

UJI PERFORMA DAN UJI EMISI GAS BUANG MESIN SEPEDA MOTOR BERBAHAN BAKAR *BIOETHANOL* DARI TETES TEBU

Mochammad Saifudin

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: mosaifudin5@gmail.com

I Wayan Susila

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: wayansusila@unesa.ac.id

Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor mengakibatkan peningkatan penggunaan bensin sebagai produk turunan dari minyak bumi. Jumlahnya yang terbatas di alam dan dapat menimbulkan pencemaran udara, membuat pemakaian bahan bakar minyak bumi perlu dikurangi. *Bioethanol* sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui, sangat diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa dan emisi gas buang mesin sepeda motor berbahan bakar campuran antara premium dengan *bioethanol* dari tetes tebu. Selain itu bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan sudut pengapian pada campuran *bioethanol* tertinggi berdasarkan performa dan emisi gas buang mesin.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dimana sepeda motor Yamaha Jupiter Z 110 cc tahun 2009 diuji dengan menggunakan bahan bakar campuran antara premium dengan *bioethanol* (E0, E5, E10, E15, dan E20). Pada E20 dilakukan dua pengujian, yaitu pengujian dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA (standar) dan 12,5° sebelum TMA (E20-T). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa mesin, meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan tekanan efektif rata-rata pada putaran mesin 3000 rpm sampai 9000 rpm dengan interval 500 rpm dan berpedoman pada standar SAE J1349. Dalam proses destilasi *bioethanol* tetes tebu, batu kapur digunakan sebagai absorben. Selain pengujian performa, dilakukan juga pengujian emisi gas buang mesin untuk mengetahui kandungan emisi gas CO dan HC dari setiap bahan bakar pada kondisi *idle* (1500 rpm).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk pengujian dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA (standar), E15 memiliki performa mesin dan emisi gas buang yang terbaik bila dibandingkan dengan E0, E5, E10, dan E20. Hal ini ditunjukkan dengan daya efektif sebesar 7,706 PS, torsi sebesar 7,723 Nm, konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,076 kg/PS.jam, efisiensi termal sebesar 0,870%, dan tekanan efektif rata-rata sebesar 2,219 kg/cm². Akan tetapi, performa mesin mengalami peningkatan saat menggunakan E20 dengan sudut pengapian 12,5° sebelum TMA (E20-T), dengan daya efektif sebesar 7,740 PS, torsi sebesar 7,860 Nm, konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,074 kg/PS.jam, efisiensi termal sebesar 0,899%, dan tekanan efektif rata-rata sebesar 2,275 kg/cm². Jadi, performa mesin terbaik ditunjukkan oleh E20 dengan sudut pengapian 12,5° sebelum TMA (E20-T). Pada pengujian emisi gas buang, diketahui bahwa penggunaan *bioethanol* tetes tebu sebagai campuran bahan bakar sepeda motor dapat meningkatkan emisi gas HC pada kondisi *idle*. Selain itu, juga dapat menurunkan emisi gas CO pada kondisi *idle*. Secara keseluruhan emisi gas HC dan gas CO yang dihasilkan masih di bawah ambang batas Permen LH (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup) No.5 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor.

Kata Kunci: Mesin 4 langkah, *Bioethanol* tetes tebu, Sudut pengapian, Performa mesin, Emisi gas buang

Abstract

The increasing number of motorized vehicles has resulted in an increase in the use of gasoline as the derivative products from petroleum. The amount is limited in nature and can cause air pollution, making the use of petroleum fuels need to be reduced. Bioethanol as an alternative fuel that is environmentally friendly and can be renewed, is needed to overcome these problems. This study aims to determine the performance and exhaust emissions of motorbike engines with a mixture of premium and bioethanol from molasses. Besides that it aims to determine the effect of changes in ignition timing on the highest bioethanol mixture based on performance and engine exhaust emissions.

This study uses the experimental method, where Yamaha Jupiter Z 110 cc motorbikes in 2009 were tested using a mixture of premium fuels with bioethanol (E0, E5, E10, E15, and E20). At E20 two

tests were carried out, namely testing with an application ignition timing of 10° before TDC (standard) and 12.5° before TDC (E20-T). This test was conducted to determine engine performance, including torque, effective power, specific fuel consumption, thermal efficiency, and effective pressure on an average engine speed of 3000 rpm to 9000 rpm at 500 rpm intervals and guided by SAE J1349 standards. In the process of distillation of bioethanol in molasses, limestone is used as an absorbent. In addition to performance testing, testing of engine exhaust emissions is also carried out to determine the content of CO and HC gas emissions from each fuel at idle conditions (1500 rpm).

The results of this study indicate that for testing with an application ignition timing of 10° before TDC (standard), E15 has the best engine performance and exhaust emissions compared to E0, E5, E10, and E20. This is indicated by the effective power of 7.706 PS, torque of 7.723 Nm, specific fuel consumption of 0.076 kg / PS.hours, thermal efficiency of 0.870%, and effective pressure an average of 2.219 kg / cm². However, the performance of the engine has increased when using E20 with an ignition timing of 12.5° before TDC (E20-T), with effective power of 7.740 PS, torque of 7.860 Nm, specific fuel consumption at 0.074 kg / PS. hours, thermal efficiency of 0.899%, and effective pressure on average of 2.275 kg / cm². So, the best engine performance is indicated by E20 with an ignition timing of 12.5° before TDC (E20-T). In testing exhaust emissions, it is known that the use of bioethanol molasses as a mixture of motorcycle fuel can increase HC gas emissions in idle conditions. In addition, it can also reduce CO gas emissions in idle conditions. Overall HC gas emissions and CO gas produced by molasses biopremium are still below the Kemen LH threshold (Minister of Environment Regulation) No.5 of 2006 concerning Motor Vehicle Exhaust Emissions Threshold.

Keywords: 4 strokes engine, Bioethanol molasses, Ignition timing, Engine performance, Exhaust gas emissions.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era globalisasi yang begitu pesat membuat berbagai aspek kehidupan terkena imbasnya. Kebutuhan masyarakat akan transportasi mendorong produsen kendaraan bermotor berlomba-lomba untuk menciptakan kendaraan bermotor dengan berbagai tipe dan jenis, yang dilengkapi dengan teknologi canggih. Selain itu juga akan mengakibatkan kenaikan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya, sehingga kebutuhan akan Bahan Bakar Minyak (BBM) akan meningkat pula. Semakin tinggi harga minyak dunia menandakan kandungan minyak bumi yang tersedia di alam semakin menipis, sehingga diperlukan penghematan. Selain itu, pembakaran minyak bumi yang tidak sempurna akan menimbulkan pencemaran udara. *Bioethanol* sebagai *biofuel* dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan sifatnya terbarukan. *Bioethanol* dapat juga digunakan sebagai campuran bahan bakar kendaraan untuk mendapatkan performa mesin yang tinggi dan menghasilkan emisi gas buang yang rendah. Lambat laun, *bioethanol* dapat menggantikan BBM.^[1]

Penggunaan bahan bakar yang tidak sesuai dapat menyebabkan penurunan performa mesin, bahkan dapat menyebabkan detonasi dan *pre-ignition*. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi mesin, salah satunya dengan mengubah sudut pengapian (*ignition timing*) kendaraan.^[2] Pada penelitian yang dilakukan Pratama (2014), tentang pengaruh penggunaan bahan bakar pertamax dan sudut

pengapian (*ignition timing*) terhadap performa mesin dan emisi gas buang motor Supra X 125cc tahun 2008. Dalam penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa sudut pengapian $17,5^\circ$ sebelum TMA memiliki performa yang lebih baik dibandingkan sudut pengapian standar (15° sebelum TMA). Sedangkan emisi gas buang terendah diperoleh dengan pengapian $22,5^\circ$ sebelum TMA.^[3]

Penelitian yang dilakukan oleh Prasnady (2018) tentang *bioethanol* dari tetes tebu yang ditingkatkan kadarnya dengan batu kapur. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh *bioethanol* dengan kadar etanol 99,71%, *heating value* 6432 kcal/kg, *flash point* 30°C , viskositas 3,40 cPs, densitas 0,79109 gr/cm³, dan kadar air 0,118%.^[4]

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui campuran optimal antara *bioethanol* tetes tebu dengan premium berdasarkan performa mesin dan emisi gas buang mesin yang dihasilkan. Selain itu untuk mengetahui pengaruh perubahan sudut pengapian pada campuran *bioethanol* tertinggi berdasarkan performa mesin dan emisi gas buang mesin yang dihasilkan. Performa mesin yang diamati meliputi daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan tekanan efektif rata-rata. Sedangkan, emisi gas buang mesin yang diamati adalah kandungan gas CO, CO₂, O₂, dan HC yang dihasilkan pada kondisi *idle*.

Hasil pengujian daya efektif dan torsi diperoleh dari *chassis dynamometer*. Untuk konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc) diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$Sfc = \frac{C_f}{N_e} \quad (1)^{[5]}$$

Untuk efisiensi termal (η_{th}) diperoleh dengan menggunakan rumus:

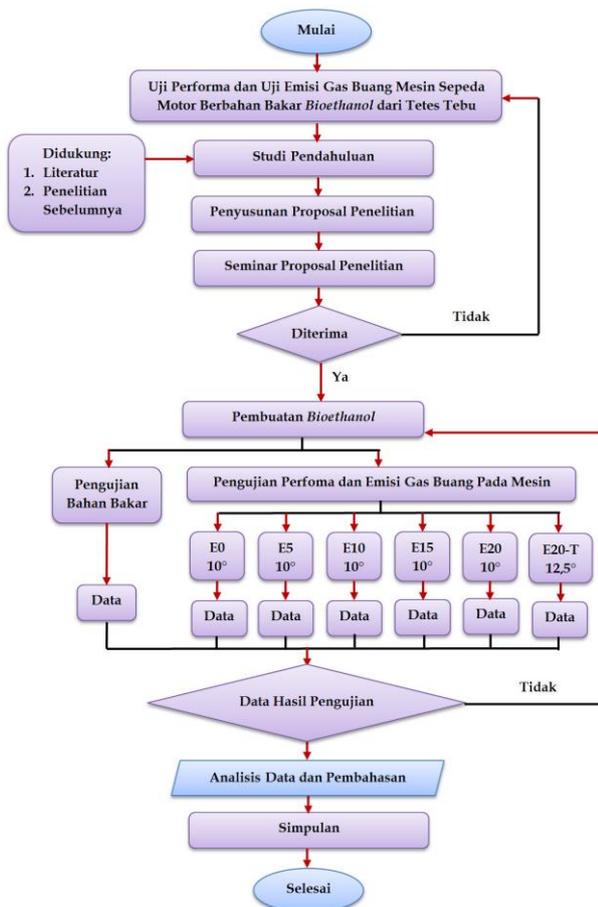
$$\eta_{th} = \frac{P}{m \cdot f \cdot Q_{hv}} \times 100\% \quad (2)^{[6]}$$

Untuk tekanan efektif rata-rata (Bmep) diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$Bmep = \frac{450.000 \times N}{V \times z \times n \times a} \quad (3)^{[5]}$$

METODE

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
Variabel bebas dalam penelitian ini adalah biopremium E0, E5, E10, E15, dan E20 dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA (standar) serta biopremium E20 dengan sudut pengapian 12,5° sebelum TMA (E20-T).
- Variabel Terikat
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah performa mesin (daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar

spesifik, efisiensi termal, dan tekanan efektif rata-rata) serta emisi gas buang (kandungan gas CO, CO₂, O₂, dan HC).

- Variabel Kontrol
Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:
 - ✓ Mesin sepeda motor Yamaha Jupiter Z tahun 2009
 - ✓ Pengujian performa mesin dilakukan pada putaran mesin 3000-9000 rpm dengan range 500 rpm.
 - ✓ Pengujian emisi gas buang mesin dilakukan pada kondisi idle (1500 rpm).
 - ✓ Temperatur oli mesin saat bekerja 60°-80°C
 - ✓ Celah busi dalam kondisi standar (0,8 mm).
 - ✓ Temperatur udara sekitar 25°-35°C
 - ✓ Kelembaban udara (*humidity*) 25-60%

Metode Pengujian

Metode pengujian performa mesin berpedoman pada SAE J1349, yaitu “*Engine Test Code-Spark Ignition and Compression Ignition-Net Power Rating*”. Pengujian ini dilakukan pada kondisi bukaan *throttle* kontinyu mulai dari *idle* sampai bukaan *throttle* maksimum (akselerasi). Metode pengujian emisi gas buang mesin berpedoman pada standar Kementerian Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2006 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor lama.

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data penelitian diperoleh dengan melakukan eksperimen. Kemudian data dianalisis dengan metode deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Efektif

Tabel 1. Hasil Pengujian Daya Efektif

Putaran (rpm)	Daya Efektif (PS)					
	E0 (10°)	E5 (10°)	E10 (10°)	E15 (10°)	E20 (10°)	E20-T (12,5°)
3000	1,893	1,927	1,927	2,163	1,656	2,265
3500	3,245	3,312	3,346	3,481	3,718	3,887
4000	3,617	3,752	3,786	4,124	4,056	4,259
4500	4,259	4,326	4,428	4,698	4,732	4,800
5000	4,867	4,969	5,171	5,374	5,442	5,442
5500	5,476	5,678	5,746	5,983	6,118	6,118
6000	6,084	6,185	6,321	6,456	6,625	6,692
6500	6,490	6,726	6,760	6,794	6,963	6,997
7000	6,963	7,199	7,132	7,199	7,267	7,301
7500	7,267	7,470	7,504	7,571	7,605	7,673
8000	7,335	7,436	7,639	7,706	7,639	7,740
8500	7,132	6,997	7,470	7,436	7,301	7,402
9000	6,895	6,726	7,199	7,199	7,098	7,098

Grafik daya efektif cenderung mengalami peningkatan dan mencapai daya efektif optimal pada rentang putaran 3000-8000 rpm. Peningkatan ini disebabkan oleh torsi yang meningkat sehingga efisiensi volumetrik juga meningkat. Campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar mendekati

campuran stoikiometri sehingga pembakaran berlangsung secara sempurna dan daya efektif yang dihasilkan mesin mengalami peningkatan. Selain itu peningkatan daya efektif ini disebabkan oleh nilai oktan pada biopremium.

Pada putaran 8500-9000 rpm, grafik daya efektif mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi torsi mengalami penurunan dan piston tidak mempunyai waktu yang cukup untuk menghisap campuran udara-bahan bakar, sehingga volume bahan bakar yang dihisap semakin berkurang dan tekanan kompresi menurun. Hal itu menyebabkan proses pembakaran menjadi tidak sempurna. Akibatnya daya efektif yang dihasilkan menurun. Pada semua pengujian dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA, daya efektif optimal yang tertinggi dihasilkan saat menggunakan E15 yaitu sebesar 7,706 PS pada putaran 8000 rpm.

Pada saat menggunakan E20, daya efektif mesin mengalami penurunan bila dibandingkan dengan E15. Hal ini disebabkan nilai oktan yang terkandung dalam E20 (yaitu 95) lebih tinggi dibandingkan dengan E15 (yaitu 93,25). Semakin tinggi nilai oktan yang dimiliki bahan bakar, semakin tinggi juga kemampuan bahan bakar untuk tidak segera terbakar, sehingga membutuhkan pengapian yang lebih awal supaya proses pembakaran udara-bahan bakar mendekati sempurna (stoikiometri). Ketika menggunakan E20-T (dengan sudut pengapian $12,5^\circ$ sebelum TMA) daya efektif mesin mengalami kenaikan menjadi 7,740 PS pada putaran 8000 rpm.

Torsi

Tabel 2. Hasil Pengujian Torsi

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)					
	E0 (10°)	E5 (10°)	E10 (10°)	E15 (10°)	E20 (10°)	E20-T ($12,5^\circ$)
3000	4,663	4,720	5,243	5,310	5,143	5,683
3500	6,427	6,637	6,757	7,457	6,947	7,480
4000	6,287	6,540	6,627	7,053	7,207	7,450
4500	6,617	6,773	6,857	7,350	7,343	7,513
5000	6,817	6,927	7,187	7,660	7,467	7,733
5500	6,923	7,167	7,270	7,713	7,577	7,860
6000	7,050	7,210	7,367	7,723	7,497	7,790
6500	6,980	7,243	7,250	7,480	7,293	7,533
7000	6,910	7,110	7,163	7,223	7,167	7,280
7500	6,763	6,977	7,020	7,073	6,943	7,140
8000	6,393	6,633	6,693	6,623	6,460	6,733
8500	5,823	6,033	6,110	6,007	5,707	6,080
9000	5,323	5,563	5,583	5,487	5,173	5,490

Grafik torsi cenderung mengalami peningkatan sampai torsi optimal pada rentang putaran 3000-6000 rpm. Ketika putaran mesin semakin meningkat maka efisiensi volumetrik juga semakin meningkat. Ada banyak waktu untuk mengisi silinder dengan campuran udara-bahan bakar secara penuh. Saat proses pembakaran, ledakan yang timbul akan menghasilkan

tekanan pembakaran yang lebih tinggi. Tekanan ini akan menghasilkan gaya dorong yang besar kepada kepala piston, sehingga torsi mesin menjadi lebih tinggi. Pada keadaan ini campuran udara-bahan bakar mendekati campuran stoikiometri.

Pada putaran 6500-9000 rpm, grafik torsi cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi, efisiensi volumetrik menurun. Silinder tidak memiliki cukup waktu untuk mengisi penuh dengan campuran udara-bahan bakar. Ketika campuran udara-bahan bakar miskin dibakar, tekanan pembakaran menjadi rendah. Gaya dorong kepada kepala piston juga akan rendah, sehingga terjadi penurunan torsi mesin. Pada semua pengujian dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA, torsi optimal yang tertinggi dihasilkan saat menggunakan E15 yaitu sebesar 7,723 Nm pada putaran 6000 rpm.

Pada saat menggunakan E20, torsi mesin mengalami penurunan bila dibandingkan dengan E15. Hal ini disebabkan nilai oktan yang terkandung dalam E20 (yaitu 95) lebih tinggi dibandingkan dengan E15 (yaitu 93,25). Semakin tinggi nilai oktan yang dimiliki bahan bakar, semakin tinggi juga kemampuan bahan bakar untuk tidak segera terbakar, sehingga membutuhkan pengapian yang lebih awal supaya proses pembakaran udara-bahan bakar mendekati sempurna (stoikiometri). Ketika menggunakan E20-T (dengan sudut pengapian $12,5^\circ$ sebelum TMA) torsi mesin mengalami kenaikan menjadi 7,860 Nm pada putaran 5500 rpm.

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Efektif

Putaran (rpm)	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (kg/PS.jam)					
	E0 (10°)	E5 (10°)	E10 (10°)	E15 (10°)	E20 (10°)	E20-T ($12,5^\circ$)
3000	0,175	0,157	0,138	0,146	0,205	0,144
3500	0,120	0,108	0,100	0,104	0,092	0,088
4000	0,113	0,107	0,098	0,088	0,095	0,095
4500	0,108	0,105	0,094	0,080	0,089	0,089
5000	0,109	0,093	0,090	0,083	0,088	0,074
5500	0,101	0,098	0,102	0,076	0,087	0,078
6000	0,105	0,108	0,098	0,082	0,089	0,087
6500	0,112	0,107	0,104	0,091	0,094	0,081
7000	0,132	0,118	0,108	0,092	0,103	0,096
7500	0,124	0,118	0,119	0,099	0,105	0,102
8000	0,149	0,146	0,130	0,121	0,115	0,106
8500	0,167	0,163	0,153	0,133	0,144	0,126
9000	0,196	0,204	0,186	0,158	0,168	0,154

Grafik konsumsi bahan bakar spesifik cenderung mengalami penurunan sampai titik optimal pada rentang putaran 3000-5500 rpm. Hal ini dikarenakan campuran udara-bahan bakar yang masuk ke ruang bakar mendekati campuran sempurna karena adanya unsur molekul oksigen pada bahan bakar biopremium, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Hal ini menyebabkan waktu konsumsi bahan bakarnya menjadi

lebih lama. Pada putaran 6000-9000 rpm konsumsi bahan bakar spesifik semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena putaran mesin semakin tinggi sehingga kebutuhan akan konsumsi bahan bakar juga semakin meningkat. Pada semua pengujian dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA, konsumsi bahan bakar spesifik optimal yang terendah dihasilkan saat menggunakan E15 yaitu sebesar 0,076 kg/PS.jam pada putaran 5500 rpm.

Pada saat menggunakan E20, konsumsi bahan bakar spesifik mengalami kenaikan. Namun, ketika menggunakan E20-T (dengan sudut pengapian 12,5° sebelum TMA) konsumsi bahan bakar spesifik mesin mengalami penurunan menjadi 0,074 kg/PS.jam pada putaran 5000 rpm. Hal ini disebabkan karena meningkatnya torsi dan daya sehingga tidak perlu membuka *trottle valve* terlalu lebar untuk mencapai putaran tinggi.

Efisiensi Termal

Tabel 4. Hasil Pengujian Efisiensi Termal

Putaran (rpm)	Efisiensi Termal (%)					
	E0 (10°)	E5 (10°)	E10 (10°)	E15 (10°)	E20 (10°)	E20-T (12,5°)
3000	0,425	0,404	0,471	0,451	0,323	0,459
3500	0,620	0,589	0,650	0,635	0,720	0,752
4000	0,658	0,595	0,659	0,746	0,694	0,700
4500	0,691	0,603	0,692	0,815	0,742	0,749
5000	0,683	0,687	0,721	0,793	0,755	0,899
5500	0,737	0,652	0,635	0,870	0,764	0,848
6000	0,711	0,590	0,663	0,799	0,743	0,761
6500	0,662	0,592	0,623	0,725	0,703	0,822
7000	0,564	0,537	0,600	0,715	0,641	0,687
7500	0,597	0,537	0,545	0,666	0,628	0,636
8000	0,499	0,435	0,497	0,546	0,577	0,623
8500	0,445	0,390	0,423	0,495	0,460	0,525
9000	0,379	0,311	0,349	0,417	0,395	0,429

Grafik efisiensi termal cenderung mengalami peningkatan sampai efisiensi termal optimal pada rentang putaran 3000-5500 rpm. Hal ini disebabkan oleh putaran mesin yang semakin tinggi. Pada keadaan ini campuran udara-bahan bakar mendekati campuran stoikiometri, mengakibatkan perambatan nyala api semakin cepat dan pembakaran berlangsung sempurna sehingga tekanan dan temperatur yang dihasilkan semakin tinggi dan efisiensi termal yang dihasilkan tinggi pula.

Pada putaran 6000-9000 rpm, grafik efisiensi termal cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh putaran tinggi piston tidak mempunyai waktu yang cukup untuk melakukan langkah hisap, sehingga volume bahan bakar yang dihisap semakin berkurang dan tekanan kompresi menurun. Selain itu pada putaran tinggi terjadi keterlambatan pembakaran sehingga ledakan pembakaran terjadi pada saat torak menuju TMB. Pada semua pengujian dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA, efisiensi termal optimal yang tertinggi dihasilkan saat

menggunakan E15 yaitu sebesar yaitu sebesar 0,870% pada putaran 5500 rpm.

Pada saat menggunakan E20, efisiensi termal mesin mengalami penurunan. Hal ini disebabkan nilai oktan yang terkandung dalam E20 (yaitu sebesar 95) lebih tinggi dibandingkan dengan E15 (yaitu sebesar 93,25). Semakin tinggi nilai oktan yang dimiliki bahan bakar akan mengakibatkan penundaan (*delay*) pembakaran di dalam ruang bakar. Oleh karena itu diperlukan modifikasi mesin, sehingga pengapian terjadi lebih awal supaya proses pembakaran udara-bahan bakar mendekati sempurna (stoikiometri). Ketika menggunakan biopremium E20-T (dengan sudut pengapian 12,5° sebelum TMA) efisiensi termal mesin mengalami kenaikan menjadi 0,899% pada putaran 5000 rpm.

Tekanan Efektif Rata-Rata

Tabel 5. Hasil Pengujian Tekanan Efektif Rata-Rata

Putaran (rpm)	Tekanan Efektif Rata-Rata (kg/cm ²)					
	E0 (10°)	E5 (10°)	E10 (10°)	E15 (10°)	E20 (10°)	E20-T (12,5°)
3000	1,287	1,310	1,310	1,471	1,126	1,540
3500	1,891	1,931	1,950	2,029	2,167	2,265
4000	1,844	1,913	1,931	2,103	2,068	2,172
4500	1,931	1,961	2,007	2,130	2,145	2,176
5000	1,986	2,027	2,110	2,193	2,220	2,220
5500	2,031	2,106	2,131	2,219	2,269	2,269
6000	2,068	2,103	2,149	2,195	2,252	2,275
6500	2,037	2,111	2,121	2,132	2,185	2,196
7000	2,029	2,098	2,078	2,098	2,118	2,128
7500	1,977	2,032	2,041	2,059	2,068	2,087
8000	1,870	1,896	1,948	1,965	1,948	1,974
8500	1,712	1,679	1,793	1,785	1,752	1,776
9000	1,563	1,525	1,632	1,632	1,609	1,609

Grafik tekanan efektif rata-rata cenderung mengalami peningkatan sampai grafik tekanan efektif rata-rata optimal pada rentang putaran 3000-6000 rpm. Ketika putaran mesin semakin meningkat, maka turbulensi aliran yang masuk ke ruang bakar juga semakin meningkat. Pada keadaan ini campuran udara-bahan bakar mendekati campuran stoikiometri, hal ini mengakibatkan perambatan nyala api semakin cepat dan proses pembakaran berlangsung secara sempurna, sehingga tekanan kompresi dan temperatur yang dihasilkan semakin meningkat. Selain itu meningkatnya bilangan oktan biopremium akan menyebabkan ledakan yang besar di ruang pembakaran pada saat proses pembakaran. Hal ini mengakibatkan tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan kendaraan akan meningkat.

Pada putaran 6500-9000 rpm, grafik tekanan efektif rata-rata cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi, piston hanya mempunyai waktu sedikit untuk menghisap campuran udara-bahan bakar, sehingga volume bahan bakar yang dihisap semakin berkurang dan tekanan kompresi

menurun. Pada semua pengujian dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA, tekanan efektif rata-rata optimal yang tertinggi dihasilkan saat menggunakan E20 yaitu sebesar $2,269 \text{ kg/cm}^2$ pada putaran 5500 rpm.

Ketika menggunakan biopremium E20-T (dengan sudut pengapian $12,5^\circ$ sebelum TMA) tekanan efektif rata-rata mesin mengalami kenaikan menjadi $2,275 \text{ kg/cm}^2$ pada putaran 6000 rpm. Hal ini membuktikan bahwa pengubahan waktu pengapian (beberapa derajat sebelum TMA) dapat membuat pembakaran udara-bahan bakar mendekati sempurna (stoikiometri) dan dapat meningkatkan tekanan efektif rata-rata.

Emisi Gas Buang

Tabel 6. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

Bahan Bakar	Sudut Pengapian	Hasil Pengujian Emisi Gas Buang				
		CO (%vol)	CO ₂ (%vol)	O ₂ (%vol)	HC (ppm)	Lambda (λ)
E0	10°	1,720	8,600	5,697	445,000	1,256
E5	10°	1,163	7,433	7,300	567,667	1,246
E10	10°	1,050	7,633	7,160	647,000	1,317
E15	10°	0,663	7,200	7,440	667,000	1,326
E20	10°	0,460	6,367	8,737	789,333	1,362
E20-T	$12,5^\circ$	0,540	6,500	8,627	754,000	1,428

Pada keadaan *idle*, emisi gas CO cenderung menurun, hal ini disebabkan pada penggunaan campuran bahan bakar *bioethanol*-premium, jumlah unsur oksigen yang ada melebihi dari yang dibutuhkan untuk melakukan pembakaran sempurna pada mesin sepeda motor yang didesain untuk bahan bakar bensin, campuran cenderung miskin dan berakibat pada penurunan emisi gas CO.

Pada keadaan *idle*, emisi gas CO₂ cenderung menurun, hal ini disebabkan pada penggunaan campuran bahan bakar *bioethanol*-premium dan jumlah udara yang bercampur dengan bahan bakar (lambda). Semakin rendah lambda bahan bakar semakin sedikit karbon dioksida yang dihasilkan. (Octaviani,dkk., 2010) ^[7]. Rendahnya kadar CO₂ dimungkinkan karena pembakaran yang terlambat. Pembakaran yang terlambat menyebabkan unsur C dan O tidak berubah menjadi CO₂.

Pada keadaan *idle*, emisi gas O₂ cenderung meningkat, hal ini disebabkan pada penggunaan campuran bahan bakar *bioethanol*-premium, jumlah unsur oksigen yang ada melebihi dari yang dibutuhkan untuk melakukan pembakaran sempurna pada mesin sepeda motor yang didesain untuk bahan bakar bensin, campuran cenderung miskin dan berakibat pada peningkatan emisi gas O₂. Selain itu peningkatan campuran *bioethanol* dalam bahan bakar akan meningkatkan emisi gas O₂.

Pada keadaan *idle*, emisi gas HC cenderung meningkat, hal ini disebabkan pada penggunaan campuran bahan bakar *bioethanol*-premium, terjadi kegagalan sistem pengapian atau pembakaran yang tidak sempurna sehingga banyak bahan bakar yang tidak terbakar atau

unburned hydrocarbon yang dibaca oleh alat *exhaust gas analyzer* sebagai HC.

SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah:

- Diantara pengujian biopremium E0, E5, E10, E15, dan E20, dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA, biopremium E15 merupakan campuran terbaik ditinjau dari performa mesin dan emisi gas buang.
- Pengujian dengan E20-T (E20 dengan sudut pengapian $12,5^\circ$ sebelum TMA) menunjukkan performa mesin yang lebih tinggi, bila dibandingkan dengan E20 (dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA).
- Bahan bakar E20-T (E20 dengan sudut pengapian $12,5^\circ$ sebelum TMA) memiliki performa mesin dan emisi gas buang terbaik diantara E0, E5, E10, E15, dan E20 dengan sudut pengapian 10° sebelum TMA).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurniawan, Endra. 2014. *Uji Kinerja Mesin 4 Langkah Berbahan Bakar Bioethanol Dari Limbah Pabrik Wafer Mix Snack Wringin Anom Gresik Sebagai Campuran Premium*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- [2] Obert, Edward F. 1973. *Internal Combustion Engines and Air Pollution*. New York: Harper & Row, Publisher, Inc.
- [3] Pratama, Rizki Yoga N. 2014. *Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertamina dan Waktu Pengapian (Ignition Timing) Terhadap Performa Mesin dan Emisi Gas Buang Motor Supra X 125cc Tahun 2008*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- [4] Prasnady, Anjar. 2018. *Rasio Ukuran Partikel dan Temperatur Pemanasan Batu Kapur Untuk Meningkatkan Kadar Bioethanol Dari Tetes Tebu*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- [5] Arismunandar, Wiranto. 2005. *Motor Bakar Torak*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [6] Crouse, William H. & Anglin, Donald L. 1997. *Automotive Mechanic*. Ninth Edition. New York: McGraw-Hill Book Company, pp. 121-129.
- [7] Oktaviani, Ruri dkk. 2010. "Pengaruh Penambahan Bioethanol Terhadap Konsentrasi Emisi Gas HC, CO, dan CO₂ pada Motor 2 Langkah". *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 16 (2): pp 173-184.