



Analisis emisi gas buang kendaraan berbahan bakar etanol

Analysis of exhaust emissions of ethanol-fueled vehicles

I.M. Mara*, I.M. A. Sayoga, I.M. Nuarsa, I.B. Alit

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln. Majapahit No. 62 Mataram Nusa Tenggara Barat Kode Post : 83125, Telp. (0370) 636087; 636126. HP. 081917967987.

*Email: made.mara@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 10 November 2018

Accepted 6 December 2018

Available online 1 January 2019

Keywords:

Ethanol

Ignition timing

Fuel consumption

Exhaust emissions



Exhaust emissions of motorcycles are very harmful to the environment and to human health. Ethanol is an alternative fuel that can be used to substitute gasoline. Ethanol can be obtained from the fermentation of agricultural products that contain carbohydrates. Ethanol is a clean fuel and has high octane number so it produces less harmful exhaust emission. In this research, a single cylinder four-stroke gasoline engine of Honda Astrea Legenda 100 cc was used to examine the fuel consumption and exhaust emission gas by varying the ignition timing (15° , 20° and 25°) before TDC and engine rotation (1500, 2500, 3500, 4500, and 6000 rpm) at the entire transmission gear (N, 1, 2, 3, and 4) using ethanol 96% fuel. The results show that there is a reduction in the fuel consumption and exhaust emissions such as CO, HC and increase the levels of CO₂ emissions by using ethanol 96% fuel at 20° before TDC ignition timing. Moreover, the lowest fuel consumption value is achieved at the ignition timing 20° before TDC at the engine speed 1500 rpm at transmission gear 4 that is 0.1 kg/h. In addition, the lowest CO emission value is 0.17 % volume at 6000 rpm engine rotation with transmission gear 4, the lowest HC emission value is 57, 67 ppm at 6000 rpm engine rotation with transmission gear 4 and the highest CO₂ value is 13.86 % volume at 6000 rpm rotation with transmission gear 4.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 9, No. 1, Januari 2019, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar berbahan dasar minyak bumi telah diketahui secara luas merupakan sumber masalah pencemaran udara, ketersediaannya juga semakin menipis (Mara dkk., 2018). Untuk mengatasi krisis BBM perlu dilakukan pengembangan dan penggunaan bahan bakar alternatif untuk menggantikan dari sumber daya alam terbarukan. Salah satu jenis alternatif yang banyak dipakai untuk menggantikan bahan bakar minyak tersebut adalah etanol. Etanol bisa didapatkan dari hasil fermentasi

hasil pertanian yang mengandung karbohidrat seperti jagung, tebu, beras dan lain-lain.

Mara dkk. (2014), mengemukakan bahwa kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM) mengandung timbal berperan sebagai penyumbang polusi cukup besar terhadap kualitas udara dan kesehatan. Bahan bakar minyak sangat berdampak buruk terhadap lingkungan, terutama gas buang dari hasil pembakaran bahan bakar yang tidak teruai atau terbakar dengan sempurna.

Polusi udara yang berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor dengan menggunakan bahan bakar minyak bumi mengakibatkan pencemaran udara secara global. Emisi gas buang kendaraan bermotor disebabkan oleh pembakaran di dalam silinder motor sehingga dihasilkan gas dan partikel sisa pembakaran atau emisi gas buang yang mengandung unsur polutan yang berbahaya bagi kesehatan.

Proses pembakaran bahan bakar dari motor bakar akan menghasilkan gas buang yang dapat mencemari lingkungan, di mana gas buang tersebut mengandung unsur Karbon Monoksida (CO), Oksida Nitrogen (NOx), Hidrokarbon (HC), Karbon Dioksida (CO₂), Hidrogen (H₂O), Nitrogen (N₂), dan Timbal (Pb). (Mara dkk., 2014). Beberapa dari gas hasil pembakaran seperti CO, NOx, HC, dan Pb, dapat mencemari lingkungan, dalam konsentrasi tertentu gas-gas tersebut dapat menyebabkan kematian.

Agrariska dkk. (2013) telah mengemukakan penambahan etanol dapat mengoptimalkan reaksi pembakaran sehingga hasil reaksi pembakaran tidak sempurna berupa CO dan HC berkurang. Dengan kata lain, etanol dapat mengurangi emisi gas buang dan memperbaiki kualitas lingkungan.

Mesin yang berbahan bakar alkohol secara teoritis akan memiliki unjuk kerja yang lebih tinggi atau minimal sama dengan yang berbahan bakar bensin. Hal ini disebabkan karena etanol memiliki bilangan oktan yang lebih tinggi sehingga memungkinkan penggunaan rasio kompresi yang lebih tinggi pada mesin Otto. Etanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi daripada bensin yaitu *research octane* 108 dan motor *octane* 92 (Putra, 2009).

Menurut Prawoto dan Nugroho (2006), Nugroho (2012), penambahan etanol dalam premium akan memperbesar nilai lambda, yang berarti kondisi campuran semakin miskin. Hal ini menunjukkan kemampuan etanol dalam beroperasi pada kondisi campuran miskin. Emisi CO akan turun secara signifikan dengan penambahan etanol. Semakin besar persentasi etanol semakin besar penurunan CO.

Dalam penelitian Kartika dan Kristanto (2013), menyimpulkan bahwa dengan melakukan modifikasi teknis pada mesin sepeda motor yang meliputi mengubah rasio kompresi dengan melakukan pemangkasan blok sedalam 0,8 mm sehingga rasio kompresi meningkat, melakukan perubahan timing pengapian dari 15° sebelum TMA menjadi 20° sebelum TMA, maka sepeda motor 4 langkah 1 silinder sistem distribusi bahan bakar karburator dapat mengkonsumsi bahan bakar etanol murni tanpa diperlukan campuran bensin sedikitpun.

Tingkat keekonomisan suatu bahan bakar secara langsung tergantung dari seberapa kaya campuran udara bahan bakarnya dan hal ini tergantung dari seberapa besar ukuran main jet pada karburator. Etanol memerlukan campuran yang lebih kaya dibandingkan bensin, tetapi karena bilangan oktannya yang lebih tinggi maka pembakaran etanol lebih efisien. (Handayani, 2007).

Etanol atau etil alkohol sebagai senyawa tunggal mempunyai rumus kimia C₂H₅OH merupakan suatu cairan hasil proses fermentasi dan distilasi dari karbohidrat yang banyak terkandung pada hasil pertanian, seperti (jagung, singkong, tebu, dan lain-lain). Etanol merupakan cairan yang tak berwarna, mudah menguap (*volatile*) dan mudah terbakar. Etanol banyak digunakan sebagai bahan campuran pada minuman keras dan pelarut kimia selain itu dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Angka *research octane* yang dimiliki etanol lebih tinggi dibandingkan dengan bensin sehingga penggunaan etanol pada mesin akan lebih baik. Bensin yang dijual Pertamina mempunyai angka *research octane* 88 untuk jenis premium. Angka oktan memiliki peran untuk meningkatkan auto ignition bahan bakar. Di samping itu etanol digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki kandungan oksigen (35%) sehingga akan mampu terbakar lebih sempurna.

Waktu pengapian pada mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) adalah proses pengaturan sudut relatif posisi piston dan kecepatan sudut (*angular velocity*) poros engkol untuk memicu pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar sebelum akhir langkah kompresi. Waktu pengapian dibutuhkan karena campuran udara dan bahan bakar yang dimampatkan tidak sekaligus terbakar secara keseluruhan oleh percikan bunga api dari busi, gas-gas pembakaran membutuhkan periode waktu tertentu untuk mampu terbakar sempurna di dalam ruang bakar, dan kecepatan rotasi sudut atau mesin berpengaruh langsung dalam memperpendek atau memperpanjang waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pembakaran dan ekspansi (langkah kerja) yang terjadi.

Menurut Arends dan Berenscot (1994), mengatakan bila pengapian terlalu maju, maka gas sisa yang belum terbakar, terpengaruh oleh pembakaran yang masih berlangsung dan pemampatan yang masih berjalan akan terbakar sendiri. Hal ini akan menjadikan kerugian. Sedangkan bila pengapian terlambat, detonasi berkurang, akan tetapi berarti juga menurunnya daya. Apabila pengapian terlambat, ruang di atas piston pada akhir pembakaran sudah membesar, bahwa sebagian kecil dari kalor berubah menjadi tekanan. Akibatnya sisa kalor dalam jumlah besar tertinggal dalam ruang mesin. Bukan hanya disebabkan oleh pembebanan termis dari beberapa bagian mesin, seperti katup terlalu panas, tetapi disebabkan oleh suhu yang tinggi akan terlampaui batas terbakar sendiri.

Rasio kompresi adalah perbandingan antara volume total silinder (ketika piston berada pada TMB) dengan volume ruang bakar (ketika piston berada pada TMA). Secara umum rasio kompresi mempengaruhi performa suatu mesin. Semakin tinggi rasio kompresi, maka akan semakin tinggi daya yang akan dihasilkan dan juga sebaliknya.

Jika nilai oktan bahan yang digunakan tidak sesuai dengan rasio kompresi, akan menyebabkan bahan bakar dan udara terbakar spontan sebelum busi memercikan bunga api dan ini yang akan memicu terjadi knocking pada mesin. Seperti yang dikatakan Sukisno (2014), semakin tinggi nilai oktan bahan bakar maka semakin sulit untuk terjadi pembakaran, maka diperlukan pula rasio kompresi yang sesuai dengan nilai oktan bahan bakar yang digunakan.

Gas buang kendaraan merupakan sisa dari proses pembakaran kendaraan bermotor. Seperti Karbon Monoksida (CO), Oksida Nitrogen (NOx), Hidrokarbon (HC), Karbon Dioksida (CO₂), Hidrogen (H₂O) Nitrogen (N₂), dan Timbal (Pb).

Adapun beberapa jenis gas buang dari hasil pembakaran pada sepeda motor adalah sebagai berikut :

1. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon adalah emisi gas buang yang timbul karena bahan bakar yang belum terbakar tetapi sudah keluar bersama gas buang. Hidrokarbon dapat dibedakan menjadi dua, bahan bakar yang tidak terbakar sehingga keluar menjadi gas mentah, dan bahan bakar yang terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang. Senyawa HC akan berdampak terasa pedih di mata, mengakibatkan tenggorokan sakit, penyakit paru-paru dan kanker.

2. Karbonmonoksida (CO)

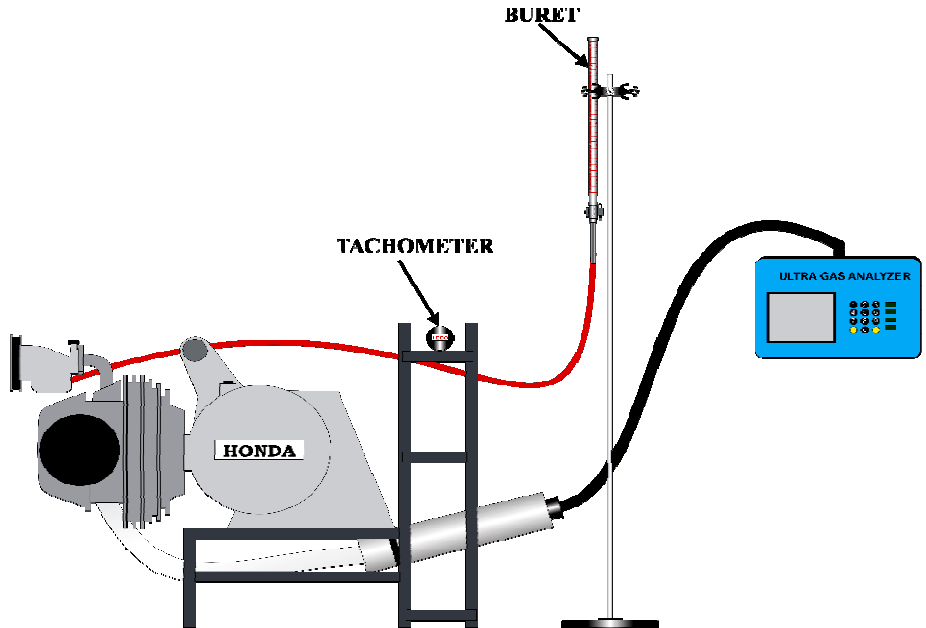
Karbon monoksida merupakan gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa adalah salah satu gas yang dihasilkan oleh pembakaran tak sempurna ataupun karena campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya (kurangnya udara) dan jika terjadi adanya temperatur yang rendah pada sekeliling dinding silinder pembakaran akan sulit terjadi karena api sulit mencapai ke dinding silinder.

3. Karbondioksida (CO₂)

Merupakan gas yang sangat banyak dan berguna bagi tumbuh-tumbuhan pada proses asimilasi. Semakin tinggi substansi gas CO₂ dalam gas mengindikasikan bahwa semakin baik proses pembakaran dalam ruang bakar dari mesin.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan kendaraan uji sebuah mesin Honda Astrea Legenda 100 cc keluaran tahun 2002. Variasi putaran mesin pada 1500, 2500, 3500, 4500, dan 6000 rpm dan waktu pengapian pada 15°, 20°, dan 25° sebelum TMA. Bahan bakar yang digunakan etanol 96% dan bahan bakar bensin premium sebagai pembanding. Data pembanding diambil dengan waktu pengapian standar 15° sebelum TMA. Alat uji emisi gas buang yang digunakan adalah Ultra 4/5 Gas Analyzer. Buret dan Stopwatch digunakan sebagai alat ukur konsumsi bahan bakar, Tachometer untuk mengukur putaran mesin.



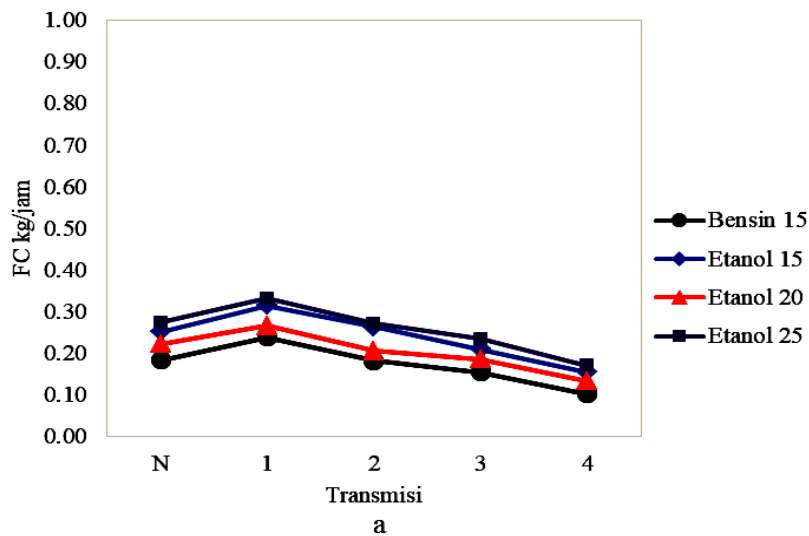
Gambar 1. Susunan alat penelitian

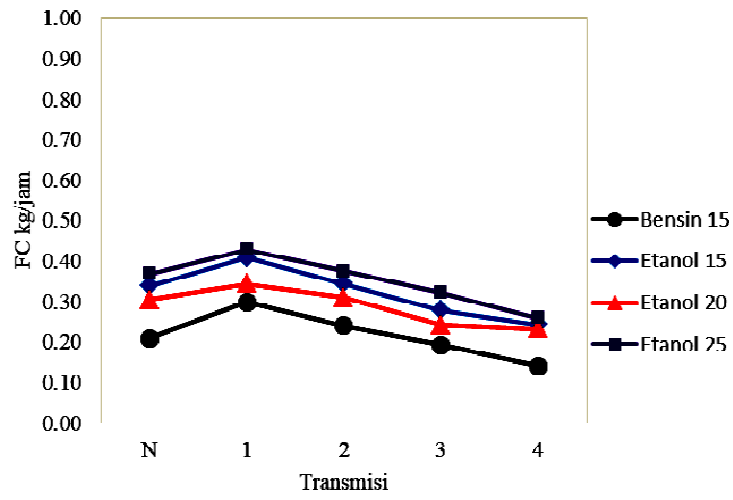
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh waktu pengapian terhadap *fuel consumption* (FC)

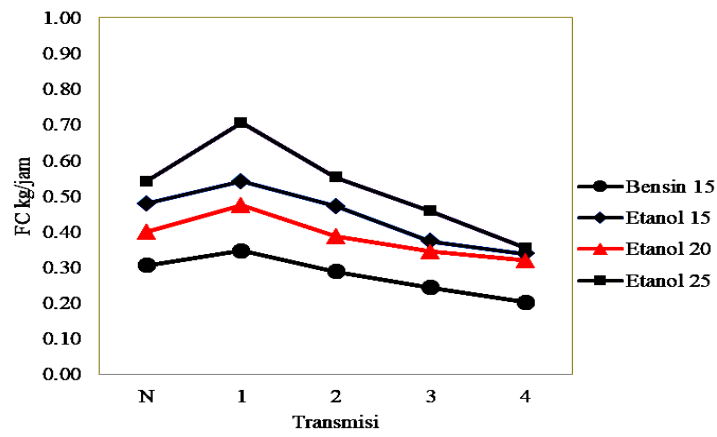
Data perhitungan *fuel consumption* dihitung dalam unit kg/jam ditampilkan dalam gambar 2. Gambar 2a menunjukkan konsumsi bahan bakar terendah dengan nilai 0,17 kg/jam tingkat transmisi 4 dengan waktu pengapian 20° sebelum TMA pada putaran mesin 1500 rpm berbahan bakar bensin. Sedangkan gambar 2e menunjukkan konsumsi bahan bakar paling tinggi dengan nilai sebesar 0,96 kg/jam tingkat transmisi 1 pada putaran mesin 6000 rpm berbahan bakar etanol pada pengapian 25° sebelum TMA.

Nilai konsumsi bahan bakar semakin meningkat seiring meningkatnya putaran mesin. Pada putaran tinggi jumlah massa bahan bakar yang terhisap bersama udara yang masuk ke dalam silinder mengalami peningkatan. Nilai rata-rata konsumsi bahan bakar etanol lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar bensin. Hal ini disebabkan karena etanol mempunyai nilai kalor lebih rendah (Salim dkk., 2013) dibandingkan dengan bensin, karena untuk menghasilkan energi yang sama dengan bensin, maka etanol membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak. Hal ini yang menyebabkan nilai konsumsi bahan bakar etanol lebih besar (boros) dibandingkan dengan bensin.

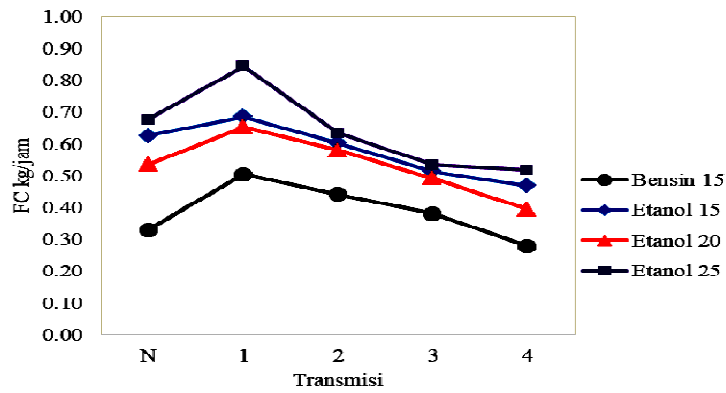




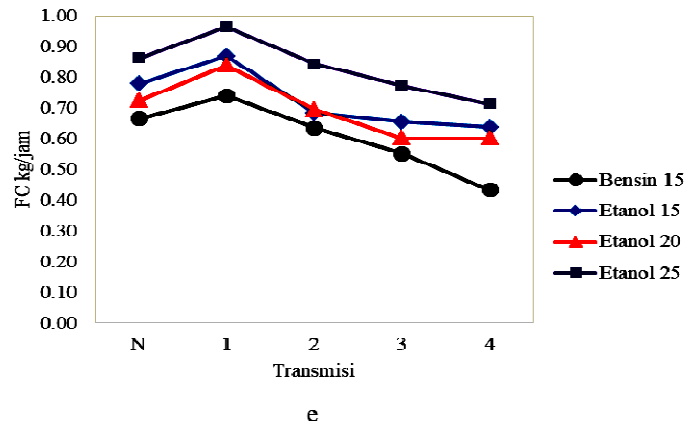
b



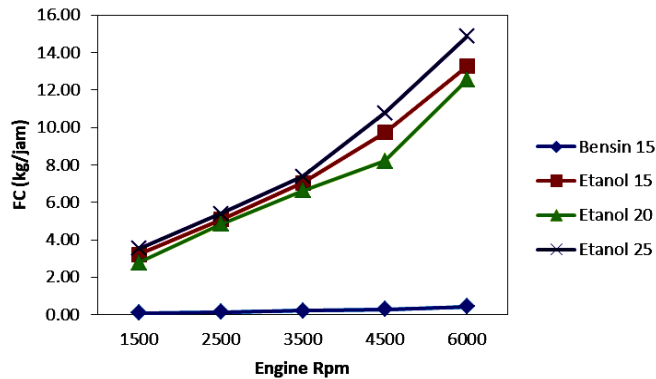
c



d

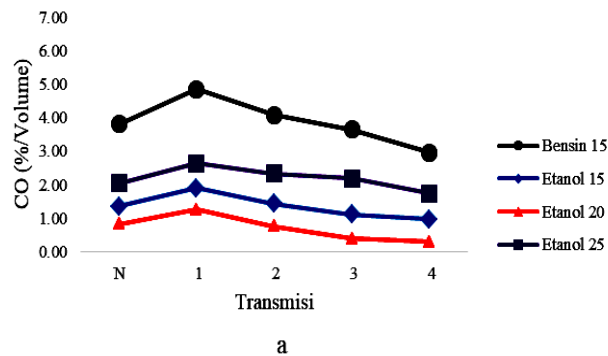


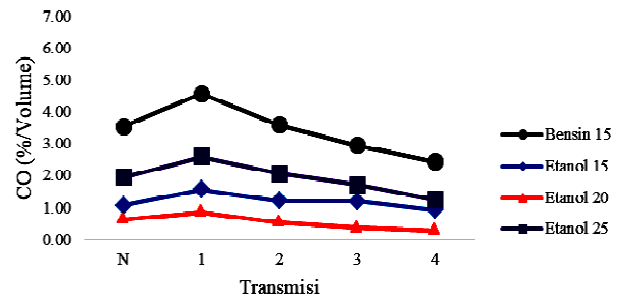
Gambar 2. Hubungan FC pada tingkat transmisi dan waktu pembakaran; (a) 1500 rpm, (b) 2500 rpm, (c) 3500 rpm, (d) 4500 rpm, dan (e) 6000 rpm.



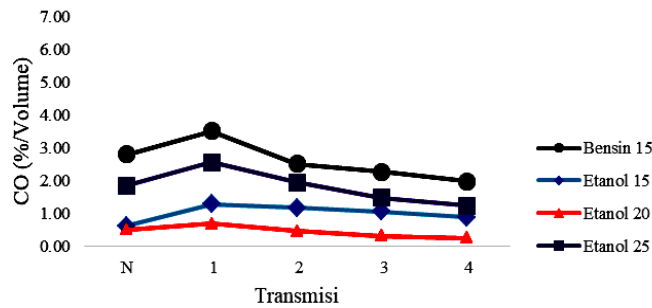
Gambar 3. Fuel consumption pada berbagai putaran mesin pada transmisi 4

Jika dibandingkan konsumsi bahan bakar etanol dengan variasi waktu pengapian (15° , 20° , dan 25°), konsumsi bahan bakar paling rendah ada pada pengapian 20° sebelum TMA dibandingkan dengan waktu pengapian yang lain. Pada pengapian 20° pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang terjadi lebih sempurna. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu pengapian 20° penggunaan bahan bakar etanol lebih efisien. Pengaruh waktu pengapian terhadap emisi gas buang karbonmonoksida (CO). Data emisi gas buang CO dalam unit % volume ditampilkan dalam gambar 4.

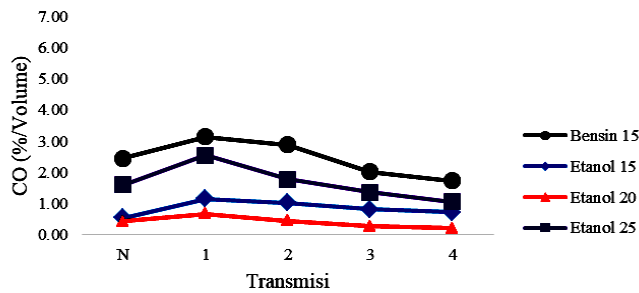




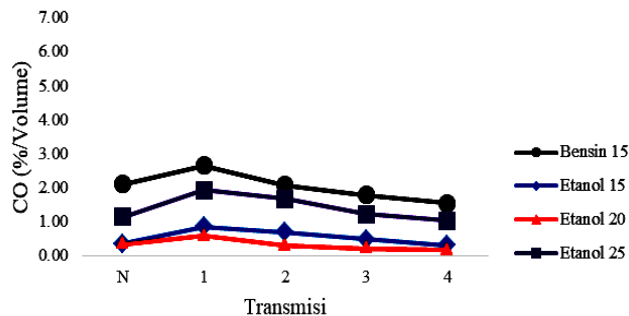
b



c



d



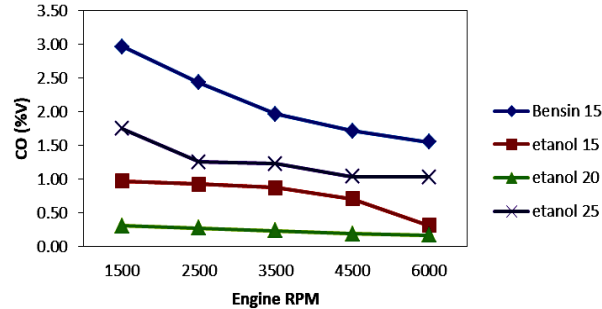
e

Gambar 4. Hubungan emisi gas CO dengan tingkat transmisi dan waktu pembakaran; (a) 1500 rpm, (b) 2500 rpm, (c) 3500 rpm, (d) 4500 rpm, (e) 6000 rpm.

Gambar 4 memperlihatkan kadar emisi CO paling tinggi dengan nilai 4,85% volume pada putaran 1500 rpm tingkat transmisi 1 berbahan bakar bensin. Sedangkan emisi CO terendah ditunjukkan pada gambar 4.3e dengan nilai CO sebesar 0,17 % volume pada putaran 6000 rpm

tingkat transmisi 4 berbahan bakar etanol dengan waktu pengapian 20o sebelum TMA. Pada tingkat transmisi 1 dan putaran 1500 rpm rata-rata emisi CO mengalami peningkatan, karena pada transmisi 1 beban yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan transmisi yang lain.

Kadar CO menunjukkan campuran yang kaya (kelebihan bahan bakar). Campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam silinder tidak terbakar dengan sempurna karena kekurangan udara, sehingga akan membentuk emisi CO (Mara dkk., 2014). Bahan bakar etanol 96% menghasilkan nilai CO yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin pada semua tingkat transmisi. Hal ini disebabkan karena bahan bakar etanol sudah mengandung oksigen dan akan mampu membantu memenuhi kebutuhan udara dalam proses pembakaran sehingga akan lebih menyempurnakan pembakaran dan menurunkan emisi CO, selain itu juga kandungan molekul karbon bahan bakar etanol lebih rendah dibandingkan dengan bensin.

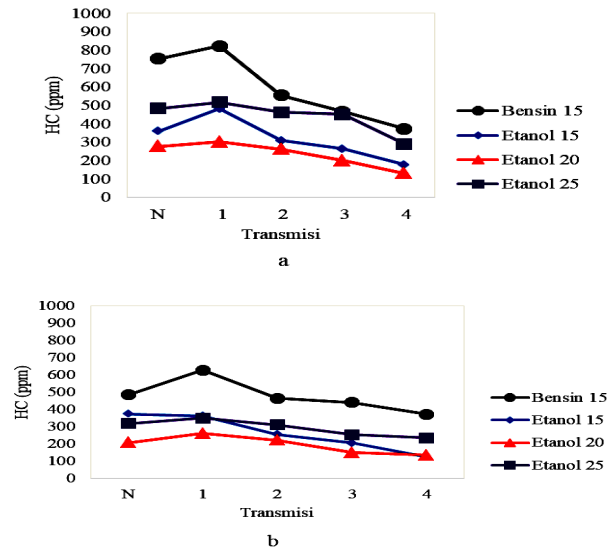


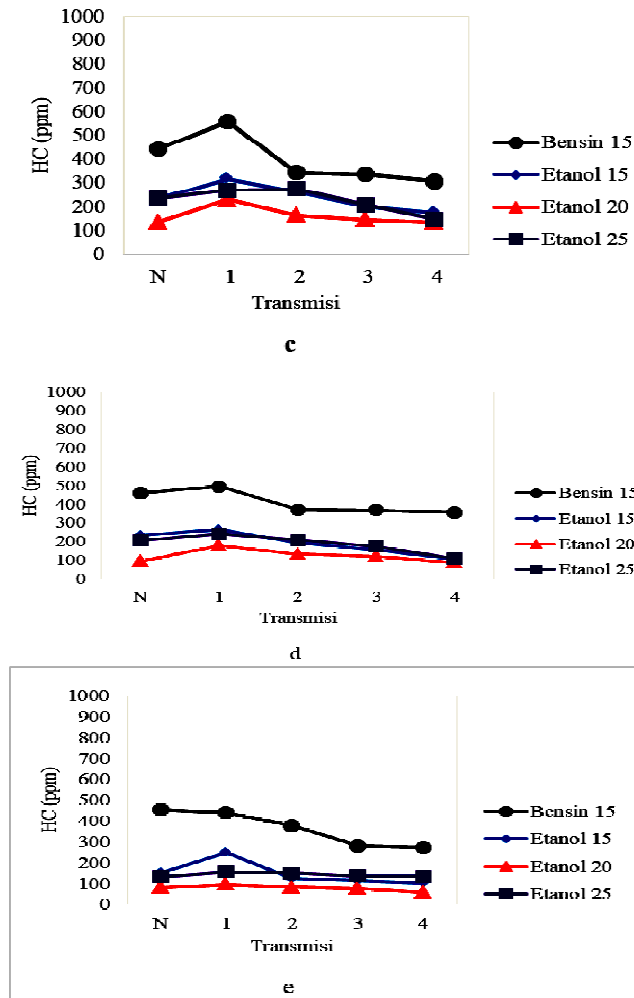
Gambar 5. Hubungan emisi gas buang CO dengan putaran mesin pada transmisi 4

Berdasarkan gambar 5 emisi gas buang CO semakin menurun seiring meningkatnya putaran mesin. Pada putaran tinggi akan menyebabkan suhu mesin semakin meningkat dan viskositas bahan bakar semakin rendah. Viskositas bahan bakar rendah akan mempermudah bahan bakar dikabutkan sehingga bahan bakar dan udara akan bercampur lebih homogen dan pembakaran yang terjadi lebih optimal. Hal ini menunjukkan pada putaran tinggi mesin mengalami pembakaran yang lebih sempurna dibandingkan dengan putaran rendah.

Jika dibandingkan variasi waktu pengapian 15°, 20°, dan 25° dengan bahan bakar etanol, pada pengapian 20° sebelum TMA nilai CO yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan pengapian yang lain. Hal ini menunjukkan pada pengapian 20° pembakaran yang terjadi lebih optimal.

Data emisi gas buang HC dalam unit ppm ditampilkan dalam gambar 6.

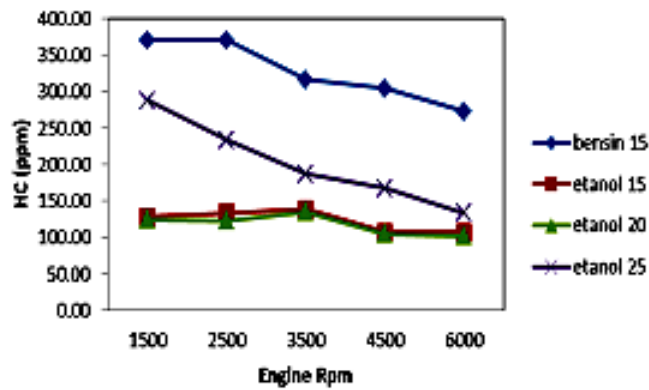




Gambar 6. Hubungan emisi gas buang HC pada tingkat transmisi dan waktu pembakaran; (a) 1500 rpm, (b) 2500 rpm, (c) 3500 rpm, (d) 4500 rpm, dan (e) 6000 rpm

Nilai emisi HC paling rendah ditunjukkan pada gambar 5e dengan nilai HC sebesar 57,67 ppm pada putaran 6000 rpm dengan waktu pengapian 20° sebelum TMA tingkat transmisi 4 berbahan bakar etanol. Sedangkan untuk nilai HC paling tinggi ditunjukkan pada gambar 5a dengan nilai HC sebesar 819,67 ppm tingkat transmisi 1 pada putaran 6000 rpm berbahan bakar etanol.

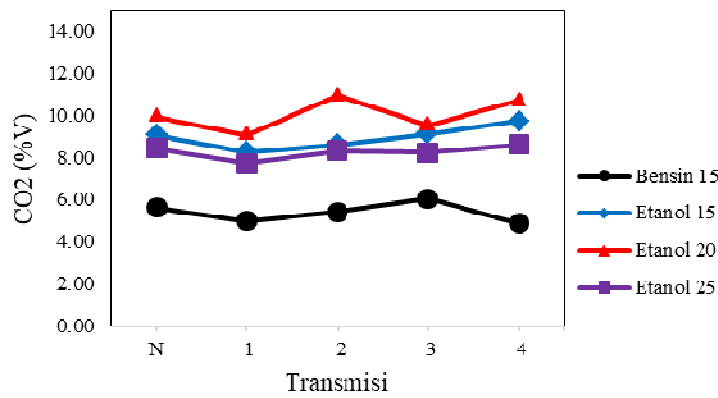
Pada pengapian 20° sebelum TMA nilai emisi HC lebih rendah dibandingkan dengan variasi waktu pengapian 15°, 20°, dan 25° sebelum TMA. Pada pengapian 15° sebelum TMA pengapian yang terjadi terlalu lambat, mengingat angka oktan etanol yang lebih tinggi, maka membutuhkan pembakaran yang lebih awal agar memperoleh pembakaran campuran bahan bakar dan udara lebih optimal. Emisi gas buang hidrokarbon (HC) terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna yang menyebabkan bahan bakar yang belum terbakar akan keluar masih dalam bentuk hidrokarbon bersamaan dengan gas sisa pembakaran pada langkah buang. Hal ini sejalan dengan penelitian Mara dkk. (2014), bahwa emisi HC merupakan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna akibat adanya bahan bakar yang terjebak pada celah sempit maupun akibat *quenching effect* pada dinding silinder.



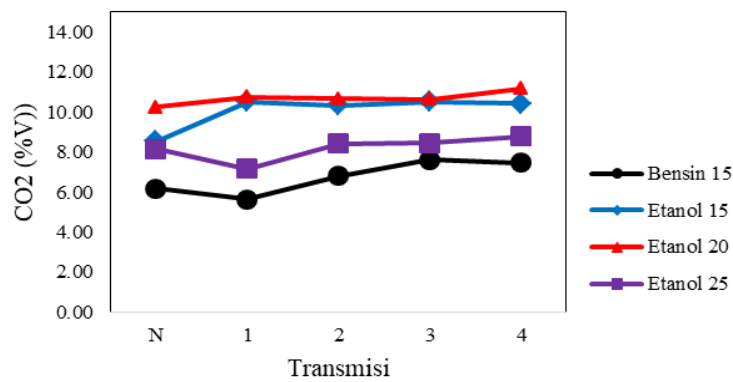
Gambar 7. Hubungan emisi gas buang HC dengan putaran mesin pada transmisi 4

Peningkatan putaran mesin, emisi gas buang HC yang terbentuk semakin rendah. Hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi suhu ruang bakar semakin meningkat dan pembakaran campuran bahan bakar dan udara akan lebih cepat terbakar. Kondisi inilah yang akan menyebabkan emisi HC semakin rendah.

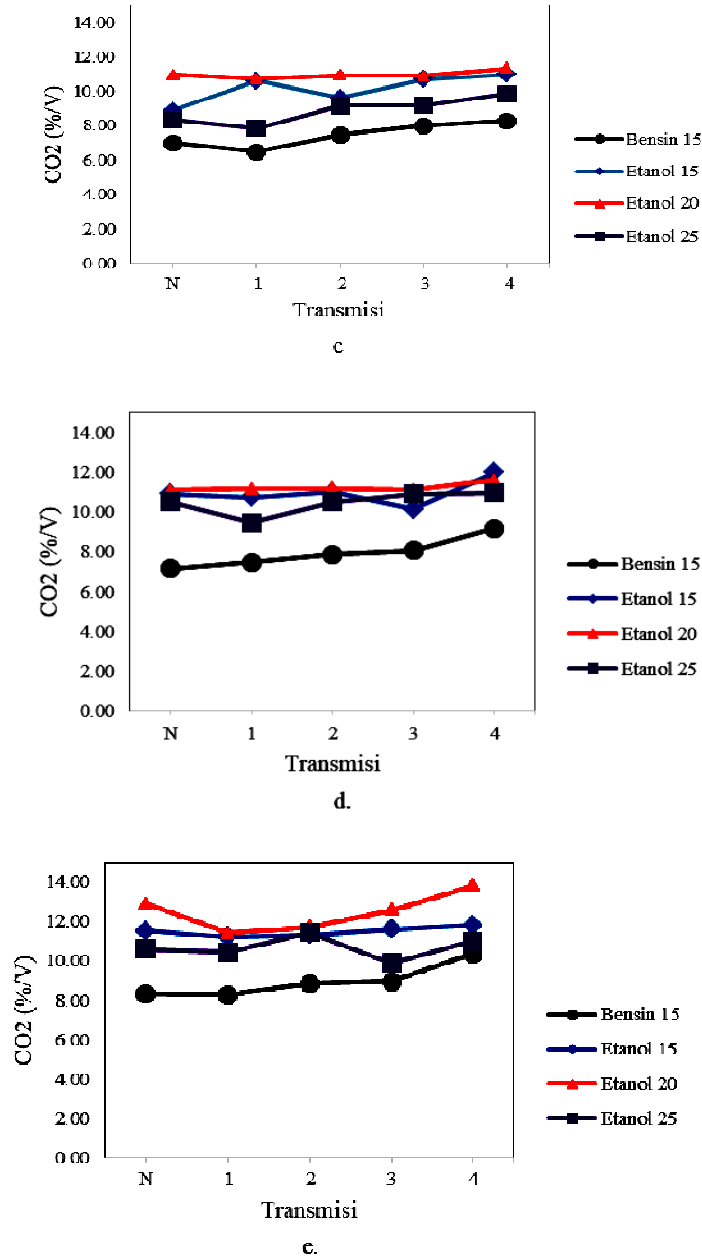
Emisi CO₂ merupakan gas hasil sisa pembakaran yang banyak terdapat di udara, gas CO₂ terbentuk akibat pembakaran yang sempurna. Emisi CO₂ tidak berbahaya bagi lingkungan ditampilkan dalam gambar 8.



a



b.

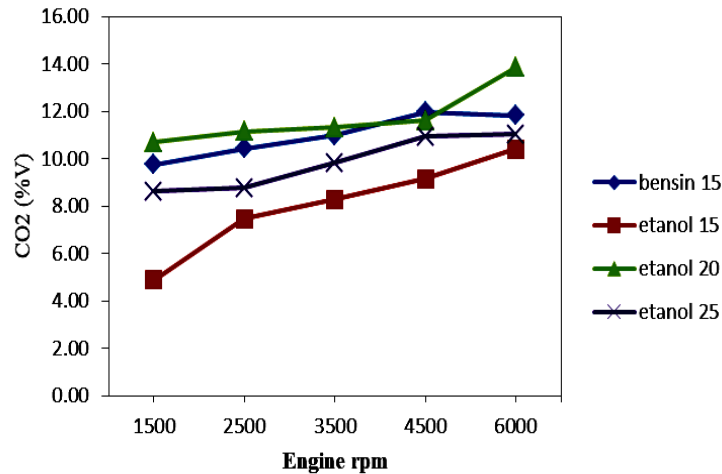


Gambar 8. Hubungan emisi gas buang CO₂ pada tingkat transmisi dan waktu pembakaran; (a) 1500 rpm, (b) 2500 rpm, (c) 3500 rpm, (d) 4500 rpm, dan (e) 6000 rpm

Gambar 8 menunjukkan emisi CO₂ paling tinggi ada pada pengapian 20° sebelum TMA tingkat transmisi 4 dan putaran mesin pada 6000 rpm dengan nilai sebesar 13,86 % volume berbahan bakar etanol. Dan emisi paling rendah ditunjukkan gambar 8a dengan nilai CO₂ sebesar 5,00 % volume tingkat transmisi 1 dan putaran mesin 1500 rpm menggunakan waktu pengapian 15° sebelum TMA berbahan bakar bensin.

Semakin tinggi emisi gas buang CO₂ menunjukkan pembakaran yang terjadi semakin sempurna. Pada putaran tinggi emisi CO₂ yang terbentuk lebih tinggi dibandingkan dengan putaran rendah. Emisi CO₂ berbanding terbalik dengan emisi HC dan CO, yang artinya semakin tinggi emisi

CO₂ emisi HC dan CO yang terbentuk semakin rendah. Kondisi ini memperlihatkan semakin sedikit bahan bakar yang terbuang.



Gambar 9. Hubungan emisi gas buang CO₂ dengan putaran mesin pada transmisi 4

Jika dibandingkan emisi CO₂ bahan bakar etanol dan bensin, bahan bakar etanol dengan waktu pembakaran 20° sebelum TMA mengeluarkan emisi CO₂ sedikit lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin. Hal ini disebabkan karena dalam etanol sudah mengandung oksigen sehingga mampu terbakar lebih sempurna. Berdasarkan gambar 9 emisi gas buang CO₂ rata-rata mengalami peningkatan pada putaran tinggi, kondisi ini juga menunjukkan bahwa putaran tinggi pembakaran yang terjadi lebih optimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kemudian melakukan analisa data dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa konsumsi bahan bakar terendah menggunakan bahan bakar etanol 96% ada pada pengapian 20° sebelum TMA dengan putaran mesin 1500 rpm tingkat transmisi 4 sebesar 0,17 kg/jam. Sedangkan konsumsi bahan bakar tertinggi ada pada pengapian 25° sebelum TMA dengan putaran mesin 6000 rpm tingkat transmisi 1 sebesar 0,96 kg/jam berbahan bakar etanol. Emisi gas buang CO terendah diperoleh pada pengapian 20° sebelum TMA dengan putaran 6000 rpm sebesar 0,17 % volume menggunakan bahan bakar etanol pada tingkat transmisi 4. Emisi gas buang HC terendah ada pada penggunaan bahan bakar etanol dengan waktu pengapian 20° dengan putaran mesin 6000 sebesar 57,67 ppm tingkat transmisi 4. Emisi gas buang CO₂ paling rendah berada tingkat transmisi 1 pada putaran 1500 sebesar 5,00% volume, berbahan bakar bensin dan CO₂ paling tinggi berada pada pengapian 20° tingkat transmisi 4 pada putaran mesin 6000 rpm sebesar 13,83% volume berbahan bakar etanol 96%. Emisi gas buang bahan bakar etanol seperti HC dan CO rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin. Waktu pengapian yang terbaik berada pada 20° sebelum TMA.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga paper ini dapat terselesaikan. Penulis juga memberikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas yang diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrariska F.A., Bambang S., Nugroho W.A., 2013, Uji performansi motor bakar bensin (*on chassis*) menggunakan campuran premium dan etanol, Jurusan Keteknikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Arends B.P.M., Berenschot H., 1994, Motor bensin, Erlangga, Jakarta.
- Handayani S.U., 2007, Pemanfaatan bioethanol sebagai bahan bakar bensin, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

- Kartika I.S., Kristanto P., 2013, Konversi penggunaan bahan bakar bensin ke bahan bakar etanol pada motor bakar 4 langkah untuk sepeda motor, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra.
- Mara I.M, Sayoga I.M.A., Yudhyadi I.G.N.K., Nuarsa I.M., 2018, Analisis emisi gas buang dan daya sepeda motor pada volume silinder diperkecil, *Dinamika Teknik Mesin*, 8(1), 8-13.
- Mara M., Wirawan M., Towilan M., 2014, Pengaruh ignition timing dengan bahan bakar LPG terhadap unjuk kerja mesin bensin empat langkah satu silinder, *Dinamika Teknik Mesin*, 4(1), 1-6.
- Nugroho A.S., 2012, Studi eksperimental variasi tekanan bahan bakar dan sudut pengapian engine EFI berbahan bakar gasohol E20 terhadap emisi gas buang, *Akademi Teknologi Warga Surakarta*.
- Putra I.P.D.A., 2009, Perbandingan penggunaan bahan bakar gasohol dan premium terhadap konsumsi bahan bakar dan kandungan co gas buang pada motor Yamaha Jupiter tahun 2002, *Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*.
- Prawoto, Nugroho B.A., 2006, Pengaruh konsentrasi etanol terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor bensin pada kondisi idle dan dengan standar ECE 83-04, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila.
- Sukisno A.Y., 2014, Pengaruh pemanasan bahan bakar melalui pipa bersirip radial pada *upper tank* radiator dan penambahan etanol dalam bensin terhadap emisi gas buang CO dan HC pada Toyota kijang (implikasi pada mata kuliah perpindahan panas), *Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta*.
- Salim A.W., Mara I.M., Padang Y.A., 2013, Analisa kelayakan etanol kadar rendah sebagai bahan bakar pada kompor bergravitasi, *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 10-15.