

UPAYA PENGURANGAN POLUTAN DARI MESIN S.I. DENGAN MEMANFAATKAN ZEOLIT

Yuniarto Agus Winoko¹, Bambang Irawan², Bambang Sulistiyono³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Program Studi, Politeknik Negeri Malang
Email: dhimazyuni@gmail.com¹, bair9@yahoo.co.id², Bambangsulistiyono58@yahoo.com³

ABSTRACT

Zeolites including absorbent types that can absorb exhaust emissions of combustion are not stoichiometri, through the activation process consists of physical and chemical processes. Zeolite powder which has been active subsequently compacted and placed in the vehicle exhaust. The purpose of the research to determine how much change the optimum emissions, minimum and average of carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) are mounted in a standard exhaust from extensive contacts zeolite catalyst 1300, 1760, 2260cm². In addition, to determine how large the percentage change in the optimum power, minimum and average of 1486cc engine when installed catalyst with extensive contacts with the standards. How large is the current AFR optimum and minimum reduction CO, HC, and the power generated.

Test method for the activation of the catalyst using the BET and testing of power, torque, emissions of CO and HC engine valve opening fully to start the engine rev up to 4000rpm stationary. Large volumes of fuel 100ml, with a range of changes in the engine rotation 500rpm for each test.

The results showed a large reduction of 45.54 optimum.%, Minimum 44.00.% And the average CO at 44.97.% While the HC reduction of 31.44%, minimum, optimum average of 33.33% and 32.44% to the 3000 standard round for CO and HC 2500 for wide when contact 1760cm². 9.31% decline optimum power, minimum of 6.83% and an average of 7.86% at 14.78 AFR and 3000rpm.

Keywords: carbon monoxide, hydrocarbon, power

1. PENDAHULUAN

Jumlah kendaraan beroperasi setiap tahun bertambah, sehingga menimbulkan emisi gas buang yang tinggi. Rendahnya kesadaran dalam melakukan perawatan mesin secara berkala oleh pemilik, dan penjadualan perawatan tidak terencana yang mengakibatkan proses pembakaran tidak sempurna, daya turun, pemakaian bahan bakar menjadi naik. Perbandingan udara dan bahan bakar yang tidak sesuai mengakibatkan emisi gas buang yang bersifat toksin menjadi tinggi. Upaya mengurangi emisi tersebut telah diatur oleh PP NO 5 tahun 2006.

Alternatif pengurangan gas buang yang paling mudah dilakukan melalui perbaikan pada sistim setelah proses pembakaran berlangsung. Kualitas gas buang dapat diperbaiki dengan menggunakan katalitik konverter, di mana bagian dalam menggunakan katalis dari logam yang mahal harganya, sulit di dapat dan tidak dapat digunakan secara berulang ulang. Penggunaan katalitik konverter jenis *three way converter* menggunakan katalis zeolit di dalamnya, yang berfungsi mengubah gas CO dan HC menjadi karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O). Agar proses konversi simultan maka zeolit harus diaktivasi, tujuannya agar

kemampuan adsorbsinya optimum.

Peneliti terdahulu tentang zeolit sebagai katalis untuk mereduksi gas buang dari mesin S.I diantaranya, (1). Muhaji. 2014. Menggunakan mesin empat langkah multi silinder. Menghasilkan zeolit alam yang disangrah mangan dapat menurunkan HC sebesar 58,46% pada temperatur 598°C. Pada $\lambda=1,025$ sedang CO naik sebesar 17,88% terhadap standar. (2). Ronaldo Rici. 2008. Menggunakan mesin empat langkah empat silinder, di mana katalis berukuran mesh 30, masa 80gram zeolit dan 20gram chitosan terjadi penurunan CO sebesar 2,92, (3). Winoko Yuniarto A.W. 2010. Menggunakan mesin empat langkah empat silinder dengan zeolit alam sebagai katalis motor bensin. Hasil menunjukkan HC turun sebesar 13,58% dan CO sebesar 15,77% terhadap standar. (4). Hasibuan A.R. 2012. Menggunakan zeolit alam dengan loading 20% dapat mereduksi NO₂ sebesar 45 – 49% terhadap awal.

Tujuan penelitian mengetahui berapa besar perubahan emisi optimum, minimum dan rerata dari karbomonoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) yang terpasang di knalpot standar dari luas kontak katalis zeolit 1300, 1760, 2260cm². Berapa besar prosentase perubahan daya optimum, minimum dan rerata dari mesin 1486cc saat terpasang katalis dengan luas kontak tersebut terhadap standar. Berapa besar afr saat penurunan optimum dan minimum CO, HC, dan daya yang dihasilkan saat rentang putaran mesin setiap 500rpm mulai putaran stasioner sampai 4000rpm.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perilaku Gas Buang

Kondisi proses pembakaran dalam kondisi nyata berbeda dengan teoritis, di mana secara teori perbandingan udara dan bahan bakar diasumsikan 1:14,7 sehingga hasil proses pembakaran adalah CO₂, N₂ dan H₂O. Pada kondisi nyata gas buang hasil pembakaran tergantung pada model atau cara mengendarai kendaraan, kondisi ini meliputi medan atau jalan, umur mesin, jenis bahan bakar, campuran udara terhadap bahan bakar, perubahan temperatur mesin baik yang kontinyu maupun mendadak. Tentunya kondisi tersebut di atas yang paling berpengaruh adalah faktor perbandingan udara dan bahan bakar. Akibat perbandingan udara terhadap bahan bakar yang tidak sesuai tentunya akan menyebabkan terbentuk emisi gas buang yang bersifat toksin. Toksin tersebut berupa polutan primer maupun sekunder, dalam bentuk senyawa oksida (NO_x), gas CO, dan HC. Gas buang yang berupa toksin yang paling berbahaya adalah CO, di mana terbentuknya akibat proses pembakaran yang tidak merata atau api belum dapat menjangkau seluruh ruang bakar pada mesin. Kondisi ini atau temperatur yang tidak merata menyebabkan temperatur di sekeliling

silinder rendah, api tidak dapat mencapai daerah di dalam silinder yang disebut *quenching*. Akibat lainnya adalah perbandingan udara dan bahan bakar yang tidak sesuai, sehingga terjadi pembakaran tidak sempurna. Jika terjadi campuran kurus maka akan terbentuk gas CO.

Terbentuknya HC pada motor bensin akibat adanya bahan bakar yang tidak terbakar semuanya, selain terjadinya perubahan temperatur yang mendadak dari karburator maupun dari tangki kendaraan. Penyebab lain adalah api pembakaran tidak dapat menjangkau daerah yang jauh, utamanya pada daerah yang dekat dinding silinder dan juga akibat terjadinya overlap antara katub masuk dan buang. HC juga terbentuk akibat campuran gemuk, kondisi ini biasanya terjadi pada mesin dalam kondisi dingin dan saat itu terjadi pembakaran tidak sempurna akibat waktu proses pembakaran yang singkat.

B. Katalitik konverter (CC) dan Katalis.

Polutan yang keluar dari mesin S.I adalah hasil dari proses pembakaran tidak sempurna mengandung toksin, sehingga harus dinetralkan melalui proses oksidasi untuk CO dan HC serta dan reduksi (NO_x) dengan menggunakan katalitik konverter. Terdapat dua golongan CC yaitu *single bed* (misal: *oxidation catalyst* (OC)), pada sistim ini akan terbentuk CO_2 dan H_2O sebagai hasil reaksi dan CO, HC dengan O_2 . *Double bed* (misal: *three-way catalyst* (TWC) dan *three-way catalyst* dan *axidation catalyst* (TWC-OC), hasil berupa gas nitrogen (N_2), air (H_2O) dan karbon diokasida (CO_2) yang merupakan hasil dari oksidasi CO, HC dan mereduksi NO_x . Di dalam CC katalis berperan dalam proses oksidasi dan reduksi. Pada suhu tertentu zat ini (katalis) dapat meningkatkan laju reaksi kimia tanpa mengalami perubahan tanpa terlibat di dalam reaksi secara permanen tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi dan komposisi. Kondisi ini tergantung kemampuan mengkonversi reaktan menjadi produk, selain itu tergantung pada kemampuan katalis untuk mempercepat satu atau lebih reaksi, sehingga produk samping dengan hasil seminimal mungkin, dan juga tergantung kemudahan diregenasi dengan mengembalikan aktivitas dan selektivitas seperti kondisi semula.

Adsorpsi adalah proses penyerapan pada permukaan zat padat terhadap gas atau zat cair. (Hasibuan Akbar. R. 2012), Untuk gas aliran jenis turbulen daya adsorpsinya akan lebih besar jika dibandingkan aliran laminair (Said M, dkk. 2008). Hasil proses adsorpsi akan melemahkan ikatan antar atom atau ikatan antar molekul, karena energi diberikan pada permukaan katalis. Semakin kurang jumlah ikatan atom yang kuat, maka lebih mudah menarik atom-atom yang lain sehingga reaksi menjadi cepat. Jadi proses adsorpsi terjadi di permukaan tergantung pada luas bidang kontak, ukuran butiran, dan proses aktivasi.

C. Zeolit

Zeolit adalah batuan mineral yang terdiri kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Pada kerangka zeolit, atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh kation yang bersifat positif sehingga mudah dipertukarkan. Kondisi ini akan berpengaruh dalam proses adsorpsi dan sifat-sifat thermal zeolit (Ozkan dan Ulku, 2008). Selain itu kemampuan adsorpsi zeolit dipengaruhi rasio Si terhadap Al, pori-pori, luas kontak, distribusi dimensi pori dan bentuknya.

Beberapa sifat zeolit diantaranya, katalis kondisi ini akibat terjadinya proses difusi molekul antar kristalnya, berpori sehingga luas kontaknya luas. Adsorpsi terjadi jika zeolit dipanaskan antara 300-400°C maka dapat mengeluarkan air yang terdapat di dalamnya, sehingga dapat menyerap gas atau cairan dan dapat memisahkan molekul. Zeolit dapat membebaskan air yang terdapat dalam rongga permukaan, sehingga menyebabkan medan listrik meluas dalam rongga utama. Keefektifan berinteraksi dengan molekul ini yang akan diadsorpsi. Sifat penukar Ion berfungsi menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion akan bergerak bebas sehingga dapat melakukan pertukaran ion tergantung ukuran dan muatan.

Terdapat 2 macam proses, yaitu adsorpsi fisik dan kimia. Adsorpsi fisik adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya proses perpindahan masa antara gas dan larutan pengadsorpsi, dengan menggunakan gaya *van der waals*. Pada adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga membentuk lapisan jamak (*multilayers*) pada permukaan adsorben. Sedangkan adsorpsi kimia akibat gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan reaksi kimia, Penyerapan terjadi akibat proses perpindahan massa antara gas dengan larutan pengadsorpsi yang disertai dengan reaksi kimia.

D. Daya dan Torsi

Parameter yang berpengaruh terhadap kinerja mesin S.I, antara lain :

Torsi (T), adalah hasil kali panjang lengan torsi dengan beban yang ditunjukkan oleh dinamometer (Arismunandar, 1994):

$$T=(716,2, Ne/n) \quad (1)$$

di mana :

T = Momen torsi dihasilkan (kg m)

Ne = Daya efektif (hp)

n = Putaran dinamo meter (rpm)

Daya merupakan kerja yang dihasilkan oleh suatu sistem untuk setiap satu satuan waktu. Daya poros diperoleh dari pengukuran, dihitung dalam watt (Nm/detik) dan besarnya daya poros

efektif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Arismunandar, W. 1988),

$$N_e = (2\pi.n.T)/60000 \quad (2)$$

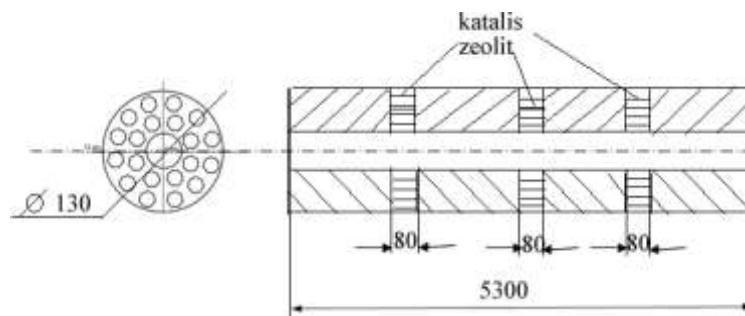
T = Momen torsi (N.m)

Ne = Daya efektif (kW)

n = Putaran dinamo meter (rpm)

3. METODE PENELITIAN

Metoda yang digunakan eksperimen laboratory, untuk katalis melalui proses mekanik (penumbukan dan pengayakan) zeolit alam menjadi serbuk dengan ukuran mesh 200. Selanjutnya dilakukan proses aktivasi dalam suasana asam dan diaduk, yang selanjutnya dikeringkan dalam oven dan dilakukan kalsinasi pada temperatur tertentu. Setelah selesai dilakukan proses mekanik untuk dibentuk kemasan.



Gambar 1. Penampang kemasan zeolit

Pengujian daya adsorpsi dan kinerja mesin dilakukan dengan metoda bukaan katub penuh, dengan membanding kondisi menggunakan knalpot standar terhadap kondisi knalpot berisi katalis dengan luas permukaan 1300, 1760, 2260cm² yang disebut dengan 1K, 2K dan 3K. Pengujian daya dan torsi menggunakan bukaan katub penuh, di mana sebelum pengujian dilakukan pemanaskan mesin selama 5 menit, setelah itu mengatur putaran mesin mulai 4000rpm sampai dengan 750rpm, dengan rentang setiap 500rpm. Data hasil uji adalah emisi CO, HC, temperatur operasi katalis, putaran, daya mesin, waktu konsumsi bahan bakar tiap 100ml.

Alat uji, mesin 1486cc, 4 silinder *in line*, Daya maks 46 Kw (61,70 Hp)/5000rpm, momen maks 111Nm atau 11,32 Kgm/2800rpm perbandingan kompresi 9,3. (Sumber Anonim, 1992). Alat ukur, *dynamometer*, *gas analyzer*, dengan spesifikasi, type EGA 2000, range pengukurannya CO antara 0 sampai dengan 9,99%, CO₂ antara 0 sampai dengan 19,9%, HC antara 0 sampai dengan 9999ppm dan O₂ antara 0 sampai dengan 25.0%. Tabung konsumsi bahan bakar, dengan kapasitas 100ml dengan akurasi 1ml. *tachometer*, dengan spesifikasi range pengukuran 5 sampai dengan 99.999rpm akurasi ±1rpm. *Termo kopel* type

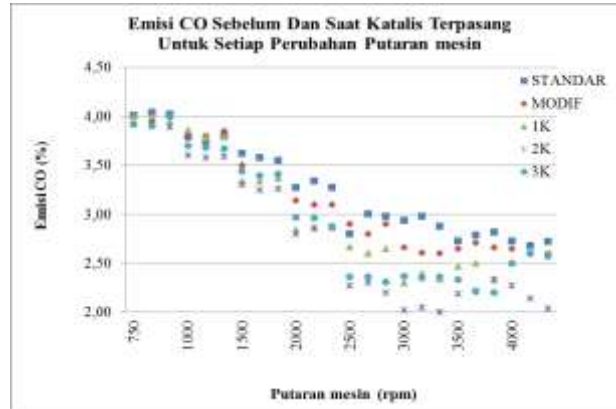
K, jenis sambungan positif untuk chrome) dan negatif untuk Alumel. Manometer, tipe U dengan fluida kerosine (S.G 0,82). Testo data logger, produksi *Testo Ges M.B.H, Jerman, jenis vane*, diameter 25mm, dengan range pengukuran 40m/s. *stop watch* dan *blower*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

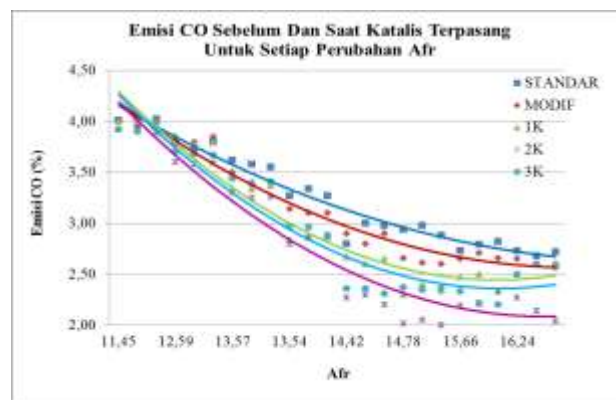
A. Hasil dan Analisa Emisi CO dan HC

Gambar 3 menunjukkan emisi CO yang dihasilkan pada berbagai putaran mesin S.I yang dimulai dari putaran stasioner sampai dengan 4000rpm. Pada 750rpm emisi masih tinggi sebesar 4,04% dan terendah 4,01CO untuk kondisi standar. Diantara 3 jenis luas kontak yang paling signifikan berdasarkan data ada pada 2k, dengan optimum 3,92% dan terendah 3,89%. Terjadi penurunan optimum emisi 3,34%CO dan rerata 2,99% terhadap standar. Pada 1000rpm menggunakan knalpot standar menghasilkan emisi CO optimum 3,80% dan minimum 3,74% dan saat berisi katalis menghasilkan emisi optimum sebesar 3,60%CO dan minimum 3,58%CO, terjadi penurunan emisi rerata 8,57% terhadap standar. Saat mesin berputar 1500rpm dengan menggunakan knalpot standar menghasilkan emisi optimum 3,62%CO dan minimum 3,55%, saat knalpot berisi katalis emisi optimum 3,26% dan minimum 3,20%CO. Terjadi penurunan emisi optimum 10,15%CO dan rerata penurunan sebesar 9,58% terhadap standar. Saat itu temperatur operasi katalis 354°C sampai 348°C, sehingga katalis belum bekerja secara optimum dan menghasilkan kemampuan adsorpsi kecil. Jika ditinjau terhadap perbandingan udara terhadap bahan bakar (afr), karena pada kondisi awal putaran mesin stasioner saat itu serta terjadi campuran gemuk sehingga menghasilkan CO tinggi.

Saat 2000rpm menggunakan knalpot standar menghasilkan emisi optimum 3,34% dan minimum 3,27%CO, saat terpasang knalpot berisi katalis menghasilkan emisi optimum 2,86% dan minimum 2,80%CO. Penurunan emisi 16,79%CO optimum dan terjadi penurunan rerata emisi sebesar 15,97% terhadap standar dan temperatur operasi katalis mencapai 396°C sampai dengan 362°C. Kondisi 2500rpm menghasilkan optimum emisi 3%CO dan minimum 2,8%CO, sedang saat knalpot berisi katalis emisi CO 2,3% optimum dan minimum 2,2%CO, sehingga terjadi penurunan sebesar 35,45%CO atau menghasilkan penurunan rerata sebesar 29,75% terhadap standar, saat itu besar temperatur operasinya 453°C sampai 391°C

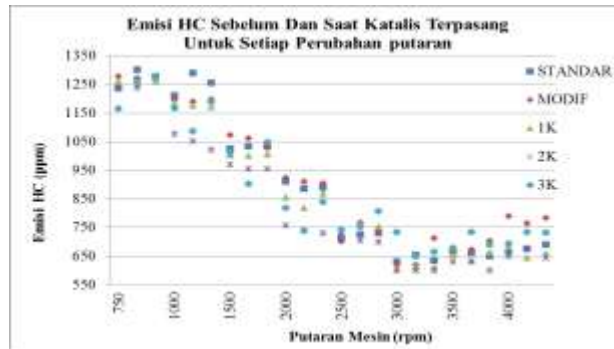


Gambar 2 Emisi CO variasi putaran mesin

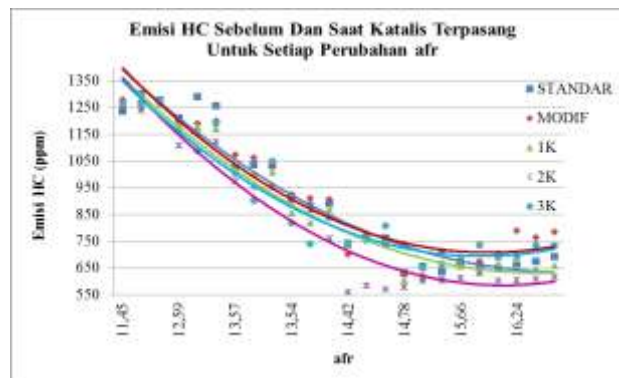


Gambar 3 Hasil emisi CO terhadap afr

Berbeda saat mesin beroperasi pada 3000rpm, dimana menggunakan knalpot standar emisi optimum 2,98%CO dan minimum 2,88%CO, dan saat menggunakan knalpot besisi katalis emisinya optimum 2,05%CO, minimum 2%CO. Terjadi penurunan emisi optimum 45,54%CO atau 44,97% terhadap standar, saat itu kondisi operasi katalis pada temperatur 476 °C sampai dengan 416 °C. Pada 3500rpm dengan knalpot standar emisi optimumnya 52%CO minimum 48%, dengan knalpot berisi katalis emisi optimum 2,34%CO, minimum 2,19%CO. Terjadi penurunan emisi optimum sebesar 25,68%CO atau rerata 23,62% terhadap standar, saat itu kondisi operasi katalis pada temperatur 541 °C sampai dan 456 °C. Pada 4000rpm emisi CO optimum 2,73%, minimum 2,68%CO pada kondisi standar, saat terpasang katalis menghasilkan 2,27% CO dan minimum 2,68%CO, terjadi penurunan emisi 33,33%CO atau penurunan reratanya 26,28% terhadap standar saat itu kondisi operasi katalis pada temperatur 5571 °C sampai dan 469 °C. Pada kondisi mesin 3000rpm sampai dengan 4000rpm terjadi penurunan emisi CO secara signifikan, di mana penurunan emisi terbesar terjadi pada putaran mesin 3000 dengan temperatur operasi katalis 476 °C sampai dengan 416 °C dan afr reratanya 14,78. Peningkatan temperatur mengakibatkan katalis dapat bekerja optimum.



Gambar 4 Hasil emisi HC terhadap mesin



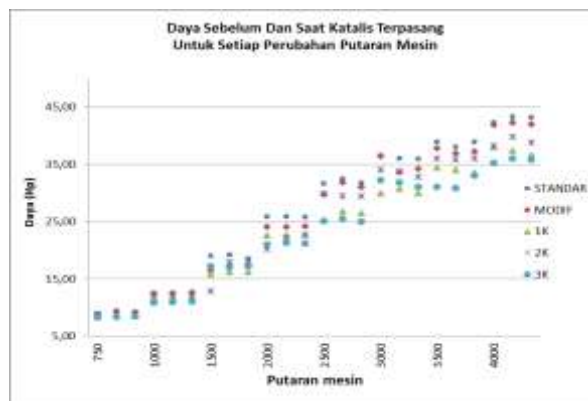
Gambar 5 Hasil emisi HC terhadap afr

Besarnya HC untuk setiap perubahan putaran mesin S.I (gambar 4). menunjukkan emisi HC untuk setiap kondisi perubahan putaran mesin pada S.I yang dimulai dari putaran stasioner sampai dengan 4000rpm. Pada 750rpm menggunakan knalpot standar menghasilkan HC optimum 1300ppm, terendah 1236ppm. Setelah terpasang katalis menunjukkan emisi HC optimum 1280ppm dan minimum 1239ppm terhadap standar, sehingga terjadi penurunan optimum 5,09% atau rerata penurunan sebesar 1,49% HC. Temperatur operasi katalis antara 295°C sampai dengan 289°C dengan afr 11,45. Saat 1000rpm optimum menghasilkan emisi HC optimum 1290 ppm, 1200ppm minimum dengan knalpot standar. Saat ada katalis emisi optimum 1152ppm HC dan minimum 1107ppm, Terjadi pengurangan emisi 11,98% optimum atau rerata 11,087% terhadap standar. Temperatur operasi katalis antara 312°C sampai dengan 298°C dengan afr sebesar 12,89. Pada 1500rpm emisi optimum 1132ppm HC saat menggunakan knalpot standar dan minimum 1024ppm, sedang emisi optimumnya 970ppm terjadi penurunan optimum 8,39% atau rerata 7,42% terhadap standar. Besar temperatur operasi katalis antara 354°C sampai dengan 348°C dengan afr sebesar 13,57. Pada kondisi ini tampak bahwa temperatur gas buang masih rendah serta terjadinya campuran gemuk, sehingga

ini menunjukkan temperatur operasi katalis belum tercapai sebab mesin masih dingin. Saat 2000rpm dengan knalpot standar emisi optimum HC 909ppm dan minimum 880ppm, saat berisi katalis emisi optimum 888ppm, terjadi pengurangan emisi HC 17,13% optimum atau rerata 7,27% terhadap standar. Pada kondisi ini nilai afrnya 13,54.

Pada 2500rpm optimum HC 765ppm minimum 741ppm, sedang saat ada katalis emisi optimum HC 582ppm. Terjadi pengurangan HC 33,33% optimum atau rerata 32,44% terhadap standar, saat itu afrnya 14,42. Pada kondisi mesin 3000 temperatur kerja katalis antara 476°C sampai dengan 416°C dan afr reratanya 14,78.dengan knalpot standar emisi optimum HC 664ppm dan minimum 631ppm, dan saat berisi katalis emisi optimum 600ppm. Terjadi pengurangan emisi HC optimum sebesar 9,36% atau rerata 8,01% terhadap standar. Pada 3500rpm dengan knalpot standar emisi optimumnya 667ppm dan minimum 639ppm, jika menggunakan knalpot berisi katalis emisi optimum 831ppm. Terjadi pengurangan emisi optimum HC 9,17% atau rerata sebesar 7,20% terhadap standar dengan afr 15,66. Pada 4000rpm emisi HC optimum dengan kondisi knalpot standar 674ppm, saat terpasang katalis emisi HC 614ppm, terjadi pengurangan emisi HC 13,68% optimum atau pengurangan reratanya 11,18% terhadap dengan afr 16,24.

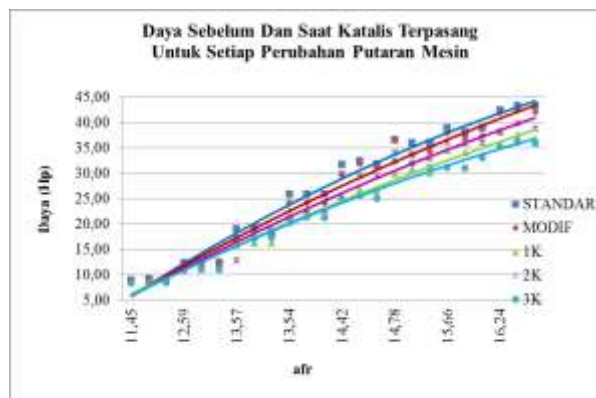
C. Daya dan Torsi



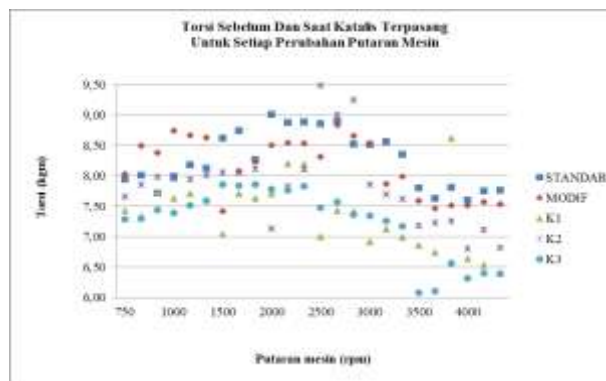
Gambar 6 Variasi putaran terhadap daya

Gambar 6 dan 7 menunjukkan daya yang dihasilkan saat knalpot dalam kondisi standar maupun terpasang katalis zeolit. Daya yang dihasilkan mulai dari putaran stasioner sampai dengan 4000rpm meningkat, pada putaran stasioner terjadi penurunan daya optimum sebesar 7,52% saat afr 11,45, rerata 6,21% untuk luas sebesar 1K. Untuk luas 2k penurunan optimum 2,8% dan rerata 1,95%, sedang untuk luas 3K terjadi penurunan optimum daya 9,69% dan

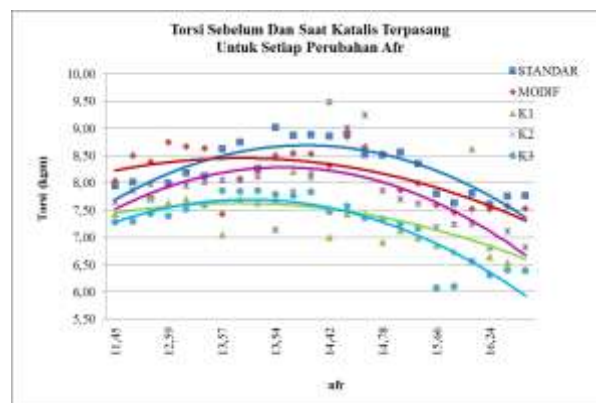
rerata 8,62% terhadap standar. 1000rpm menghasilkan penurunan optimum 7,39% untuk 1K, 3,48% untuk 2K dan 14,47% terhadap standar. Sedangkan penurunan rerata sebesar 6,38%, 2,23% dan 13,70% untuk luas 1K, 2K dan 3K terhadap standar saat itu afrnya 12,59. Penurunan optimum 20,30% pada 1K, 7,04% untuk 2K dan 12,71% untuk 3K, dan penurunan minimum rerata 5,20% untuk 2K, afr 13,57. Untuk 2000rpm penurunan rerata minimum sebesar 7,80% terhadap standar untuk luas 2K saat afr 13,54 dan optimum 22,08% terhadap standar. Pada 2500rpm penurunan rerata minimum pada luas 2K sebesar 8,14% terhadap standar, sedang luas minimum penurunan untuk 1K, 2K dan 3K sebesar 19,86%, 6,18% dan 26,48% terhadap standar ini terjadi saat afr 14,42.



Gambar 7 Variasi afr terhadap daya



Gambar 8 Variasi putaran terhadap torsi



Gambar 9 Variasi afr terhadap torsi

Pada 3000rpm minimum penurunan daya rerata sebesar 8,13 terhadap standar untuk luas 2K yang saat itu afrnya 14,78%. Sedangkan penurunan minimum untuk setiap luasannya sebesar 6,83% terhadap standar untuk luasan yang sama. Terjadi rerata penurunan 13,61%, 7,38% dan 22,10% terhadap standar saat 3500rpm untuk luas 1k, 2K serta 3K. Optimum penurunan pada 3500rpm dan afr 15,66 menghasilkan penurunan minimum 5,92% terjadi untuk luas 2K terhadap standar, ini terjadi saat 3500rpm. Saat 4000rpm ada penurunan daya minimum rerata sebesar 10,37% terhadap standar. Minimum penurunan sebesar 8,15% terhadap standar.

5. KESIMPULAN

Pada ke tiga luas permukaan zeolit dengan luas 1760 atau 2K terjadi penurunan yang signifikan.

1. Besar pengurangan emisi optimum sebesar 45,54.%, minimum 44,00.% dan rerata CO sebesar 44,97.% sedangkan pengurangan HC sebesar 31,44%, minimum, optimum 33,33% dan rerata 32,44% terhadap standar pada putaran 3000 untuk CO dan 2500 untuk HC saat luas kontak 1760cm². Penurunan daya optimum 9,31%, minimum 6,83% serta rerata sebesar 7,86% saat 3000rpm dan afr 14,78.
2. Untuk luas kontak 1300 cm² menghasilkan pengurangan emisi optimum sebesar 31,68.%, minimum 28,29.% dan rerata CO sebesar 28,99.%. Sedang optimum penurunan HC 9%, minimum 4,99% dan rerata 6,55% terhadap standar pada 3000rpm. Pada kondisi ini terjadi penurunan daya 17,24% minimum, optimum 20,01% dan rerata 19,79% terhadap standar. Penurunan daya optimum 16,15%, minimum 11,75% serta rerata sebesar 13,61% saat 3500rpm dan afr 15,66.
3. Untuk luas kontak 2260cm² terjadi pada 2500rpm menghasilkan pengurangan optimum sebesar 29,00.%, minimum 18,24.% dan rerata CO sebesar 24,92.%. Sedang untuk HC terjadi pengurangan optimum 19,78%, minimum 6,08% dan rerata 12,27% terhadap standar pada 2000rpm. Penurunan daya optimum 15,91%, minimum 12,97% serta rerata sebesar 14,01% saat 3000rpm dan afr 14,78.

Sebaiknya dilanjutkan untuk perhitungan kinerja mesin lainnya misalbya konsumsi bahan bakar, tekanan efektif reratanya serta efisiensi termalnya. Perlu juga dilakukan penelitian tentang variasi posisi katalis di dalam knalpot.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ditjen Dikti atas dana yang diberikan melalui program hibah bersaing tahun anggaran 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1992. *Buku Pedoman Kijang KF 40, 50* P.T Toyota –Astra Motor Training Center. Jakarta.
- Aries Munandar W. 1988. *Motor Bakar Torak*. Bandung.
- Bakri M. Purwanto dkk. 2006. *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*. Kementerian Lingkungan Hidup No 05 tahun 2006, Jakarta.
- Hasibuan Akbar R. 2012. *Modifikasi Zeolit Alam dengan TiO_2 untuk mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Skripsi Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Kimia, Depok.
- Muhaji. 2014. *Penerapan Knalpot Ramah Lingkungan Pada kendaraan Ringan Multi Silinder*. Proseding Konvensi Nasional asosiasi Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan Ke 7, ISBN: 978-602-72004-0-1. Universitas pendidikan Indonesia, Bandung
- Said M. Dkk. 2008. *Aktivasi zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Adsorpsi Larutan Iodium*. *Jurnal Teknik Kimia*, No. 4, Vol. 15, Desember 2008
- Yuniarto A.W. 2010. *Uji Kemampuan Absorpsi Zeolit Alam Malang Selatan Terhadap Emsi Gas Buang dan Kinerja Motor Bensin 4-Langkah Multi Silinder*. Proceeding Seminar Program Magister dan Doktor Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.