

KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG MESIN BENSIN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR CAMPURAN PERTALITE-BIOETANOL TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Husin Ibrahim¹, A.H. Sebayang¹, Rahmawaty¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Medan

ABSTRAK

Bahan bakar bioetanol merupakan bahan bakar terbarukan yang ramah terhadap lingkungan. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah yang digunakan sebagai bahan baku non-pangan untuk memproduksi bioetanol. Dalam penelitian ini, campuran bioetanol-pertalite dengan persentasi campuran 10% (E10), 15% (E15) dan 20% (E20) digunakan pada mesin bensin (SI) untuk menyelidiki kinerja mesin dan emisi gas buang. Kinerja mesin diamati dengan parameter konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) dan efisiensi termal (BTE). Selain itu, CO, HC dan CO₂ diukur sebagai parameter emisi gas buang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadinya penurunan konsumsi bahan bakar spesifik (171,92 g / kWh) di campuran bahan bakar dengan persentase 20% bioetanol (E20) pada kecepatan mesin 7000 rpm. Efisiensi termal (BTE) mencapai maksimum sebesar 51,33%. Selain itu campuran bioetanol-pertalite dapat juga menurunkan emisi gas buang karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) dibandingkan dengan bahan bakar pertalite, walaupun karbon dioksida (CO₂) meningkat.

Kata Kunci: bioetanol, pertalite, tandan kosong kelapa sawit, kinerja mesin, emisi.

1. PENDAHULUAN

Menipisnya bahan bakar fosil, meningkatnya pemanasan global dan buruknya kualitas udara disebabkan oleh meningkatnya alat transportasi yang penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, banyak penelitian tentang energi terbarukan untuk mencari pengganti bahan bakar fosil yang ramah terhadap lingkungan.

Bioethanol merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang paling menguntungkan untuk dicampurkan dengan pertalite dan digunakan pada mesin pembakaran dalam. Selain itu, bahan bakar bioetanol memiliki emisi gas buang yang rendah sehingga ramah terhadap lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Dari segi penggunaan, penyimpanan dan transportasi bahan bakar bioethanol mirip dengan bahan bakar bensin. Selain itu bioethanol dapat diproduksi dari bahan baku biomassa lignoselulosa yang merupakan biofuel generasi kedua. Biomassa generasi kedua berasal dari lignoselulosa komponen residu pertanian, seperti, kayu dan limbah pertanian lainnya dapat dijadikan bahan bakar bioethanol dengan metode bioteknologi seperti hidrolisis lignoselulosa selanjutnya difermentasi dan kemudian disuling.

Disisi lain, sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang diperoleh dari biomassa, bioetanol merupakan alternatif untuk bahan bakar bensin tanpa timbal sebagai bahan bakar

otomotif, dan dapat digunakan tanpa modifikasi engines.

Salah satu sumber bahan baku bioetanol dari biomassa lignoselulosa adalah tandan kosong kelapa sawit. TKKS merupakan limbah berlignoselulosa yang belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini karena tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan selulosa yang tinggi (40-52%) untuk dikonversi menjadi gula sederhana melalui proses hidrolisa dan kemudian difermentasi menghasilkan bioetanol. Senyawa lignoselulosa terdiri atas tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang merupakan bahan utama penyusun dinding sel tumbuhan.

Penelitian ini menggunakan biomassa lignoselulosa yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) karena tidak berkompetisi dengan pangan maupun pakan, tersedia melimpah, murah dan terbarukan. TKKS merupakan bagian dari kelapa sawit yang berfungsi sebagai tempat untuk buah kelapa sawit. Tandan Kosong Kelapa Sawit merupakan limbah padat terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit (PKS). Menurut Fauzi et al., dari setiap pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) dihasilkan TKKS sebanyak 22%–25% atau sebanyak 220–250 kg TKKS, 13%–15% serat, 6,5% cangkang, 55,5%–6% biji dan 16%–20% *crude palm oil* (CPO). Jika PKS berkapasitas 100 ton/jam maka dihasilkan sebanyak 22–25 ton TKKS.

Penerapan bioetanol dalam mesin SI telah dipelajari dan dinilai melalui parameter kinerja mesin seperti, rem termal efisiensi (BTE), rem konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC), tenaga mesin (BP) dan juga emisi gas buangnya.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan performa mesin. Sebagai bahan bakar pengganti bensin, bahan bakar campuran bensin-bioethanol dapat meningkatkan kinerja mesin, seperti dilansir peneliti. Najafi et al. menyelidiki kinerja mesin empat-stroke engine SI dengan menggunakan bahan bakar campuran bensin-etanol, dan mereka mengamati bahwa E20 meningkatkan efisiensi pembakaran 35%. Sedangkan untuk konsumsi bahan bakar spesifik terjadi penurunan dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar bensin. Demikian pula, Koç et al. menggunakan rasio etanol lebih tinggi dalam campuran, mempelajari satu silinder mesin SI kinerja pembakaran didukung oleh campuran E50 dan E85. Para penulis melaporkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik rem (BSFC) meningkat 20,3% dan 45,6% untuk E50 dan E85 masing-masing.

Selain itu, emisi gas buang dianalisa oleh Ghazikhani et al. pada mesin SI dua langkah menggunakan campuran bensin-etanol, yang mengakibatkan pengurangan emisi CO dan NOx sebesar 32% dan 38% dari konsentrasi etanol 15% dalam campuran. Sementara itu, Schifter et mengamati bahwa 20% campuran etanol dalam mesin silinder tunggal emisi CO dan HC berkurang masing-masing 52% dan 19%. Sepengetahuan kami, sejauh ini belum ada penelitian yang fokus pada kinerja dan emisi gas buang dari mesin pembakaran dalam (SI) yang menggunakan bahan bakar campuran pertalite-bioetanol tandan kosong kelapa sawit dengan perbandingan pencampuran yang berbeda. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi campuran pertalite-bioetanol yang sesuai dan menghasilkan kinerja mesin yang baik dan menurunkan emisi gas buang untuk mesin percikan api (SI).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Perlengkapan dan Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin Honda Tiger tahun 2000 satu silinder, empat langkah. Mesin ini dilengkapi dengan eksprimen otomatis digunakan untuk mengukur daya, torsi, konsumsi bahan bakar dan putaran. Spesifikasi teknis mesin dicantumkan pada Tabel 1. Parameter emisi mesin seperti karbon

monoksida, karbon dioksida dan hidrokarbon monoksida, karbon dioksida dan hidrokarbon dicatat dengan menggunakan analisa gas buang Sukyoung SY GA-41.

Tabel 1 Spesifikasi Honda Tiger Tahun 2000

No	Spesifikasi	
1	Diameter x langkah	63,5 mm x 62,2 mm
2	Kopling	Manual multi plate wet clutch
3	Transmisi	1-N-2-3-4-5 (5 Percepatan)
4	Perbandingan Ratio	9,0 : 1
5	Tipe Mesin	4 Langkah OHC
6	Daya Maksimum	16,7 HP/8500 Rpm
7	Torsi Maksimum	1,60 Kg.f/ 7000 Rpm
8	Aki	12V-7Ah

2.2 Bahan baku bioetanol

2.2.1 Tandan kosong kelapa sawit

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) diperoleh dari pabrik Kelapa Sawit (PKS). TKKS dicuci bersih dengan air kemudian di potong-potong lalu dikeringkan dalam oven. Kemudian TKKS digiling sampai ukuran tertentu. Setelah itu, tandan kosong yang sudah digiling kemudian direndam dalam cairan NaOH 4% dan dipanaskan dalam autoclave pada suhu 121°C selama 60 menit. Lalu campuran didinginkan pada suhu kamar dan kemudian memisahkan ampas tanda kosong dengan cairan. Rentang pengukuran dan keakurata instrumen yang digunakan diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Emisi Gas Buang

No	Type/Merk : Sukyoung SY-GA 401	
1	Pembuat	Korea
2	Tahun produksi	2009
3	CO	0,00- 9,999%, res 0,01%
4	CO2	0,0-20%, res 0,1 %
5	HC	0-99999 ppm, res 1 ppm
6	O2	0,00-25%, res 0,01%
7	Lambda	0-2,000 res 0,001%
8	AFR	0,0-99,0 res 0,1%
9	Waktu pemanasan	2-8 menit
10	Hisapan gas yang	4-6 l/menit

No	Type/Merk : Sukeyoung SY-GA 401	dites
11	Daya	50 W
12	Dimensi	285x410x155 mm
13	Berat	4,5 kg

2.2.2 Katalis atau Reaktan

Reaktan yang digunakan untuk produksi bioetanol dalam penelitian ini adalah asam 3,5-dinitrosalicilic (DNS), kalium dihidrogen fosfat (KH₂PO₄), ammonium klorida (NH₄Cl), pelet natrium hidroksida (NaOH, kemurnian 99,9%), natrium kalium tartrat, enzim selulase, enzim β-glucosidase, ragi dari *Saccharomyces cerevisiae*, ekstrak ragi, pepton bakteri, D-Glukosa, dan potato dextrose.

2.2.3 Analisa glukosa

Kandungan gula hasil hidrolisa ditentukan dengan menggunakan metode DNS. Pertama, 1 mL larutan gula hasil hidrolisa diencerkan dengan air suling dalam tabung reaksi. Selanjutnya, 1 mL larutan DNS ditambahkan ke larutan tersebut, dan campuran dipanaskan pada suhu 90 °C selama 5 menit. Selanjutnya, campuran didinginkan dan diencerkan, dan absorbansi diukur dengan menggunakan spektrofotometer sinar ultraviolet.

2.2.4 Proses hidrolisa

Proses hidrolisa enzimatik dilakukan dengan menyiapkan substrat TKKS sebanyak 24% (w/v) dalam labu yang diisi dengan air suling. Proses liquefaction dilakukan dengan menggunakan 0,1% (v/v) enzim selulase pada suhu 90 °C dan kecepatan langkah 75 spm. Selanjutnya, 0,1% (v/v) β-glucosidase ditambahkan ke dalam campuran, dan proses sakarifikasi dilakukan pada suhu 70 °C selama 240 menit. Sampel disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 5 menit untuk memisahkan residu padat. Metode DNS digunakan untuk mengukur jumlah gula hasil hidrolisa.

2.2.5 Proses fermentasi

Proses fermentasi dilakukan dengan menggunakan labu Erlenmeyer 2-L. Setiap labu Erlenmeyer diisi dengan larutan hasil hidrolisa dan dicampurkan nutrisi fermentasi sebagai berikut: 10 g ekstrak ragi, 4 g kalium dihidrogen fosfat (KH₂PO₄), dan 2 g amonium klorida (NH₄Cl) untuk setiap 1.000 mL larutan yang telah dihidrolisa. Larutan dicampur dan kemudian disterilkan pada suhu 125 °C dalam autoklaf selama 35 menit. Larutan yang disterilisasi diinokulasi dengan ragi

Saccharomyces cerevisiae. Akhirnya, larutan yang akan difermentasikan diletakkan dalam inkubator shaker dan dipasang pada kecepatan agitasi dan suhu masing-masing 37 °C dan 120 rpm untuk proses fermentasi selama 84 jam.

2.2.6 Proses distilasi

Proses distilasi dilakukan dengan menggunakan evaporator berputar pada suhu 60 °C, tekanan 175 mbar, dan kecepatan putar 100 rpm.

2.2.7 Sifat bahan bakar

Sebelum melakukan percobaan, campuran bahan bakar disiapkan dan dipastikan bahwa campuran bahan bakar homogen. Bioethanol dicampur dengan pertalite yang diperoleh dari PERTAMINA, dengan angka oktan (RON) 90 sebagai basis bahan bakar. Kinerja dan emisi dari mesin dilakukan dengan menggunakan bahan bakar campuran pertalite-bioetanol dengan persentase 10% (E10), 15% (E15) dan 20% (E20) dievaluasi dan dibandingkan dengan bahan bakar pertalite. Sifat-sifat bahan bakar diberikan pada tabel 3.

Tabel 3. Sifat Bahan Bakar

Bahan bakar	Kerapatan (kg/m ³)	Nilai Kalor (MJ/kg)	Angka Oktan
Pertalite	770	44,14	90
Bioetanol TKKS	790,3	28,16	108
E10	772,24	42,54	91,8
E15	773,59	41,24	92,7
E20	774,39	40,79	93,6
E20 ^[12]	771,5	40,43	89,81
E20 ^[13]	759,7	39,47	93

2.2.8 Perhitungan parameter kinerja mesin

Dalam penelitian ini, BSFC dan BTE dihitung sesuai konsumsi bahan bakar dan daya rem. BSFC adalah parameter kinerja mesin yang lebih bermanfaat karena ini mengindikasikan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya keluaran mesin tertentu. BSFC dan BTE ditentukan dengan menggunakan **Persamaan. 1 dan 2**, masing-masing :

$$BSFC = \frac{\text{Konsumsi bahan bakar}}{\text{Daya}} \quad (1)$$

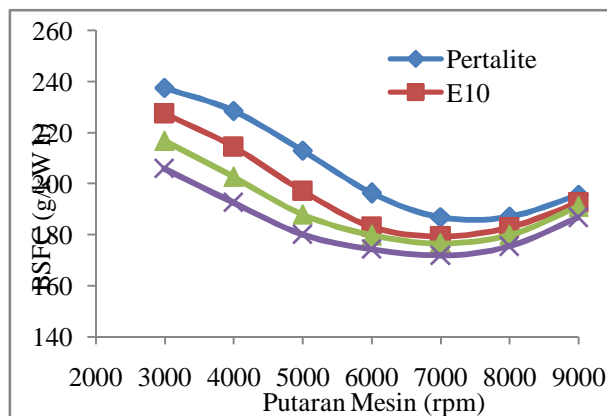
$$BTE = \frac{\text{Daya} \times 3600}{\text{Nilai kalor} \times \text{Konsumsi bahan bakar}} \quad (2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsumsi bahan bakar spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) dengan variasi putaran untuk bahan bakar pertalite dan campuran yang berbeda dari E10, E15 dan E20 disajikan pada **gambar 1**. BSFC yang terendah pada 7000 rpm adalah 179,45 g/kWh (E10), 176,57 g/kWh (E15) dan 171,92 g/kWh (E20). Saat mesin itu dioperasikan dengan bahan bakar pertalite pada 7000 rpm, BSFC adalah sebesar 186,91 g/kWh. Kecenderungan BSFC menurun sejalan dengan meningkatnya persentase campuran bioetanol. BSFC dari E10, E15 dan E20 yang diamati lebih rendah sebesar 4,16%, 5,86% dan 8,72% dibandingkan dengan bahan bakar pertalite pada putaran 7000 rpm, hasil ini sesuai dengan penelitian Winarno. Najafi et al., juga melaporkan dalam penelitiannya bahwa dengan meningkatnya persentase campuran bioetanol diikuti dengan menurunnya konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC).

Penurunan BSFC ini disebabkan oleh naiknya angka oktan yang menyebabkan pemanfaatan energi pembakaran lebih baik. Dengan naiknya angka oktan, tekanan dan temperatur pembakaran semakin meningkat sehingga proses pembakaran mendekati sempurna dan energi pembakaran yang dihasilkan semakin tinggi.

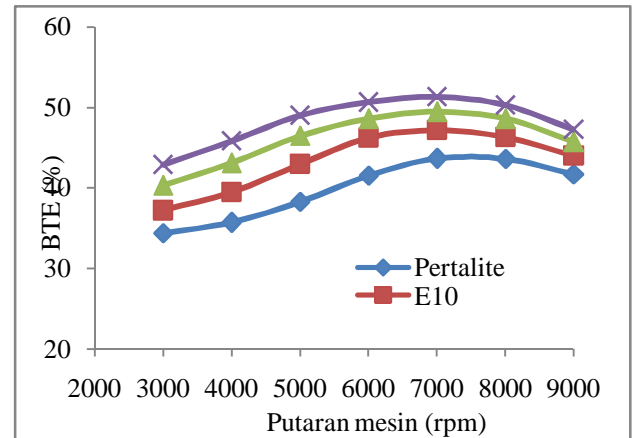


Gambar 1. Grafik BSFC terhadap putaran mesin

3.2. Efisiensi Termal

Gambar 2. menunjukkan efisiensi termal untuk bahan bakar pertalite dan bahan bakar campuran pada variasi putaran mesin. Seperti yang ditunjukkan pada **gambar 2**, efisiensi termal meningkat seiring dengan kenaikan persentase bioetanol. Efisiensi thermal maksimum campuran bioetanol-pertalite masing-masing 47,16% (E10), 49,44% (E15) dan 51,33% (E20). Efisiensi termal maksimum untuk pertalite

adalah 43,64%. Jelas bahwa efisiensi thermal meningkat dengan kenaikan persentase volume bioetanol dalam campuran bahan bakar. Seiring putaran mesin meningkat hingga mencapai 7000 rpm, efisiensi thermal meningkat mencapai nilai maksimalnya dan hasil ini sama seperti yang dilaporkan oleh Najafi et al. [8]

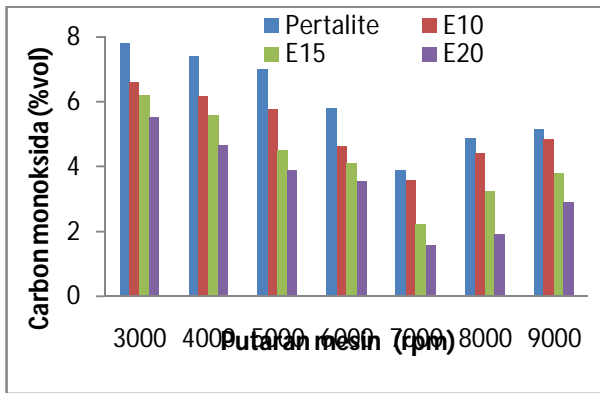


Gambar 2 Grafik efisiensi termal terhadap putaran mesin

3.3. Emisi Gas Buang

3.3.1. Emisi karbon monoksida

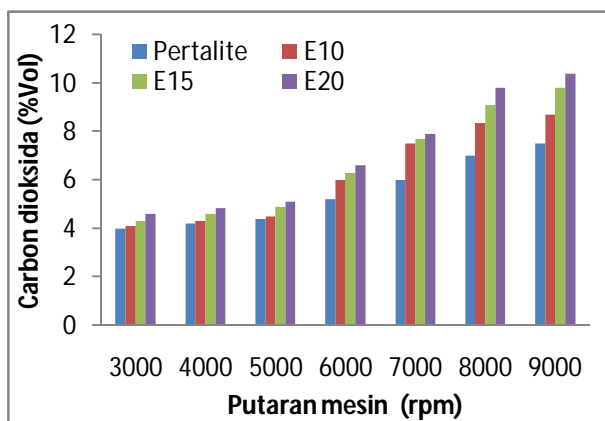
Gambar 3 menunjukkan emisi CO untuk bahan bakar pertalite dan campuran bioetanol pada berbagai putaran mesin. Dapat dilihat dari gambar ini bahwa saat persentase bioetanol meningkat, konsentrasi CO menurun. Emisi CO lebih rendah untuk campuran bioetanol dari pada pertalite. Emisi CO adalah 3,6 vol% (E10), 2,2 vol% (E10) dan 1,6 vol% (E20) pada putaran 7000 rpm. Sebaliknya, emisi CO untuk pertalite adalah 3,9 vol% pada putaran 7000 rpm. Penurunan emisi CO dengan menggunakan bahan bakar campuran adalah karena meningkatnya kandungan oksigen, sehingga terjadinya proses pembakaran sempurna. Najafi et al., [8] mengamati bahwa kandungan oksigen yang lebih tinggi pada bahan bakar dapat mengurangi emisi CO.



Gambar 3 Grafik Emisi CO terhadap putaran mesin

3.3.2. Emisi karbon dioksida

Gambar 4 menunjukkan emisi CO₂ untuk bahan bakar pertalite dan campuran bioetanol pada berbagai putaran mesin. Gambar 4 menunjukkan emisi CO₂ meningkat dengan meningkatnya persentase bioetanol. Emisi CO₂ pada putaran 7000 rpm untuk bahan bakar pertalite sebesar 6,0 vol%, sedangkan emisi CO₂ pada E10, E15 dan E20 adalah masing-masing 7,5 vol%, 7,7 vol% dan 7,9 vol% pada putaran 7000 rpm. Emisi CO₂ pada putaran 7000 rpm menggunakan E10, E15 dan E20 masing-masing meningkat sebesar 25%, 28,33% dan 31,66% dibandingkan dengan pertalite.

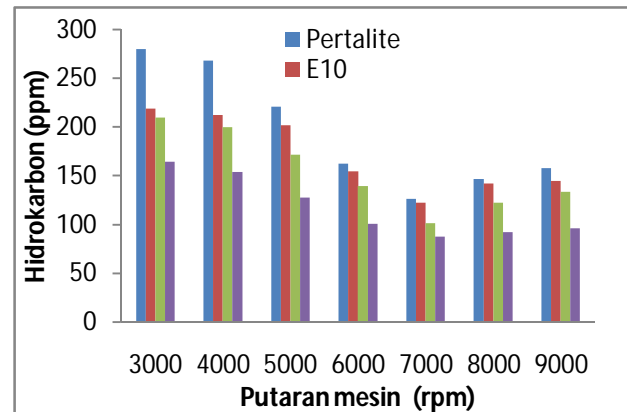


Gambar 4. Grafik emisi CO₂ terhadap putaran mesin

3.3.3. Emisi hidrokarbon

Gambar 5 menunjukkan emisi HC untuk bahan bakar pertalite dan campuran bioetanol pada berbagai putaran mesin. Emisi HC pada putaran 7000 rpm untuk bahan bakar pertalite 127 ppm, sedangkan emisi HC pada E10, E15 dan E20 untuk putaran 7000 rpm masing-masing 123, 102 dan 88,0 ppm. Emisi HC menggunakan bahan bakar E10, E15 dan E20 turun masing-masing sebesar 3,25%, 19,68% dan 30,70% pada

putaran 7000 rpm dibandingkan dengan bahan bakar pertalite. Hasil ini menunjukkan bahwa bioetanol dapat secara signifikan mengurangi emisi HC. Emisi HC menurun seiring dengan kenaikan perbandingan relatif udara-bahan bakar. Hasil ini sesuai dengan penelitian Sharma and Lal. Meningkatnya persentase bioetanol maka meningkatkan perbandingan udara-bahan bakar sehingga meningkatkan pembakaran dan pembakaran sempurna yang menghasilkan emisi HC yang lebih rendah.



Gambar 5 Grafik emisi HC terhadap putaran mesin

4. KESIMPULAN

Tandan kosong kelapa sawit dapat dijadikan salah satu sumber bahan baku non-pangan untuk pembuatan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif. Dalam penelitian ini, tiga persentase bioetanol yang berbeda yaitu bioetanol 10% (E10), bioetanol 15% (E15) dan bioetanol 20% (E20) yang digunakan pada mesin spark ignition (SI) untuk menganalisa kinerja mesin dan emisi gas buang. Kinerja mesin bensin diamati dengan parameter konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) dan efisiensi termal (BTE). Dalam penelitian ini ditemukan bahwa E10, E15 dan E20 adalah campuran paling efektif yang dapat meningkatkan kinerja mesin dan pengurangan emisi dibandingkan dengan bahan bakar pertalite. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar campuran E20 memberikan hasil terbaik pada kinerja mesin seperti efisiensi termal (BTE) sebesar 51,33% pada 7000 rpm. Selain itu, konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) adalah sebesar 171,92 g/kWh dan hal ini lebih rendah dibandingkan dengan BSFC bahan bakar pertalite. Disamping itu, bahan bakar campuran bioetanol dapat juga mengurangi emisi gas buang seperti CO dan HC dibandingkan dengan bahan bakar pertalite, tetapi CO₂ meningkat. Secara keseluruhan hasil dari

penelitian menunjukkan bahwa bioetanol tandan kosong kelapa sawit dapat dipertimbangkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar pertalite.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ibrahim, H., Sebayang, A.H., Dharma, S., Silitonga, A., Prediksi kinerja mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel-solar menggunakan artificial neural network, *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 1 (2017).
- [2] Sebayang, A.H., Masjuki, H.H., Ong, H.C., Dharma, S., Silitonga, A.S., Kusumo, F., Milano, J., Prediction of engine performance and emissions with Manihot glaziovii bioethanol – Gasoline blended using extreme learning machine, *Fuel*, 210 (2017) 914-921.
- [3] Çay, Y., Korkmaz, I., Çiçek, A., Kara, F., Prediction of engine performance and exhaust emissions for gasoline and methanol using artificial neural network, *Energy*, 50 (2013) 177-186.
- [4] Siwale, L., Kristóf, L., Bereczky, A., Mbarawa, M., Kolesnikov, A., Performance, combustion and emission characteristics of n-butanol additive in methanol–gasoline blend fired in a naturally-aspirated spark ignition engine, *Fuel Processing Technology*, 118 (2014) 318-326.
- [5] Tavva, S.M.D., Deshpande, A., Durbha, S.R., Palakollu, V.A.R., Goparaju, A.U., Yechuri, V.R., Bandaru, V.R., Muktinutalapati, V.S.R., Bioethanol production through separate hydrolysis and fermentation of *Parthenium hysterophorus* biomass, *Renewable Energy*, 86 (2016) 1317-1323.
- [6] Gomasta, S., Mahla, S., An experimental investigation of ethanol blended diesel fuel on engine performance and emission of a diesel engine, *International Journal on Emerging Technologies*, 3 (2012) 74-79.
- [7] Fauzi, Y., Widyastuti, Y.E., Satyawibawa, I., Hartono, R., Kelapa Sawit: Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran, Penebar Swadaya. Jakarta, (2006).
- [8] Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D., Yusaf, T., Faizollahnejad, M., Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network, *Applied Energy*, 86 (2009) 630-639.
- [9] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S., The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine, *Renewable Energy*, 34 (2009) 2101-2106.
- [10] Ghazikhani, M., Hatami, M., Safari, B., Ganji, D.D., Experimental investigation of performance improving and emissions reducing in a two stroke SI engine by using ethanol additives, *Propulsion and Power Research*, 2 (2013) 276-283.
- [11] Schifter, I., Diaz, L., Rodriguez, R., Gómez, J., Gonzalez, U., Combustion and emissions behavior for ethanol–gasoline blends in a single cylinder engine, *Fuel*, 90 (2011) 3586-3592.
- [12] Yücesu, H.S., Topgül, T., Cinar, C., Okur, M., Effect of ethanol–gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios, *Applied thermal engineering*, 26 (2006) 2272-2278.
- [13] Masum, B., Masjuki, H., Kalam, M.A., Palash, S., Habibullah, M., Effect of alcohol–gasoline blends optimization on fuel properties, performance and emissions of a SI engine, *Journal of Cleaner Production*, 86 (2015) 230-237.
- [14] Winarno, J., Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol Pada Bahan Bakar Pertamina Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin, *Jurnal Teknik*, 1 (2011).
- [15] Sharma, G., Lal, H., Effects of Ethanol-Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark Ignition, *International Journal on Emerging Technologies*, 6 (2015) 184.