

# OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMBUATAN BIOETANOL SORGUM DAN PENGARUH TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BENSIN

Teng Sutrisno<sup>1</sup>, Willyanto Anggono<sup>2</sup>, Kurniawan Lay<sup>3</sup>, Melvin E. Simanjuntak<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra

<sup>4</sup> Prodi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

<sup>1</sup>[tengsutrisno@petra.ac.id](mailto:tengsutrisno@petra.ac.id)

<sup>2</sup>[willy@petra.ac.id](mailto:willy@petra.ac.id)

<sup>3</sup>[kurniawanlay@google.com](mailto:kurniawanlay@google.com)

<sup>4</sup>[mesimanjuntak@yahoo.com](mailto:mesimanjuntak@yahoo.com)

**Abstrak**— Bioetanol merupakan salah satu biofuel yang berfungsi seperti bahan bakar bensin, bioetanol diproduksi dari proses fermentasi dan destilasi. Salah satu bahan yang dapat dijadikan bioetanol adalah sorgum. Sorgum dipilih karena mampu beradaptasi dengan daerah tingkat kesuburan tanah yang rendah. Penelitian ini bertujuan optimasi parameter pembuatan bioetanol sorgum. Pada penelitian ini bioetanol sorgum yang akan di hasilkan berkadar 94%. Penelitian ini menggunakan 31 sampel untuk pengujian dan analisa. Hasil dari penelitian ini sebagai berikut. Lama waktu fermentasi terbaik adalah 4 hari, variabel enzim dan ragi untuk volume alkohol terbanyak adalah enzim 7% ragi 5%, variabel enzim dan ragi untuk kadar alkohol tertinggi adalah enzim 7% ragi 7%. Hasil uji lab jika dibandingkan dengan bioethanol sorgum tidak dapat dijadikan bahan bakar secara langsung pengganti bensin. Bioethanol sorgum dapat digunakan sebagai aditif campuran bahan bakar bensin, jika bioetanol sorgum dijadikan adiktif dengan Bensin RON 90 sebanyak bioetanol sorgum 10% (B10) dan bioetanol sorgum 20% (B20) dapat meningkatkan kinerja mesin Bensin.

**Kata Kunci**— Bioetanol; sorgum; biofuel; energi terbarukan.

**Abstract**—Bioethanol is a renewable fuel that resembles gasoline, bioethanol is produced from fermentation and distillation processes. One of the raw materials that produce bioethanol is Sorghum. Sorghum was chosen as a raw material because it is able to adapt to areas of low soil fertility. This study aims to analyze fermentation longtime and enzyme composition for the best composition to produce bioethanol from sorghum, and determine the quality of sorghum bioethanol. This research Sorghum bioethanol produced with an alcohol content of 94%. The test and analysis variables used were 31 samples. The results of this study are as follows : The best fermentation time is 4 days, the enzyme and yeast variable for the most volume of alcohol is 7% yeast 5% enzyme, the enzyme and yeast variable for the highest alcohol content is 7% yeast 7% enzyme. Laboratory test results when compared with bioethanol sorghum cannot be used as fuel directly as a substitute for gasoline. Sorghum bioethanol can be used as an additive to a mixture of gasoline fuels, if sorghum bioethanol is made additive with RON 90 gasoline as much as 10% sorghum bioethanol (B10) and 20% sorghum bioethanol (B20) it can improve the performance of gasoline.

**Keywords**— Bioetanol; sorghum ; biofuel; renewable energy.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi proses manufaktur kendaraan bermotor berdampak pada harga kendaraan bermotor semakin terjangkau dan semakin banyak jumlahnya secara nasional. Hal tersebut dapat terlihat dari penjualan mobil *wholesales* yang dari tahun ke tahun meningkat yang pada tahun 2016 sebesar 1.062.716 dan 2017 sejumlah 1.079.534 dikemukakan oleh Saragih [1]

Minyak bumi adalah bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, penggunaan bahan bakar ini secara terus menerus akan menyebabkan terjadi kelangkaan bahan bakar di masa akan datang. Salah satu cara untuk mencegah dan memperlambatkan masa guna minyak bumi dengan cara pembuatan

biofuel. Biofuel pada bensin dapat dilakukan dengan pencampuran bensin dengan bioetanol. Bioetanol memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki titik nyala tiga kali lebih tinggi dibanding bensin, dan menghasilkan emisi gas hidrokarbon lebih sedikit sehingga lebih ramah lingkungan. Etanol absolut sendiri memiliki angka oktan 117 yang dimana memiliki potensi untuk dicampur dengan bensin, sehingga dapat meningkatkan nilai oktan campuran. Hal ini dapat diprediksi meningkatkan unjuk kerja mesin sesuai dengan pernyataan dari Senam [2]. Bioetanol dapat berasal dari bermacam-macam tumbuhan salah satu yang berpotensi adalah Sorgum menurut Suryaningsih dan Ilhas [3]. Biji Sorgum ditampilkan pada gambar 1. Sorgum memiliki daya adaptasi luas, produktivitas tinggi, perlu input relatif lebih

sedikit, tahan terhadap hama dan penyakit tanaman, serta lebih toleran kondisi marjinal yang dinyatakan oleh Almoderas dan Hadi [4]. Di Indonesia Sorgum memiliki produktivitas nasional hingga 2 – 3 ton per hektar, bahkan untuk Lamongan, Jawa Timur mencapai 6.5 ton per hektar yang merupakan daerah pengkajian dan pengembangan Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Timur sejak 2016 menurut Sudjarwo[5]. Pada tahun 2017 Kementerian Pertanian Republik Indonesia mencanangkan percepatan diversifikasi pangan, dimana sorgum merupakan salah satunya. Dampak dari kebijakan tersebut akan semakin banyak lahan yang akan dibuka untuk penanaman tanaman sorgum. Hal tersebut juga membuka peluang agar sorgum yang tersedia dapat di olah menjadi produk lain salah satunya bioetanol.

Peningkatan permintaan pangan khususnya padi, jagung dan gandum sangatlah tinggi, sehingga dibutuhkan alternatif komoditi baru seperti Sorgum. Sorgum termasuk tanaman yang dapat dikembangkan di daerah tropis khususnya Indonesia. Selain itu sorgum memiliki keunggulan dibandingkan dengan jenis tanaman pangan lainnya yaitu mampu beradaptasi dengan daerah tingkat kesuburan tanah yang rendah. Sleper dan Poehlman [6] memaparkan bahwa sorgum merupakan komoditas penting di dunia dengan urutan kelima setelah gandum, beras, jagung dan barley. Keistimewahan dari sorgum ini adaptasi yang cepat, tahan terhadap kekeringan, hanya membutuhkan sedikit pupuk, produktivitas yang tinggi, dan memiliki nutrisi yang banyak.

Oleh karena itu penelitian ini akan mengoptimasikan proses produksi bioethanol sorgum dengan memvariasikan beberapa parameter penting dalam proses fermentasi dan distilasi. Salah satunya penelitian ini akan menganalisa lama waktu fermentasi, penggunaan enzim dan ragi yang optimal. Selain itu penelitian ini akan mengetahui kualitas akhir bioetanol sorgum. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan kepada masyarakat tentang lama waktu fermentasi, variabel enzim ragi terbaik untuk menghasilkan bioetanol dari sorgum sehingga menambah minat masyarakat untuk mengolah sorgum menjadi bioetanol dan masyarakat mengerti kualitas bioetanol yang dihasilkan dari sorgum.



Gambar 1 Biji Sorgum

## METODE

Metode yang dibutuhkan untuk merubah biji sorgum menjadi bioethanol dalam beberapa Langkah, pertama *grinding* menjadi tepung, kemudian kedua dimasak menjadi seperti proses pembuatan bubur. Ketiga biji sorgum yang telah masak dicampur dengan enzim dan difermentasikan untuk menghasilkan alkohol sesuai dengan Dyartanti dkk [7]. Alkohol hasil fermentasi sebelumnya kemudian dimurnikan. Proses destilasi diperlukan secara berulang agar mencapai standar tertentu. Apabila hasil distilasi tersebut dicampurkan dengan bahan bakar minyak bumi dan menjadi biofuel alternatif.

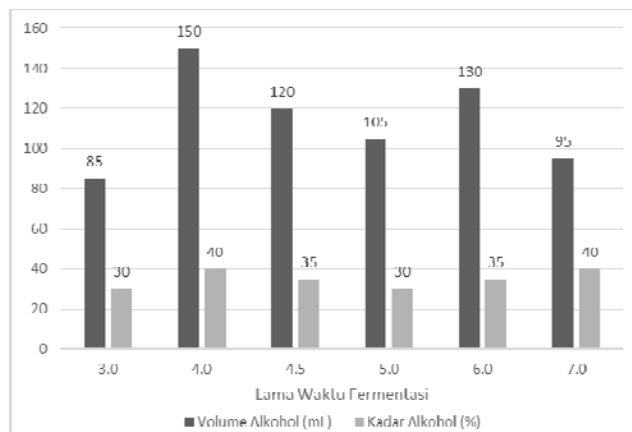
Metode tersebut diaplikasi pada penelitian secara bertahap, Langkah persiapan peralatan yang di butuhkan seperti peralatan destilasi, timbangan digital, gelas ukur dan wadah penyimpanan bioetanol. Langkah selanjutnya mengolah biji sorgum menjadi tepung dengan cara *digrinding* hingga mesh 60. Tepung sorgum yang telah di proses menjadi mesh 60 kemudian di lakukan beberapa pengujian. Pengujian pertama adalah hidrolisis dan fermentasi dengan variabel lama waktu fermentasi 3; 4; 4.5; 5; 6 dan 7 hari dengan ketentuan semua parameter sama kecuali lama waktu fermentasi. Hasil dari fermentasi pengujian pertama kemudian didestilasi untuk mengetahui kadar dan volume alkohol terbaik berasal dari sampel hasil fermentasi dalam beberapa hari. Data lama waktu fermentasi terbaik yang digunakan untuk proses selanjutnya. Pada proses hidrolisis dan fermentasi dengan variabel enzim dan ragi dilakukan dengan semua parameter yang sama kecuali enzim dan ragi. Sehingga didapatkan persentase enzim dan ragi yang terbaik untuk mendapatkan volume dan kadar alcohol yang tertinggi. Pada tahap tersebut destilasi yang dilakukan menggunakan 2 jenis kondensor yaitu Liebig dan Graham. Hasil terbaik yang telah ada kemudian di uji kualitasnya di 3 lab dan 1 bengkel yaitu Lab LLPM ITS, Lab Pertamina, Lab Fluida Universitas Kristen Petra dan Bengkel RAT Motorsport. Kualitas dari kadar alkohol dengan mengukur massa jenis dengan menggunakan *hydrometer alcohol* dengan ASTM E100. Sedangkan untuk Heating Heating Value (HHV) menggunakan perangkat Bomb Calorimeter tipe 1341 produk *Parr Instrument Company* dengan metode ASTM D3180 [8] .

Sedangkan untuk pengujian karakteristik bioethanol sorgum disesuaikan dengan peralatan yang digunakan pada setiap lab, yaitu, Bilangan oktan menggunakan standard ASTM D2700, kandungan timbal (Pb) menggunakan standard ICP-OES, Destilasi 90% menggunakan standard ASTM D86, Kandungan Sulfur menggunakan standard SNI 7431:2015 , Flash point menggunakan ASTM D93 dan Berat Jenis 15°C menggunakan piknometer. Hasil ini seharusnya menggunakan standard ASTM. Namun karena keterbatasan alat disesuaikan dengan fasilitas laboratorium. Pengujian unjuk kerja menggunakan Sport Device Inertia Dynamometer kit SP1 dengan spesifikasi roller : diameter 325mm, Panjang 500 mm, Momem inersia 4,3 kg/m<sup>2</sup> dan berat 328kg.

### HASIL DAN DISKUSI

Setiap pengujian parameter digunakan 5 sample pengujian. Pengujian terhadap lama waktu fermentasi dan optimasi variabel fermentasi (ragi dan enzim). Hasil uji karakteristik didapatkan bioetanol sorgum dengan kadar alkohol 94%. Proses destilasi berulang dengan 2 jenis kondensor Liebig dan Graham dan hasil pengujian dinamometer menggunakan campuran bioetanol sorgum 94% dengan bensin Peralite Pertamina RON 90.

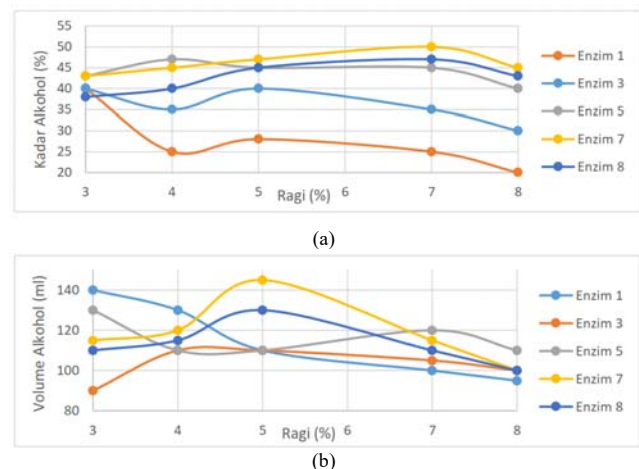
Pada gambar 2 didapatkan data volume alkohol terbanyak dan kadar alkohol tertinggi terjadi pada fermentasi hari ke 4 dengan hasil 150 ml dengan kadar 40%. Sedangkan volume alkohol tersedikit berada pada waktu fermentasi 3 hari yaitu hanya 85ml, selain itu kadar alkohol terendah terjadi pada waktu fermentasi 3 dan 5 hari dengan hasil 30%. Pergerakan grafik kadar alkohol awalnya akan naik sampai puncak tertinggi hari ke 4 kemudian turun ke terendah pada sampel hari ke 5 lalu akan naik kembali. Pergerakan grafik volume alkohol awalnya akan naik hingga puncak volume alkohol terbanyak pada hari ke 4 kemudian akan turun lagi pada hari ke 5 kemudian pada hari ke 6 akan naik dan pada hari ke 7 kembali turun volume alkoholnya. Berdasarkan bentuk grafik tersebut waktu fermentasi sorgum waktu yang terbaik dibutuhkan waktu 4 hari untuk hasil volume terbanyak dan kadar alkohol tertinggi, lebih dari itu kualitas volume dan kadar alkohol dari bioethanol sorgum akan menurun. Jika lebih dari 7 hari campuran ini mengalami pembusukan. Untuk jumlah kedua parameter ini bukan nilai akumulasi, namun hasil parameter volume dan kadar alkohol berdasarkan lama waktu fermentasi dalam lama hari. Cairan yang didistilasi berdasarkan waktu saat lama fermentasi.



Gambar 2 Volume Alkohol dan Kadar Alkohol terhadap Waktu Fermentasi

Optimasi pembuatan alkohol dari bioetanol sorgum saat proses fermentasi selain lama waktu fermentasi jugatergantungan dari kombinasi kadar enzim dan ragi. Dimana ragi terkandung mikroorganisme dan enzim merupakan makan pemicu untuk berkembang biak mikroorganisme tersebut. Kedua parameter ini sangat penting dalam proses fermentasi yang terjadi secara anaerob. Fermentasi mengubah

karbohidrat bubur sorgum menjadi gula, kemudian gula tersebut diubah menjadi alkohol atau asam. Pada Gambar 3.a tentang kadar enzim 1, 3, 5, 7 dan 8 merupakan nilai jumlah enzim dalam persen massa. Grafik perbandingan enzim dan ragi terhadap kadar alkohol di dapatkan kadar tertinggi terjadi pada variabel enzim 7% ragi 7% dengan nilai 50%. Kadar terendah terdapat pada variabel enzim 1% ragi 8% dengan nilai 20%. Sedangkan pada gambar 3.b perbandingan enzim dan ragi terhadap volume alkohol di dapatkan volume tertinggi terjadi pada variabel enzim 7% ragi 5% dengan volume 145 ml. Volume terendah terjadi pada variabel enzim 1% ragi 8% dengan volume 95 ml. Dari kedua grafik didapatkan data pada variabel ragi 7% ke 8% semua sampel terjadi penurunan kadar alkohol dan volume alkohol.



Gambar 3 Hasil Alkohol terhadap variabel ragi dan enzim, a)Kadar, b) Volume

Penggunaan 2 jenis kondensor yaitu kondensor Liebig dan Graham dengan metode destilasi sederhana. Pada kondensor Liebig waktu destilasi 30 menit dengan hasil kadar alkohol tertinggi 93%. Pada kondensor Graham waktu destilasi 150 menit dengan hasil kadar alkohol tertinggi 94%. Mekanisme destilasi seperti ini kadar alkohol maksimal yang dicapai hanya 94% saja.

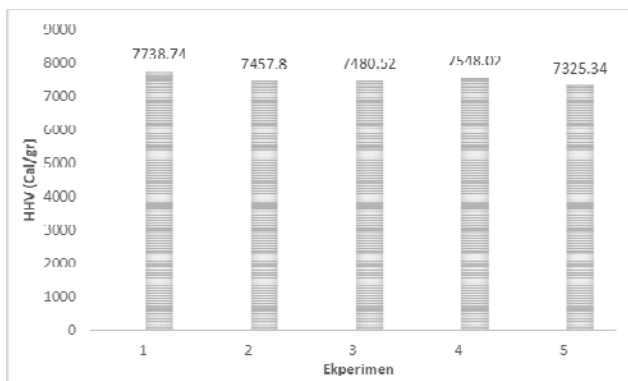
Selanjutnya penelitian ini melakukan pengujian karakteristik bioetanol sorgum. Dimana pada proses ini melibatkan 3 lab, yaitu lab LPPM ITS, Lab Unit Produksi Pertamina, dan Lab Fluida Universitas Kristen Petra. Pengujian di karakteristik pada lab ITS untuk Kandungan Timbal, Distilasi, Kandungan Sulfur, Berat Jenis dan Lab. Pertamina untuk Bilangan Oktan, Distilasi, *Flash Point* dapat dilihat pada tabel 1. Hal ini pada pengujian untuk bahan bakar bensin tidak dapat dilakukan di satu laboratorium khususnya di daerah Jawa Timur.

Pada lab fluida Universitas Kristen Petra di lakukan pengujian Nilai Higher Heating Value dengan pengambilan data sebanyak 5 kali menggunakan *Plain Jacket Bomb Calorimeter* tipe 1341 dengan metode ASTM D3180. Data hasil pengujian dapat di lihat pada gambar 4. Jika nilai HHV

tersebut dirata-rata dari bioethanol sorgum dengan kadar 94% sebesar 7510,084 Cal/gr menjadi 31,44 MJ/kg.

TABEL 1

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
Bilangan Oktana	>100	RON	ASTM D 2700
Kandungan Timbal (Pb)	<MDL	ppm	ICP -OES
Destilasi 90%	83	°C	ASTM D 86
Kandungan Sulfur	0,88	%	SNI 7431:2015
Berat Jenis 15°C	0,819	gr/cm <sup>3</sup>	Piknometer
Flash point	11	°C	ASTM D 93

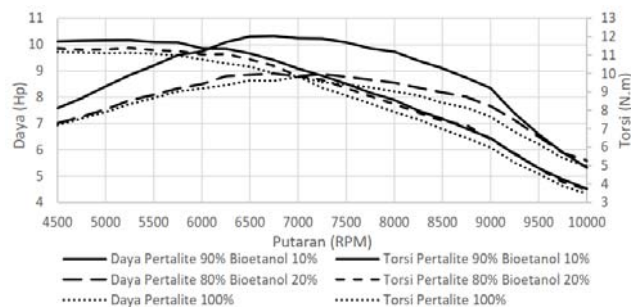


Gambar 4 HHV Bioethanol Sorgum dengan kadar alkohol 94%.

Hasil pengujian karakteristik di lab LPPM ITS dan Pertamina jika dibandingkan dengan standard pertalite pertamina RON 90 maka terdapat 3 parameter yang tidak sesuai (kandungan sulfur, berat jenis pada suhu 15°C, *flash point*), 2 parameter berhasil memenuhi standart (kandungan timbal, Destilasi 90%) dan 1 parameter tidak terdeteksi hasilnya (Bilangan Oktan) karena melewati ambang batas pengujian, yaitu lebih dari RON 100.

Pada pengujian dinamometer motor yang digunakan adalah Honda Supra X dengan kubikasi 125cc injeksi. Pengujian ini menggunakan 3 jenis bahan bakar yang dimana tiap bahan bakar dilakukan pencatatan daya dan torsi mulai dari RPM 4500 sampai 10000. Tiap bahan bakar yang di uji dilakukan pengambilan data 5 kali. Tiga jenis bahan bakar adalah Bensin Pertamina Pertalite 100%, Pertalite 90% Bioethanol Sorgum 10% dan Pertalite 80% Bioethanol Sorgum 20%.

Pada gambar 5 didapatkan data bahwa bahan bakar Pertalite 90% Bioethanol 10% adalah yang terbaik. Daya dan torsi optimal pada bahan bakar Pertalite 90% Bioethanol 10% pada rpm 6000an. Daya dan torsi optimal pada bahan bakar pertalite 80% bioethanol 20% dan pertalite 100% terdapat pada rpm 7000an. Kenaikan kinerja mesin bahan bakar Pertalite 90% Bioethanol 10% dibanding Pertalite 100% untuk daya sebesar 5.09% Hp dan Torsi 5.71% Nm. Kenaikan kinerja mesin bahan bakar pertalite 80% Bioethanol 20% di banding pertalite 100% untuk daya sebesar 1.83% Hp dan Torsi 1.93% Nm.



Gambar 5 Unjuk Kerja Mesin Bensin

Peningkat daya penambahan Bioethanol sorgum diprediksi memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi. Hal ini identik dengan bahan bakar yang terbuat dari tanaman hidup (bio fuel). Berdasarkan Yaqoob dkk [9] yang ditampilkan pada tabel 2 perbandingan HHV bahan bakar. Bioethanol sorgum 94% hasil penelitian ini memiliki nilai HHV 31,44 MJ/kg lebih tinggi dengan ethanol yang beredar di pasaran 27,4 MJ/kg. Nilai HHV bioethanol ini belum mampu menyaingi nilai dari bensin murni hasil dari tambang minyak bumi. Namun Potensi Bioethanol Sorgum khususnya di daerah tropis sangat besar dijadikan bahan bakar alternatif pengganti Bensin, karena ketersediaan dan keistimewaan dari tanaman Sorgum ini.

TABEL 2 Perbandingan HHV bahan bakar

Bahan Bakar	HHV (MJ/kg)
Bensin	45,7
Diesel	47
Ethanol	27,4
Bioethanol Sorgum (94%)	31,44

## KESIMPULAN

Hasil penelitian ini tentang proses pembuatan alkohol dari tanaman sorgum dapat disimpulkan sebagai berikut ini:

- 1 kg sorgum dapat menghasilkan 90 ml bioethanol dengan kadar 94%.
- Waktu terbaik untuk fermentasi bioethanol sorgum adalah 4 hari dengan hasil 150 ml bioethanol per 1 liter cairan fermentasi dengan kadar alkohol 40%.
- Hasil pengujian hidrolisis dan fermentasi dengan variabel enzim dan ragi untuk mencapai **kadar alkohol tertinggi** menggunakan variabel enzim 7% ragi 7% dari massa sorgum dengan kadar alkohol 50% dan volume 115 ml per 1 liter cairan fermentasi.
- Hasil pengujian hidrolisis dan fermentasi dengan variabel enzim dan ragi untuk mencapai **volume alkohol tertinggi** menggunakan variabel enzim 7% ragi 5% dari massa sorgum dengan hasil volume 145 ml dan kadar alkohol 47% per 1 liter cairan fermentasi
- Percobaan destilasi berulang terbaik menggunakan kondensor Liebig kadar alkohol 93% dari destilasi 92% dengan waktu destilasi 30 menit, sedangkan untuk kondensor Graham hasil terbaik 94% dari destilasi 93% dengan waktu destilasi 150 menit.



- Dari hasil lab didapatkan bioetanol sorgum dengan kadar 94% tidak dapat dijadikan pengganti bensin secara langsung karena hasil uji lab terdapat beberapa parameter yang tidak sesuai sehingga hanya dapat digunakan sebagai aditif.

Sedangkan kesimpulan bioetanol sorgum dijadikan Aditif pada bahan bakar Peralite RON90 pertamina hasilnya sebagai berikut:

- Kenaikan kinerja mesin bahan bakar Peralite 90% Bioetanol 10% (B10) di banding Peralite 100% untuk daya sebesar 5.09% Hp dan Torsi 5.71% Nm.
- Kenaikan kinerja mesin bahan bakar pertalite 80% Bioetanol 20% (B20) di banding Peralite 100% untuk daya sebesar 1.83% Hp dan Torsi 1.93% Nm
- Kenaikan Peralite 80% Bioetanol 20% lebih rendah dibanding Peralite 90% Bioetanol 10% dikarenakan kandungan air pada pertalite 80% Bioetanol 20% lebih banyak sehingga mempengaruhi performa kerja motor bakar.

#### REFERENSI

- [1] Saragih, F. A. (2018) Penjualan Mobil Indonesia 2017 Jalan di Tempat. [Online], <https://otomotif.kompas.com/read/2018/01/16/203500015/penjualan-mobil-indonesia-2017-jalan-di-tempat->, tanggal akses: 28 Januari 2021.
- [2] Senam, "Prospek Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Yang Terbarukan Dan Ramah Lingkungan". *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA*, 2009, hal.360-366.
- [3] Suryaningsih, R., Irhas, "Bioenergy Plants in Indonesia: Sorghum for Producing Bioethanol as an Alternative Energy Substitute of Fossil Fuels", *Energy Procedia* 47 , 2014, hal. 211-216.
- [4] Almodares A., Hadi M. R., "Production of Bioethanol from Sweet Sorghum", *African Journal of Agricultural Research*, 2009, Vol. 9 No. 9 Hal. 772-780.
- [5] Sudjarwo, E. (2016) Bisa Jadi Pengganti Beras, Produksi Sorgum di Lamongan Capai 6,5 Ton/Ha [Online], <https://finance.detik.com/berita-ekonomi-bisnis/d-3323758/bisa-jadi-pengganti-beras-produksi-sorgum-di-lamongan-capai-65-tonha>, tanggal akses: 8 Pebruari 2021.
- [6] Sleper, D. A., J.M. Poehlman. "Breeding Field Crops. Fifth Edition", *Blackwell Publishing*, 2006. Hal.297 – 315.
- [7] Dyartanti, E. R., Margono, Pranolo, S. H., Setiani, B., Nurhayati, A., "Bioethanol from sorghum grain (Sorghum bicolor) with SSF reaction using biocatalyst coimmobilization method of glucoamylase and yeast", *Energy Procedia*, 2015, Vol. 68, hal. 132-137.
- [8] Parr Instrument Company. (-) 1341 Plain Jacket Bomb Calorimeter. [Online], <https://www.parrinst.com/products/oxygen-bomb-calorimeters/1341-plain-jacket-bomb-calorimeter/>, tanggal akses: 28 Maret 2021.
- [9] Yaqoob, H., Teoh, Y.H., Goraya, T.S., Sher, F., Jamil, M. A., Rashid, T., Yar, K. A., "Energy evaluation and environmental impact assessment of transportation fuels in Pakistan", *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* , 2021, Vol. 3, 100081.