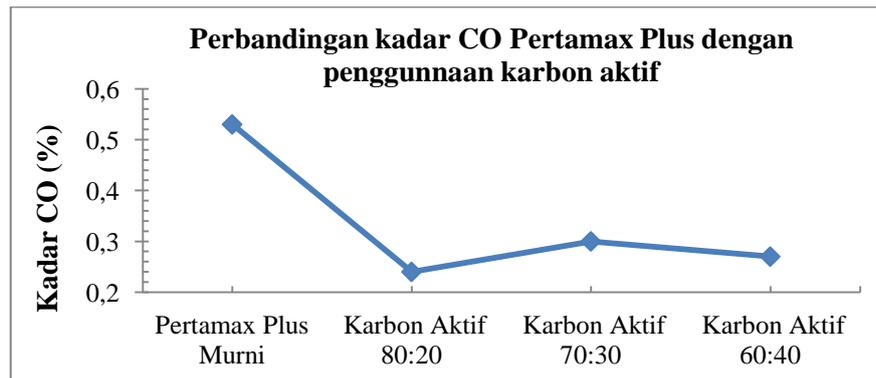
Hasil penelitian yang diperoleh seperti tertera pada Tabel 3.1. dimana terdapat perubahan persentasi kandungan gas buang setelah menggunakan karbon aktif sebagai absorben.

Tabel 3.1. Persentasi kandungan gas buang dengan variasi komposisi karbon aktif dan tepung sagu

No.	Kandungan Gas Buang	Pertamax Plus	Premium dan karbon aktif (%)			Satuan
			80 : 20	70 : 30	60 : 40	
1	CO	0,53	0,24	0,3	0,27	%
2	HC	398	257	233	96	ppm
3	CO ₂	5,9	6,4	7,4	6,9	%
4	O ₂	22,02	23,3	25	22,22	%
5	Nox	10	0	0	0	ppm

Kadar karbon monoksida (CO)

Kadar CO pada gas buang menggambarkan kondisi pembakaran yang terjadi pada ruang bakar, apabila CO tinggi berarti pembakaran mesin kurang sempurna yang disebabkan kurangnya udara dalam campuran dengan bahan bakar, untuk nilai standar kadar CO adalah 0,2 s/d 1,5 %. sedangkan kadar CO dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 3.1.

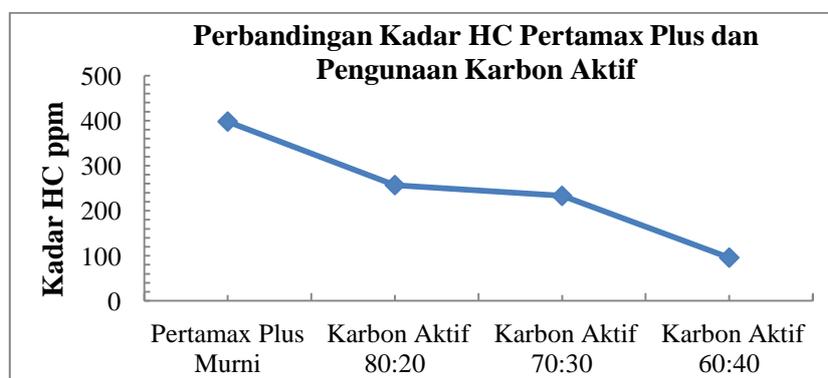


Gambar 3.1. Hasil perbandingan pengujian Kadar CO

Dari gambar 3.1 dapat dilihat penggunaan pertamax plus menunjukkan perbandingan campuran yang paling kecil (campuran miskin) dan dengan penambahan karbon aktif terjadi perubahan kadar CO sebagai berikut. Untuk jumlah udara kecil (campuran semakin kaya) terjadi pada penggunaan karbon aktif dengan komposisi 80 : 20 % yaitu 0,24% sedangkan jumlah udara paling banyak (campuran miskin) terjadi pada penggunaan campuran karbon aktif dengan komposisi 70 : 30 % yaitu sebesar 0,3 %.

Kadar HC

Kadar HC pada gas buang menunjukkan besarnya nilai bahan bakar yang tidak terbakar dan ikut terbuang pada gas buang. Kadar HC tinggi disebabkan bahan bakar yang tidak terbakar dengan sempurna. Untuk nilai kadar HC sendiri tidak boleh lebih dari 300 ppm. Adapun hasil pengukuran kadar HC pada penelitian ini seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. hasil perbandingan pengujian kadar HC.

Dari gambar 3.2 dapat diketahui penggunaan karbon aktif dapat menurunkan kadar Hc yang sangat signifikan dimana pada saat penggunaan Pertamina plus kadar HC yang dihasilkan sebesar 398 ppm. Dan dengan penambahan karbon aktif terjadi penurunan yang signifikan, penurunan

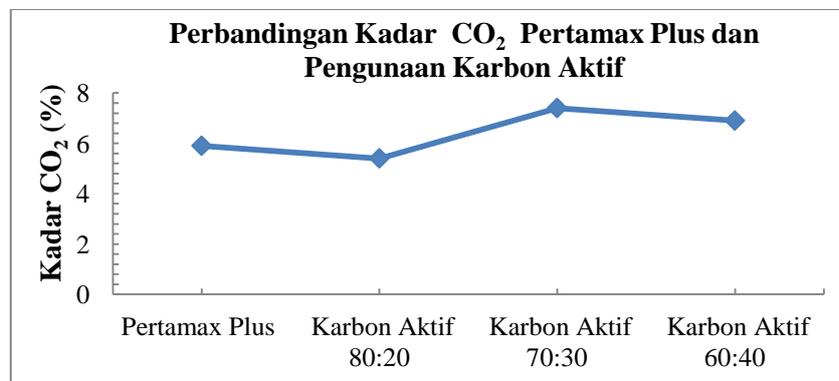
Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

kadar HC tertinggi terjadi pada penggunaan karbon aktif dengan perbandingan 60:40 % menurunkan kadar HC dari 398 menjadi 96 ppm. Artinya dengan penggunaan karbon aktif dari tongkol jagung yang dicampur dengan tepung sagu dengan komposisi 60:40% terjadi penurunan kadar HC sebesar 75,88%.

Kadar CO₂

Carbon dioksida (CO₂) adalah salah satu gas yang dihasilkan pada gas buang kendaraan yang berbahaya bagi kesehatan, CO₂ tidak berwarna dan tidak berbau dan konsentrasinya tidak boleh melebihi dari 12%. Sedangkan kadar CO₂ yang dihasilkan dari pengujian seperti pada gambar grafik 3.3.

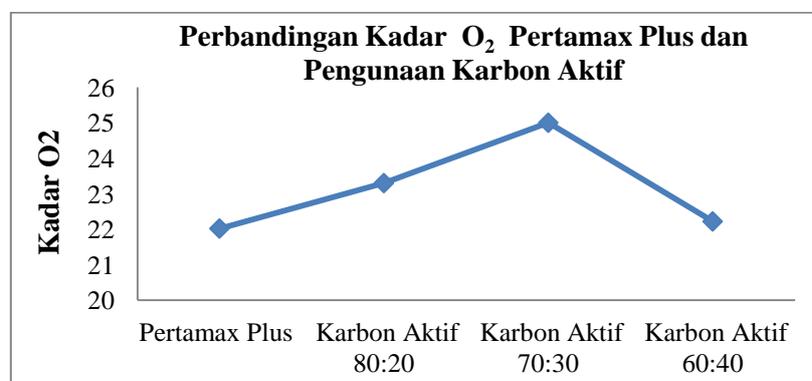


Gambar 3.3. Hasil perbandingan pengujian kadar CO₂

Dari gambar 3.3. dapat dilihat bahwa penggunaan karbon aktif dari tongkol jagung dan tepung sagu tidak membuat perubahan yang signifikan pada kadar CO₂ yang ada pada gas buang, dimana penurunan kadar CO₂ hanya terjadi pada penggunaan karbon aktif dengan komposisi 80:20 % dimana kadar CO₂ yang dihasil dari 5,9% turun menjadi 5,4%, sedangkan pada komposisi 70:30% dan 60:40% kadar CO₂ menjadi lebih besar.

Kadar O₂

Kadar O₂ pada gas buang kendaraan yang dianjurkan tidak boleh melebihi 2 %. Tingginya kadar O₂ pada gas buang kendaraan bermotor dapat disebabkan karna adanya kebocoran pada saluran gas buang, sedangkan hasil pengukuran kadar O₂ pada penelitian ini seperti pada gambar grafik 3.4.



Gambar 3.4. Hasil perbandingan pengujian O₂

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Dari gambar 3.4 dapat dilihat bahwa penggunaan karbon aktif pada bahan bakar pertamax plus pada engine stand Toyota K3VE tidak menimbulkan perubahan yang signifikan O₂ tetapi pada komposisi 70:30% terjadi peningkatan kadar O₂ dari 22,02% menjadi 25% pada gas buang.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan karbon aktif menyebabkan terjadinya perubahan kadar CO pada komposisi 80:20 sebesar 0,24% dan pada komposisi 70:30 sebesar 0,30%. Penggunaan pertamax plus menurunkan kadar HC sebesar 0,53% dan ditambah penggunaan karbon aktif menurunkan kadar HC dari 398 ppm menjadi 96 ppm. Penurunan kadar CO₂ pada penggunaan karbon aktif dengan komposisi 80:20 % dari 5,9% turun menjadi 5,4%.

SARAN

Limbah tongkol jagung sangat baik digunakan menjadi karbon aktif untuk mengurangi polusi udara yang diakibatkan oleh gas buang kendaraan bermotor. Dalam penelitian ini digunakan tepung sagu sebagai matriks dengan beberapa variasi komposisi. Untuk lebih memaksimalkan potensi tongkol jagung sebagai karbon aktif, dapat dilakukan variasi matriks yang digunakan dengan beragam komposisi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tempo.co, BPS Proyeksi Jumlah Penduduk Indonesia 319 Juta Jiwa pada 2045. Februari 2020: <https://bisnis.tempo.co/read/1307583/bps-proyeksi-jumlah-penduduk-indonesia-319-juta-jiwa-pada-2045/full&view=ok>, 2020.
- [2] Saepudi, Aep, Tri admono, Kajian Pencemaran Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta, LIPI, 2014.
- [3] Sengkey Linna, Sandri, Freddy Jansen, Steeni Wallah, Tingkat Pencemaran Udara Co Akibat Lalu Lintas dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro, Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.1, No. 2, 2011.
- [4] Holzworth, G.C. & Cormick, R.A., Air Pollution third edition. Academy Press. New York: Air Pollution Climatology. In A.C Stren (Eds). Vol.1, hal 690, 2016.
- [5] Arifin. Z., Sukoco, Pengendalian Polusi Kendaraan, Alfabeta, Bandung Arismunandar. W., Tsuda. K., Motor Diesel Putaran Tinggi, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 2009.
- [6] Basyirun dkk., Mesin Konversi Energi. Semarang: PKUPT Unnes/Pusat Penjamin Mutu Universitas Negeri Semarang, 2008.
- [7] Soenarta, N., dan Furuhamas, S., 1995. Motor Serbaguna, Pradya Paramita, Edisi Revisi, Jakarta
- [8] Wardono, H., Modul Pembelajaran Motor Bakar 4-Langkah. Jurusan Teknik Mesin – Universitas Lampung. Bandar Lampung, 2004.
- [9] Hardjono, A., Teknologi Minyak Bumi, Edisi Pertama, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2016.
- [10] yahrani, Awal, Analisa Kerja Mesin Bensin Berdasarkan Hasil Uji Emisi. SMARTex. Universitas Tadulako. Palu, 2006.
- [11] Prabowo, A. L., Skripsi: Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagungs serta Aplikasinya untuk Adsorpsi Cu, Pb, dan Amonia. Depok: Universitas Indonesia, 2009.