

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Penelitian dilakukan pada kendaraan bermotor 4 langkah roda dua dengan menggunakan adsorben media zeolit terpoliarisasi TiO_2 sebagai penyerap emisi gas buang kendaraan bermotor berupa hidrokarbon (HC) dan sulfur oksida (SO_x). Variasi adsorben zeolit terpoliarisasi TiO_2 adalah zeolit murni atau 0% TiO_2 , 5% TiO_2 , 10% TiO_2 , dan 15% TiO_2 , dan tiga variasi suhu pemanasan adsorben yaitu 200 °C, 300 °C, 400 °C. Pemanasan berfungsi sebagai aktivasi adsorben zeolit, yaitu untuk meningkatkan sifat-sifat khusus yang terdapat pada zeolit. Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Bola kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300 – 350 °C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Waktu pemanasan dilakukan selama 3 jam.

Sebelum menggunakan adsorben dengan variasi TiO_2 dan suhu pemanasan yang ditetapkan dalam pengambilan sampel, dilakukan terlebih dahulu pengambilan sampel tanpa menggunakan media adsorben yang berfungsi sebagai kontrol, kontrol ini berfungsi sebagai pembandingan nilai emisi gas kendaraan bermotor sebelum menggunakan media adsorben dan setelah menggunakan media adsorben apakah terjadi penurunan gas emisi atau tidak.

Hasil analisis dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

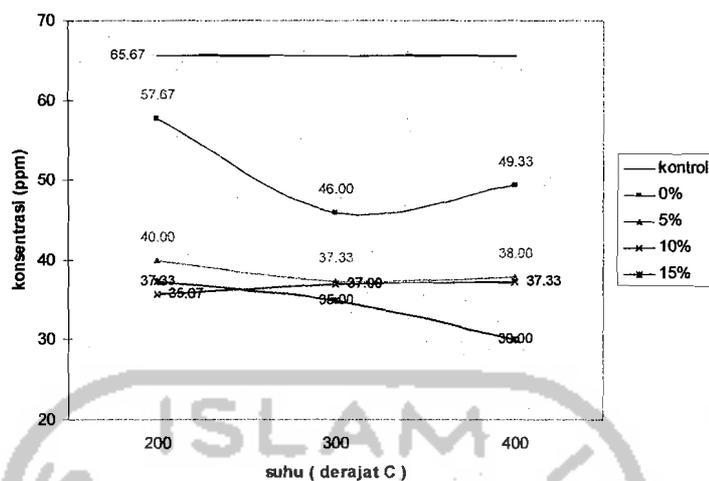
1. Hidrokarbon

Tabel 4.1. Hasil analisis hidrokarbon

| No | Keterangan | Sampel (ppm) | | | rata-rata (ppm) |
|----|----------------------|--------------|----|----|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | Kontrol | 72 | 65 | 60 | 65.67 |
| | 0% TiO ₂ | | | | |
| 2 | 200 °C | 91 | 37 | 45 | 57.67 |
| 3 | 300 °C | 40 | 36 | 62 | 46.00 |
| 4 | 400 °C | 54 | 45 | 49 | 49.33 |
| | 5% TiO ₂ | | | | |
| 5 | 200 °C | 49 | 34 | 37 | 40.00 |
| 6 | 300 °C | 34 | 36 | 42 | 37.33 |
| 7 | 400 °C | 39 | 37 | 38 | 38.00 |
| | 10% TiO ₂ | | | | |
| 8 | 200 °C | 38 | 34 | 35 | 35.67 |
| 9 | 300 °C | 37 | 37 | 37 | 37.00 |
| 10 | 400 °C | 41 | 33 | 38 | 37.33 |
| | 15% TiO ₂ | | | | |
| 11 | 200 °C | 36 | 42 | 34 | 37.33 |
| 12 | 300 °C | 36 | 33 | 36 | 35.00 |
| 13 | 400 °C | 31 | 29 | 30 | 30.00 |

Sumber : Data primer 2005

Berdasarkan Tabel 4.1. dapat dilihat hubungan penurunan hasil uji emisi hidrokarbon terhadap suhu pemanasan adsorben zeolit pada Grafik 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1. Grafik hubungan hasil uji emisi HC terhadap suhu pemanasan

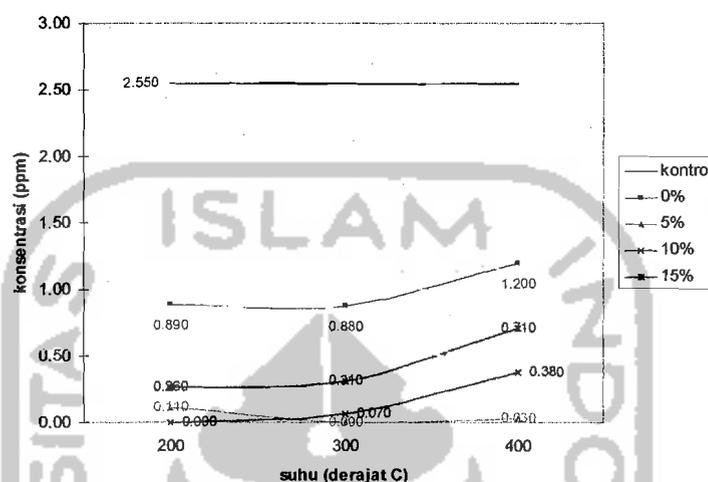
2. Sulfur oksida SO_x

Tabel 4.2. Hasil analisis SO_x

| No | Keterangan | Sampel (ppm) | | | rata-rata (ppm) |
|----|-------------|--------------|------|------|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | Kontrol | 1.50 | 2.74 | 3.42 | 2.55 |
| | 0% TiO_2 | | | | |
| 2 | 200 °C | 1.16 | 0.76 | 0.76 | 0.89 |
| 3 | 300 °C | 1.33 | 0.88 | 0.42 | 0.88 |
| 4 | 400 °C | 1.20 | 2.40 | 0.00 | 1.20 |
| | 5% TiO_2 | | | | |
| 5 | 200 °C | 0.31 | 0.03 | 0.00 | 0.11 |
| 6 | 300 °C | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 400 °C | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.03 |
| | 10% TiO_2 | | | | |
| 8 | 200 °C | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 300 °C | 0.14 | 0.08 | 0.00 | 0.07 |
| 10 | 400 °C | 0.59 | 0.14 | 0.42 | 0.38 |
| | 15% TiO_2 | | | | |
| 11 | 200 °C | 0.26 | 0.14 | 0.37 | 0.26 |
| 12 | 300 °C | 0.31 | 0.00 | 0.62 | 0.31 |
| 13 | 400 °C | 0.71 | 0.00 | 0.42 | 0.71 |

Sumber : Data primer 2005

Berdasarkan Tabel 4.2. dapat dilihat hubungan penurunan hasil uji emisi SO_x terhadap suhu pemanasan adsorben zeolit pada Grafik 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2. Grafik hubungan efisiensi emisi SO_x terhadap suhu pemanasan

4.2. Pembahasan

4.2.1. Penggunaan Perekat

Untuk mencari perekat yang baik untuk dipakai dalam penelitian ini, dilakukan beberapa uji perekat yaitu dengan metode uji tekan dan uji visual pada media adsorben yang telah dicampur perekat. Perekat yang dipakai dalam uji perekat ini yaitu kanji, semen, gula dan gelatin.

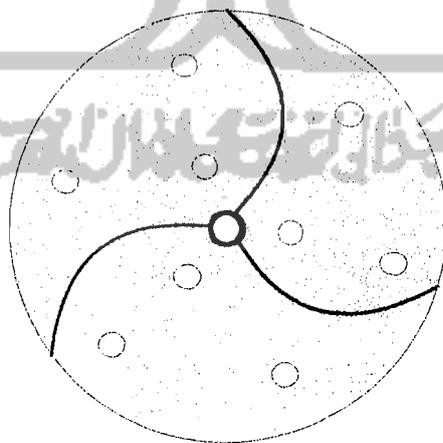
Pada tahap pertama pelaksanaan uji tekan dilakukan uji tekan dengan alat tekan hidrolik, dalam uji ini semua media adsorben tidak dapat dilihat mana yang lebih baik, karena semua media adsorben hancur dibawah nilai tekanan

yang terdapat pada alat. Tahap selanjutnya yaitu dengan uji visual, uji ini dilakukan dengan cara dilihat media adsorben dengan perekat yang lebih solid, dan didapatkan media adsorben dengan perekat gula yang lebih solid daripada media adsorben yang memakai perekat lainnya. Selain lebih solid, gula sangat mudah larut dalam air, sehingga pemerataan sebagai perekat dalam adsorben lebih merata.

4.2.2. Pembuatan Adsorben

Bentuk adsorben yang dipakai harus dapat berputar sesuai dengan gaya sentrifugal. Untuk dapat mencapai adsorben yang dapat berputar apabila terlewati udara hasil pembakaran dalam knalpot motor, dilakukan beberapa kali uji bentuk adsorben dan variasi lubang dalam adsorben

Bentuk pertama yang dibuat adalah dengan memakai tiga lengkungan dalam lempengan, dan memberikan tiga lubang di setiap bagian lengkungannya.



Gambar 4.3. Lempengan adsorben dengan tiga lengkungan

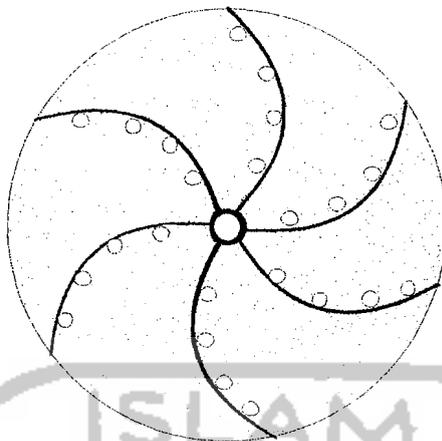
Masih memakai lempengan dengan tiga lengkungan, perubahan selanjutnya adalah dengan variasi lubang pada lempengan, yaitu dengan memakai dua lubang pada setiap bagian lengkungan dan menambah lubang pada setiap lengkungan menjadi empat sampai lima lubang di setiap bagian lengkungan.

Perubahan selanjutnya dengan mencoba bentuk lempengan lainnya, yaitu dengan memakai empat lengkungan yang simetris, empat lengkungan bentuk sudut dan enam lengkungan bentuk huruf S.



Gambar 4.4. Variasi bentuk cetakan

Dari ke empat bentuk lempengan tersebut, lempengan dengan enam lengkungan dicoba dengan membuat beberapa lubang di setiap bagian lengkungan seperti yang telah dilakukan pada lempengan dengan tiga lengkungan, dan dilakukan variasi lubang dengan membuat beberapa lubang di bagian lengkungannya dengan tujuan udara dapat masuk ke lubang tersebut dan mendorong lempengan untuk berputar.



Gambar 4.5. Lempengan enam lengkungan dengan variasi lubang

Berawal dari bentuk variasi yang terkahir, maka perubahan terjadi secara signifikan yaitu dengan menghilangkan lubang. Pada bentuk ini batas antara lengkungan diberi ruang dengan cara mengoreknya, sehingga menyerupai bentuk baling-baling kipas seperti tampak pada Gambar 4.6



Gambar 4.6. Lempengan bentuk baling-baling kipas

Akhirnya setelah melakukan beberapa kali *tray and error*, maka dengan lempengan bentuk baling-baling kipas dapat memenuhi gaya yang dibutuhkan yaitu gaya sentrifugal, hal ini dapat dilihat dengan berputarnya lempengan

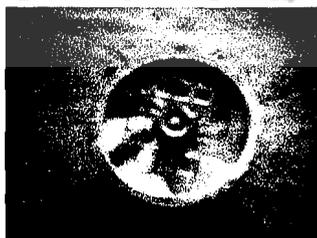
didalam reaktor knalpot akibat adanya tekanan udara yang dihasilkan oleh proses pembakaran mesin.

4.2.3. Kerangka Adsorben

Dalam pelaksanaan percobaan untuk memperoleh model adsorben diatas ini, ternyata media adsorben mudah rusak, karena struktur media yang kurang kuat. Berdasarkan dari kejadian ini peneliti menggunakan tulangan dalam sebagai kerangka agar konstruksi dari media ini lebih kuat. Adapun tulangan dalam yang digunakan adalah kawat berjala dengan ukuran jala 0.5 cm².

Bentuk tulangan dalam yang digunakan diperoleh dengan cara *tray and error*. Adapun model-model dari tulangan dalam yang diperoleh berupa bentuk; salip, segi empat dan salip lebar.

Dari berbagai model tulangan yang ada dipilih model yang berbentuk salip lebar. Kebihan dari model itu adalah dapat menyangga adsorben dengan baik dan pada tulangan ini tidak mengganggu saat pencetakan/pengikisan adsorben.



Gambar 4.7. Tulangan dalam pada model cetakan

4.2.4. Mekanisme Sentrifugal

Sentrifugal sebagai gaya yang dipakai dalam penelitian ini bekerja akibat adanya gaya atau tekanan udara yang dihasilkan oleh udara yang keluar dari knalpot hasil dari pembakaran mesin sepeda motor.

Akibat dari tekanan udara dari knalpot tersebut menimbulkan aksi reaksi, aksi yang timbul adalah berputarnya lempengan adsorben ke arah beban permukaan lempengan yang besar sesuai dengan sifat aerodinamis. Reaksi dari berputarnya lempengan adsorben adalah aliran udara yang pada awalnya bersifat laminar sebelum kontak dengan lempengan pertama berubah menjadi turbulen pada ruang antara lempengan pertama dan kedua, dan seterusnya terjadi pada lempengan kedua dan ketiga.

Reaksi penyerapan oleh adsorben akibat adanya gaya sentrifugal terjadi pemerataan, karena saat udara yang mengandung partikel zat-zat pencemar mengalami turbulensi dan kontak dengan adsorben yang berputar dalam kecepatan rendah akibat aliran udara tidak laminar.

4.2.5. Efisiensi Penyerapan Emisi Gas oleh Adsorben Zeolit terpillarisasi TiO_2

Dari hasil penelitian uji emisi gas buang kendaraan bermotor HC dan SO_x , diketahui bahwa zeolit murni dan zeolit terpillar dapat menurunkan kandungan emisi. Ini dikarenakan ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul bebas yang berada disekitar kation, bila kristal zeolit dipanaskan maka air

tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Dalam arti luas terjadi pengisian oleh zat yang dapat terserap oleh zeolit menggantikan tempat yang ditinggalkan oleh molekul bebas atau H_2O . Tetapi adsorben terpillarisasi TiO_2 efisiensi removalnya lebih baik dari pada adsorben tanpa TiO_2 (0% TiO_2), dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4. Hal ini karena TiO_2 membentuk pilarisasi dalam zeolit, kerapatan rongga pada zeolit dapat lebih lebar dengan adanya pilar-pilar titanium oksida, sehingga ruang/rongga penyerapan dalam zeolit semakin banyak untuk mereduksi gas emisi, dan juga TiO_2 merupakan katalis yang mampu memecahkan berbagai polutan senyawa organik.

Efisiensi removal penyerapan emisi gas HC oleh adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 adalah 39% - 54%, sedangkan efisiensi removal oleh adsorben tanpa TiO_2 adalah 12% - 25%. Efisiensi removal yang paling tinggi dengan adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 mencapai 54.32% yaitu pada suhu pemanasan 400 °C dengan kadar TiO_2 15%, dan yang paling rendah terdapat pada suhu pemanasan 200 °C dengan kadar TiO_2 5% efisiensi removanya yaitu 39.09%. Hal ini menunjukkan semakin banyak penambahan konsentrasi TiO_2 , maka pilar atau rongga pada media zeolit yang terbentuk semakin banyak pula, sehingga HC yang tertangkap akan semakin banyak. Sedangkan pengaruh suhu pemanasan pada suhu 400 °C akan menyebabkan kandungan air yang terdapat pada zeolit sebagai adsorben akan lepas sehingga pori-pori zeolit akan bersih

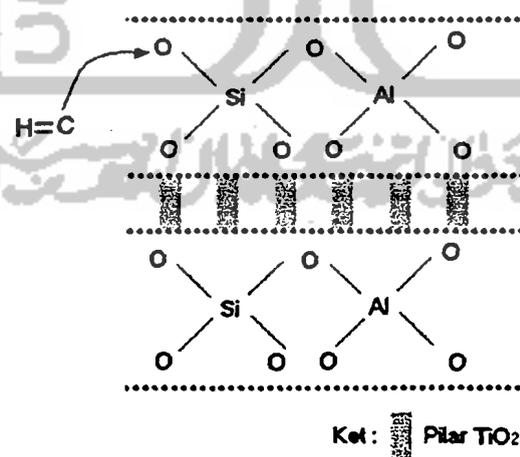
dan membentuk rongga yang banyak. Terbukti bahwa pada adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 15% dengan suhu pemanasan $400\text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan tingkat removal emisi gas HC yang tinggi.

Tabel 4.3. Efisiensi penurunan kadar emisi gas HC

| % TiO_2 | suhu $200\text{ }^\circ\text{C}$ | suhu $300\text{ }^\circ\text{C}$ | suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$ |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0 | 12.18% | 29.95% | 24.88% |
| 5 | 39.09% | 43.16% | 42.13% |
| 10 | 45.68% | 43.66% | 43.16% |
| 15 | 43.16% | 46.70% | 54.32% |

Sumber: Data Primer 2005

Terjadinya penurunan konsentrasi HC dalam gas buang disebabkan karena tertangkapnya partikel oleh media zeolit yang mempunyai sifat sebagai katalis, sifat katalitis zeolit disebabkan uni kation pada atom Al zeolit yang dapat dipertukarkan dengan ion H dan aktif sebagai katalisis reaksi. Dibawah ini dapat dilihat gambar terjadinya ikatan antara partikel, HC dengan adsorben zeolit terpillarisasi TiO_2 .



Gambar. 4.8. Pengikatan HC terhadap Zeolit terpillar TiO_2

Dalam melakukan analisa untuk emisi gas berupa HC, terdapat nilai pengukuran yang tidak sesuai dengan nilai pengulangan lainnya yaitu pada sampel 1 kadar TiO_2 0% dengan suhu pemanasan $200\text{ }^\circ\text{C}$, dapat dilihat pada Tabel 4.1 bahwa pada sampel pengulangan 1 nilai yang didapat adalah 91 ppm sedangkan nilai sampel pengulangan 2 adalah 37 ppm dan nilai sampel pengulangan 3 adalah 45 ppm, hal ini disebabkan karena pada pengambilan sampel terjadi kesalahan atau *human error*, kemungkinan kesalahan tersebut terletak pada pemasangan adsorben dan knalpot reaktor yang tidak pas saat dilakukan analisa..

Untuk removal penurunan kadar emisi gas buang SO_x oleh adsorben media zeolit terpilarisasi TiO_2 lebih tinggi daripada removal penurunan HC, efisiensi removal SO_x mencapai 70% sampai 100%. Removal penurunan SO_x yang mencapai 100% terletak pada suhu pemanasan $300\text{ }^\circ\text{C}$ dengan kadar TiO_2 5% dan pada suhu pemanasan $200\text{ }^\circ\text{C}$ dengan kadar TiO_2 10%. Penurunan kadar SO_x yang tinggi mencapai 100% dapat terjadi akibat beberapa faktor, diantaranya adalah *human error* pada saat pengambilan sampel atau saat pembacaan analisa, dan salah satu faktor lain yang mengakitkannya adalah karena SO_x mudah bereaksi dengan air, sulfur yang keluar bereaksi dengan air hasil proses pembakaran bahan bakar yang menempel pada knalpot reaktor atau pada selang penyerap gas analisis, sehingga gas sulfur yang masuk alat analisis sangat kecil atau mungkin habis terserap oleh air selain terserap oleh media

adsorben. Disamping itu kandungan sulfur pada bahan bakar bensin sangat kecil sehingga penyerapan oleh media adsorben bisa sangat besar.

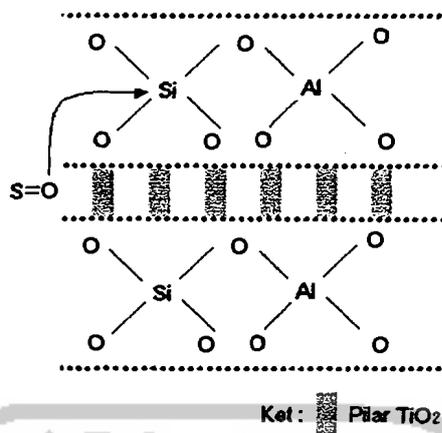
Semakin tinggi suhu pemanasan maka removal penurunan untuk SO_x semakin kecil, selain terjadi penyerapan karena adanya gaya tarik menarik antar molekul, hal ini disebabkan pula karena adsorben zeolit pada suhu pemanasan rendah kadar air yang terdapat pada zeolit masih tinggi, sehingga SO_x yang mudah bereaksi dengan air akan bereaksi dengan air yang masih terdapat pada media adsorben zeolit tersebut, maka penurunan emisi gas SO_x dengan adsorben pada suhu pemanasan rendah akan semakin tinggi. Hal ini terlihat pada adsorben terpillarisasi TiO_2 dengan suhu pemanasan 400°C , rata-rata removalnya lebih kecil dibandingkan dengan suhu pemanasan 200°C dan 300°C .

Tabel 4.4. Efisiensi penurunan kadar emisi gas SO_x

| % TiO_2 | suhu 200°C | suhu 300°C | suhu 400°C |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 | 65.10% | 65.49% | 52.94% |
| 5 | 95.69% | 100.00% | 98.82% |
| 10 | 100.00% | 97.25% | 85.10% |
| 15 | 89.80% | 87.84% | 72.16% |

Sumber: Data Primer 2005

Sama seperti pada penurunan HC, reaksi pengikatan SO_x terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar molekul atau disebut juga gaya *Van der Walls*, unsur oksigen yang bersifat negatif akan berikatan dengan unsur Si yang terdapat dalam zeolit, dan sebaliknya unsur S akan diikat oleh unsur O yang terdapat dalam zeolit.



Gambar. 4.9. Pengikatan SO terhadap Zeolit terpiar TiO₂

Hasil analisis emisi SO_x dan HC terhadap variasi suhu pemanasan adsorben terlihat pada pemanasan suhu 300 °C bersifat stabil. Untuk SO_x dapat dilihat pada Tabel 4.4 bahwa untuk adsorben dengan suhu pemanasan 300 °C rata-rata efisiensi penurunan kadar emisi lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben 200 °C dan 400 °C, hanya pada penambahan konsentrasi TiO₂ 10% dan 15% suhu pemanasan 300 °C efisiensinya lebih kecil dibandingkan dengan suhu 200 °C, akan tetapi efisiensinya lebih besar dibandingkan dengan suhu 400 °C. Untuk HC (dapat dilihat pada Tabel 4.3), sama seperti halnya dengan SO_x bahwa untuk adsorben dengan suhu pemanasan 300 °C rata-rata efisiensi penurunan kadar emisi lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben 200 °C dan 400 °C, hanya pada penambahan konsentrasi TiO₂ 10% dan 15% suhu pemanasan 300 °C efisiensinya lebih kecil dibandingkan dengan suhu 200 °C, akan tetapi efisiensinya lebih besar dibandingkan dengan suhu 400 °C.

Untuk hasil analisa kadar emisi hidrokarbon, efisiensi penurunannya tidak sebesar efisiensi penurunan kadar emisi SO_x . Hal ini bisa disebabkan karena adsorpsi gas oleh zat padat bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap gas dalam jumlah banyak, tetapi tidak banyak menyerap gas-gas tertentu. Juga bisa disebabkan faktor lain diluar penyerapan oleh adsorben, seperti faktor air yang terdapat pada reaktor knalpot dan selang alat analisa hasil dari proses pembakaran yang dapat bereaksi dengan gas SO_x .

Perbedaan penambahan kadar TiO_2 pada adsorben zeolit tidak terlalu berpengaruh besar pada penurunan kadar HC dan SO_x , karena perbedaan efisiensi removal diantara variasi tidak terlalu jauh, hal ini dikarenakan TiO_2 berfungsi sebagai katalis dalam mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor dan juga berfungsi sebagai pemilar.

Dilihat dari data hasil analisa kadar emisi SO_x yang terbaca sangat kecil, hasil analisa kadar emisi SO_x dibawah nilai 2.55 ppm, hal ini dikarenakan kadar emisi gas SO_x yang keluar dari sepeda motor sangat kecil. Menurut Wardhana (1994) sepeda motor sebagai sumber pencemar hanya mengeluarkan 0.3 % bagian dari 100% total bagian sumber pencemar SO_x . Untuk hasil analisa emisi HC yang terbaca cukup besar yaitu 65,67 ppm, sedangkan baku mutu emisi HC sesuai dengan peraturan Gubernur DIY No. 167 Tahun 2003 yaitu 2.400 ppm untuk kendaraan bermotor roda dua 4 tak.

Analisa reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor oleh media adsorben zeolit terpilarisasi TiO_2 dengan menggunakan gaya sentrifugal, secara keseluruhan dilakukan penelitian reduksi 6 parameter penting emisi gas buang kendaraan bermotor yaitu CO, HC, SO_x , NO_x , Pb, dan Partikel. Untuk penelitian reduksi emisi gas kendaraan bermotor dengan parameter NO_x dan Pb dilakukan oleh Aldy H.K (00513023) dan untuk parameter CO dan Partikel dilakukan oleh Gatot P.A. (99513032). Secara keseluruhan nilai optimal reduksi emisi gas kendaraan bermotor roda dua 4 tak dengan parameter CO, HC, SO_x , NO_x , Pb dan Partikel oleh adsorben zeolit terpilarisasi TiO_2 dengan menggunakan gaya sentrifugal terletak pada suhu pemanasan $300\text{ }^\circ\text{C}$ dengan 10% TiO_2 .

