

PENYERAPAN EMISI CO DAN NO_x PADA GAS BUANG KENDARAAN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI KULIT CANGKANG BIJI KOPI

(CO and NO_x Emissions Adsorption in Gas Vehicles using Activated Carbon from Coffee Bean Shell)

Fauzi Redha¹, Rio Junaidy¹ dan Ida Hasmita²

¹Baristand Industri Banda Aceh, Jl. Cut Nyak Dhien No. 377, Banda Aceh-23236, Indonesia
²Jurusan Teknik Kimia, Universitas Serambi Mekkah, Jl. Unmuha, Batoh, Banda Aceh-23245, Indonesia

e-mail: fauziredha@gmail.com

Naskah diterima 30 Oktober 2017, revisi akhir 22 Mei 2018 dan disetujui untuk diterbitkan 23 Mei 2018

ABSTRAK. Teknologi adsorpsi merupakan salah satu teknologi yang dapat diterapkan untuk mengontrol emisi gas buang. Karbon aktif selama ini dikenal sebagai adsorben yang kapasitas adsorpsi yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah biomassa kulit cangkang biji kopi sebagai karbon aktif untuk menyerap emisi CO dan NO_x pada gas buang kendaraan. Pemanfaatan limbah biomassa cangkang biji kopi menjadi karbon aktif menunjukkan potensi yang baik. Konversi kulit cangkang biji kopi menjadi karbon diperoleh sebesar 31,14% pada temperatur 450°C. Penyerapan emisi gas buang dilakukan pada kendaraan roda empat bermesin diesel dengan menempatkan karbon aktif pada saluran gas buang dengan dua variasi yaitu pelet dan hollow briket. Hasil yang diperoleh menunjukkan penurunan emisi gas buang CO sebesar 6,62-39,02% dan penurunan emisi gas buang NO_x sebesar 13,08-39,05%. Proses penyerapan juga sangat berpengaruh kepada mekanisme pengontakan emisi gas buang dengan adsorben. Dari hasil yang diperoleh karbon aktif dengan bentuk hollow briket memberikan persentase penyisihan emisi gas buang CO dan NO_x yang lebih tinggi dibandingkan karbon aktif dengan bentuk pelet.

Kata kunci: adsorpsi, cangkang biji kopi, gas emisi, karbon aktif

ABSTRACT. Adsorption technology is one of the technologies that can be applied to control exhaust emissions. This study aimed to utilize the skin biomass waste shell of coffee beans as activated carbon to absorb CO and NO_x emissions in vehicle exhaust. Conversion of coffee beans shell into carbon was obtained at 31.14% at 450 °C. The absorption of exhaust emissions was done on four-wheeled diesel vehicles by placing activated carbon in the flue gas channel with two variations of pellet and hollow briquettes. The results showed COE emission reduction of 6.62-39.02% and NO_x exhaust gas reduction of 13.08-39.05%. The absorption process also greatly influenced the mechanism of contacting exhaust emissions with the adsorbent. From the results obtained by activated carbon with hollow briquette form gave higher percentage of CO₂ and CO₂ emissions elimination compared to activated carbon in pellet form.

Keywords: acivated carbon, adsorpstion, coffee bean shell, emission gas

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri dapat menyebabkan menurunnya kualitas udara di lingkungan yang dapat disebabkan oleh emisi gas buang dari mesin yang menggunakan bahan bakar fosil. Daly &

Zannetti (2007) mendefinisikan polutan udara sebagai zat yang dipancarkan ke udara dari antropogenik, biogenik atau sumber geogenik yang bukan bagian dari atmosfer alam ataupun merupakan bagian dari atmosfer alam yang hadir dalam konsentrasi lebih tinggi dari atmosfer alam

dan dapat menyebabkan efek merugikan dalam waktu singkat maupun jangka panjang. Laporan OECD (2002) menyebutkan bahwa sektor transportasi secara umum menyumbang sekitar 55-99% gas rumah kaca dalam bentuk gas CO₂. Peningkatan jumlah kendaraan yang cepat dan keterbatasan aplikasi teknologi pengontrolan emisi menyebabkan sektor transportasi menjadi sumber pencemaran udara terbesar di daerah perkotaan sehingga menyebabkan permasalahan kesehatan penduduk di beberapa negara berkembang.

Tindakan untuk mengurangi pencemaran udara dari emisi kendaraan dari sisi kebijakan adalah dengan memperketat standar emisi kendaraan seperti Euro I hingga Euro IV yang diberlakukan di Uni-Eropa (Delphi, 2012). Penelitian untuk mengurangi emisi kendaraan dilakukan seperti modifikasi mesin, *Electronic Fuel Injection System* serta modifikasi kualitas bahan bakar. Namun, langkah ini masih belum memberikan efek yang besar. Penurunan tingkat emisi hanya dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol emisi. Dengan sistem kontrol emisi, polutan dari hasil pembakaran mesin dapat dihilangkan dalam knalpot sebelum dipancarkan ke udara (Prasad & Bella, 2010; Bosch, 2005).

Sistem kontrol emisi yang dilakukan antara lain *Exhaust Gas Recirculation (EGR)* dimana gas emisi disirkulasikan kembali ke dalam ruang bakar mesin yang bercampur dengan udara yang mengakibatkan penurunan suhu pembakaran sehingga pembentukan gas NO_x menjadi berkurang. Hal ini belum menyelesaikan masalah karena dengan berkurangnya suhu pembakaran maka emisi gas hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) akan semakin meningkat (Bauner, *et al.*, 2009). Sistem kontrol emisi lainnya seperti *Selective Catalyst Reduction (SCR)* memiliki efisiensi dalam mengkonversi gas NO_x pada emisi gas buang namun teknologi ini sangat sensitif terhadap kandungan sulfur yang ada pada bahan bakar yang digunakan (Resitoglu, *et al.*, 2015). Teknologi adsorpsi merupakan

salah satu teknologi yang dapat diterapkan untuk mengontrol emisi gas buang. Borhan, dkk. (2015) melaporkan bahwa karbon aktif dari kulit pisang dapat menyisihkan gas 1,65% (b/b) CO₂ pada aliran udara dengan proses adsorpsi pada suhu 25°C. Jaya (2014) menyatakan bahwa karbon aktif dari kulit kakao memiliki kemampuan menurunkan kadar gas buang NO sebesar 55,2%, gas buang NO_x sebesar 55,1% serta gas buang CO sebesar 70,6% menggunakan metode adsorpsi pada gas buang kendaraan.

Karbon aktif merupakan adsorben yang efektif digunakan karena luas permukaan area yang tinggi dan volume pori yang besar (Zhao, 2003), meskipun memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan dengan adsorben lainnya. Hal ini dapat diakali dengan memilih bahan baku karbon yang menggunakan limbah biomassa (Musapatika, 2010; Karnitz, *et al.*, 2007; Ismadji, *et al.*, 2005; Kumar & Bandyopadhyay, 2006). Salah satu limbah biomassa yang dapat digunakan adalah kulit cangkang biji kopi yang selama ini tidak dimanfaatkan dan hanya menjadi limbah padat pada industri pengolahan biji kopi. Buah kopi memiliki dua jenis kulit yaitu kulit buah dan kulit cangkang. Guntoro (2008) melaporkan secara fisik, limbah dari proses pengolahan biji kopi terdiri dari 48% merupakan daging buah dan 2-3% merupakan berat kulit biji atau kulit cangkang kopi. Limbah kulit cangkang biji kopi ini masih mengandung lignoselulosa sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif yang memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dibandingkan bahan asal.

Provinsi Aceh merupakan salah satu daerah penghasil kopi terutama di Kabupaten Aceh Tengah dan Kabupaten Bener Meriah. Luas lahan yang digunakan di Kabupaten Aceh Tengah seluas 50.615 hektar dengan produksi kopi pada tahun 2013 sebesar 27.763 ton sedangkan di Kabupaten Bener Meriah dengan luas lahan 51.291 hektar dengan produksi kopi pada tahun 2013 sebesar 15.800 ton (BPS, 2015). Umumnya kulit buah kopi digunakan sebagai pupuk dan ditebar

kembali ke areal perkebunan. Namun, kulit cangkang biji kopi yang dihasilkan pada industri pengolahan biji kopi (*green bean*) hingga saat ini masih belum dimanfaatkan dengan baik. Dari hasil studi lapangan yang dilakukan peneliti di industri pengolah biji kopi (PO. Binaco, Kab. Bener Meriah dan PO. Reje Kuyun, Kab. Aceh Tengah), limbah kulit cangkang biji kopi yang dihasilkan oleh industri tersebut hanya ditumpuk lalu dibakar. Penelitian ini diarahkan untuk memanfaatkan limbah kulit cangkang kopi sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan karbon aktif yang dapat digunakan sebagai adsorben emisi gas buang pada kendaraan bermotor.

Tahap pembuatan karbon aktif secara umum meliputi tahap dehidrasi, tahap karbonisasi dan tahap aktivasi. Tahap dehidrasi dalam penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar air. Proses karbonisasi merupakan proses pirolisis yaitu proses dekomposisi *thermal* yang mana pada proses ini unsur-unsur selain karbon seperti hidrogen dan oksigen akan dibebaskan dalam bentuk gas (Danarto & Samun, 2008). Tahapan selanjutnya adalah proses aktivasi dari karbon yang diperoleh. Proses aktivasi bertujuan untuk menghilangkan impuritis-impuritis yang mungkin terdapat pada pori-pori permukaan adsorben. Menurut Fauziah (2009), proses aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori-pori yaitu dengan cara kimia memecahkan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia yaitu luas permukaannya bertambah luas dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi.

Pada penelitian ini, proses aktivasi karbon dilakukan dengan 2 cara berbeda yaitu menggunakan larutan HCl dan larutan ZnCl₂. Hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan metode aktivasi dan pengaruhnya pada kemampuan penyerapan karbon aktif. Supiati, dkk. (2013) melaporkan tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap penggunaan variasi konsentrasi larutan aktivator terhadap kapasitas adsorpsi, oleh karena itu

konsentrasi larutan aktivator dipilih berdasarkan hasil penelitian lain yang menunjukkan penyerapan optimal karbon yang diaktivasi menggunakan ZnCl₂ 10% (Jaya, 2014) dan HCl 1 M (atau setara HCl 3%) (Supiati, dkk., 2013).

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit cangkang biji kopi yang diperoleh dari industri pengolahan biji kopi rakyat di Kabupaten Aceh Tengah dan Bener Meriah Provinsi Aceh. ZnCl₂ (*Merck Millipore*) dan HCl 37% (*Merck Millipore*) digunakan sebagai bahan aktivator karbon. Kanji (*Merck Millipore*) digunakan sebagai perekat pada proses pencetakan *hollow* briket dan pelet karbon aktif. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *furnace* (*Nabertherm LT 15/12*), alat pencetak *hollow* briket dan oven (*Memmert/UNE.400*).

Karbon Aktif dari Kulit Cangkang Biji Kopi

Tahap dehidrasi dalam penelitian ini dilakukan dengan cara menjemur kulit cangkang biji kopi dibawah sinar matahari selama 8 jam. Sebelum proses karbonisasi, kulit cangkang biji kopi disortir secara manual untuk memisahkan kulit cangkang dari kotoran-kotoran. Proses karbonisasi dilakukan dengan cara memanaskan kulit cangkang biji kopi di dalam *furnace* pada suhu 450°C selama 30 menit. Setelah proses karbonisasi selesai, berat karbon yang diperoleh dicatat untuk menghitung persentase konversi bahan baku menjadi karbon.

Tahapan selanjutnya adalah proses aktivasi dari karbon yang diperoleh. Proses aktivasi karbon dilakukan dengan 2 cara berbeda yaitu menggunakan larutan HCl 3% dan larutan ZnCl₂ 10%. Karbon direndam dalam masing-masing larutan dengan ratio (b/v) 1:5 selama 3 jam. Kemudian disaring dan dicuci menggunakan aquabides dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 108°C selama 3 jam sebelum digunakan. Selanjutnya dilakukan analisa karakteristik karbon aktif

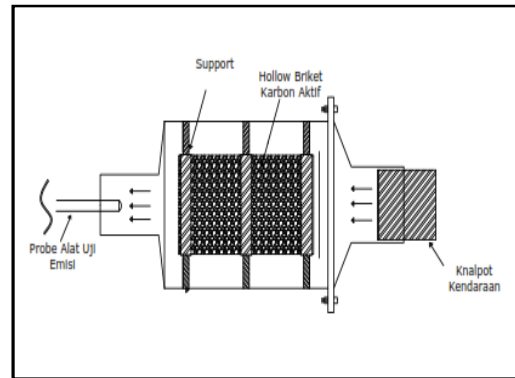
cangkang biji kopi yang diperoleh seperti kadar air, kadar abu, kadar zat yang mudah menguap, kadar karbon terikat dan analisis morfologi permukaan karbon aktif menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (JEOL 6510 LA).

Adsorpsi Emisi Gas Buang Kendaraan

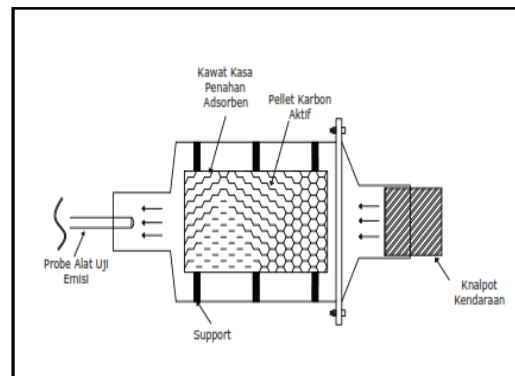
Proses pengontakan antara emisi gas buang dengan karbon aktif dilakukan pada tabung adsorpsi yang berbeda yaitu tabung untuk karbon aktif berbentuk *hollow* briket dan tabung untuk karbon aktif berbentuk pelet sehingga pola aliran gas emisi di tabung adsorpsi akan berbeda.

Proses pencetakan karbon aktif menjadi pelet dan juga *hollow* briket perlu ditambahkan perekat kanji dengan dosis 10% dari berat karbon aktif. Setelah karbon aktif ditambahkan perekat kemudian dicetak menjadi *hollow* briket dan pelet dengan cara dikempa menggunakan alat pencetak *hollow* briket dan pelet, selanjutnya karbon aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 3 jam.

Karbon aktif yang telah dicetak dimasukkan dalam tabung adsorpsi yang masing masing telah dirancang sedemikian rupa untuk dapat menahan *hollow* briket karbon aktif dan pelet karbon aktif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tabung tersebut dipasang pada kendaraan roda empat (bermesin diesel) untuk melihat penyerapan gas emisi kendaraan tersebut. Pengukuran emisi gas buang kendaraan (parameter CO da NOx) diukur menggunakan alat *Gas Combustion Analyzer (E-Instrument 8500)* pada interval waktu 10 menit. Pengontakkan emisi gas buang dengan karbon aktif dihentikan apabila telah terjadi kenaikan nilai emisi gas buang dan tidak berubah signifikan. Persentase penyisihan emisi gas buang dihitung dari rata-rata konsentrasi emisi gas buang yang terukur saat menggunakan adsorben dibandingkan dengan rata-rata konsentrasi emisi gas buang tanpa menggunakan adsorben.



(a) Tabung adsorpsi untuk *hollow* briket karbon aktif



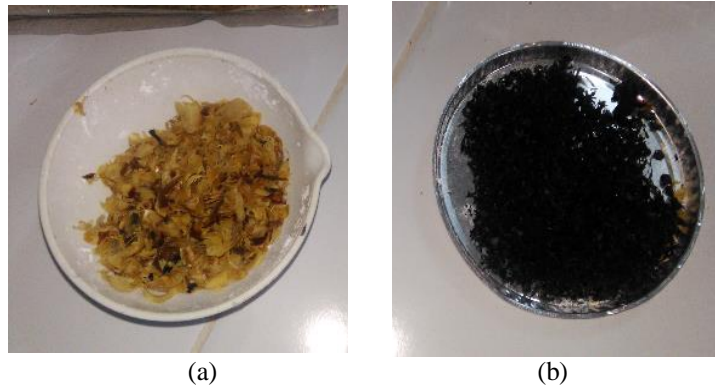
(b) Tabung adsorpsi untuk pelet karbon aktif

Gambar 1. Rancangan tabung adsorpsi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Cangkang Biji Kopi

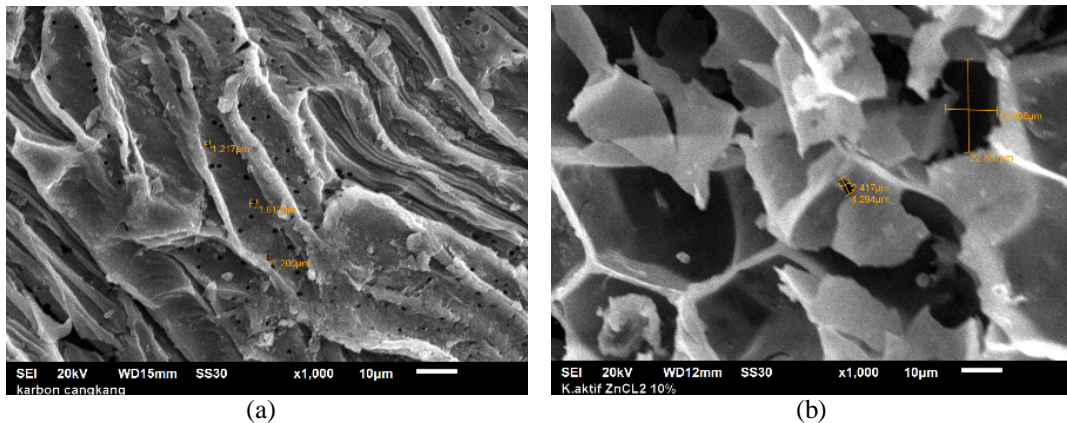
Setelah proses karbonisasi di dalam *furnace*, kulit cangkang biji kopi yang semula berwarna coklat berubah menjadi karbon yang berwarna hitam seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai konversi kulit cangkang biji kopi menjadi karbon pada penelitian ini diperoleh sebesar 31,14%. Karakteristik karbon yang telah diaktivasi ditunjukkan pada Tabel 1. Dari hasil analisa menunjukkan bahwa karbon aktif yang diperoleh memenuhi persyaratan mutu arang (karbon) aktif teknis (SNI 06-3730-1995). Perbedaan karakteristik diantara kedua karbon aktif dapat dikarenakan perbedaan karakteristik dari larutan aktivator, yang mana larutan aktivator $ZnCl_2$ 10% merupakan jenis garam yang memiliki sifat higroskopis lebih tinggi dibandingkan larutan aktivator HCl 3% sehingga nilai kadar air pada karbon aktif ($ZnCl_2$ 10%) menjadi lebih



Gambar 2. (a) Kulit cangkang biji kopi dan (b) karbon dari kulit cangkang biji kopi

Tabel 1. Karakteristik karbon aktif kulit cangkang biji kopi

Parameter	Karbon Aktif (HCl 3%)	Karbon Aktif (ZnCl ₂ 10%)	Persyaratan SNI 06-3730-1995
Kadar air, %	5,39	4,58	maks. 15
Kadar abu, %	3,84	4,88	maks. 10
Zat mudah menguap, %	12,79	14,37	maks. 25
Kadar Karbon, %	77,98	76,17	min. 65



Gambar 3. Foto morfologi permukaan menggunakan alat SEM: (a) karbon, (b) karbon aktif menggunakan ZnCl₂ 10%, dengan pembesaran 1000x

rendah dibandingkan karbon aktif (HCl 3%). Untuk nilai kadar abu pada karbon aktif (HCl 3%) lebih rendah dibandingkan karbon aktif (ZnCl₂ 10%), hal ini disebabkan larutan aktivator yang bersifat asam memiliki kemampuan melarutkan mineral-mineral impuritis yang terkandung pada karbon yang lebih baik (Hanum, *et al.*, 2017).

Hasil analisis morfologi permukaan karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 3 yang memperlihatkan perbedaan antara karbon yang belum diaktivasi dan yang telah diaktivasi. Permukaan adsorben yang

telah diaktivasi terlihat lebih bersih jika dibandingkan dengan permukaan adsorben yang belum diaktivasi. Pada permukaan karbon yang belum diaktivasi, diameter ukuran pori berkisar antara 1,200-1,612 μm, dan pori pori kecil (*micropores*) tidak tampak karena masih terdapatnya impuritis-impuritis yang menutupi permukaan pori adsorben. Untuk permukaan karbon aktif yang telah diaktivasi menggunakan ZnCl₂, ukuran pori *macropores* berkisar antara 12,806-22,801 μm sedangkan ukuran *micropores*

terlihat berkisar antara 2,417-4,294 μm dan permukaan adsorben terlihat lebih bersih.

Proses Penyerapan Emisi Gas Buang

Proses penyerapan emisi gas buang ditinjau dengan mengukur kadar CO dan NO_x pada gas buang kendaraan roda empat bermesin diesel pada kondisi menyala (*idle*, putaran mesin \pm 900 RPM) yang telah terpasang tabung adsorpsi. Kondisi pengukuran dilakukan dengan variasi kondisi tabung yaitu tabung kosong, tabung berisikan karbon dan tabung yang berisikan karbon aktif. Dimensi dan berat masing masing adsorben karbon aktif dan tabung adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2.

Penyerapan Emisi Gas CO

Perbedaan penyerapan emisi gas CO pada adsorben karbon dan karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 4 untuk penyerapan menggunakan jenis tabung adsorpsi tipe *hollow* briket [HB] dan tipe pelet [P]. Gambar 4 menunjukkan kadar emisi gas CO tanpa media adsorpsi, semakin lama semakin meningkat. Kadar emisi gas CO dengan karbon sebelum teraktivasi, semakin lama semakin menurun secara sedikit, hal ini berlangsung karena terjadinya penyerapan atau adsorpsi secara signifikan hingga beberapa lama. Proses pengontakan berlangsung secara

kontinyu. Pada waktu awal proses, adsorben masih dalam keadaan segar (belum menyerap emisi), emisi yang terukur akan semakin menurun, hingga pada interval waktu tertentu kadar emisi gas CO mulai meningkat kembali. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben mulai jenuh sehingga proses penyerapan emisi gas CO semakin berkurang dan lama kelamaan tidak terjadi penyerapan kadar emisi gas CO sama sekali.

Penurunan emisi gas CO menggunakan karbon yang telah diaktivasi juga lebih tinggi dibandingkan penurunan emisi gas CO yang hanya menggunakan karbon yang belum diaktivasi. Persentase penyisihan emisi gas CO dihitung dari rata-rata konsentrasi emisi gas CO menggunakan adsorben yang diperoleh selama interval waktu dibandingkan dengan rata-rata konsentrasi emisi gas CO tanpa menggunakan adsorben. Penyisihan emisi gas CO pada media *hollow* briket dengan menggunakan karbon yang diaktivasi dengan larutan HCl 3% memberikan penyisihan emisi gas CO terbesar sebesar 39,02%, sedangkan penyisihan emisi gas CO menggunakan karbon yang diaktivasi dengan larutan ZnCl₂ 10% sebesar 24,72%.

Hal yang sama juga terjadi pada penyisihan emisi gas CO pada media

Tabel 2. Dimensi tabung adsorpsi dan adsorben karbon aktif

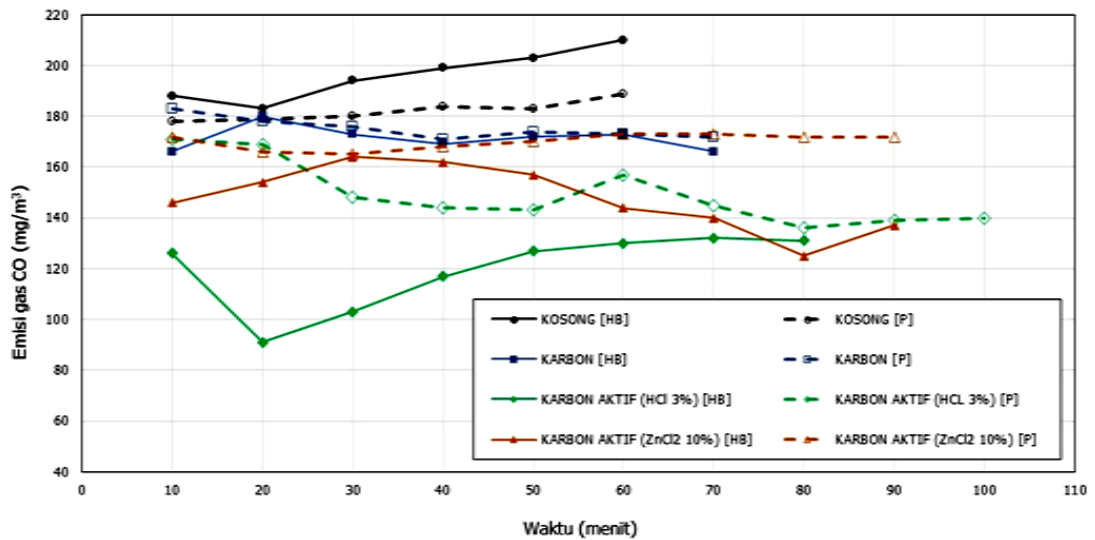
Parameter	Hollow Briket	Pelet
Diameter tabung	90 mm	90 mm
Panjang tabung	120 mm	120 mm
Saluran buangan emisi (panjang x diameter)	50x50 mm	50x50 mm
Support penahan adsorben (panjang x diameter)	115x50 mm	100x50 mm
Dimensi adsorben:		
- Tinggi	115 mm	6 mm
- Diameter luar (annulus)	48 mm	10 mm
- Diameter rongga tengah	19 mm	-
Berat adsorben:		
- Karbon	97,01 g	53,34 g
- Karbon aktif (ZnCl ₂ 10%)	127,18 g	52,24 g
- Karbon aktif (HCl 3%)	93,77 g	57,81 g

karbon aktif berbentuk pelet. Karbon yang diaktivasi menggunakan larutan HCl 3% mampu menyisihkan emisi gas CO sebanyak 18,10%, sedangkan karbon yang diaktivasi menggunakan larutan ZnCl₂ mampu menyisihkan emisi gas CO sebanyak 6,62%. Hal ini dapat disebabkan karena pada proses aktivasi menggunakan HCl 3% mampu menyisihkan impuritis pada karbon lebih baik dibandingkan dengan aktivasi menggunakan ZnCl₂ 10%. Viswanathan, *et al.* (2009) menyebutkan bahwa kemampuan ZnCl₂ untuk mengaktifkan (menghasilkan porositas) prekursor karbon didasarkan pada fungsi dehidrasinya. Selama proses aktivasi, ZnCl₂ menghilangkan atom hidrogen dan oksigen dari bahan karbon sebagai air

daripada sebagai senyawa organik beroksigen. Sedangkan pada proses aktivasi menggunakan HCl, impuritis dan abu yang terkandung pada karbon larut ke dalam larutan HCl sehingga jumlah pori karbon aktif meningkat dan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya (Kwaghger & Ibrahim, 2013). Rincian persentase penyisihan emisi gas CO disajikan pada Tabel 3.

Penyerapan Emisi Gas NOx

Perbedaan penyerapan emisi gas NOx pada adsorben karbon dan karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 5 untuk penyerapan menggunakan tabung adsorpsi tipe *hollow* briket [HB] dan tipe pelet [P].



Gambar 4. Penyerapan emisi gas CO menggunakan tabung adsorpsi tipe *hollow* briket [HB] dan tipe pelet [P]

Tabel 3. Persentase penyisihan emisi gas CO pada variasi aktivasi adsorben dan proses pengontakan

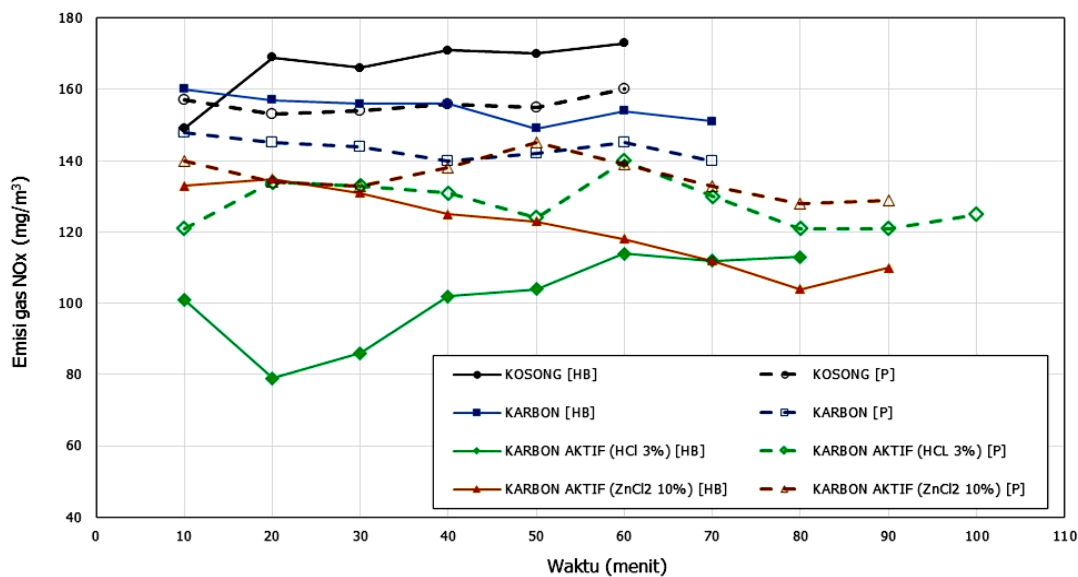
Media Adsorben	Karbon Aktif <i>Hollow</i> Briket			Karbon Aktif Pelet		
	Lama waktu (menit)	Rata rata konsentrasi emisi gas CO (mg/m ³)	% Penyisihan	Lama waktu (menit)	Rata rata konsentrasi emisi gas CO (mg/m ³)	% Penyisihan
Kosong	60	196,17	-	60	182,17	-
Karbon	70	171,29	12,68	70	175,29	3,78
Karbon Aktif (HCl 3%)	100	119,63	39,02	100	149,20	18,10
Karbon Aktif (ZnCl ₂ 10%)	90	147,67	24,72	90	170,11	6,62

Pada Gambar 5 terlihat bahwa kadar emisi gas NOx tanpa media adsorpsi, semakin lama semakin meningkat. Kadar emisi gas NOx dengan karbon sebelum teraktivasi, semakin lama semakin menurun secara sedikit. Hal ini berlangsung karena terjadinya penyerapan atau adsorpsi secara signifikan.

Penurunan emisi gas NOx menggunakan karbon yang telah diaktivasi juga lebih tinggi dibandingkan penurunan emisi gas NOx yang hanya menggunakan karbon yang belum diaktivasi. Penyisihan emisi gas NOx pada media *hollow* briket dengan menggunakan karbon yang diaktivasi dengan larutan HCl 3% memberikan penyisihan emisi gas NOx terbesar sebesar 39,05%, sedangkan penyisihan emisi gas NOx menggunakan karbon yang diaktivasi dengan larutan ZnCl₂ 10% sebesar 27,12%. Hal yang sama juga terjadi pada penyisihan emisi gas NOx pada media karbon aktif berbentuk pelet. Karbon yang diaktivasi menggunakan larutan HCl 3% mampu menyisihkan emisi gas NOx sebanyak 17,86%, sedangkan karbon yang diaktivasi menggunakan larutan ZnCl₂ mampu menyisihkan emisi gas NOx sebanyak 13,08%. Rincian persentase penyisihan emisi gas NOx disajikan pada Tabel 4.

Penyisihan emisi gas CO dan NOx menggunakan adsorben karbon aktif lebih

tinggi daripada adsorben karbon yang belum diaktivasi. Hal ini disebabkan pada adsorben karbon yang belum diaktivasi masih terdapat banyak impuritis-impuritis yang menutup rongga pori pada permukaan adsorben. Sedangkan pada adsorben karbon yang telah diaktivasi, permukaan pori tampak lebih bersih dan impuritis yang menutupi pori sudah larut ke dalam larutan aktivasi. Aktivasi adalah suatu perubahan fisika dimana luas permukaan karbon menjadi lebih besar karena hidrokarbon yang menyumbat pori-pori terbebaskan. Kurniati (2008) melaporkan bahwa aktivasi adalah perubahan secara fisik dimana luas permukaan dari karbon meningkat dengan tajam dikarenakan terjadinya penghilangan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa pengarangan. Dengan meningkatnya luas permukaan maka partikel polutan yang terserap juga akan semakin meningkat. Dalam penelitian ini, larutan aktivasi HCl 3% menunjukkan daya aktivator yang lebih baik dibandingkan dengan larutan ZnCl₂ 10%. Hasil yang serupa juga dilaporkan oleh Jaya (2014) yang melaporkan penurunan emisi gas CO, NO dan NOx dari emisi kendaraan lebih besar diperoleh dengan menggunakan karbon yang telah diaktivasi.



Gambar 5. Penyerapan emisi gas NOx menggunakan tabung adsorpsi tipe *hollow* briket [HB] dan tipe pelet [P]

Tabel 4. Persentase penyisihan emisi gas NOx pada variasi aktivasi adsorben dan proses pengontakan

Media Adsorben	Karbon Aktif <i>Hollow</i> Briket			Karbon Aktif Pelet		
	Lama waktu (menit)	Rata rata konsentrasi emisi gas NOx (mg/m ³)	% Penyisihan	Lama waktu (menit)	Rata rata konsentrasi emisi gas NOx (mg/m ³)	% Penyisihan
Kosong	60	166,33	-	60	155,83	-
Karbon	70	154,71	6,99	70	143,43	7,96
Karbon Aktif (HCl 3%)	100	101,38	39,05	100	128,00	17,86
Karbon Aktif (ZnCl ₂ 10%)	90	121,22	27,12	90	135,44	13,08

Perbandingan Proses Pengontakan Emisi

Selain pengaruh dari proses aktivasi, proses penyerapan emisi juga sangat dipengaruhi oleh jumlah kontak aliran gas dengan adsorben karbon aktif. Dalam penelitian ini dilakukan variasi pengontakan dengan membentuk karbon aktif menjadi *hollow* briket dan juga pelet, yang keduanya dimasukkan dalam masing-masing tabung adsorpsi yang telah didesain sedemikian rupa untuk dapat menahan adsorben tetap berada di tengah aliran gas emisi. Persentase penyisihan emisi gas CO dan NOx menggunakan masing-masing tabung dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Persentase penyisihan emisi gas CO dan NOx menggunakan *hollow* briket karbon aktif memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan persentase penyisihan emisi gas CO dan NOx menggunakan pelet karbon aktif. Hal ini dapat disebabkan adanya perbedaan luas permukaan dan massa karbon aktif pada bentuk *hollow* briket dan pelet. Dari dimensi alat, luas permukaan yang berkontak langsung dengan gas emisi pada tabung tipe *hollow* briket sebesar 272,44 cm², sedangkan luas permukaan tabung pada pelet hanya sebesar 196,25 cm². Sedangkan massa karbon aktif *hollow* briket lebih berat jika dibandingkan massa karbon aktif pelet di dalam tabung

adsorpsi. Beberapa penelitian menunjukkan peningkatan massa adsorben juga meningkatkan penyerapan emisi gas buang. Faradilla, dkk. (2016) melaporkan peningkatan penurunan emisi CO₂ pada kendaraan dengan meningkatnya massa *fly ash* yang digunakan sebagai adsorben. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Basuki (2007) yang menyebutkan peningkatan efisiensi penurunan hidrokarbon (HC) dan SO₂ pada emisi kendaraan bermotor dengan peningkatan panjang tabung adsorpsi yang berisi TiO₂ yang disisipkan karbon aktif. Penambahan panjang tabung ini tentunya meningkatkan massa adsorben dalam tabung sehingga zona adsorpsi yang terjadi menjadi semakin luas dan emisi gas HC dan SO₂ semakin banyak yang terserap.

Pada penelitian ini, pengaruh luas permukaan menjadi lebih berpengaruh, meskipun massa adsorben dalam bentuk *hollow* briket lebih besar daripada massa adsorben bentuk pelet karena proses pengontakan berlangsung secara kontinyu dan tidak terjadi penyumbatan aliran gas buang kendaraan pada tabung adsorpsi sehingga tidak semua partikel gas emisi CO dan NOx berkontak dengan adsorben. Dengan semakin luas permukaan kontak maka semakin banyak kontak yang terjadi dan semakin banyak pula gas emisi yang terserap. Pemilihan proses pengontakan ini memerlukan pertimbangan terhadap

kelancaran aliran gas emisi agar tidak menyumbat saluran buangan gas emisi. Penyumbatan berlebih pada saluran buang dapat meningkatkan tekanan balik yang tinggi pada saluran buangan gas emisi yang berakibat merusak mesin kendaraan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit cangkang biji kopi dapat dijadikan bahan baku untuk karbon aktif sehingga dapat menambah nilai ekonomi dari limbah pertanian yang belum dimanfaatkan. Pemanfaatan karbon aktif dari cangkang biji kopi sebagai adsorben penyerap emisi gas buang yang dalam penelitian ini dilakukan terhadap emisi gas buang kendaraan roda empat dan dapat menurunkan emisi gas buang CO dalam rentang 6,62-39,02% dan menurunkan emisi gas buang NO_x dalam rentang 13,08-39,05%.

Proses penyerapan emisi gas buang kendaraan dipengaruhi oleh proses aktivasi dimana karbon yang diaktivasi menggunakan larutan HCl 3% memberikan unjuk kerja penyisihan emisi gas buang CO dan NO_x yang lebih baik dibandingkan proses aktivasi karbon menggunakan larutan ZnCl₂ 10%. Proses penyerapan juga sangat berpengaruh kepada mekanisme pengontakan emisi gas buang dengan adsorben. Berdasarkan hasil yang diperoleh, karbon aktif dengan bentuk *hollow* briket memberikan persentase penyisihan emisi gas buang CO dan NO_x yang lebih tinggi dibandingkan karbon aktif dengan bentuk pelet. Hal ini disebabkan oleh perbedaan luas permukaan adsorben yang berkontak dengan gas emisi, yang mana karbon aktif dengan bentuk *hollow* briket memiliki luas permukaan yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik (BPS). (2015). Aceh Dalam Angka 2015. Badan Pusat Statistik Provinsi Aceh.

Basuki, K.T. (2007). Penurunan konsentrasi HC dan SO₂ pada emisi kendaraan bermotor menggunakan TiO₂ lokal yang disisipkan karbon aktif. *Prosiding*

Pertemuan dan Presentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, BATAN, Yogyakarta.

- Bauner, D., Laestadius, S. & Lida, N. (2009). Evolving technological systems for diesel engine emission control: balancing GHG and local emissions. *Clean Technol Environ Policy*, 11, 339-365.
- Borhan, A., Thangamuthu, S., Taha, M.F. & Ramdan, A.N. (2014). Development of activated carbon derived from banana peel for CO₂ Removal. *AIP Conference Proceeding*, 1674 (1), 10.1063/1,4928819.
- Bosch. (2005). *Emissions-control technology for diesel engines*. Germany: Robert Bosch GmbH.
- Daly, A. & P. Zannetti. (2007). *An Introduction to Air Pollution-Definitions, Classifications and History*. Chapter 1 of Ambient Air Pollution (P. Zannetti, D. Al-Ajmi and S. Al-Rashied, Editors). Published by The Arab School for Science and Technology (ASST) (<http://www.arabschool.org.sy>) and The EnviroComp Institute (<http://www.envirocomp.org/>).
- Danarto, Y. C. & Samun, T. (2008). Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cr (IV), *Ekuilibrium*, 7(1), 13-16.
- Delphi. (2012). *Worldwide emissions standards-heavy duty and off-highway vehicles*. Michigan: Delphi.
- Fauziah, N., (2009). *Pembuatan arang aktif secara langsung dari kulit acacia mangium wild dengan aktivasi fisika dan aplikasinya sebagai adsorben*, Skripsi, Departemen Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/13071>.
- Faradilla, A.R., Yulinawati, H. & Suswanto, E. (2016). Pemanfaatan fly ash sebagai adsorben karbon monoksida dan karbon dioksida pada emisi kendaraan bermotor. *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan 2016*. ISSN (E): 2540-7589. Lembaga Penelitian Universitas Trisakti, Jakarta.

- Guntoro, S. (2008). *Membuat Pakan Ternak Dari Limbah Perkebunan*. Jakarta: AgroMedia.
- Hanum, F., Bani, O. & Wirani, L.I. (2017). Characterization of activated carbon from rice husk by HCl activation and its application for Lead (Pb) removal in car battery wastewater. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 180 012151
- Ismadji, S., Sudaryanto, Y., Hartono, S.B., Setiawan, L.E.K. & Ayucitra, A. (2005). Activated carbon from char obtained from vacuum pyrolysis of teak sawdust: pore structure development and characterization. *Bioresource Technology*, (96), 1364-1369.
- Jaya, F.T. (2014). *Adsorpsi Emisi Gas CO, NO dan NOx menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao L.) pada Kendaraan Bermotor Roda Empat*. Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Karnitz, O. Jr., Gurgel, L.V.A., de Melo, J.C.P., Botaro, V.B., Melo, T.M.S., Gil, R.P.F., Gil, L.F. (2007). Adsorption of heavy metal ion from aqueous single metal solution by chemically modified sugarcane bagasse, *Bioresource Technology*, (98), 1291-1297.
- Kumar, U. & Bandyopadhyay, M. (2006). Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. *Bioresource Technology*, (97), 104-109.
- Kurniati, E. (2008). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Arang Aktif. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, 8(2), 96-103.
- Kwagheger, A. & Ibrahim, J.S. (2013). Optimization of Conditions for the Preparation of Activated Carbon from Mango Nuts using HCl. *American Journal of Engineering Research*, 2(7), 74-85.
- Musapatika, E. T. (2010). *Use of low cost adsorbents to treat industrial wastewater*. Thesis. Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). (2002). *Strategies to reduce greenhouse gas emissions from road transport: analytical methods*. Paris: OECD.
- Prasad, R. & Bella, V.R. (2010). A review on diesel soot emission, its effect and control. *Bull Chem React Eng. Catal.*, 5(2), 69-86.
- Resitoglu, I.A., Keskin, A. & Altinisik, K. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Techn. Environ. Policy*, 17, 15-27.
- Supiati, S., Yudi, M. & Chadijah, S. (2013). Pengaruh konsentrasi aktivator asam klorida (HCl) terhadap kapasitas adsorpsi arang aktif kulit durian (*Durio Zibethinus*) pada zat warna methanil yellow. *Al-Kimia*, 1(1), 53-63.
- Viswanathan, B., Neel, P. I. & Varadarajan, T. K. (2009). *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials*. National Centre For Catalysis Research, Indian Institute of Technology Madras.
- Zhao, Y.Q. (2003). Correlation between flocculation physical properties and optimum polymer dosage in alum sludge conditioning and dewatering. *Chem. Eng. J.*, 92, 227-235.