



RANCANGAN MEDIA ADSORBSI ZEOLIT ALAM SEBAGAI ADSORBEN EMISI GAS MESIN OTOMOTIF

DESIGN OF ADSORPTION MEDIA FOR NATURAL ZEOLITE AS AN ADSORBENT AUTOMOTIVE ENGINE GAS EMISSIONS

Amru Siregar ^{1)**}, Amirsyam Nasution ¹⁾, dan Mustafa ²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Indonesia

²⁾ Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Medan, Indonesia

Diterima: 03-05-2019 ; Disetujui: 25-06-2019 ; Diterbitkan: 30-06-2019

*Corresponding author: srgamru@gmail.com

Abstrak

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama untuk aktivitas industri, transportasi, produksi listrik dan kegiatan pertambangan. Emisi gas hasil pembakaran bahan bakar fosil secara teoritis mengandung polutan emisi gas yang terdiri dari gas-gas CO_x, NO_x, HC, O_x, SO₂ dan logam-logam berat. Pembakaran bahan bakar fosil pada sektor transportasi berkontribusi paling besar terhadap polusi yang dihasilkan oleh emisi gas buang mesin otomotif. Oleh karena itu perlu dilakukan penanganan yang tepat terhadap emisi gas mesin otomotif ini. Hal ini telah dirancang bentuk geometris alat yang berfungsi sebagai media adsorpsi emisi gas mesin otomotif yang disebut bed reactor (BR). Bentuk geometris dari BR dirancang merujuk kepada bentuk geometris dari knalpot (muffler) kendaraan mobil mini bus. BR yang dirancang terdiri dari 2 (dua) jenis BR yaitu jenis aliran laminar dan aliran turbulen. Bentuk geometris BR, berbentuk penampang elips dengan sumbu mayor = 192 mm, sumbu minor = 125 mm, dan panjang muffler = 320 mm, untuk jenis aliran laminar. Sedangkan BR jenis aliran turbulen berbentuk penampang elips dengan sumbu mayor 192 mm dan sumbu minor 125 mm, dan panjang muffler L = 350 mm. Daya adsorpsi BR telah diuji dengan bantuan alat uji emisi gas jenis anycar autocek gas & smoke versi 1.5.1.E-1. Daya adsorpsi BR maksimum untuk jenis aliran laminar terhadap gas CO₂ = 47,76 % dan untuk aliran turbulen CO = 42,72 % & gas HC = 35,40 %, masing-masing BR diisi zeolit alam dengan besar butir 10 mesh.

Kata Kunci: bed reactor, zeolit alam, adsorpsi, emisi gas

Abstract

Fossil fuels are the main energy source for industrial activities, transportation, electricity production and mining activities. Gas emissions from burning fossil fuels theoretically contain gas emission pollutants consisting of CO_x, NO_x, HC, O_x, SO₂ and heavy metals gases. The burning of fossil fuels in the transportation sector contributes most to the pollution generated by automotive engine exhaust emissions. Therefore, it is necessary to handle the gas emissions of automotive engines. This has been designed a geometric shape of a tool that serves as a medium for adsorption of automotive engine gas emissions called the bed reactor (BR). The geometric shape of the BR is designed to refer to the geometric shape of the muffler of a mini bus. The designed BR consists of 2 (two) types of BR, namely the type of laminar flow and turbulent flow. The geometric shape of the BR, in the form of an elliptical cross section with a major axis = 192 mm, a minor axis = 125 mm, and a length of muffler = 320 mm, for the type of laminar flow. While the turbulent flow type BR is an elliptical cross section with a major axis of 192 mm and a minor axis of 125 mm, and a length of muffler

L = 350 mm. The adsorption capacity of the BR has been tested with the help of anycar emission gas type test equipment, autochek gas & smoke version 1.5.1.E-1. The maximum BR adsorption power for laminar flow towards CO₂ = 47.76% and for turbulent flow CO = 42.72% & HC gas = 35.40%, each BR is filled with natural zeolite with 10 mesh grains.

Keywords: *bed reactor, natural zeolite, adsorption, gas emissions*

How to Cite: Siregar, A., 2019, Rancangan Media Adsorpsi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Emisi Gas Mesin Otomotif, *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, 3(01): 64-75

PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk, urbanisasi dan kemajuan teknologi merupakan faktor-faktor pendorong peningkatan pemakaian bahan bakar fosil dengan cepat. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama untuk aktivitas industri, transportasi, produksi listrik dan kegiatan pertambangan. Secara teori emisi gas buang hasil pembakaran bahan bakar fosil mengandung polutan emisi gas yang terdiri dari gas-gas CO_x, NO_x, HC, O_x, SO₂ dan logam berat lainnya. Polutan emisi gas tersebut memberikan kontribusi pada pemanasan global, efek rumah kaca, dan perubahan iklim. Selain hal ini berpengaruh kepada perubahan kondisi alam, emisi gas buang juga berpengaruh kepada kehidupan makhluk hidup, karena emisi gas asap tersebut akan bergerak dengan cepat ke berbagai tempat. Baik manusia maupun hewan akan menyerap gas CO melalui paru-paru, dimana gas CO ini jika bereaksi dengan haemoglobin dalam darah akan membentuk karbon monoksida haemoglobin (COHb). Haemoglobin mempunyai sifat kemampuan yang tinggi untuk mengikat gas CO, jauh lebih besar dari pada kemampuan untuk mengikat gas oksigen (O₂), sehingga keberadaan gas CO ini di dalam darah dapat mencegah pendistribusian oksigen oleh darah ke seluruh tubuh, yang mengakibatkan gangguan pada jantung

Emisi gas asap di bidang transportasi berkontribusi terbesar terhadap polusi udara dibandingkan dengan sumber emisi gas lainnya, terutama dihasilkan oleh mesin otomotif jenis motor bakar otto. Emisi gas buang mesin otomotif di kota-kota besar,

berkontribusi sebagai sumber polutan emisi gas mencapai (60÷70)%, sementara kontribusi emisi gas dari cerobong asap industri hanya berkisar (10÷15)%, sedangkan sisanya berasal dari sumber pembakaran lainnya, (Ismiyati, dkk. 2014). Oleh karena itu diperlukan perhatian dan penanganan yang tepat serta berkesinambungan dalam menanggulangi emisi gas buang tersebut. Secara teori metode-metode untuk mengurangi polutan emisi gas buang mesin otomotif dinyatakan sebagai berikut ini : (a). Mengembangkan substitusi bahan bakar dengan tujuan untuk mengurangi polutan. (b) Mengembangkan sumber energi terbarukan. (c) Memodifikasi mesin untuk mengurangi jumlah polutan yang terbentuk. (d) Mengembangkan penggunaan catalytic converter. (e) Memperbaiki sistem pengapian, dan (f) Meningkatkan perawatan kendaraan bermotor.

Pengembangan sistem penanggulangan emisi gas buang telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti terdulu, khususnya tentang penggunaan sumber daya alam. Mineral zeolit merupakan salah satu sumber daya alam yang telah banyak diteliti, oleh karena mineral ini banyak dijumpai di bumi Indonesia, (Kusdarto, 2018). Mineral zeolit alam terdiri dari oksida-oksida, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, CaO dan MgO. Sebagian dari penyusun mineral zeolit ini terdapat dalam batuan-batuan sedimen, terutama kristal- kristal dari kelompok alumina dan silikat. Zeolit alam dapat diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis, sehingga jenis mineral ini banyak

digunakan dalam bidang-bidang; industri, pertanian, peternakan maupun lingkungan hidup, (Tsishvili,1992). Zeolit alam juga telah banyak digunakan sebagai katalis, pengisi kertas, cat, bahan semen pozolan dan portland, agregat ringan, pupuk, pencegah polusi akibat limbah industri, penyerap dalam proses pemurnian pada pembuatan gas-gas, seperti oksigen, nitrogen, methana dan pengikat amoniak, (Sarno, 1983). Zeolit alam yang telah diaktivasi mampu mengadsorpsi gas CO dari emisi gas asap kebakaran sebesar 6,25 %, (Yuliusman, dkk., 2010), dan 3,67 % (Suraputra, 2011). Daya adsorpsi zeolit alam untuk gas CO₂ pada proses produksi biogas adalah 3,80 % untuk besar butir 60 mesh, (Yamliha, dkk., 2013). Pada proses dehidrasi boietanol dapat digunakan zeolit alam yang telah dimodifikasi dengan proses acidifikasi dan pengkayaan ion Al³⁺ (Khaidir, dkk., 2009). Hasil aktivasi zeolit alam dengan HF 2%, HCl 6 M, dan NH₄Cl 0,1 M, yang dikuti dimodifikasi dengan TiO₂ dapat mereduksi gas NO₂ sekitar (45 ÷ 49) % dari emisi gas buang kendaraan bermotor, (Hasibuan, 2012). Sedangkan aktivasi zeolit alam dengan asam HCl yang konsentrasinya bervariasi, berpengaruh daya absorsinya terhadap Ca²⁺ (Pardoyo, dkk., 2009). Sistem adsorpsi emisi gas mesin otomotif yang disebut reduction chamber (RC), telah dirancang oleh Venkatesh, dkk., (2016). Komponen-komponen dari RC ini terdiri rongga silindris dengan diameter 100 mm dan panjang 300 mm. Rongga silindris ini diselimuti dengan susunan jaringan kawat (wire mesh), sehingga

penampang silindris mempunyai rongga yang porous.

Pada paper ini menguraikan hasil rancangan suatu alat yang berfungsi sebagai media adsorpsi emisi gas buang mesin otomotif oleh zeolit alam sebagai adsorben yang dipasangkan pada knalpot mesin otomotif. Dalam hal ini alat tersebut selanjutnya disebut dengan bed reactor (BR). Uraian rancangan ini merinci pemilihan bentuk geometris dari BR, sehingga diharapkan hasil rancangan ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengurangan polutan emisi gas buang mesin otomotif. Polutan emisi gas buang yang diserap BR diukur dengan alat uji emisi gas buang jenis anycar autochek gas & smoke versi 1.5.1.E-1. Alat uji emisi gas ini dapat mendeteksi gas-gas; CO, CO₂, dan HC yang dikandung oleh emisi gas buang.

METODE

Pengolahan Adsorben

Sebagai adsorben pada penelitian ini adalah zeolit alam dan bentuk butiran. Pada awalnya zeolit alam mentah diolah secara proses fisika. Batuan zeolit alam dipecah dan digiling hingga diperoleh butiran-butiran zeolit. Butiran-butiran zeolit ini diayak sehingga diperoleh besar butiran 10 mesh, dan 20 mesh. Selanjutnya butiran-butiran zeolit ini dipanaskan di dalam tanur pemanas sampai temperatur 300°C dan ditahan selama 3 jam. Pada tahapan berikutnya dilakukan proses dealuminasi zeolit alam yaitu dengan cara pengasaman. Butiran zeolit alam direndam dalam larutan HCl dengan konsentrasi 2M, selama 2 jam. Kemudian dilanjutkan pencucian dengan akuades, sampai

diperoleh filtrat menunjukkan pH netral. Residu butiran zeolit ini dikeringkan melalui pemanasan dalam tanur pemanas sampai temperatur 300°C dan ditahan selama 3 jam. Butiran zeolit alam yang dihasilkan pada proses terakhir ini merupakan butiran zeolit alam yang telah aktif.

Rancangan Bed Reactor

Alat yang berfungsi sebagai media adsorpsi oleh butiran zeolit alam terhadap emisi gas buang mesin otomotif disebut dengan bed reactor (BR). Rancangan BR diawali dengan pemilihan bentuk geometris. Pemilihan bentuk geometris BR mempertimbangkan 2 (dua) hal, yaitu bentuk bangun BR dan dimensi BR itu sendiri. Dalam hal ini bentuk bangun dan dimensi BR ditentukan berpedoman kepada bentuk knalpot (muffler) mesin otomotif jenis kendaraan mini bus secara umum. Hal ini disebabkan oleh karena kendaraan mini bus diambil sebagai objek penelitian. Hasil pemilihan bentuk dan dimensi BR diperlihatkan pada gambar 1 dan gambar 2 untuk BR jenis aliran laminar, sedangkan gambar 3 dan gambar 4 untuk BR jenis aliran turbulen. Penyerapan polutan emisi gas buang akan terjadi jika aliran emisi gas buang mesin otomotif bersentuhan dengan permukaan butiran-butiran zeolit. Semakin besar permukaan sentuh antara emisi gas dengan butiran zeolit maka akan semakin jumlah polutan emisi gas yang teradsorpsi. Agar keadaan ini dapat terjadi maka dibuatlah bed reactor ini memiliki laluan gas asap berbentuk pipa-pipa. Di dalam pipa ini diletakkan bola-bola berongga. Bola-bola berongga diisi dengan butiran zeolit yang telah

diaktifkan. Oleh karena bola-bola diberi lubang-lubang laluan emisi gas buang yang bentuk lingkaran. Lubang-lubang laluan emisi gas ini ditutup dengan jala-jala kawat, sehingga butiran-butiran zeolit tidak dapat keluar dari dalam bola gambar 5. Ketika pipa-pipa BR ini dialiri emisi gas buang bertekanan, maka bola-bola berjaring ini akan dapat bergelinding akibat dorongan emisi gas. Keadaan ini menyebabkan butiran zeolit yang berada di dalam bola berjaring tersebut ikut berputar. Akibat perputaran butiran zeolit dan ditambah dengan turbulensi aliran emisi gas bertekanan, maka akan semakin besar kemungkinan adsorpsi polutan emisi gasbuang oleh butiran zeolite.

Pengujian Daya Adsorpsi

Sebagai data pembanding terlebih dahulu diukur komposisi emisi gas buang mesin otomotif tanpa memakai alat BR. Dengan demikian diperoleh persentasi (%) gas-gas CO, CO₂, dan HC yang terkandung di dalam emisi gas buang mesin otomotif tersebut. Tahap berikutnya adalah pemasangan alat BR pada ujung knalpot mesin otomotif tersebut dan selanjutnya dilakukan pengukuran komposisi emisi gas yang keluar dari ujung BR tersebut. Hal ini dilakukan baik untuk BR jenis aliran laminar maupun untuk jenis aliran turbulen, sehingga diperoleh komposisi emisi gas yang keluar dari ujung pipa BR. Selain bentuk geometri BR, besar butir zeolit juga merupakan variabel dalam pengujian ini. Selanjutnya komposisi emisi gas buang mesin otomotif tanpa memakai alat BR, dan komposisi emisi

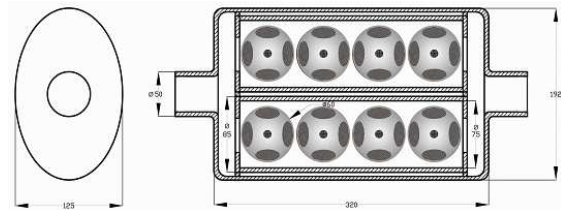
gas yang memakai alat BR, ditampilkan pada tabel 1, tabel 2, dan tabel 3.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Rancangan BR

Alat media adsorpsi oleh zeolit alam terhadap emisi gas yang keluar dari knalpot mesin otomotif disebut dengan bed reactor (BR). Gambar 1 dan gambar 2 menunjukkan penampang BR jenis aliran laminar. Gambar 3 dan gambar 4, menunjukkan penampang BR jenis aliran turbulen. Pada pemakaiannya, BR dipasangkan pada ujung knalpot (muffler) mesin otomotif sedemikian rupa sehingga emisi gas buang yang dikeluarkan oleh mesin otomotif dapat mengalir di dalamnya. BR tersebut memiliki dua pipa saluran emisi gas buang, dimana setiap pipa masing-masing berisi 3 (tiga) buah bola berongga yang berjaring kawat, seperti diperlihatkan pada gambar 5. Bola-bola berongga ini diisi dengan butiran zeolit sebagai adsorben. Emisi gas yang mengalir di dalam pipa akan masuk ke dalam bola-bola berongga dan bersentuhan dengan butiran zeolit. Emisi gas yang keluar dari knalpot mesin otomotif mempunyai tekanan dan kecepatan, akibatnya emisi gas ini dapat menyebabkan bola berguling, sehingga aliran emisi gas di dalam rongga bola menjadi aliran turbulensi. Adanya aliran turbulensi ini memungkinkan persentuhan permukaan butiran-butiran zeolit dengan emisi gas semakin besar. Oleh karena adanya persentuhan emisi gas dengan butiran zeolit maka akan terjadi penyerapan atau adsorpsi gas-gas yang terkandung di dalam emisi gas

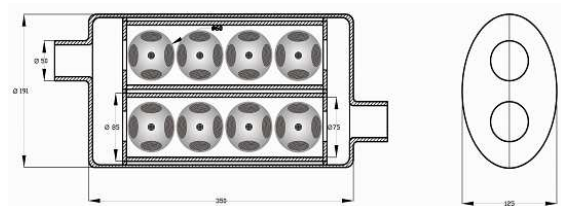
tersebut. Polutan emisi gas yang dapat dideteksi adalah gas CO, CO₂, dan HC.



Gambar 1. Sket penampang bentuk geometris BR jenis aliran laminar



Gambar 2. Tampak bagian dalam bentuk geometris BR jenis aliran laminar



Gambar 3. Sket penampang bentuk geometris BR jenis aliran turbulen



Gambar 4. Tampak bagian dalam bentuk geometris BR jenis aliran turbulen



Gambar 5. Bola-bola berjaring

Perancangan BR merupakan pemilihan bentuk geometris dari BR itu sendiri. Prinsip dari perancangan BR adalah memilih bentuk bangun dan dimensi yang optimum. Pemilihan bentuk geometris BR merujuk kepada bentuk geometris knalpot (Muffler) mesin mobil minibus secara umum. Selain bentuk geometris, faktor daya adsorpsi (adsorption) juga harus dipertimbangkan. BR yang diinginkan memiliki daya adsorpsi terhadap polutan emisi gas buang semaksimal mungkin. Knalpot (muffler) pada kendaraan roda empat jenis minibus memiliki dimensi panjang $\pm (300\div 500)$ mm dengan penampang bentuk elips. Berpedoman pada data ini, maka dipilihlah bentuk geometris BR ini sebagai berikut. Panjang muffler $L = 320$ mm dengan bentuk penampang elips. Bentuk kontur elip mempunyai sumbu mayor = 192 mm dan sumbu minor = 125 mm untuk BR jenis aliran laminar. Sedangkan untuk jenis aliran turbulen panjang muffler $L = 350$ mm, dengan bentuk penampang elips. Penampang elips memiliki panjang sumbu mayor 192 mm dan sumbu minor 125 mm. Pada rongga BR ini diletakkan dua buah pipa berdiameter 3" (tiga inchi). Masing-masing pipa tersebut diisi 4

(empat) buah bola berjaring. Karena BR mempunyai dua pipa saluran, maka BR berisi delapan bola berjaring. Bola berjaring mempunyai diameter 60 mm dan diisi dengan butiran zeolit sampai $\frac{3}{4}$ bagian dari volume bola, maka setiap bola berjaring harus diisi butiran zeolit sebanyak $v = \frac{3}{4} \times \frac{4}{3}(\pi)(30)^3 \approx 85 \text{ cm}^3$. Jika berat jenis zeolit alam 1,2 maka berat zeolit alam setiap bola berisi $m = 85 \times 1,2 = 102$ gram. Dengan demikian setiap BR diisi zeolit alam sebanyak $M = 8 \times 102 \text{ gram} = 816 \text{ gram}$.

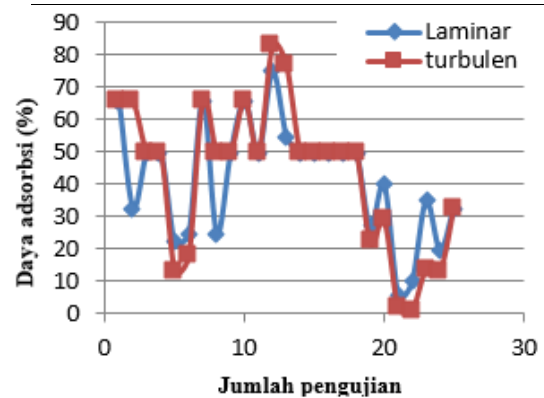
Pada tabel 1 diperlihatkan 25 (dua puluh lima) data sampel pengujian daya adsorpsi dari BR jenis aliran laminar dan aliran turbulen terhadap gas CO untuk besar butir 10 mesh dan 20 mesh. Kemudian data-data tersebut disajikan juga dalam bentuk kurva seperti ditunjukkan pada gambar 6 dan gambar 7. Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai rerata daya adsorpsi BR jenis aliran laminar relatif sama dengan nilai rata-rata daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar 10 mesh, masing-masing 42,16 % dan 42,76 %. Sedangkan untuk besar butir 20 mesh ada perbedaan daya adsorpsi yang signifikan antara BR jenis aliran laminar dengan BR jenis aliran turbulen, yaitu 33,88 % untuk BR jenis aliran laminar dan 26,08 % untuk BR jenis aliran turbulen. Perbedaan ini terjadi oleh karena pada jenis aliran turbulen, terjadi turbulensi antara emisi gas dengan butiran zeolit, sehingga waktu dan jumlah luas permukaan persentuhan antara emisi gas buang dengan butiran zeolit lebih besar. Keadaan ini menyebabkan kemungkinan terjadinya adsorpsi dan oksidasi gas CO. Gas CO teroksidasi

menjadi gas CO₂, sehingga dideteksi terjadi penurunan konsentrasi gas CO di dalam emisi gas buang. Hal ini dapat terjadi karena zeolit alam selain berfungsi sebagai adsorben juga dapat berfungsi sebagai katalis, (Xiongfu, dkk., 2004). Dari gambar 6 dapat dilihat secara kualitatif bahwa daya adsorpsi BR jenis aliran laminar relatif sama dengan daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar butir 10 mesh. Sedangkan pada gambar 7 juga dapat dilihat secara kualitatif bahwa ada perbedaan daya adsorpsi BR jenis aliran laminar dengan daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar butir 20 mesh. Daya adsorpsi BR jenis laminar lebih dominan.

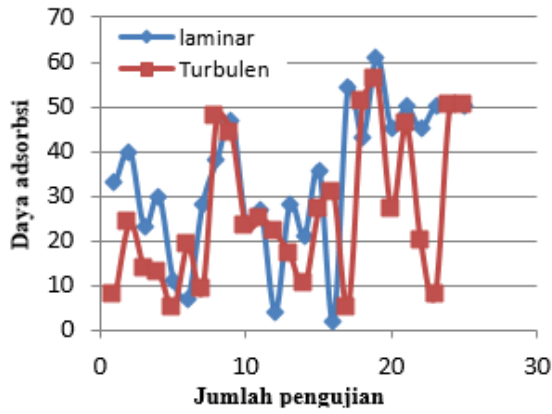
Cara yang sama dengan gas CO data-data pengujian untuk emisi gas CO₂ diperlihatkan pada tabel 2. Pada tabel 2 disajikan persentase daya adsorpsi BR jenis aliran laminar dan aliran turbulen terhadap gas CO₂, baik untuk besar butir zeolit 10 mesh dan maupun untuk besar butir 20 mesh. Kemudian data-data ini disajikan dalam bentuk kurva seperti ditunjukkan pada gambar 8 dan gambar 9. Pada tabel 2 ada perbedaan antara nilai rerata daya adsorpsi BR jenis aliran laminar dan nilai rerata daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen, baik untuk pemakaian besar butir zeolit 10 mesh maupun untuk besar butir 20 mesh. Nilai rerata daya adsorpsi BR dengan besar butir zeolit 10 mesh adalah 47,76 % dan 42,28 %, masing-masing untuk BR jenis aliran laminar dan untuk BR jenis aliran turbulen. Sedangkan nilai rerata daya adsorpsi untuk besar butir zeolit 20 mesh adalah 33,28 % dan 22,36 %, masing-masing untuk BR jenis aliran laminar maupun BR jenis aliran turbulen.

Tabel 1. Daya adsorpsi BR zeolit untuk gas CO (%) dengan variasi besar butir

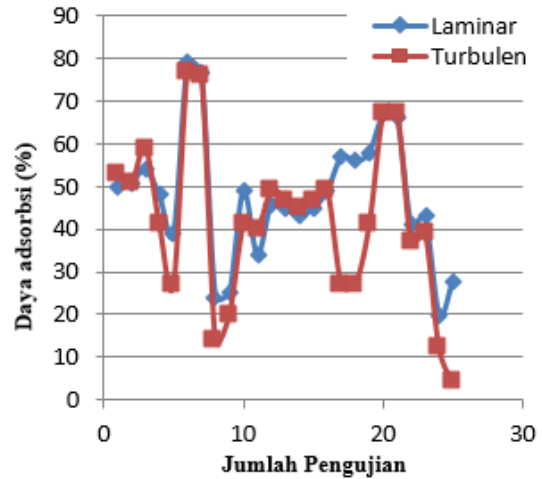
No.	Jenis Bed reactor zeolit			
	Aliran Laminar		Aliran turbulen	
	10 mesh	20 mesh	10 mesh	20 Mesh
1	66	33	66	8
2	33	40	66	24
3	50	23	50	14
4	50	30	50	13
5	22	11	13	5
6	25	7	18	19
7	66	28	66	9
8	25	38	50	48
9	50	47	50	44
10	66	24	66	23
11	50	27	50	25
12	75	4	83	22
13	55	28	77	17
14	50	21	50	10
15	50	36	50	27
16	50	2	50	31
17	50	54	50	5
18	50	43	50	51
19	27	61	22	56
20	40	45	29	27
21	6	50	2	46
22	10	45	1	20
23	35	50	14	8
24	20	50	13	50
25	33	50	33	50
Rata-rata	42,16	33,88	42,76	26,08



Gambar 6. Kurva daya adsorpsi untuk Gas CO Besar butir zeolit 10 mesh



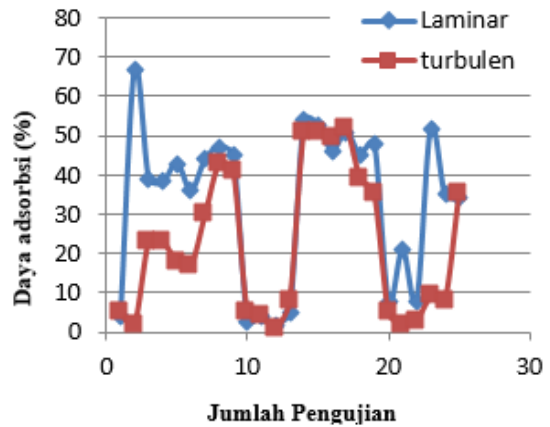
Gambar 7. Kurva daya adsorpsi untuk Gas CO Besar butir zeolit 20 mesh



Gambar 8. Kurva daya adsorpsi BR terhadap gas CO₂ untuk 10 mesh

Tabel 2. Daya adsorpsi BR zeolit Untuk gas CO₂ (%) dengan variasi besar butir

No.	Jenis bed reactor zeolit			
	Aliran Laminar		Aliran turbulen	
	10 mesh	20 mesh	10 mesh	20 Mesh
1	50	4	53	5
2	51	67	51	2
3	54	39	59	23
4	48	38	41	23
5	39	43	27	18
6	79	36	77	17
7	77	44	76	30
8	24	47	14	43
9	25	45	20	41
10	49	3	41	5
11	34	4	40	4
12	46	2	49	1
13	45	5	47	8
14	43	54	45	51
15	45	53	47	51
16	49	46	49	49
17	57	51	27	52
18	56	45	27	39
19	58	48	41	35
20	67	8	67	5
21	66	21	67	2
22	41	8	37	3
23	43	52	39	9
24	20	35	12	8
25	28	34	4	35
Rata-rata	47,76	33,28	42,28	22,36



Gambar 9. Kurva daya adsorpsi BR terhadap gas CO₂ untuk 20 mesh

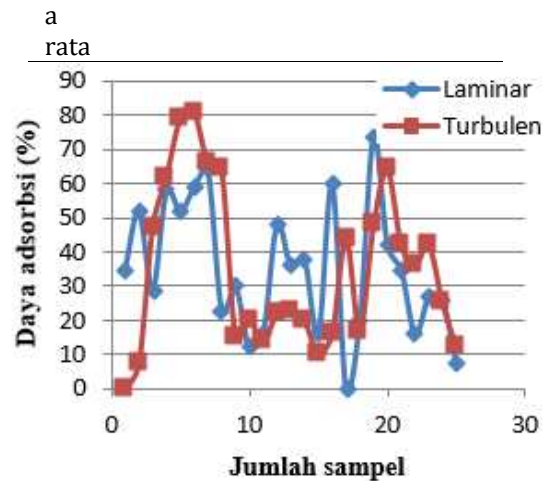
Perbedaan daya adsorpsi ini dapat dijelaskan berikut ini. Pertama dijelaskan perbedaan daya adsorpsi akibat variasi besar butir zeolit. Nilai rerata daya adsorpsi untuk besar butir 10 mesh dan 20 mesh untuk BR jenis aliran laminar masing-masing 47,76 % dan 33,28 %. Perbedaan ini dapat terjadi disebabkan oleh faktor bentuk geometris dari BR itu sendiri. Faktor bentuk geometris BR terutama ukuran besar lubang-lubang jalan masuk emisi gas buang ke rongga bola-bola berjaring (berjala-jala). Oleh karena posisi bola-bola berjaring berada di dalam pipa

aliran emisi gas dan kawat jala-jala 10 mesh digunakan pada bola berongga untuk butiran zeolit 10 mesh, dan kawat jaring 20 mesh digunakan pada bola berongga untuk butiran zeolit 20 mesh. Dari variasi jenis kawat jala-jala ini dapat dipahami bahwa lubang-lubang kawat berjaring 10 mesh lebih besar daripada lubang-lubang kawat jala-jala 20 mesh. Hal ini berarti emisi gas buang akan masuk lebih banyak ke rongga bola jaring yang berkawat jaring 10 mesh dibandingkan dengan yang masuk ke rongga bola berkawat jaring 20 mesh. Begitu juga halnya jumlah gas CO₂ yang masuk ke rongga bola berjaring sebanding dengan jumlah emisi gas buang yang masuk ke rongga bola berjaring. Oleh karena itu jumlah gas CO₂ akan lebih banyak teradsorpsi oleh BR dengan butiran zeolit 10 mesh daripada BR dengan butiran zeolit 20 mesh. Hal ini dapat terjadi oleh karena jumlah permukaan sentuh antara butiran zeolit dengan polutan gas CO₂, (Lalang, dkk., 2012).

Tabel 3. Daya adsorpsi BR zeolit untuk gas HC (%) dengan variasi besar butir

No. uji	Jenis bed reactor zeolit			
	Aliran laminar		Aliran turbulen	
	10 mesh	20 mesh	10 mesh	20 Mesh
1	35	24	7	12
2	52	19	47	9
3	29	5	62	23
4	58	36	79	57
5	52	30	81	17
6	59	38	66	20
7	64	41	64	54
8	23	18	15	9
9	30	37	20	39
10	12	18	14	22
11	16	23	22	24
12	48	27	23	24
13	36	8	20	72
14	38	5	10	41

15	16	44	16	37
16	60	47	44	24
17	0	45	17	45
18	20	25	48	12
19	74	53	64	34
20	42	42	42	19
21	35	46	36	32
22	16	44	42	39
23	27	45	25	39
24	26	25	12	4
25	7	25	9	16
Rat	35,00	30,80	35,40	28,96



Gambar 10. Kurva daya adsorpsi gas HC besar butir 10 mesh

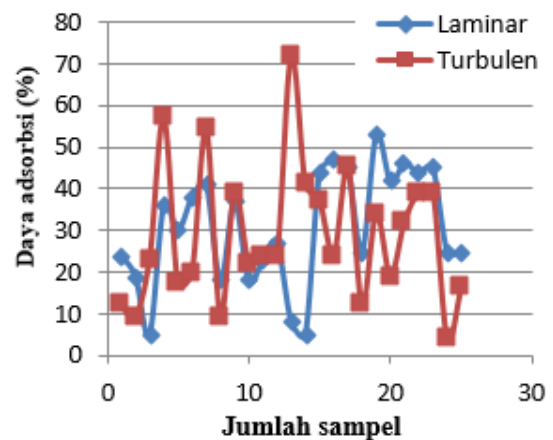
Dari gambar 8 dapat dilihat secara kualitatif bahwa daya adsorpsi BR jenis aliran laminar relatif sama dengan daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar butir 10 mesh. Sedangkan pada gambar 9 juga dapat dilihat secara kualitatif bahwa ada perbedaan yang kontras daya adsorpsi BR jenis aliran laminar dengan daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar butir 20 mesh. Daya adsorpsi BR jenis laminar lebih dominan daripada daya adsorpsi BR jenis turbulen.

Cara yang sama dengan gas CO dan gas CO₂, daya adsorpsi polutan emisi gas buang HC diperlihatkan pada tabel 3. Pada tabel 3 disajikan persentase daya adsorpsi BR jenis aliran laminar dan aliran turbulen terhadap gas HC, baik untuk besar butir zeolit 10 mesh dan

maupun untuk 20 mesh. Kemudian data-data ini disajikan dalam bentuk kurva seperti ditunjukkan pada gambar 10 dan gambar 11. Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai rerata daya adsorpsi BR jenis aliran laminar relatif sama dengan nilai rerata daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar 10 mesh, masing-masing 35,00 % dan 35,40 %. Sedangkan untuk besar butir 20 mesh tidak ada perbedaan yang signifikan daya adsorpsi antara BR jenis aliran laminar dengan BR jenis aliran turbulen, yaitu 30,80 % untuk BR jenis aliran laminar dan 28,96 % untuk BR jenis aliran turbulen. Dari tabel 3 dapat dilihat perbedaan nilai rerata daya adsorpsi terjadi pada data variasi besar butir zeolit. Keadaan ini ekuivalen dengan daya adsorpsi BR terhadap gas CO₂. (tabel 2). Oleh karena itu dapat dinyatakan perbedaan daya ini disebabkan oleh faktor bentuk geometris dari BR itu sendiri. Faktor bentuk geometris BR terutama ukuran besar lubang-lubang jalan masuk emisi gas buang ke rongga bola-bola berjaring (berjala-jala). Kawat jala-jala (jaring) 10 mesh digunakan pada bola berongga untuk butiran zeolit 10 mesh, dan kawat jaring 20 mesh digunakan pada bola berongga untuk butiran zeolit 20 mesh. Dari variasi jenis kawat jala-jala ini dapat dipahami bahwa lubang-lubang kawat berjaring 10 mesh lebih besar daripada lubang-lubang kawat jala-jala 20 mesh. Hal ini berarti emisi gas buang akan masuk lebih banyak ke rongga bola jaring yang berkawat jaring 10 mesh dibandingkan dengan yang masuk ke rongga bola berkawat jaring 20 mesh. Begitu juga halnya jumlah gas HC yang masuk ke rongga bola berjaring

sebanding dengan jumlah emisi gas buang yang masuk ke rongga bola berjaring. Oleh karena itu jumlah gas HC akan lebih banyak teradsorpsi oleh BR dengan butiran zeolit 10 mesh daripada BR dengan butiran zeolit 20 mesh. Hal ini dapat terjadi oleh karena jumlah permukaan sentuh antara butiran zeolit dengan polutan gas HC, (Lalang, dkk., 2012).

Dari gambar 10 dapat dilihat secara kualitatif bahwa daya adsorpsi BR jenis aliran laminar relatif sama dengan daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar butir 10 mesh. Sedangkan pada gambar 11 juga dapat dilihat secara kualitatif bahwa ada perbedaan daya adsorpsi BR jenis aliran laminar dengan daya adsorpsi BR jenis aliran turbulen untuk besar butir 20 mesh. Daya adsorpsi BR jenis laminar lebih dominan.



Gambar 11. Kurva daya adsorpsi gas HC besar butir 20 mesh

KESIMPULAN

Telah dirancang alat media adsorpsi zeolit alam terhadap polutan emisi gas buang mesin otomotif. Alat media tersebut dinamai bed reactor (BR). Bentuk geometris BR terdiri dua jenis yaitu BR jenis aliran laminar dan

jenis aliran turbulen. Alat media adsorpsi ini dapat menurunkan konsentrasi polutan emisi gas buang mesin otomotif sebagai berikut : Diperoleh nilai maksimum daya adsorpsi BR terhadap polutan gas CO \pm 42 % untuk jenis aliran turbulen, gas CO₂ \pm 47 % untuk BR jenis aliran laminar, dan gas HC \pm 35,40 % untuk aliran turbulen, masing-masing dengan besar butir 10 mesh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik berkat atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada bapak Direktur pada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Kompetitif Penelitian. Kepada Dekan Fakultas Teknik UMA, serta Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UMA yang telah memberikan dukungan penuh atas terlaksananya kegiatan penelitian ini. Kepada bapak Kepala Dinas Perhubungan Pemerintah Provinsi Sumatera Utara, yang telah memberikan bantuan alat uji emisi gas buang mesin kendaraan roda empat, hingga selesainya pengambilan data penelitian ini.

REFERENCES

Hasibuan, A., R., 2012, Modifikasi Zeolit Alam dengan TiO₂ untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, *Skripsi*, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

- Ismiyati, Marlita, D., dan Saidah D., 2014, Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, Vol. 01 No. 03.
- Kusdarto, 2008, Potensi Zeolit di Indonesia, *Jurnal Zeolit Indonesia*, Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral Vol. 7 No. 2.
- Khaidir, Setyaningsih, D., dan Haerudin, H., 2009, Modifikasi Zeolit Alam Sebagai Material Molekular Sieve pada Proses Dehidrasi Bioetanol, *Jurnal Zeolit Indonesia*, Departemen TIP FATETA IPB, Vol. 8, No.2.
- Lalang Budi Rianto, Suci Amalia, Susi Nurul Khalifah, 2012, Pengaruh Impregnasi Logam Titanium pada Zeolit Alam Malang Terhadap Luas Permukaan Zeolit, *Alchemy*, Vol. 2 No. 1, hal 58-67.
- Pardoyo, Listiana, dan Darmawan, A., 2009, Pengaruh Perlakuan HCl pada Kristalinitas dan Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Terhadap ion Ca⁺², *Jurnal Sains & Matematika*, Vol. 17, No. 2.
- Sarno, H., 1983, Endapan Zeolite, Penggunaan dan Sebarannya di Indonesia, *Direktorat Sumber Daya Mineral*, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Suraputra, R., 2011, Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Perjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termomodifikasi TiO₂, *Skripsi*, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Tsishvili, B., V., 1992, Natural Zeolite, *Institute of Physical and Organic Chemistry Academy of sciences of Georgia*, First Edition.
- Venkatesh, V., Jaikumar, M., Mylaudy, and Rajadurai, S., 2016, CO Capture by Using Modified ZMS-5 Zeolite in Diesel Powered Vehicle, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* e-ISSN: 2278-1684, Volume 13.
- Yuliusman, Widodo, W., P., Yulianto, S., N., dan Yuda, P., 2010, Preparasi Zeolit Alam Lampung dengan Larutan HF, HCl, dan Kalsinasi untuk Adsorpsi CO, *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yamliha, A., Argo, D., B., dan Nugroho, A., W., 2013, Pengaruh Ukuran Zeolit Terhadap Penyerapan Karbon dioksida (CO₂) pada aliran biogas, *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, Vol.1, No. 2.