

**Penggunaan Mangan (Mn) yang dilapiskan pada Base Metal Cu untuk pengurangan
Polutan Gas Buang Motor Otto 4 Langkah *
D.Sungkono, Warju, ****

ABSTRAK

Pengurangan polutan CO, HC dari muffler sepeda motor sampai saat ini belum banyak dilakukan oleh para peneliti, karena asumsinya bahwa penggunaan sepeda motor adalah sedikit. Untuk Indonesia hal tersebut tidak benar karena pemakaian motor roda-2 sangat banyak sedangkan penambahan roda-4 justru tidak banyak. Dengan populasi kendaraan roda-2 tinggi maka menyumbang polutan gas buang CO dan uHC menjadi cukup signifikan. Sementara itu metal yang digunakan untuk pengurangan polutan gas-buang termasuk golongan metal mulia yang artinya mahal, menyebabkan bila dipasang di kendaraan roda-2 harganya menjadi tak terjangkau. Didalam penelitian ini ingin dicari logam alternatif yang tidak termasuk logam mulia. Untuk itu ingin diketahui kemampuan Mangan yang dilapiskan pada base metal Cu, dimana keduanya termasuk logam golongan katalis.

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian true laboratory experiment dimana data kelompok kontrol didapatkan dari kondisi asli (standar). Motor uji adalah Honda Karisma tipe 125D. Subyek penelitian adalah menempatkan katalis (Cu dilapisi Mn) didalam muffler dengan variasi komposisi jumlah gram katalis, dengan posisi trotel Wide Open Trottle (WOT)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi katalis 110 gr Cu + 90 gr Mn merupakan komposisi terbaik dalam menurunkan kadar polutan gas buang dan menaikkan unjuk kerja mesin. Kadar polutan CO turun 96,36% pada A/F 15 dengan bentangan temperatur 273⁰ - 340⁰C. Kadar Polutan HC turun 94,74% pada A/F 14,7 dengan bentangan temperatur 240⁰ - 306⁰C. Yang menarik adalah terjadi pula kenaikan unjuk kerja motor. Torsi naik 38,37% pada putaran 8000-an rpm. Daya naik 38,37% pada putaran 8000-an rpm. Sfc turun 33,45% pada putaran sama. Komposisi katalis 170 gr Cu + 30 gr Mn merupakan komposisi terbaik terhadap SPL. SPL naik 3,7% jika dibandingkan dengan kelompok kontrol (standar).

Kata kunci: *Katalis Mn melapisi base metal Cu.*

* Judul, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, Kampus Universitas Indonesia, Nopember 2006, Jakarta.

** Laboratorium Bahan Bakar & Motor Pembakaran Dalam Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp.(031) 594 6230, Fax. (031) 592 2941

Latar Belakang

Emisi gas buang dari motor kendaraan bermotor terdiri atas gas yang tidak beracun, seperti nitrogen (N_2), karbondioksida (CO_2), dan uap air (H_2O) dan zat beracun, seperti karbo-monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida-oksida nitrogen (NO_x), oksida-oksida sulfur (SO_x), zat timbal (Pb), dan partikulat. Emisi gas buang tersebut merugikan manusia karena menyebabkan berbagai penyakit serta pula merugikan lingkungan di biosfer. Polutan karbomonoksida (CO), apabila bercampur dengan oksigen dan dihirup oleh manusia, maka CO akan bereaksi dengan hemoglobin (Hb) yang mengakibatkan kemampuan darah untuk mentransfer oksigen mulai berkurang. Unburnt hydrocarbon (uHC) dan nitrogen oksida (NO_x) tak kalah berbahayanya, gas uHC dapat menyebabkan iritasi mata, batuk, rasa mengantuk dan bercak kulit (Hardianto, 1998). HC yang beraroma pada konsumsi rendah dapat menyebabkan iritasi pada mata dan hidung dan dapat meracuni urat saraf. Sedangkan gas NO_x dapat mengganggu sistem pernafasan dan merusak paru-paru (Bosch, 1988). Gas NO_x dapat mengganggu pernafasan, merusak jaringan sel dan iritasi pada mata (Solaiman, 1993) dan jika NO_x bergabung dengan air akan membentuk hujan asam dan sangat berbahaya bagi lingkungan (Toyota, 1985).

Secara umum, untuk menanggulangi polutan yang dikeluarkan oleh motor pembakaran dalam (internal combustion engine) ada tiga cara. Pertama, sebelum pembakaran. Kedua, di dalam proses pembakaran, dan ketiga, setelah pembakaran, yaitu perlakuan pada gas produk pembakaran di sistem pembuangan (exhaust gas aftertreatment). Penelitian ini memilih mode ketiga, yakni aplikasi pada perlakuan terhadap gas buang kendaraan bermotor yaitu dengan cara pemasangan catalytic converter pada saluran gas buangnya. Usaha ini mulai dikembangkan oleh peneliti di perguruan tinggi akhir-akhir ini. Kebanyakan para peneliti menggunakan logam-logam mulia sebagai katalis, seperti Platinum (Pt), Rhutenium (Rt), Rhodium (Rh), dan Palladium (Pd). Logam-logam mulia tersebut mempunyai aktifitas spesifik yang tinggi, namun memiliki tingkat volatilitas besar, mudah teroksidasi dan mudah rusak pada suhu 500 - 900°C sehingga dapat mengurangi aktifitas katalis. Pemasangan catalytic converter pada saluran gas buang yang menggunakan bahan logam katalis Pt, Rt, Rh, dan Pd dengan penyangga alumina, silika, dan ceramic (komposisi 1,5 g platinum, 3 g palladium, dan 0,3 g rhodium), saat ini memerlukan biaya yang cukup mahal dalam pembuatannya, sulit didapat dan tidak dapat digunakan di Indonesia yang bahan bakarnya masih mengandung Pb. Jenis katalis ini dapat mengkonversi emisi gas buang (CO, HC, dan NO_x) dengan sangat baik (antara 80% - 99%). Beberapa bahan yang diketahui sebagai katalis oksidasi, yaitu: platinum, plutonium, palladium (nobel metal); tembaga, vanadium, besi, cobalt, nikel, mangan, chromium, dan oksidanya dari logam-logam tersebut (Obert, 1973: 381). Sedangkan beberapa logam yang diketahui sebagai katalis reduksi, yaitu: besi, tembaga, nikel paduan, dan oksida dari bahan-bahan tersebut, dan lainnya (Obert, 1973: 381a).

Dowden (1970) dalam bukunya "Catalytic Hand Book" mengatakan bahwa beberapa logam yang diketahui efektif sebagai katalis oksidasi dan reduksi dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, Cu > Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam-logam tersebut. Tahun 1973, Dwyer meneliti dengan skala laboratorium bahwa copper chromite yang merupakan campuran antara CuO dengan Cr_2O_3 menunjukkan aktifitas catalytic yang lebih baik daripada komposisi tunggalnya dalam mengoksidasi CO. Selain itu, masih ada logam katalis yang lebih murah, mudah dikerjakan, dan mudah didapat untuk dijadikan katalis, antara lain: CuO/zeolit alam, Cu- Al_2O_3 , Cu, Mn, Mg, dan Zeolit Alam. Jenis katalis ini dapat mengkonversi emisi gas buang (CO, HC, dan NO_x) cukup tinggi (antara 16% - 80%). Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan katalis

oksida logam CuO dan adanya injeksi udara didapatkan bahwa catalytic converter mampu mengoksidasi emisi CO sebesar 72,7% dan HC sebesar 61,06% (Krisbayu, 2001). Sedangkan pada penelitian lanjutan dengan penggunaan CuNi sebagai katalis dengan variasi kecepatan pada kendaraan bermotor roda empat, mesin Toyota Kijang tipe 4-K, didapatkan bahwa semakin cepat putaran mesin, makin turun efisiensi oksidasi CO. Sedangkan efisiensi oksidasi HC makin naik dan akan jenuh pada putaran 3000 rpm, kemudian efisiensinya makin turun (Fitriyana, 2002).

Gas buang kendaraan bermotor yang dilepaskan melalui katub buang bertekanan 20 sampai 100 Psi (Husselbee, 1985), 3 sampai 5 Kg/cm² (Toyota-Astra, 1995) akan terkonversi menjadi gas yang ramah lingkungan pada temperatur 600 sampai 800°C. Pada penelitian yang lain, diketahui bahwa reaksi oksidasi CO menjadi CO₂ tidak dapat berlangsung di bawah 500°C tanpa adanya katalis. Apabila reaksi tersebut ditambahkan katalis CuO dan bekerja pada suhu kerja optimum 360°C, gas CO dapat teroksidasi menjadi CO₂ dengan nilai konversi di atas 90% (Herwijnen, 1973).

Di samping itu, dari beberapa penelitian sebelumnya ditunjukkan bahwa pemakaian oksida logam transisi sebagai katalis akan menurunkan kadar polutan yang dikeluarkan oleh motor bensin empat langkah dengan tingkat penurunan yang bervariasi. Di antaranya, penelitian I Komang Astika (2000) yang menggunakan tembaga (Cu) sebagai katalis pada motor bensin empat langkah, I Nyoman Jingga (2000) yang menggunakan magnesium (Mg) sebagai pereduksi polutan di muffler motor bensin empat langkah, Muhaji (2001) yang menggunakan bahan katalis Zeolit Alam dan Mangan (Mn) pada sepeda motor empat langkah, Eko Deddy Setiawan (2001) yang menggunakan zeolit sebagai katalis pada motor bensin 4 langkah, Arif Cahyono (2001) yang menggunakan katalis oksida tembaga dan krom pada saluran gas buang mesin Toyota Kijang tahun 1982, Mulyono (2002) yang menggunakan tembaga (Cu) berlapis nikel (Ni) sebagai katalis pada motor bensin empat langkah, Warju (2003) yang menggunakan katalis kuningan (Cu+Zn) berlapis krom (Cr) pada Mesin Toyota Kijang Tipe 4K, Joko Nugroho (2004) yang menggunakan converter zeolit untuk mereduksi polutan emisi gas buang kendaraan berbahan bakar bensin, dan Muhammad Aris (2005) yang menggunakan tembaga (Cu) murni di exhaust muffler motor bensin 4 langkah.

Penelitian Aris (2005) yang menggunakan Cu di exhaust muffler motor bensin 4 langkah dengan menggunakan desain knalpot straight thru muffler disimpulkan bahwa semakin sedikit pengisian katalis dalam muffler, semakin rendah kadar CO dan HC dalam gas buang sampai suatu batas pengisian tertentu kemudian kadar CO akan naik lagi. Bobot katalis yang paling efektif dalam menurunkan kadar polutan CO dan HC yaitu 200 gr Cu dan 400 gr Cu. Untuk putaran mesin 3000-5000 rpm, katalis Cu dengan bobot 200 gr, paling efektif dalam menurunkan kadar polutan CO. Namun, untuk putaran mesin 5500-8000 rpm, katalis Cu dengan bobot 400 gr yang paling efektif dalam menurunkan kadar polutan CO. Bobot katalis 200 gr Cu dan 400 gr Cu ditunjukkan tingkat penurunan kadar emisi HC yang cenderung sama dan kondisi paling optimal.

Rumusan Masalah

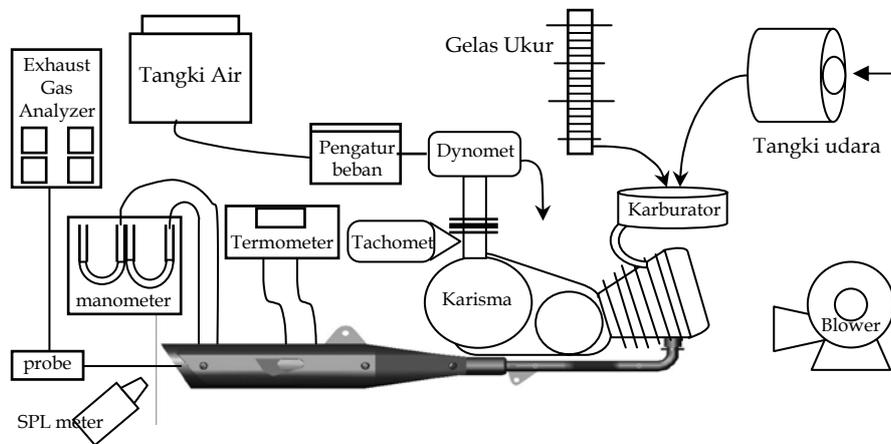
Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Ingin diketahui pengaruh penggunaan katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) terhadap kadar polutan gas buang (CO, HC) motor bensin 4 langkah.
2. Ingin diketahui pengaruh penggunaan katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) terhadap unjuk kerja dan Sound Pressure Level motor bensin 4 langkah yang meliputi:

- a. Torsi (T).
- b. Daya poros (P).
- c. Konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc).
- d. Tekanan efektif rata-rata (bmep).
- e. Efisiensi thermal (η_{th}).

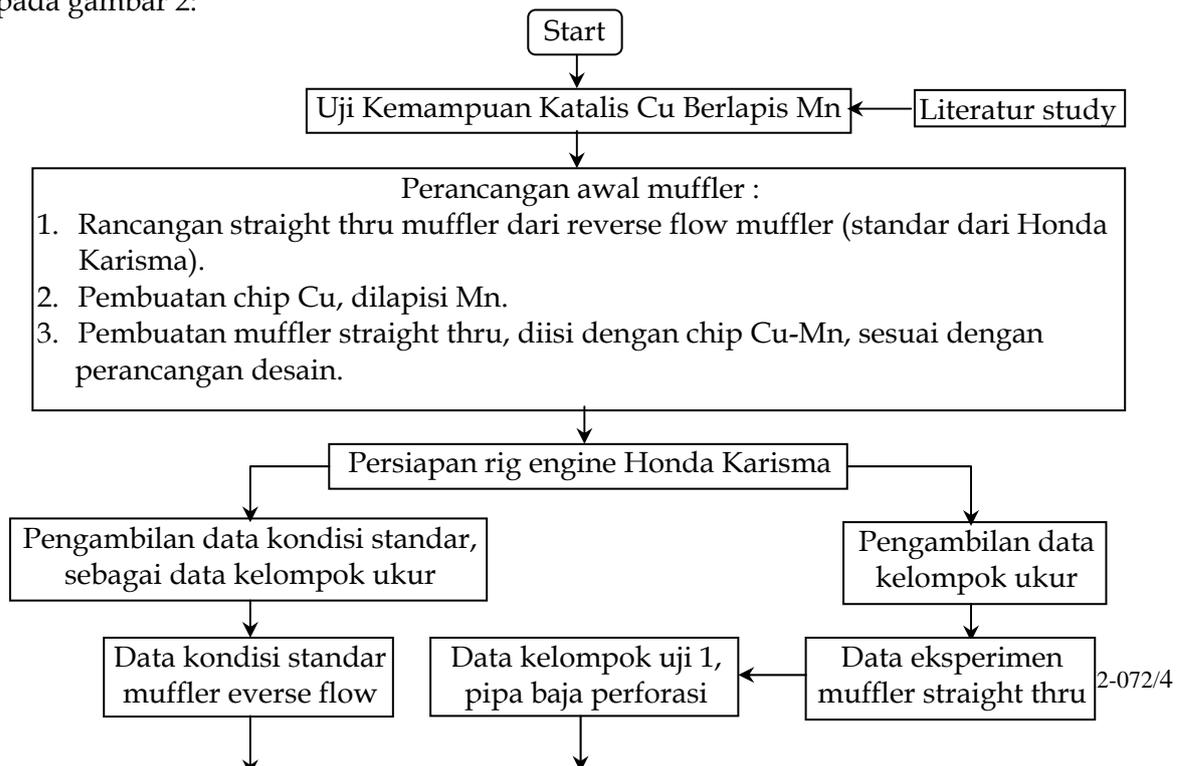
Penyelesaian permasalahan

Permasalahan diselesaikan dengan cara true eksperimental laboratory design, dimana sebagai hasil uji kelompok kontrol, yakni mesin uji tanpa ada modifikasi apapun, dibandingkan dengan hasil uji dari kelompok ukur, yakni dengan pemakaian muffler yang dibuat sesuai dengan perencanaan penelitian dan dilakukan dilaboratorium. Penelitian memakai sistem mesin uji dikopel langsung dengan dinamo-meter air, seperti terlihat pada skema gambar 1.



Gambar 1. Skema alat uji

Sedangkan diagram alir penyelesaian permasalahan dilakukan dengan pola alur tertera pada gambar 2:



Desain knalpot diganti dengan rancangan sistem saluran gas buang langsung (straight thru muffler), seperti pada gambar 4. Kerugian sistem straight thru muffler adalah SPL yang dihasilkan lebih tinggi dari sistem reverse flow, namun hambatan gesekan laluan menjadi kecil sehingga unjuk kerja mesin menjadi meningkat. Tidak ada perubahan letak baffle didalam knalpot uji.

Katalis Metal Aktif

Mangan (Mn) yang digunakan sebagai katalis metal aktif berupa serbuk dilapiskan pada tembaga (Cu) dengan cara disemprot dengan dicampur zat perekat khusus (lem) yang tahan suhu tinggi. Ukuran partikel powder mangan (Mn) yang digunakan adalah 150 μm . Tembaga (Cu) digunakan sebagai logam penyangga, digunakan delapan macam variasi komposisi katalis yang masing-masing variasi memiliki bobot 200 gr, yaitu: 170 gr Cu + 30 gr Mn, 160 gr Cu + 40 gr Mn, 150 gr Cu + 50 gr Mn, 140 gr Cu + 60 gr Mn, 130 gr Cu + 70 gr Mn, 120 gr Cu + 80 gr Mn, 110 gr Cu + 90 gr Mn, dan 100 gr Cu + 100 gr Mn. Perancangan bentuk katalis metal aktif dapat dilihat pada gambar 3.5 a dan b.



(a)



(b)

Gambar 5: Katalis, (a) Cu berbentuk serabut, (b) Cu setelah di pray dengan Mn

Metode Pengujian

Metode pengujian pada kecepatan berubah pada beban penuh (wot = wide open throttle) yang berpedoman pada standard SAE J 1349 DEC 80. Adapun grafik yang akan dibuat adalah grafik emisi gas buang (CO dan HC), unjuk kerja mesin, dan tingkat kebisingan.

Hasil dan Analisis Data

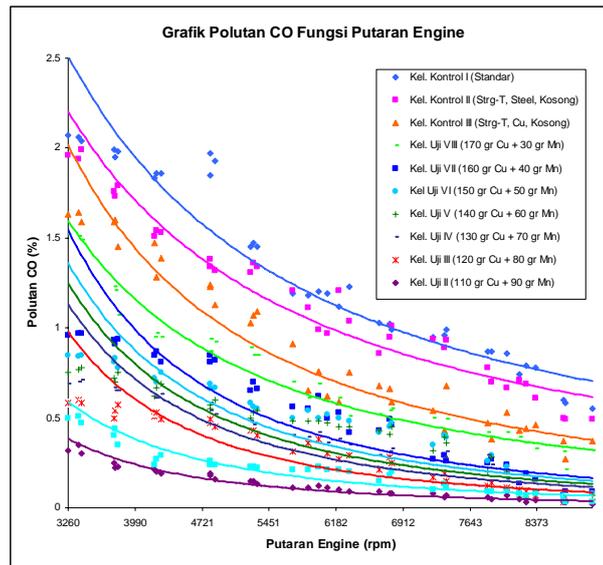
Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) dari asap kendaraan bermotor terjadi yang disebabkan oleh kurangnya jumlah udara dalam campuran yang masuk ke ruang bakar atau bisa juga karena kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. Polutan karbomonoksida tinggi ketika idling dan minimum ketika akselerasi dan pada kecepatan konstan. Penutupan throttle yang mana akan mereduksi suplai oksigen ke ruang bakar adalah penyebab utama timbulnya polutan karbon monoksida, sehingga perlambatan dari kecepatan tinggi akan menghasilkan CO tertinggi pada gas buang kendaraan bermotor.

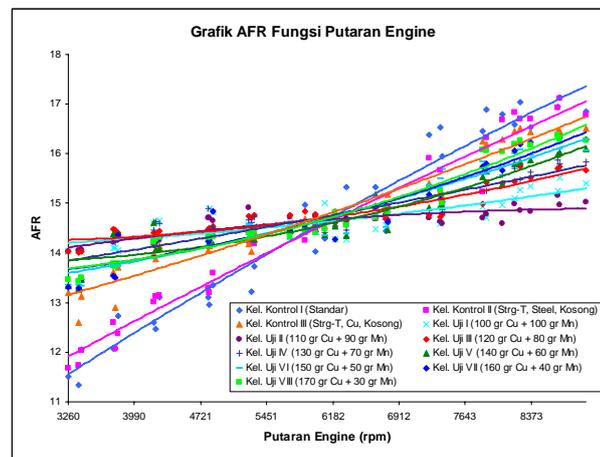
Karbomonoksida dihasilkan selain karena pembakaran yang tidak sempurna, juga sangat ditentukan oleh kualitas campuran, homogenitas dan air-fuel ratio. Semakin bagus kualitas campuran dan homogenitas akan mempermudah oksigen untuk bereaksi dengan karbon. Hasil uji Kemampuan knalpot dengan straight thru pipa baja, knalpot dengan straight thru pipa tembaga, dan knalpot dengan straight thru pipa tembaga yang diisi katalis tembaga berlapis mangan dengan delapan macam variasi dalam penurunan kadar polutan CO ditunjukkan gambar 6 berikut ini. Secara umum, perubahan desain knalpot

standar sistem reverse flow menjadi straight thru dengan menggunakan pipa baja, pipa tembaga, dan pipa tembaga yang ditambahkan katalis di dalamnya dapat menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin.

Pada kelompok uji dengan komposisi 100 gr Cu+100 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 75,24% terjadi pada putaran mesin sekitar 3500 rpm dengan A/F 14,1 atau range temperatur 132-165°C.



Gambar 6: Hubungan antara Polutan CO terhadap Putaran Engine



Gambar 7: Hubungan antara AFR terhadap Putaran Engine

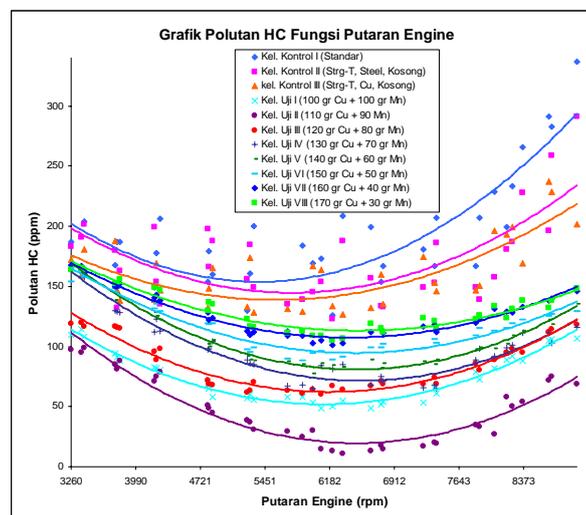
Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 94,83% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm dengan A/F 15,5 atau range temperatur 260 - 295°C, jika dibandingkan dengan kelompok kontrol 1 (standar). Pada kelompok uji dengan komposisi 110 gr Cu+90 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 83,01% terjadi pada putaran mesin sekitar 3500 rpm dengan A/F 14,1 atau range temperatur 144-170°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 96,36% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm dengan A/F 15 atau range

temperatur 273–340°C. Dari hasil pengujian juga ditunjukkan adanya pengurangan bobot katalis di masing-masing ruang knalpot. Pada kelompok uji dengan komposisi 120 gr Cu + 80 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 68,33% terjadi pada putaran mesin sekitar 6000 rpm dengan A/F 14,8 atau range temperatur 230–290°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 95% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm dengan A/F 15,7 atau range temperatur 272–254°C. Pada kelompok uji dengan komposisi 130 gr Cu + 70 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 65% terjadi pada putaran mesin sekitar 6000 rpm dengan A/F 14,5 atau range temperatur 237–315°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 93,10% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm dengan A/F 15,8 atau range temperatur 285–370°C. Pada kelompok uji 5 dengan komposisi 140 gr Cu+60 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 54,55% terjadi pada putaran mesin sekitar 7000 rpm dengan A/F 14,5 atau range temperatur 256–351°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 92,41% terjadi pada putaran sekitar 8500 rpm dengan A/F 15,8 atau range temperatur 280–368°C. Pada kelompok uji 6 dengan komposisi 150 gr Cu + 50 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 52,53% terjadi pada putaran mesin sekitar 7000 rpm dengan A/F 14,8 atau range temperatur 263–360°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 91,14% terjadi pada putaran sekitar 8500 rpm dengan A/F 16,1 atau range temperatur 288–372°C. Pada kelompok uji dengan komposisi 160 gr Cu+40 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 48,33% terjadi pada putaran mesin sekitar 6000 rpm dengan A/F 14,4 atau range temperatur 249–337°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 88,33% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm dengan A/F 16,4 atau range temperatur 296–396°C. Pada kelompok uji 8 dengan komposisi 170 gr Cu + 30 gr Mn, mampu menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin. Penurunan terendah kadar polutan CO sebesar 26,57% terjadi pada putaran mesin sekitar 3500 rpm dengan A/F 13,5 atau range temperatur 180–245°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 63,79% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm dengan A/F 16,3 atau range temperatur 335–499°C. Dari delapan variasi komposisi katalis tembaga berlapis mangan yang diujikan, dihasilkan komposisi terbaik dalam menurunkan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin, yaitu **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Sedangkan katalis 110 gr Cu + 90 gr Mn efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO menjadi CO₂, pada A/F 15 atau range temperatur 273–340°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 96,36% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm. Sedangkan rata-rata penurunan kadar polutan CO pada komposisi ini adalah 91,03%. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada setiap putaran terjadi penurunan kadar polutan CO secara signifikan dengan komposisi katalis 110 gr Cu + 90 Mn. Pada komposisi ini, didapatkan permukaan katalis yang lebih berpori sehingga didapatkan luas permukaan efektif katalis yang paling optimal yang akhirnya mampu menurunkan kadar polutan CO secara signifikan di setiap putaran mesin. Hal ini sesuai dengan penjelasan bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat lajunya, sehingga kadar produk yang dihasilkan semakin rendah. Tingginya penurunan kadar polutan CO yang dihasilkan mesin, selain disebabkan oleh semakin luasnya permukaan efektif katalis yang bersinggungan langsung dengan gas buang, juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Temperatur yang tinggi (mencapai 340°C) akan menyebabkan turunnya energi aktivasi sehingga proses oksidasi dari CO menjadi CO₂

menjadi lebih cepat tercapai. Akibatnya, pada komposisi ini terjadi reduksi kadar polutan CO yang cukup signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan variasi komposisi katalis lainnya. Reduksi kadar polutan CO pada komposisi katalis 110 gr Cu + 90 gr Mn dipengaruhi oleh besarnya bobot mangan yang dilapiskan pada tembaga (Cu). Hal ini disebabkan karena Mn difungsikan sebagai katalis metal aktif, sedangkan Cu hanya difungsikan sebagai logam penyangga. Namun, dalam penelitian ini temperatur optimal katalis dicapai pada range temperatur 273–340°C. Di bawah temperatur tersebut, katalis tidak berfungsi optimal dan di atas temperatur itu, mangan yang dilapiskan pada tembaga mulai terbakar sehingga mengurangi unjuk kerja katalis.

Kadar Polutan Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon yang tidak terbakar adalah akibat langsung dari ketidaksempurnaan pembakaran, yang erat kaitannya dengan berbagai macam desain engine dan variabel operasi. Dua hal terpenting dalam desain variabel adalah desain dari sistem induksi dan desain dari ruang bakar. Sedangkan variabel operasi yang utama adalah air-fuel ratio, kecepatan dan beban. Sistem induksi dan perawatan dari engine sangat berpengaruh pada air-fuel ratio dari engine itu sendiri, yang berarti juga berakibat langsung terhadap kadar polutan hidrokarbon dan karbon monoksida yang dihasilkan. Dengan desain sistem induksi yang tepat kita bisa meningkatkan operasi air-fuel ratio dan kualitas campuran yang optimum (untuk tiap tingkat kecepatan dan beban yang berbeda). Sedangkan perawatan engine seperti tingkat keausan ring piston, pelumasan engine dan deposit seringkali berpengaruh pada air-fuel ratio campuran yang masuk ke ruang bakar atau juga pembakaran di dalam ruang bakar. Selama proses kompresi dan pembakaran, kenaikan tekanan pada ruang bakar akan memaksa sejumlah gas untuk masuk ke celah-celah kecil dalam ruang bakar (misalnya, celah antara piston dan liner). Gas-gas ini, yang akan keluar pada saat langkah ekspansi dan langkah buang, merupakan salah satu sumber polutan hidrokarbon pada gas buang kendaraan. Sumber lainnya adalah adanya lapisan oli pelumas yang menempel pada dinding liner, piston dan mungkin juga kepala silinder. Lapisan oli ini bisa menyerap dan kemudian melepaskannya kembali komponen hidrokarbon dalam campuran (sebelum dan sesudah pembakaran) sehingga memungkinkan sejumlah bahan bakar lolos ketika terjadinya pembakaran. Sumber HC seperti yang disebutkan di atas akan ikut keluar lewat gas buang ke udara bebas, akan memperbesar kadar HC yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Dari penjelasan di atas menunjukkan bahwa sumber HC lebih kompleks dan bukan hanya disebabkan oleh kurangnya oksigen untuk pembakaran. Kemampuan knalpot dengan straight thru pipa baja, knalpot dengan straight thru pipa tembaga, dan knalpot dengan straight thru pipa tembaga yang diisi katalis tembaga berlapis mangan dengan delapan macam variasi, dalam menurunkan kadar polutan HC dapat dilihat pada gambar 8.

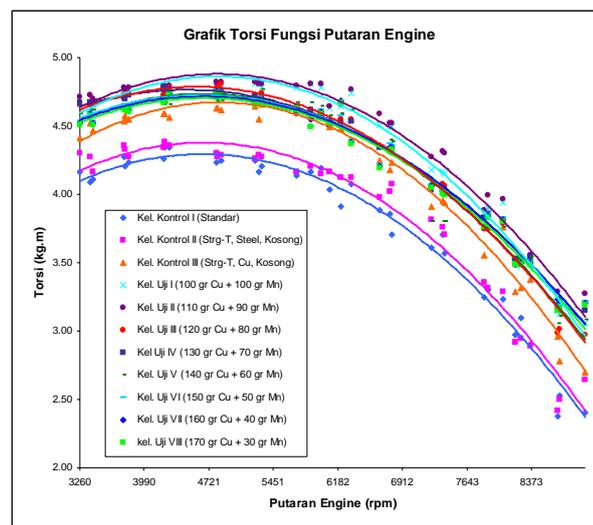


Gambar 8: Hubungan antara Polutan HC terhadap Putaran Engine

Gambar 8 diatas menunjukkan bahwa kadar HC menurun seiring dengan A/F yang makin tinggi. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: misalnya pada putaran sekitar 3500 rpm pada kelompok kontrol 1 dengan A/F 11,3 menjadikan campuran udara dan bahan bakarnya sangat kaya, sehingga proses pembakarannya tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini memungkinkan masih ada sisa bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar bersama gas buang, akibatnya kadar polutan HC dalam emisi gas buangnya menjadi tinggi. Pada range A/F 13,1 sampai dengan 15,3, campuran udara bahan bakar semakin mendekati campuran stoikiometri, sehingga proses pembakarannya berlangsung baik dan temperatur hasil pembakarannya semakin tinggi. Dengan demikian, kadar polutan HC yang keluar bersama gas buang semakin rendah dan grafik HC mulai menurun dengan tajam. Pada range A/F 14,5 sampai dengan 14,7, campuran udara dan bahan bakarnya merupakan campuran stoikiometri, sehingga pembakarannya menjadi sempurna dan temperatur pembakarannya menjadi sangat tinggi. Dengan demikian polutan HC yang dikeluarkan bersama gas buang menjadi kecil. Pada kondisi yang demikian diperoleh kadar polutan HC yang sangat rendah dan grafiknya mulai mendatar.

Unjuk Kerja Mesin : Torsi

Kemampuan knalpot dengan straight thru pipa baja, knalpot dengan straight thru pipa tembaga, dan knalpot dengan straight thru pipa tembaga yang diisi katalis tembaga berlapis Mangan dengan delapan macam variasi, terhadap torsi yang dihasilkan mesin ditunjukkan gambar 9.



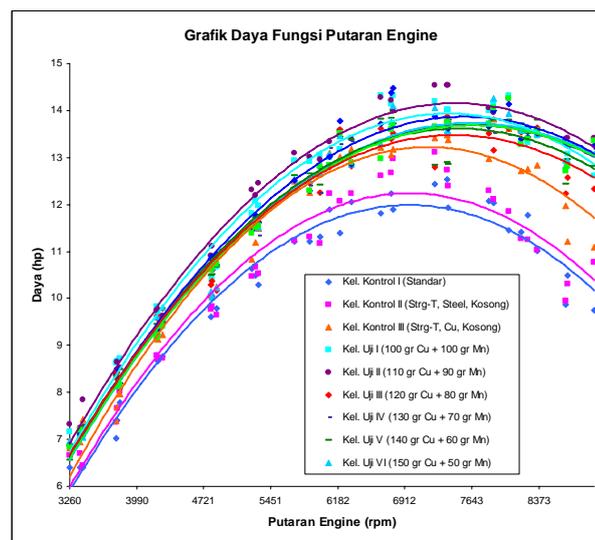
Gambar 9: Hubungan antara Torsi terhadap Putaran Engine

Gambar 9 dapat menjelaskan pada range putaran 3500÷5500 rpm torsi mesin cenderung naik. Hal ini disebabkan karena pada range putaran ini proses pembakarannya

semakin baik, kerugian mekanisnya kecil, dayanya naik dan komponen-komponen mesin kerjanya semakin baik. Kemudian pada putaran 5500÷9000 rpm torsi nya turun dengan tajam. Hal ini disebabkan karena pada range putaran tersebut kerugian mekanis-nya sangat besar, proses pembakarannya semakin kurang baik karena kemampuan pengapiannya sudah mulai menurun dan komponen-komponen kemampuan kerjanya mulai menurun. Pada knalpot dengan straight thru pipa baja, terjadi kenaikan torsi terendah sebesar 0,32% pada putaran sekitar 4500 rpm dengan A/F 13,2. Kenaikan torsi tertinggi sebesar 10,07% terjadi pada putaran sekitar 7000 rpm dengan A/F 14,9. Pada knalpot dengan straight thru pipa tembaga, terjadi kenaikan torsi terendah sebesar 5,10% pada putaran sekitar 4500 rpm dengan A/F 14,1. Kenaikan torsi tertinggi sebesar 24,42% terjadi pada putaran sekitar 9000 rpm dengan A/F 16,5. Selain itu, pada knalpot dengan straight thru pipa baja, juga terjadi penurunan torsi terendah sebesar 0,48% pada putaran sekitar 8500 rpm dengan A/F 16,7. Penurunan torsi tertinggi sebesar 4,91% terjadi pada putaran sekitar 8500 rpm dengan A/F 16,7. Kenaikan torsi pada kelompok kontrol 1 dan 2 disebabkan karena pada semua putaran didapatkan A/F yang cenderung mendekati campuran stoikiometri sehingga pembakaran lebih sempurna daripada kelompok kontrol 1 (standar). Akibatnya torsi cenderung naik. Penurunan torsi pada kelompok kontrol 2 disebabkan oleh terlalu besarnya A/F (16,7) sehingga campuran udara dan bahan bakar cenderung miskin (kekurangan bahan bakar), akibatnya pembakaran terjadi kurang sempurna yang efeknya torsi yang dihasilkan mesin menurun. Namun, secara umum penggunaan straight thru pipa baja dan pipa tembaga mampu menaikkan torsi mesin.

Daya

Kemampuan knalpot dengan straight thru pipa baja, knalpot dengan straight thru pipa tembaga, dan knalpot dengan straight thru pipa tembaga yang diisi katalis tembaga berlapis mangan terhadap daya yang dihasilkan mesin ditunjukkan gambar 10. Secara umum, perubahan desain knalpot standar model reverse flow menjadi straight thru dengan menggunakan pipa baja, pipa tembaga, dan pipa tembaga yang ditambahkan katalis di dalamnya mampu menaikkan daya yang dihasilkan mesin. Hal ini disebabkan dengan penggunaan pipa straight thru tersebut, torsi yang dihasilkan mesin meningkat jika dibandingkan dengan kelompok kontrol 1 (standar).



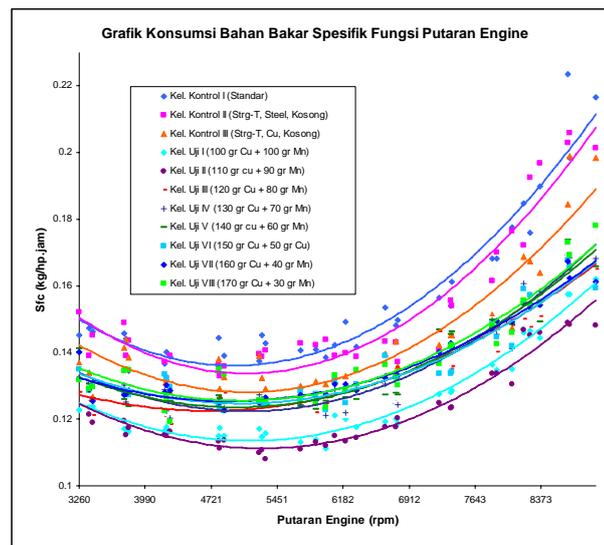
Gambar 10: Hubungan antara Daya terhadap Putaran Engine

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

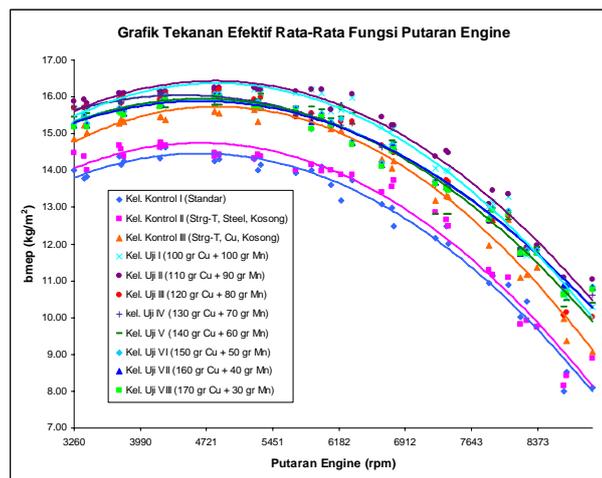
Kemampuan knalpot dengan straight thru pipa baja, knalpot dengan straight thru pipa tembaga, dan knalpot dengan straight thru pipa tembaga yang diisi katalis tembaga berlapis mangan mampu menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc). Hal ini disebabkan dengan penggunaan pipa straight thru tersebut, daya yang dihasilkan mesin meningkat jika dibandingkan dengan kelompok kontrol 1 (standar), ditunjukkan gambar 11.

Tekanan Efektif Rata-Rata

Kemampuan knalpot dengan straight thru pipa baja, knalpot dengan straight thru pipa tembaga, dan knalpot dengan straight thru pipa tembaga yang diisi katalis tembaga berlapis mangan mampu menaikkan tekanan efektif rata-rata (bmep) yang dihasilkan mesin ditunjukkan gambar 12.



Gambar 11: Grafik Hubungan antara Sfc terhadap Putaran Engine



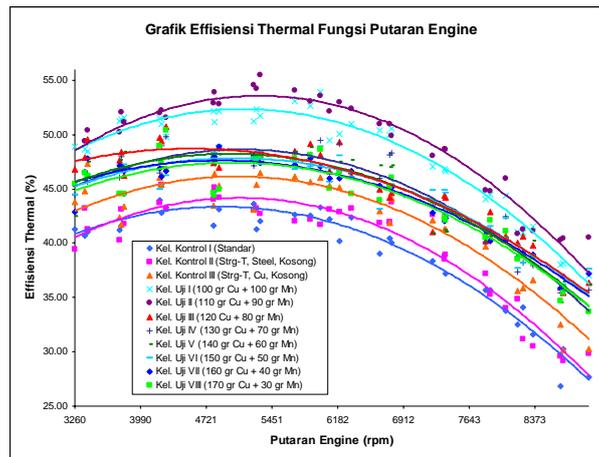
Gambar 12: Hubungan antara Tekanan Efektif Rata-Rata terhadap Putaran Engine

Pada putaran rendah sampai putaran menengah proses pembakaran semakin baik, sehingga torsi dan daya yang dihasilkan menjadi naik, hal ini sebagai akibat tekanan efektif rata-ratanya menjadi naik. Penurunan bmep disebabkan karena pada putaran

menengah sampai tinggi, aliran bahan bakar mulai berkurang (hisapan pistonnya semakin berkurang), tekanan kompresi menurun, gesekannya semakin tinggi, sistem pembakaran dan pembuangannya sudah tidak sempurna sehingga tekanan efektif rata-rata yang dihasilkannya menjadi kecil.

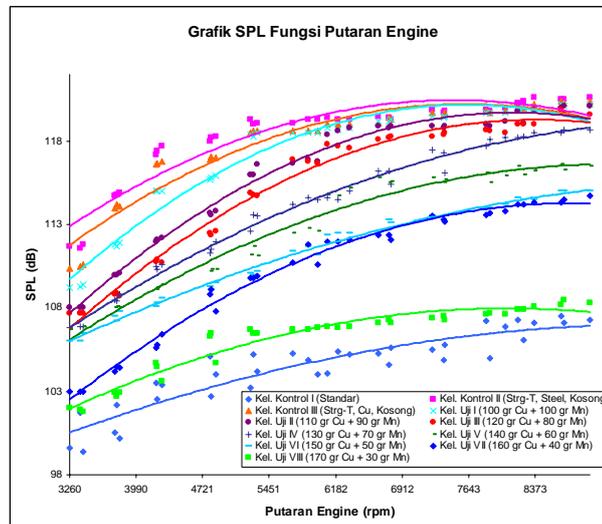
Effisiensi Thermal

Secara umum, perubahan desain knalpot standar dari model reverse flow menjadi straight thru dengan menggunakan pipa baja, pipa tembaga, dan pipa tembaga yang ditambahkan katalis di dalamnya mampu menaikkan efisiensi thermal ditunjukkan gambar 13. Pada putaran 3500 rpm efisiensi thermalnya rendah, kemudian pada range putaran 3500 rpm sampai dengan 5500 rpm, efisiensi thermalnya naik dengan tajam, kare



Gambar 13: Hubungan antara Efisiensi Thermal terhadap Putaran Engine

rena pada range putaran ini sfc-nya semakin berkurang dan proses pembakarannya semakin baik sehingga kalor yang dihasilkan menjadi naik. Pada putaran menengah (5000-5500 rpm), tercapai efisiensi thermal maksimum, karena pada putaran ini sfc-nya rendah dan perbandingan udara dan bahan bakar mendekati stoikiometri, sehingga pembakarannya mendekati sempurna. Dengan demikian kalor yang dihasilkan menjadi tinggi. Pada putaran menengah (5500 rpm) sampai pada putaran tinggi (9000 rpm), efisiensi thermalnya turun dengan tajam, karena pada range putaran ini gesekan komponen-komponen mesin semakin tinggi, kemampuan pengapian mulai menurun, bahan bakarnya tidak dapat terbakar dengan baik sehingga kalor yang dihasilkan menjadi turun.



Gambar 14 : Hubungan antara SPL terhadap Putaran Engine

Tingkat Kebisingan (SPL)

Kemampuan knalpot dengan straight thru pipa baja, knalpot dengan straight thru pipa tembaga, dan knalpot dengan straight thru pipa tembaga yang diisi katalis tembaga berlapis mangan terhadap kenaikan tingkat kebisingan (SPL) ditunjukkan gambar 14. Gambar 14 menunjukkan bahwa semakin besar putaran mesin, SPL yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada putaran rendah (3500 rpm), bahan bakar yang masuk ke dalam silinder sedikit sehingga proses pembakarannya menghasilkan suara yang masih rendah, akibatnya SPL yang dikeluarkan melalui knalpot masih rendah. Tetapi pada range putaran menengah hingga tinggi (9000 rpm), proses pembakaran menjadi sangat cepat, sehingga suara yang ditimbulkan akibat proses pembakaran di dalam ruang bakar semakin tinggi. Dengan demikian SPL yang keluar melalui knalpot semakin tinggi, akibatnya SPL naik dengan tajam.

Kesimpulan

Penggunaan katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) terhadap kadar polutan gas buang motor bensin empat langkah terhadap unjuk kerja mesin, yaitu:

Kadar polutan CO:

- Dari delapan variasi komposisi katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) mampu menurunkan kadar polutan CO di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan kelompok kontrol 1 (standar).
- Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) dalam menurunkan kadar polutan CO adalah **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Katalis 110 gr Cu + 90 gr Mn efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$) pada A/F 15 atau range temperatur 273 - 340°C. Penurunan tertinggi kadar polutan CO sebesar 96,36% terjadi pada putaran mesin sekitar 9000 rpm. Sedangkan rata-rata penurunan kadar polutan CO pada komposisi ini adalah 91,03%.

Kadar polutan HC:

- Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) dalam menurunkan kadar polutan HC adalah **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Katalis 110 gr Cu + 90 gr Mn efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi HC ($2\text{HC} + 1\frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$) pada A/F 14,7 atau range temperatur 240-306°C. Penurunan tertinggi kadar polutan HC sebesar 94,74% terjadi pada putaran mesin sekitar 6500 rpm. Sedangkan rata-rata penurunan kadar polutan HC pada komposisi ini adalah 74,61%.

Torsi :

- Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) dalam menaikkan torsi yang dihasilkan mesin adalah **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Kenaikan tertinggi torsi sebesar 38,37% terjadi pada putaran mesin sekitar 9000 rpm. Sedangkan rata-rata kenaikan torsi pada komposisi katalis ini adalah 17,47%.

Daya :

- Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) dalam menaikkan daya yang dihasilkan mesin adalah **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Kenaikan tertinggi daya sebesar 37,43% terjadi pada putaran mesin sekitar 9000 rpm. Sedangkan rata-rata kenaikan daya pada komposisi katalis ini adalah 17,58%.

Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc):

- a. Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) dalam menurunkan sfc adalah **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Pada komposisi ini mampu menurunkan Sfc tertinggi sebesar 33,45% pada putaran mesin sekitar 9000 rpm. Sedangkan rata-rata penurunan Sfc pada komposisi ini adalah 20,55%.

Tekanan efektif rata-rata (bmep) :

- a. Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) dalam menaikkan tekanan efektif rata-rata (bmep) adalah **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Pada komposisi ini mampu menaikkan bmep tertinggi sebesar 38,37 % pada putaran mesin sekitar 9000 rpm. Sedangkan rata-rata kenaikan bmep pada komposisi ini adalah 17,47%

Effisiensi thermal (η_{th}):

- a. Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) dalam menaikkan efisiensi thermal adalah **110 gr Cu + 90 gr Mn**. Pada komposisi ini mampu menaikkan efisiensi thermal tertinggi sebesar 50,27% pada putaran mesin sekitar 9000 rpm. Sedangkan rata-rata kenaikan efisiensi thermal pada komposisi ini adalah 26,27%.

Sound Pressure Level, (SPL) :

- a. Komposisi terbaik katalis tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn) terhadap SPL adalah **170 gr Cu + 30 gr Mn**. Pada komposisi ini, terjadi kenaikan tertinggi SPL sebesar 3,7% pada putaran mesin sekitar 5500 rpm jika dibandingkan dengan kelompok kontrol 1 (standar). Rata-rata kenaikan SPL pada komposisi ini sebesar 1,63%.

Daftar Pustaka

- Aris, Muhammad. (2005) *Penggunaan Cu Murni di Exhaust Muffler dalam Upaya Pengurangan Emisi Gas Buang*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Astika, I Komang. (2000) *Studi Eksperimental tentang Pengaruh Penggunaan Tembaga sebagai Catalytic Muffler terhadap Emisi CO, HC, dan NOx pada Mesin Bensin 4 Langkah*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bachrun, R. K. (1993) *Polusi Udara Perkotaan, Pemantauan dan Pengaturan*. Lab Termodinamika PAU ITB, Bandung.
- Baxa, Donald E. (1982) *Noise Control in Internal Combustion Engine*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Biro Pusat Statistik. (1996) *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 1995*. Jakarta.
- Cahyono, Arif. (2001) *Pengaruh Katalis Oksida Tembaga dan Krom terhadap Emisi Gas CO, HC dan Daya Mesin pada Kendaraan Bermotor*, Tugas Akhir yang Tidak Dipublikasikan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Carberry, James J. (1976) *Chemical and Catalytic Reaction Engineering*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Charles G, Hill, Jr. (1977) *An Introduction Chemical Engineering Kinetics Reactor Design*. John Wiley & Sons, New York.
- Dowden, D.A. at. all. (1970) *Catalytic Hand Book*. Verlag New York, Inc.
- Fitriyana, A. (2002) *Uji Kemampuan Catalytic Converter Tembaga Nikel (CuNi) untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbahan Bakar Premium*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Fogler Scott H. (1992) *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Second Edition, Prentice-Hall International, Inc.
- Heisler, Heinz. (1995) *Advanced Engine Technology*. Edward Arnold, London.
- Herwijnen, T. V. (1973) *On the Kinetics and Mechanism of the CO - Shift Conversion on Copper / Zinc Catalyst*, PhD Thesis, Technische Hogeschool Delf.

- Heywood, John B. (1988) *Internal Combustion Engine Fundamentals*. International Edition. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Jenbacher. (1996) *Combustion Engines I Vol. I, Vol. II*.
- Jenbacher. (1996) *Spark Ignition Engine Design Vol 3*.
- Jingga, I Nyoman. (2000) *Studi Eksperimen Penggunaan Magnesium sebagai Pereduksi Polutan di Muffler Motor Bensin 4 Langkah*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Krisbayu, A. (2001) *Pengaruh Injeksi Oksigen pada Catalytic Converter Oksida Tembaga (CuO) terhadap Penurunan Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) pada Emisi Gas Buang Mesin Berbahan Bakar Bensin*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Mathur, Sharma L. (1975) *Internal Combustion Engine*. MacGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Mirmanto, H., dkk. (1999) *Rancang Bangun Catalytic Converter Tembaga (Cu) pada Knalpot Kendaraan Angkutan Kota untuk menunjang Program Langit Biru*. Lembaga Penelitian ITS, Surabaya.
- Muhaji. (2001) *Pengaruh Zeolit Alam dan Mangan (Mn) sebagai Katalis Silincer Sepeda Motor 4 Langkah terhadap Kadar Emisi Gas Buang, Unjuk Kerja, dan Sound Pressure Level*, Tesis Master, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Mulyono, (2002) *Studi Eksperimen Pengaruh Penggunaan Ni-on-Cu sebagai Catalytic Converter terhadap Emisi CO, HC, Daya Efektif dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pada Motor Bensin 4 Langkah*, Skripsi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Nugroho, Joko. (2004) *Uji Kemampuan Catalytic Converter Zeolit untuk Mereduksi Polutan Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbahan Bakar Bensin*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Obert, Edward F. (1973) *Internal Combustion Engine dan Air Pollution*. Third. Edition. Harper & Row, Publisher, Inc., New York.
- Peavy, H.S., D. R. Rowe., and G. Tchobanoglous. (1985) *Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- Rosyidah, Afifah. (1998) *Pengaruh Komposisi Katalis Campuran CuO, NiO dan Cr₂O₃ terhadap Optimasi Oksidasi Karbon Monoksida*, Tesis Master, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Samorjai, Gabor A. (1994) *Introduction to Surface Chemistry and Catalysis*. John Willey & Sons, Inc., Canada.
- Setiawan, Eko Deddy. (2001) *Studi Eksperimental terhadap Pengurangan Polutan Gas Buang Motor Bensin 4 Langkah dengan Penggunaan Zeolit*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Warju. (2003) *Eksperimen tentang Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Kuningan (Cu+Zn) Berlapis Krom (Cr) terhadap Emisi Gas Buang (CO dan HC), Daya dan Sfc Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 4K*, Skripsi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.