

The Effect of Grinzeest Bio-additives on BBM Fuel Consumption in Mining Vehicles at PT Arutmin Indonesia Kintap

Pengaruh Bio-aditif Grinzeest terhadap Konsumsi BBM Mesin Berat PT Arutmin Indonesia Tambang Kintap

Noor Fitri^{a,b*}, Dona Sulistia^c, Ali Abraham^a, Irfan Aditya Dharma^d, Marhaban Habibullah^e, Ibnu Maulana^e, Fuad Effendi^d, Khofifah^a, Riskiyatul Mauludiyah^a, Qomarudin Sukrif^f, Rahmat Syahputra^f, Ika Ila Nurhuddah^f

^aProdi Magister Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta, Indonesia

^bPusat Studi Minyak Atsiri (CEOS UII), FMIPA Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
^cPT. Aromatik Teknologi Indonesia, Semarang-Jawa Tengah

^dProdi Teknik Mesin, Fakultas TI, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta, Indonesia

^eProdi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta, Indonesia

^fPT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap, Kalimantan Selatan

*Corresponding author: noor.fitri@uii.ac.id

Diterima: 05 November 2024, Direvisi: 18 November 2024, Diterbitkan: 09 Desember 2024

ABSTRACT

Mining industry activities have a very high dependence on fuel consumption. This dependence on the use of fuel is because diesel fuel is the main energy source to drive vehicle activities in the mining industry. The extensive use of fuel oil has driven research aimed at improving fuel efficiency. One approach to reducing fuel consumption involves adding bio-additives to enhance the fuel combustion process. The purpose of this study was to determine the effect of adding Grinzeest bio-additives to the fuel used by heavy machinery at PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap. The research steps include: (1) characterization of the fuel and bio-additives; (2) blending fuel with Grinzeest bio-additives; (3) characterization of BBM-Grinzeest blending; (4) testing the performance of Grinzeest bio-additives on heavy machinery. The results of the study showed that Grinzeest bio-additives were able to reduce fuel consumption, reduce gas emission levels, and prevent rust (deposits) on the engine. The results of tests conducted by the team in the field showed that the addition of bio-additives to fuel with a ratio of 1:1000 showed a decrease in fuel consumption of around 7.4%.

Keywords: bio-additives, Grinzeest, BBM, efficiency, PT. Arutmin Indonesia

ABSTRAK

Aktivitas industri pertambangan memiliki ketergantungan yang sangat tinggi terhadap konsumsi BBM. BBM merupakan sumber energi utama untuk menggerakkan mesin dan kendaraan pada industri tambang. Konsumsi BBM yang sangat masif mendorong terlaksananya penelitian tentang efisiensi penggunaan BBM. Salah satu penghematan BBM yaitu menambahkan bio-aditif yang dapat menyempurnakan reaksi pembakaran BBM. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan bio-aditif Grinzeest pada BBM yang digunakan oleh mesin berat PT. Arutmin Indonesia

Tambang Kintap. Langkah penelitian meliputi: (1) karakterisasi BBM dan bio-aditif Grinzest; (2) blending BBM dengan bio-aditif Grinzest; (3) karakterisasi blending BBM-Grinzest; (4) pengujian kinerja bio-aditif Grinzest pada mesin berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bio-aditif Grinzest mampu menurunkan konsumsi pemakaian BBM, menurunkan kadar emisi gas, dan mencegah terbentuknya endapan pada mesin. Hasil Uji lapangan dengan alat berat excavator PC 300 menunjukkan penambahan bio-aditif ke dalam BBM dengan rasio 1:1000 dapat menurunkan konsumsi bahan bakar sekitar 7,4 %.

Kata kunci: bio-aditif, Grinzest, BBM, efisiensi, PT. Arutmin Indonesia

PENDAHULUAN

Aktivitas industri pertambangan memiliki ketergantungan yang sangat tinggi terhadap konsumsi solar. Ketergantungan penggunaan solar ini dikarenakan solar merupakan sumber energi utama untuk menggerakkan aktivitas kendaraan pada industri tambang. Akibat adanya konsumsi penggunaan solar yang sangat masif tersebut faktor efisiensi penggunaan solar sangatlah penting terhadap industri pertambangan. Disamping itu ketersediaan cadangan BBM di seluruh dunia menipis, sehingga diperlukan alternatif sumber energi lain atau efisiensi penggunaan BBM. Penyelesaian masalah tersebut dapat dilakukan dengan penghematan konsumsi bahan bakar minyak. Salah satu penghematan bahan bakar solar yaitu dengan mencampurkan bio-aditif nabati ke dalam BBM (Fitri, dkk., 2024b).

Sehubungan dengan kelangkaan BBM, Pemerintah Indonesia mewajibkan industri besar untuk menggunakan biosolar/ biodiesel. Saat ini komposisi biodiesel yang diwajibkan adalah B35 yaitu komposisi

bahan bakar nabati 35% + bahan bakar solar 65%. Penggunaan biosolar ini memiliki keunggulan yaitu penggunaan sumber energi yang dapat diperbaharui serta lebih ramah terhadap lingkungan. Penggunaan biosolar dapat mereduksi emisi karbon monoksida dan karbon dioksida. Hasil emisi dari biosolar cenderung mudah diuraikan, tidak lebih toksik dari solar, mempunyai bilangan setana yang lebih baik, serta asap yang dihasilkan tidak lebih hitam dan tidak mengandung sulfur (Agarwal, 2006; Maceiras *et al.*, 2011).

Selain, memiliki keunggulan biosolar juga memiliki beberapa permasalahan. Penggunaan biosolar dilaporkan memiliki berbagai masalah praktis; misalnya viskositas tinggi, polimerisasi selama penyimpanan dan pembakaran, pembentukan gum karena oksidasi, komposisi asam, kandungan asam lemak bebas, pengentalan minyak pelumas dan endapan karbon (Barboza dkk., 2024). Beberapa penelitian disebutkan bahwasannya biosolar bersifat higroskopis, cenderung menyerap air dari lingkungan

sekitarnya (Sumihar, 2021; Osman, 2024). Biosolar yang higroskopis rentan mengalami degradasi seperti perubahan karakteristik, kemunculan mikroba dan dapat mengakibatkan korosif pada tangki penyimpanan (Qomariah, dkk., 2022). Salah satu solusi untuk mengatasi kelemahan biosolar adalah penggunaan bio-aditif yang berbasis minyak atsiri (Fitri dkk., 2022; Nirmala dkk., 2023; Fitri dkk., 2024a).

Bio-aditif merupakan suatu bahan tambahan yang berasal dari tanaman yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja bahan bakar di mesin. Minyak atsiri merupakan salah satu bahan bio-aditif yang berasal dari bahan nabati (tumbuhan) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan (bio-aditif) ke dalam bahan bakar solar karena sifatnya yang mudah menguap. Meningkatnya kualitas bahan bakar yang ditambahkan bio-aditif minyak atsiri kedalam bahan bakar biosolar ditunjukkan dengan menurunnya kandungan partikulat (Sedghi *et al.*, 2022).

Berbagai jenis minyak atsiri telah dikembangkan oleh para peneliti sebagai energi alternatif tambahan (bio-aditif) seperti minyak daun cengkeh, minyak nilam, minyak terpenin, minyak jeruk, minyak kayu putih, dan minyak pinus (Muhyi *et al.*, 2019; Alfian *et al.*, 2019;

Lawang dkk., 2019; Nabi *et al.*, 2019; Rahman *et al.*, 2019; Fitri dkk., 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak atsiri mampu menurunkan konsumsi pemakaian solar, menurunkan kadar emisi gas (Fitri, dkk., 2024a), dan mencegah karatan (deposit) pada mesin. Selain itu penambahan bio-aditif minyak atsiri dapat menekan jumlah air yang dihasilkan oleh biosolar sehingga dapat mencegah korosif pada mesin. Mesin kendaraan dengan penambahan turpentin oil menghasilkan kadar CO, hidrokarbon, NO_x, kadar partikulat yang lebih rendah (Anand *et al.* 2010; Ansari dkk., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bio-aditif Grinzest terhadap konsumsi BBM pada mesin berat PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap. Pengujian kinerja bio-aditif langsung dilaksanakan di lapangan, yaitu di Tambang batubara Kintap.

METODE

Alat dan Bahan

Alat

Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah timbangan digital, *magnetic stirrer*, gelas ukur, gelas piala, tangki mixing, *engine test cell*, *fuel flow meter*, *fuel temperature*, *homogenizer*, pipet volume, jerigen.

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian dan pengujian ini adalah bahan bakar biosolar (yaitu campuran FAME 35% dan Solar 65%) dan bio-aditif “Grinzest”. Bahan bakar biosolar yang digunakan merupakan bahan bakar yang tersedia di PT Arutmin Tambang Indonesia Kintap. Formula bio-aditif Grinzest merupakan hasil produk PT Aromatik Teknologi Indonesia yang diformulasikan dari beberapa turunan minyak atsiri yaitu minyak sereh wangi, minyak terpentin dan minyak cengkeh.

Prosedur Kerja

Pengujian yang dilakukan fokus pada konsumsi bahan bakar. Langkah penelitian meliputi: (1) karakterisasi BBM dan bio-aditif yang digunakan; (2) blending BBM dengan bio-aditif Grinzest; (3) karakterisasi blending BBM-Grinzest; (4) pengujian kinerja bio-aditif Grinzest pada mesin berat.

Karakterisasi BBM dan Grinzest

Prosedur karakterisasi BBM dan bio-aditif Grinzest sama seperti penelitian yang dilakukan oleh Fitri, dkk (2024a) dan disesuaikan dengan standar mutu SNI biosolar (ESDM, 2022). Karakterisasi yang dilakukan yaitu identifikasi senyawa kimia dengan GC-MS, indeks bias, berat jenis, viskositas, dan warna.

Blending BBM dengan Bio-aditif Grinzest

Prosedur Blending Bio-aditif Grinzest dan BBM dilakukan dengan cara memasukkan secara langsung ke dalam *mix tank* (Gambar 1). Rasio BBM- aditif yang digunakan 1000:1, yaitu blending 2000 L Biosolar dengan 2 L Grinzest. Biosolar ditambahkan sebanyak 1000 L, lalu dimasukkan 2 L bio-aditif Grinzest, kemudian ditambahkan biosolar yang sudah ditakar sebanyak 1000 L, selanjutnya diaduk dengan mixer kurang lebih selama 30 menit. Blending biosolar-aditif dibiarkan bereaksi minimal 24 jam sebelum digunakan.



Gambar 1. *Mix tank* 2000 L

Karakterisasi Blending BBM-Grinzest

Prosedur karakterisasi sama seperti yang dilakukan dengan BBM dan Grinzest sebelum blending. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Riset kimia UII. Pengujian lengkap blending BBM-Grinzest sebanyak 21 parameter dilaksanakan di Lemigas, Jakarta.

Pengujian Kinerja Bio-aditif Grinzest pada Mesin Berat

Pengujian konsumsi bahan bakar, menggunakan metode *Full to Full / Top Up*. Pengisian pada kendaraan tambang menggunakan alat flowmeter. Spesifikasi kendaraan tambang yang digunakan sebagai berikut:

Jenis : Excavator

Merek : Komatsu

Model : PC300-8-MO

Mesin : SA A6D114AE-3

Tahun :2020

Silinder: 6

Hasil yang diperoleh dari pengujian bahan bakar biosolar dengan campuran bio-aditif akan dibandingkan dengan bahan bakar biosolar BBM tanpa penambahan bio-aditif. Perhitungan konsumsi BBM dihitung dengan jumlah BBM yang digunakan dibagi dengan HM (*hour meter*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan bio-aditif pada bahan bakar kendaraan tambang telah menjadi fokus utama dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi dampak lingkungan. Aplikasi bio-aditif pada kendaraan tambang PT Arutmin Tambang Indonesia Kintap selama kurang lebih 2 minggu bertujuan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kinerja kendaraan tambang, dengan dilihat dari aspek konsumsi penggunaan BBM.

Pengujian konsumsi bahan bakar merupakan salah satu cara untuk menguji kualitas bahan bakar yang ditambahkan dengan bio-aditif (Fitri, dkk., 2022). Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efek atau dampak dari penambahan bio-aditif terhadap efisiensi konsumsi BBM yang digunakan.

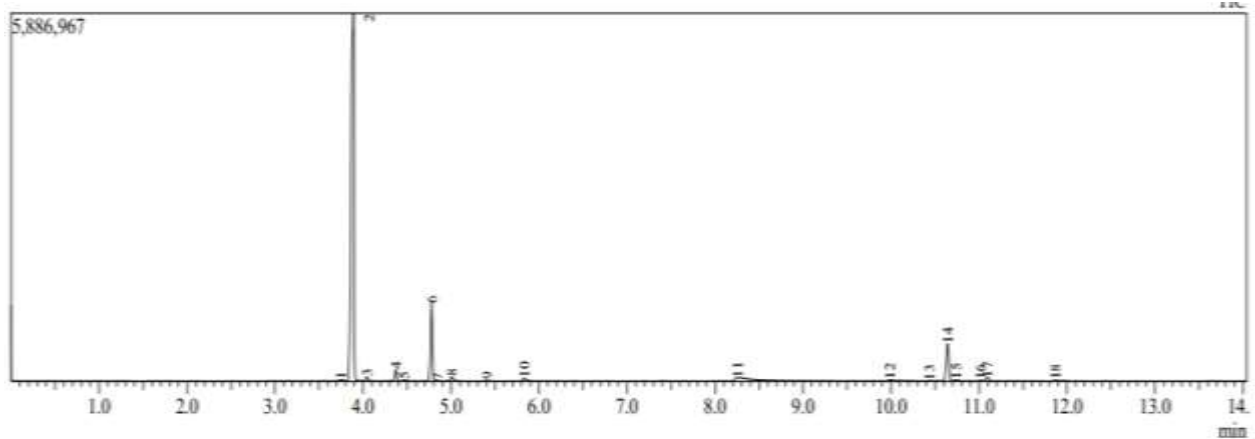
Karakterisasi BBM dan Grinzest

Hasil karakterisasi fisika BBM menunjukkan warna jernih terang, berat jenis sebesar 877 kg/m^3 , dan viskositas $5 \text{ mm}^2/\text{det}$. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan kesesuaian dengan standar mutu yang telah ditetapkan.

Hasil Karakterisasi bio-aditif grinzest dapat dilihat pada Tabel 2 dan hasil identifikasi senyawa dengan GC-MS ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan

Gambar 2, komposisi utama bio-aditif adalah alfa pinen. Alfa pinen dalam minyak terpenin telah terbukti efektif

menurunkan konsumsi BBM (Anand, dkk., 2010; Ansari, dkk., 2022; Yadav, dkk., 2022; Chivu, dkk., 2023)



Gambar 2. Kromatogram Bio-aditif Grinzest

Pengujian densitas dilakukan dengan piknometer pada suhu ruang. Densitas merupakan sifat bahan bakar yang sangat penting karena berkaitan dengan proses penginjeksian bahan bakar melalui pompa injeksi ke ruang pembakaran sehingga diperoleh komposisi yang tepat antara udara dan solar. Densitas berkaitan dengan kerapatan suatu zat. Apabila angka densitas suatu bahan bakar tinggi akan menyebabkan bahan bakar memiliki semprotan injeksi yang pendek dan bahan bakar lebih sulit dialirkan. (Ramirez *et al.*, 2012).

Hasil karakterisasi fisika kimia bio-aditif Grinzest (Tabel 1) menunjukkan bahwa bio-aditif Grinzest memenuhi spesifikasi bahan tambahan/ aditif untuk BBM.

Blending BBM dengan bio-aditif Grinzest

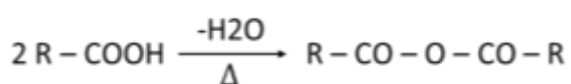
Hasil blending BBM dengan bio-aditif Grinzest menunjukkan adanya pemisahan air dari campuran BBM. Air ini berasal dari FAME yang mempunyai kecenderungan mengikat air dari udara maupun reaksi auto oksidasi asam lemak yang melepaskan air. Hal ini menunjukkan bio-aditif Grinzest efektif melepaskan air dari BBM. Pada Gambar 3 menunjukkan adanya pemisahan fase air dan minyak dibagian bawah kolom.

Tabel 1. Karakterisasi Fisika-Kimia Bio-aditif Grinzest

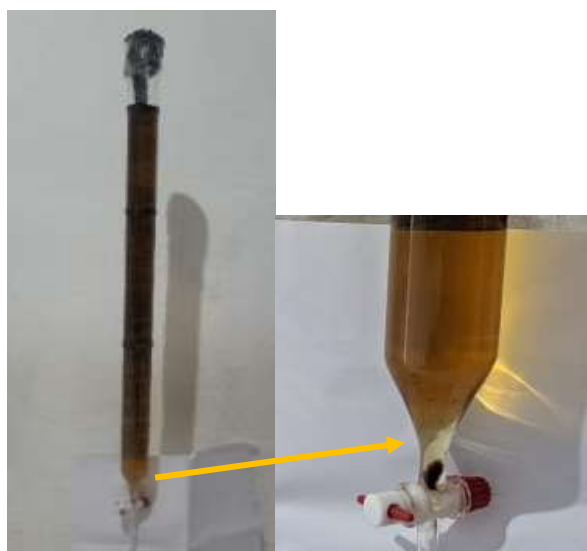
No	Parameter	Hasil	Metode
1	Bilangan Asam (mg KOH/g fat)	0,29	18-11-17/MU/SMM-SIG (Titrimetri)
2	Kadar Air (Karl Fischer) (%)	0,13	18-11-44/MU/SMM-SIG (Karl Fischer)
3	Kekentalan (cP)	3,34	18-11-11/MU/SMM-SIG (Viscosmeter)

4	Kelarutan dalam Etanol (%)	Larut	18-11-121/MU/SMM-SIG	0,1% bio-aditif pada solar terlihat nilai hasil uji densitas masih berada pada rentang standar solar yang telah ditetapkan, sehingga
5	Kadar Abu (%)	< 0,02	SNI 01-2891-1992 point 6.1	hal ini menunjukkan bahwa densitas BBM
6	Warna (Organoleptik)	Tidak berwarna	18-11-66/MU/SMM-SIG (Pengamatan)	yang ditambahkan dengan bio-aditif masih memenuhi standar mutu bahan bakar. Hasil uji lengkap karakterisasi blending BBM-Bio-

Adanya air dalam BBM dapat menghambat proses pembakaran BBM di mesin. Reaksi yang terjadi yaitu:



Dimana RCOOH adalah asam lemak.



Gambar 3. Pemisahan air dari BBM dengan bantuan bio-aditif Grinzest

Karakterisasi blending BBM-Grinzest

Nilai standar mutu densitas yang dikeluarkan oleh Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi (2022) dari bahan bakar solar adalah sebesar 815-880 kg/m³. Hasil pengujian densitas blending BBM-Grinzest sebesar 848 kg/m³. Perubahan densitas solar setelah penambahan

uji lengkap karakterisasi blending BBM-Bio-aditif Grinzest ditampilkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa ada 21 parameter yang diujikan pada sampel kontrol, yaitu BBM tanpa bio-aditif dan sampel Blending, yaitu BBM plus bio-aditif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara umum, tidak ada perubahan karakter blending BBM plus bio-aditif sehingga tidak mempengaruhi sifat BBM. Hasil lain menunjukkan bahwa sampel blending justru dapat menurunkan kadar air dalam BBM. Hasil ini sesuai dengan eksperimen di laboratorium (Gambar 3), bahwa bio-aditif efektif memisahkan air dari BBM.

Pengaplikasian blending bio-aditif Grinzest dan BBM pada kendaraan tambang (PC300) ditunjukkan pada Gambar 4. Pengujian konsumsi bahan bakar merupakan salah satu cara untuk menguji kualitas bahan bakar yang ditambahkan dengan bio-aditif. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efek atau dampak dari penambahan bio-aditif Grinzest terhadap perubahan konsumsi bahan bakar BBM yang digunakan pada kendaraan excavator PT Arutmin Tambang Indonesia Kintap. Pengujian langsung di lapangan pada

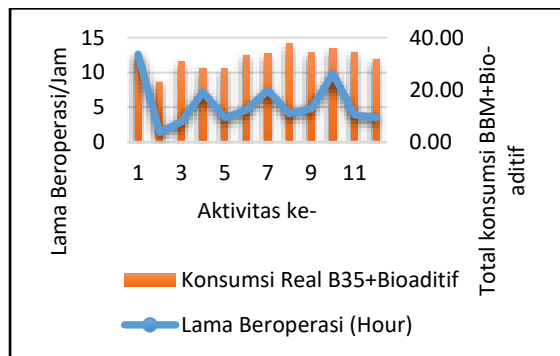
alat uji kendaraan berat merupakan uji riil melibatkan banyak faktor eksternal yang kinerja bio-aditif pada BBM. Uji lapangan dapat mempengaruhi hasil pengujian.

Pengujian kinerja bio-aditif Grinzest pada mesin berat.



Gambar 4. Aplikasi Blending Grinzest dan BBM pada Kendaraan Tambang

Pengaruh lama kendaran mesin beroperasi terhadap konsumsi bahan bakar BBM dengan bio-aditif pada uji kinerja mesin diesel disajikan pada Gambar 5 sedangkan perbandingan konsumsi rata-rata bahan bakar BBM tanpa bio-aditif dan BBM dengan bio-aditif ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Pemakaian BBM+bio-aditif terhadap lama operasi aktivitas kendaraan.

Berdasarkan hasil pengujian, konsumsi bahan bakar BBM dengan penambahan aditif mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan hasil yang disampaikan oleh beberapa literatur. Penambahan bio-aditif dari minyak rhodinol sebesar 1% yang dapat menurunkan laju konsumsi bahan bakar sebesar 5.145% (Faris, 2019), bahkan dapat mencapai 40 % (Fitri, dkk., 2022) pada pengujian skala lab.

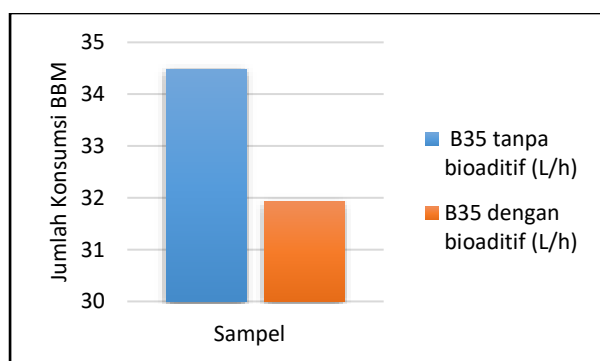
Penurunan laju konsumsi bahan bakar pada bahan solar yang ditambahkan dengan bahan bio-aditif kemungkinan disebabkan oleh kelarutan minyak atsiri yang tinggi dalam bahan bakar. Hal ini yang dapat mengurangi kekuatan struktur bahan bakar, yaitu menurunkan ikatan Van der Waals antar

molekul penyusun bahan bakar sehingga dapat meningkatkan reaktivitas pembakaran (Fitri dkk., 2022).

Tabel 2. Karakterisasi Blending BBM-Grinzest

No	Parameter Uji	Metode Uji	Hasil Uji		Batasan spesifikasi	
			Blending	Kontrol	Min	Maks
1	Angka setana	ASTM D 613	48,7	49,1	48	-
2	Index Setana	ASTM D 4737	46,96	46,95	45	-
3	Berat Jenis pada 15°C (Kg/m ³)	ASTM D 4052	852,9	852,8	815	860
4	Viskositas pada 40 °C (mm ² /s)	ASTM D 445	2,99	2,97	2,0	4,5
5	Kandungan Sulfur (% m/m)	ASTM D 4294	0,051	0,050	-	0,25
6	Distilasi T90 (°C)	ASTM D 86	341,1	342,1	-	370
7	Titik Nyala (°C)	ASTM D 93	68,0	68,0	52	-
8	Titik Tuang (°C)	ASTM D 97	-3	-3,0	-	18
9	Residu Karbon (% m/m)	ASTM D 4530	Nihil	Nihil	-	0,1
10	Kandungan Air (mm/kg)	ASTM D 6304	203,87	230,14	-	500
11	Kandungan Metanol (% v/v)	ASTM D 4815	0,05	0,07	Tidak terdeteksi	
12	Biological Growth (Kg/m ³)	ASTM D 7463	Nihil	Nihil	Nihil	
13	Kandungan FAME (% v/v)	ASTM D 7806	21,4	21,4	-	20
14	Korosi Bilah Tembaga (Merit)	ASTM D 130	1a	1a	Kelas 1	
15	Kandungan Abu (% m/m)	ASTM D 482	0,001	0,001	-	0,01
16	Kandungan Sedimen (% m/m)	ASTM D 473	Nihil	Nihil	-	0,01
17	Bilangan Asam Kuat (Mg KOH/g)	ASTM D 664	0	0	-	0
18	Bilangan Asam Total (mg KOH/g)	ASTM D 664	0,19	0,13	-	0,6

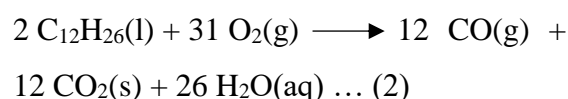
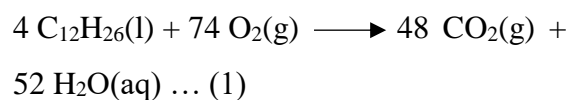
19	Penampilan Visual	Visual	Jernih dan terang	Jernih dan terang	Jernih dan terang	Jernih dan terang
20	Warna	ASTM D 1500	0,8	0,9	-	3,0
21	Lubrisitas (HFRR) (Micron)	ASTM D 6079	220,5	230,5	-	460



Gambar 6. Rata-rata perbandingan BBM tanpa dan dengan bio-aditif

Berdasarkan Gambar 6, terlihat rata-rata konsumsi B35 tanpa bio-aditif sebesar 34,48 L/h, sedangkan konsumsi B35 dengan bio-aditif Grinzest hanya 31,92 L/h pada kendaraan uji alat berat Excavator PC300. Hal ini menunjukkan adanya pengurangan konsumsi BBM setelah penggunaan bio-aditif Grinzest yaitu sebesar 2,56 L/h yang setara dengan efisiensi 7,4%. Efisiensi BBM tercapai setelah penggunaan bio-aditif karena bio-aditif menyempurnakan reaksi pembakaran. Mekanisme reaksi telah dijelaskan lebih rinci pada artikel Fitri, dkk (2024). Terdapat dua kemungkinan reaksi pembakaran, yaitu sempurna dan tidak

sempurna. Reaksi pembakaran sempurna ditampilkan pada persamaan 1 dan reaksi pembakaran tidak sempurna ditampilkan pada persamaan 2 berikut.



Penambahan bio-aditif Grinzest pada BBM menyumbangkan oksigen sehingga mampu memaksimalkan proses pembakaran. Pembakaran BBM yang lebih sempurna juga berdampak pada penurunan emisi gas CO berdasarkan pada reaksi 1.

KESIMPULAN

Penambahan bio-aditif Grinzest ke dalam BBM yang diaplikasikan pada kendaraan tambang di PT Arutmin Tambang Indonesia Kintap menunjukkan penurunan konsumsi BBM sebesar 7,42% dari rata-rata konsumsi BBM sebelum ditambahkan dengan bio-aditif. Produk Bio-aditif berbasis atsiri merupakan salah

satu solusi untuk efisiensi penggunaan energi dan ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan terima kasih kepada Dikti atas grant hibah PDP dengan No.kontrak 48/Dir.DPPK/01/DPPK/VI/2024 dan kepada PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap atas pendanaan dan kerjasama riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal –A.K. 2006. Biofuels (alcohols and biosolar) applications as fuels for internal combustion engines. *Energy and Combustion Science* 33

Alfian, D.G.C., Prahmana, R.A., Silitonga, D.J., Muhyi, A., and Supriyadi, D., 2019, Performance Characterization of Gasoline Engine with Patchouli Oil as Bio-Additive for Gasoline with an Octane Number 90, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258(1)

Anand BP, Saravanan CG, Srinivasan CA. 2010. Performance and exhaust emission of turpentine oil powered direct injection diesel engine. *Renewable Energy* 35(6):p.1179-1184.

Ansari, K., Goga, G., & Mohan, R. (2022). Performance and emission investigation of CI engine using blends of corn oil biosolar and turpentine. *Materials Today: Proceedings*, 71, 300-305.

Arkan F. 2019. Pengaruh aditif dari fraksi rhodinol minyak sereh wangi terhadap konsumsi bahan bakar dan kualitas biosolar (B-20). Institut Pertanian Bogor.

Barboza, A. B., Mohan, S., & Dinesha, P. (2024). Use of biofuel with turpentine oil additive in a compression ignition engine: a green initiative to fulfill sustainable development goals. *Cogent Engineering*, 11(1), 2364840.

Chivu, R. M., Martins, J., Popescu, F., Uzuneanu, K., Ion, I. V., Goncalves, M., & Brito, F. P. (2023). Turpentine as an Additive for Diesel Engines: Experimental Study on Pollutant Emissions and Engine Performance. *Energies*, 16(13), 5150.

ESDM. 2022. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Solar BBM Sebagai Yang Dipasarkan Di dalam Negeri Nomor 185 K/HK.02/ DJE/ 2022. Jakarta: KESDM

Fitri, N., Kiranandika Syahrizal, A., Hidayat, A., Aditya Dharma, I., Mauludiyah, R., Khofifah, K., ... & Nur Huda, I. (2024a). Sintesis FAME dari Jelantah sebagai Bahan Baku Biosolar dan Blending dengan Bio-aditif Fraksi Minyak Atsiri Serai Wangi untuk Optimalisasi Pembakaran pada Mesin Diesel.

Fitri, N., Mauludiyah, R., Sukri, Q., Syahputra, R., & Nurhuddah, I. I. (2024b). Inisiasi Z-fract Formula sebagai Bio-aditif Efisiensi Mesin Industri. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 9 (1).

Fitri, N., Riza, R., Akbari, M. K., Khonitah, N., Fahmi, R. L., & Fatimah, I. (2022). Identification of citronella oil fractions as efficient bio-additive for diesel engine fuel. *Designs*, 6(1), 15.

Komariah LN, Arita S, Rendana M, Ramayanti C, Suriani NL, Erisna D., (2022). Microbial contamination of diesel-biodiesel blends in storage tank; an analysis of colony morphology, *Heliyon*, 8(4).

- Lawang, A.T. Setyaningsih, D. Syahbana, M., 2019, Evaluasi Minyak Daun Cengkeh Dan Minyak Serai Wangi Sebagai Bio-aditif Bahan Bakar Solar Dalam Menurunkan Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel, *Jurnal Teknologi Pertanian*, 20(2), pp. 95–102.
- Maceiras R, Rodriguez M, Cancela A, Urrejola S, Sanchez A. 2011. Macroalgae raw material for biosolar production. *Applied Energy*. 88(10): 3318-3323.
- Muhyi, A., Prahmana, R.A., Alfian, D.G.C., Silitonga, D.J., dan Supriyadi, D., 2019, Performance Characterization of Diesel Engine Generator Set with the addition of clove oil as Bio-Additives for Diesel fuel, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258(1).
- Nabi, M. N., Rasul, M. G., Rahman, S. M.A., Dowell, Ashley, Ristovski, Z. D., and Brown, R. J., 2019, Study of performance, combustion and emission characteristics of a common rail diesel engine with tea tree oil-diglyme blends, *Energy*, 180, pp. 216–228.
- Nirmala, M. J., Sekar, P. C., Johnson, A., Kizhuveetil, U., Shora, S., & Nagarajan, R. (2023). A comprehensive review of nanoadditives in Plant-based biosolars with a special emphasis on essential oils. *Fuel*, 351, 128934.
- Rahman, S. M.A., Van, T. C., Hossain, F. M., Jafari, M. Dowell, A., Islam, M. A., Nabi, M. N., Marchese, A. J., Tryner, J., Rainey, T., Ristovski, Z. D., Brown, R.J., 2019, Fuel properties and emission characteristics of essential oil blends in a compression ignition engine, *Fuel*, 238, pp. 440–453.
- Ramirez –L.E., Rodrigues –J.E., Jarimillo A.D.R. 2012. A predicting cetan number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biosolar from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*. 91(1), 102-111.
- Sedghi R, Shahbeik H, Rastegari H, Rafiee S, Peng W. 2022. Turning Biodiesel Glycerol Into Oxygenated Fuel Additives and Their Effects on The Behavior of Internal Combustion Engines : A Comprehensive Systematic Review. *Renew Sustain Energy Rev*. 167(2022):1–29. doi:10.1016/j.rser.2022.112805.
- Sumihar, P. 2021. Studi Eksperimen Pengaruh Penyimpanan Bahan Bakar Campuran Biosolar Terhadap Sifat Bahan Bakar, Perfoma, Uji Ketahanan, Dan Emisi Mesin Diesel. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wan Nur Aisyah Wan Osman, Mohd Hakimi Rosli, Wan Nur Athirah Mazli, Shafirah Samsuri, (2024). Comparative review of biodiesel production and purification, *Carbon Capture Science & Technology*, 13, p. 100264
- Yadav, A. S., Singh, P., Sahu, R., Thangamuthu, P., Narain, R. S., Rao, Y. A., ... & Sharma, A. (2022). Potential utilization of turpentine oil as an alternative fuel. *Materials Today: Proceedings*, 63, A1-A8.