EFEK INTERMOLECULAR FORCES: PERUBAHAN PHYSICAL PROPERTIES PADA CAMPURAN PREMIUM DAN BIO-ADDITIVE ORANGE PEEL

Musyaroh

Mahasiswa S2
Teknik Mesin, Universitas Brawijaya
Email: musyarohstp@student.ub.ac.id

Widya Wijayanti

Tenaga Pengajar
Teknik Mesin, Universitas Brawijaya
widya_dinata@ub.ac.id

Mega Nur Sasongko

Tenaga Pengajar
Teknik Mesin, Universitas Brawijaya
megasasongko@ub.ac.id

Ahmad Difal Rizaldy

Mahasiswa S1
Teknik Mesin, Universitas Brawijaya
Email: adifalrizaldy@student.ub.ac.id

The addition of bio-additive in gasoline was needed in order to improve the anti-knock quality. The bio-additive used was orange peel in the form of essential oil. Nevertheless, it make any changes of fuel properties affecting standard compliances: physical properties, engine performances and exhaust gas emissions due to some main compound effects of orange oil; limonene up to 90%. The recent study aimed to analyze the blends of bio-additives and premium gasoline experimentally related to improve the fuel properties theoretically. By verifying the blends, they were tested at blending concentration ratio from 1% to 75%. For each blend, the physical properties; kinematic viscosity, density, and calorific value were measured using ASTM D 445, ASTM D 92, and ASTM D 250. The results show that the limonene gave many impacts on the change of properties fuel. Limonene is a non-polar compound with high intramolecular force intensity. It causes a spontaneous dipole and gave propagation effect on premium gasoline molecular compound. The effect influences dynamic molecular distribution by increasing the attractive force between opposite pole of premium gasoline and bio-additives blend. The decrease of intermolecular movement intensity will decrease the viscosity of the mixture. In contrary, the kinematic viscosity of the mixture will increase with increasing bio-additive concentration. In other physical properties, the premium gasoline-bio-additive blends have low density at 1%, 5%, 10% and 25% addition concentration but it has high heating value of fuel blends.

Keywords: Intermolecular Force, Physical Properties, Premium, Bio- Additive, Orange Oil

1. PENDAHULUAN

Premium merupakan salah satu bahan bakar yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat di Indonesia. Tingkat konsumsi bahan bakar premium mencapai 13,2 juta kilo liter pada tahun 2019 [1]. Padahal jika dibandingkan dengan bahan bakar lainnya seperti pertalite dan pertamax, premium memiliki nilai oktan yang lebih rendah. Nilai oktan bahan bakar premium hanya 88 sedangkan nilai oktan bahan bakar pertalite dan pertamax sebesar 90 dan 92. Pada bahan bakar premium, nilai oktan 88 menunjukkan bahwa bahan bakar tersebut mengandung ikatan hidrokarbon rantai bercabang sebesar 88% dan ikatan hidrokarbon rantai lurus sebesar 12%. Tingginya jumlah hidrokarbon tunggal rantai lurus pada premium rawan menimbulkan *knocking* saat digunakan pada mesin dengan rasio kompresi yang tinggi. Secara termodinamika, hidrokarbon rantai lurus memiliki stabilitas struktur molekul yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hidrokarbon rantai bercabang [2]. Hidrokarbon dengan struktur rantai tunggal lurus memiliki sensitivitas yang lebih tinggi sehingga lebih mudah mengalami pemutusan ikatan pada suhu rendah [3].

Upaya populer yang selama ini dilakukan untuk mengatasi *knocking* saat penggunaan premium adalah dengan menambahkan zat aditif seperti *Tetra Ethyl Lead* (TEL), *Methyl tert-Butyl Ether* (MTBE), dan *Ethyl tert-butyl Ether* (ETBE). Aditif tersebut memiliki sifat lipofilik dan larut dalam bensin. Namun penggunaannya telah dilarang karena menimbulkan efek samping serius terhadap lingkungan maupun

kesehatan [4]. TEL tersusun dari senyawa atom timbal yang terikat dengan gugus alkil tetrahedral dapat menghasilkan emisi gas buang yang memicu penyakit kelainan otak dan mencemari udara lingkungan [5]. Sedangkan penggunaan MTBE dan ETBE dihapus karena kekhawatiran akan potensi pencemaran air tanah [4]. Oleh karena itu saat ini banyak dilakukan penelitian terkait zat aditif untuk bahan bakar yang efektif dan ramah lingkungan.

Penelitian terkait zat aditif alami mulai banyak dilakukan [6]–[8]. Salah satu bahan yang potensial digunakan sebagai zat aditif adalah minyak atsiri kulit jeruk manis. Minyak dari kulit jeruk ini memiliki senyawa hidrokarbon bercabang yang mengandung senyawa oksigenat dan merupakan senyawa siklik yang dapat meningkatkan pembakaran [9]. Kulit jeruk mempunyai potensi yang sangat menjanjikan apabila digunakan sebagai pengganti TEL/MTBE/ETBE. Selain potensinya yang melimpah karena produktivitasnya tinggi, berdasarkan penelitian Fan *et al* [10] minyak atsiri kulit jeruk mengandung berbagai macam senyawa baik terpen, monoterpen, dan hidrokarbon oksigenat. Selama ini, minyak atsiri kulit jeruk hanya dimanfaatkan sebagai aditif minyak diesel. Secara *physical properties*, pencampuran minyak atsiri kulit jeruk dapat mengurangi nilai viskositas dan densitas serta meningkatkan nilai pemanasan [11]. Tingginya nilai kalor pada minyak atsiri kulit jeruk juga dapat meningkatkan efisiensi thermal [12].

Adapun peningkatan kualitas *knocking* memerlukan keterlibatan ikatan rangkap [2], [13] dan gugus metil pada cabang rantai yang mampu menghambat terjadinya pengapian pada suhu rendah [14]. Selain hal tersebut, bentuk struktur rantai hidrokarbon penyusun bahan bakar juga mempengaruhi karakteristik fisik dari bahan bakar tersebut. Minyak atsiri kulit jeruk mengandung senyawa dominan bernama limonen ($C_{10}H_{16}$) yang jumlahnya mencapai 90% [12]. Senyawa tersebut tergolong monoterpen dengan struktur berbentuk siklik, memiliki ikatan rangkap dan percabangan metil. Keberadaan gugus metil diduga dapat menstimulus abstraksi atom H dan migrasi atom H internal sehingga dapat menghambat terjadinya pengapian suhu rendah pada percabangan rantai karbon. Proses abstraksi atom H tersebut terjadi saat limonen bereaksi dengan hidrokarbon rantai lurus premium dengan mula-mula diduga membentuk radikal alkil kemudian melepas atom H pada molekul bahan bakar dengan cara inisiasi. Proses inisiasi yang membutuhkan energi aktivasi tinggi (> 167 KJ/mol) tersebut dapat membuat premium tidak mudah terbakar sehingga tidak mudah menimbulkan *knocking*. Selain itu, limonen juga merupakan senyawa *non polar* yang memiliki distribusi kerapatan elektron pada molekul yang dinamis. Peristiwa tersebut dapat mempengaruhi gaya tarik menarik antar molekul disekitarnya. Sehingga pada proses pencampuran bio-additive kulit jeruk dengan bahan bakar diduga juga berpengaruh terhadap karakteristik fisik (*physical properties*) bahan bakar. Berdasarkan potensi tersebut, maka minyak atsiri kulit jeruk diprediksi dapat menjadi zat aditif pengganti TEL/MTBE/ETBE yang dapat memperbaiki kualitas bahan bakar premium.

Pada penelitian ini akan diamati bagaimana pengaruh pencampuran *bio-additive* minyak atsiri kulit jeruk manis apabila ditambahkan pada bahan bakar premium terhadap karakteristik fisik campuran. Dari penelitian ini dapat diperoleh analisis ilmiah tentang Gambaran dalam pemilihan *bio-additive* yang tepat untuk meningkatkan kualitas *anti-knock* pada bahan bakar. Pencampuran *bio-additive* kulit jeruk manis juga diharapkan dapat menjadi RON *Booster* bagi bahan bakar premium sehingga bahan bakar ini dapat memenuhi persyaratan standart bahan bakar untuk digunakan pada motor bakar dan memperbaiki kinerjanya.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental (*expeiremental method*) yang dilakukan secara langsung pada objek yang diteliti dengan bahan yang digunakan terdiri dari bahan bakar premium dan *bio-additive* kulit jeruk manis. Bahan bakar premium yang digunakan adalah bahan bakar komersial yang dipasarkan oleh PT. Pertamina dengan spesifikasi seperti pada table 1. Bahan bakar tersebut memiliki nilai oktan 88 yaitu lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar jenis pertalite (RON 90) dan pertamax (RON 92). *Bio-additive* yang digunakan terbuat minyak atsiri kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) yang diproses secara *cold pressing*. Minyak atsiri tersebut dikemas dalam botol gelap sehingga terlindungi dari cahaya matahari dan dilengkapi dengan COA (*Certificate of Analysis*).

Tahapan penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap yaitu pencampuran, pengujian *Gas Chromatography and Mass Spectrometer* (GC-MS), serta pengujian *physical properties*. Pertama, tahap pencampuran antara bahan bakar premium dan *bio-additive* kulit jeruk. Proses pencampuran pada penelitian ini dilakukan menggunakan perbandingan konsentrasi volume (% v/v) yaitu besar volume *bio-additive* yang terkandung di dalam 100 ml larutan. Terdapat enam jenis konsentrasi penambahan *bio-additive* terhadap bahan bakar premium yaitu 1%, 5%, 10%, 25%, 50% dan 75% serta dua konsentrasi pembanding yaitu bahan bakar premium murni (tanpa *bio-additive*) dan *bio-additive* murni. Kedua, yaitu tahap pengujian *Gas Chromatography and Mass Spectrometer* (GC-MS). Pengujian GC-MS dilakukan terhadap bahan bakar

premium dan *bio-additive* kulit jeruk. Pengujian GC-MS dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawa yang terkandung di dalam minyak atsiri kulit jeruk. Pengujian dengan GC-MS (*Gas Chromatography and Mass Spectrometer*) dilakukan dengan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan 2 metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Struktur molekul pada senyawa dominan penyusun bioaditif kulit jeruk dianggap sebagai senyawa berpengaruh terhadap sifat fisik bahan bakar premium. Katrizky *et al* menyatakan bahwa struktur molekul senyawa dominan dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia senyawa tersebut [15].

Ketiga yaitu tahap pengujian karakteristik fisik (*physical properties*). Karakteristik fisik yang diuji dalam penelitian ini terdiri dari viskositas, densitas, dan nilai kalor. Pengujian viskositas kinematik 40°C dengan menggunakan alat *oswald viscosity capillary viscometer* dengan mengikuti prosedur ASTM D 445 [16]. Pengujian densitas menggunakan *pichnometer* mengacu pada standar ASTM D 1217 [16]. Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan *bomb calorimeter* dengan metode ASTM D 250 [17]. Prinsip *bomb calorimeter* yang digunakan adalah *High Heating Value* (HHV) yaitu mengukur jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O₂ berlebih). Pengujian *physical properties* pada penelitian dilakukan sebanyak 3 kali ulangan untuk memperoleh data yang valid.

Tabel 1: Material Safety Data Sheet Premium RON 88 [18]

KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN	
		MIN	MAKS
Bilangan Oktana Angka Oktan Riset (RON)	RON	88,0	-
Stabilitas Oksida	Menit	360	-
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾
Kandungan Timbal (Pb)	gr/liter	-	0,013 ^{*)}
Kandungan Logam (Mn, Fe)	mg/l	Injeksi timbal tidak diizinkan	
Kandungan Oksigen	% m/m	-	Tidak terlarak ²⁾
Kandungan Olefin	% v/v	-	2,7 ³⁾
Kandungan aromatic	% v/v	Dilaporkan	
Kandungan Benzene	% v/v	Dilaporkan	
Distilasi			
10% vol. Penguapan	°C	-	74
50% vol. Penguapan	°C	75	125
90% vol. Penguapan	°C	-	180
Titik didih akhir	°C	-	215
Residu	% vol	-	2,0
Sedimen	mg/l	-	1
<i>Unwashed Gum</i>	mg/100 ml	-	70
<i>Washed Gum</i>	mg/100 ml	-	5
Tekanan Uap	kPa	45	69
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
Korosi Bilah Tembaga	Merit	Kelas 1 tif	
Sulfur Marcaptan	% massa	-	0.002 ⁴⁾
Penampilan Visual		Jernih dan terang	
Bau		Tidak berbau	
Warna		Kuning	
Kandungan Pewarna	gr/100 l	-	0,13

3. HASIL DAN DISKUSI

Senyawa yang terkandung pada bio-additif kulit jeruk berdasarkan hasil pengujian GC-MS (Tabel 2) terdiri dari limonen, mirsen, triasetin, dan eugenol dengan persentase masing-masing komponen sebesar 92,06%, 2,35%, 4,59%, dan 1,00%. Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa senyawa dominan yang

terkandung dalam *bio-additive orange peel* adalah limonen yang termasuk dalam golongan monoterpen. Senyawa lain yang terkandung di dalam *bio-additive orange peel* adalah beta-mirsen, triasetin dan eugenol. Beta mirsen termasuk dalam senyawa monoterpen asiklik sedangkan triasetin termasuk senyawa trigliserida dan eugenol termasuk senyawa alilbenzena yang di dalamnya terdapat senyawa guaicol dengan penambahan grup alil.

Tabel 2: Komposisi senyawa kimia penyusun *bio-additive* kulit jeruk manis

KOMPOSISI KIMIA	FORMULA	JUMLAH %	MASSA MOLEKUL (g/mol)
Beta-mirsen	C ₁₀ H ₁₆	2.35	142.27
Limonen	C ₁₀ H ₁₆	92.06	136.23
Triacetin	C ₉ H ₁₄ O ₆	4.59	218.2
Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	1.00	164,2

Gambar 1: Struktur Molekul Senyawa Penyusun *Bio-additive* Kulit Jeruk Manis. a) Limonen, b) Triasetin, c) Eugenol, d) beta-mirsen

Limonen sebagai senyawa dominan dalam *bio-additive* ini diduga memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik properties bahan bakar premium. Struktur limonen dapat dilihat pada Gambar 1. Limonen termasuk senyawa non polar yang memiliki kerapatan elektron tidak stabil. Hal tersebut mempengaruhi gaya antar molekulnya. Limonen dapat menstimulus terjadinya dipol yang acak, sementara, dan terus merambat secara propagasi sehingga dapat mempengaruhi ikatan molekul senyawa-senyawa penyusun bahan bakar. Reaksi antara limonen serta zat penyusun *bio-additive* kulit jeruk tersebut secara langsung mempengaruhi sifat fisik bahan bakar. Selain itu, limonen yang memiliki struktur berbentuk siklik juga berperan dalam meningkatkan kualitas *anti-knock* pada bahan bakar premium. Lehn *et al* [19] menyatakan bahwa senyawa dengan rantai siklik memiliki reaktivitas (kemampuan terbakar) yang rendah pada proses pembakaran jika dibandingkan dengan rantai lurus. Reaktivitas yang rendah tersebut membuat suatu senyawa tidak mudah terbakar pada suhu rendah. Selain itu, percabangan dan ikatan rangkap dalam senyawa penyusun *bio-additive* juga berperan dalam meningkatkan kualitas *anti-knock* bahan bakar premium. Percabangan cicin siklik yang lokasinya berdekatan memiliki nilai oktan yang lebih tinggi [20]. Saat posisi percabangan rantai saling berdekatan maka jumlah atom hidrogen yang tersedia untuk proses resonansi hidrogen semakin banyak. Jika

interaksi intramolekul terjadi dalam intensitas yang sering maka senyawa tersebut menjadi lebih stabil dan tidak mudah terbakar sehingga memiliki kualitas *anti-knock* yang lebih baik.

Sementara itu, senyawa penyusun bahan bakar premium yang dikelompokkan berdasarkan jenisnya melalui hasil pengujian GCMS [21] dapat dilihat pada Gambar 2. Senyawa dominan penyusun bahan bakar premium adalah senyawa aromatics yaitu sebesar 24,141% mol, kemudian diikuti senyawa lainnya seperti iso-parafin (19,23% mol), n-parafin (14,8% mol), olefin (12,23% mol), naftalen (8,205% mol), dan benzena (2,38%). Tingginya senyawa aromatik penyusun bahan bakar premium menyebabkan bahan bakar ini mudah bereaksi dengan senyawa lainnya. Senyawa aromatik memiliki dipol magnetik permanen dari pergerakan cincinnya.

Gambar 2: Komposisi senyawa hidrokarbon penyusun bahan bakar premium

3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi *Bio-additive orange peel* Terhadap *Physical Properties* Bahan Bakar Premium

3.1.1 Viskositas Kinematik

Gambar 3: Viskositas campuran berbagai variasi konsentrasi *bio-additive* kulit jeruk manis dengan bahan bakar premium

Hasil pengujian nilai viskositas campuran *bio-additive* kulit jeruk manis dengan bahan bakar premium ditunjukkan pada Gambar 2. Pada penelitian ini minyak atsiri kulit jeruk yang digunakan sebagai *bio-additive* memiliki nilai viskositas sebesar 3,29 cSt sedangkan bahan bakar premium memiliki viskositas sebesar 1,95 cSt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai viskositas kinematik campuran antara *bio-additive orange peel* dengan bahan bakar premium cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan

konsentrasi *bio-additive*. Pada pencampuran *bio-additive* 1% nilai viskositas mengalami penurunan sebesar 0,14 cSt, sedangkan pada pencampuran dengan konsentrasi 5%, 10%, 25%, 50%, dan 75% nilai viskositas meningkat namun tidak signifikan, yaitu sebesar 0,11 cSt, 0,11 cSt, 0,15 cSt, 0,20 cSt. Peningkatan nilai viskositas tertinggi terjadi pada pencampuran *bio-additive* kulit jeruk manis sebesar 75% yaitu sebesar 0,49 cSt. Melalui hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pencampuran *bio-additive* kulit jeruk manis dapat menurunkan dan menaikkan nilai viskositas bahan bakar premium. Naik turunnya nilai viskositas campuran antara bahan bakar dengan zat aditif dipengaruhi oleh reaksi antar molekul penyusunnya [22]. Reaksi antar molekul menyebabkan adanya gaya tarik menarik antar elektron penyusun bahan bakar premium dan *bio-additive* kulit jeruk. Penurunan nilai viskositas kinematik pada pencampuran *bio-additive* kulit jeruk manis 1% dengan bahan bakar premium disebabkan karena adanya fenomena delokalisasi elektron pada senyawa aromatis yang terkandung pada keduanya. Pada senyawa aromatik, elektron mengalami pergerakan mengelilingi cincin aromatis sehingga terjadi reaksi tarik menarik dan tolak menolak antar molekul penyusun bahan bakar premium dan *bio-additive orange peel*. Reaksi tersebut membuat pergerakan molekul menjadi semakin aktif. Keaktifan pergerakan molekul tersebut menyebabkan ikatan antar molekul menjadi lemah, nilai viskositas menurun dan campuran menjadi lebih cair. Sementara itu, peningkatan nilai viskositas kinematik pada campuran dengan konsentrasi *bio-additive orange peel* sebesar 5%, 10%, 25%, 50%, dan 75% disebabkan karena intensitas gaya tarik menarik antar molekul internal terjadi dalam waktu yang cukup lama akibat dipol terimbas dan dipol sesat internal. Hal tersebut membuat keaktifan reaksi antar molekul senyawa *orange peel oil bioadditive* dengan bahan bakar premium menurun sehingga viskositas kinematik meningkat. Perbandingan nilai viskositas campuran *bio-additive* kulit jeruk dengan bahan bakar lainnya dapat dilihat pada Gambar 3.

Melalui perbandingan viskositas bahan bakar dengan bahan bakar komersial lainnya pada grafik di atas (Gambar 3) dapat dilihat bahwa viskositas campuran *bio-additive orange peel* dengan bahan bakar premium termasuk dalam kategori bahan bakar diesel. Hal tersebut sebagaimana nilai viskositas kinematik pada campuran *bio-additive orange peel* 5%-75%. Campuran bahan bakar ini tidak masuk kedalam rata-rata viskositas bahan bakar *gasoline* atau bensin. Apabila bahan bakar campuran *bio-additive orange peel* dengan bensin Premium ini dijadikan bahan bakar mesin bensin diprediksikan akan menemui sedikit catatan pada lubrikasinya yang semakin baik. Menurut Tian [23] dengan semakin besarnya viskositas, maka akan semakin baik dalam lubrikasinya dan dalam hal ini *orange peel oil* dapat menjadi aditif *improvers* yang baik di viskositanya terhadap komponen-komponen mesin, terutama saat bahan bakar di *fuel pump* yang akan menambah keawetannya.

Gambar 4: Perbandingan viskositas campuran *bio-additive orange peel* dan bensin premium dengan viskositas standar bahan bakar komersial

3.1.2 Densitas

Gambar 5: Perbandingan densitas konsentrasi campuran premium-*bio-additive orange peel* dengan bahan bakar premium

Gambar 6: Perbandingan densitas campuran premium-*bio-additive orange peel* dengan densitas standar bahan bakar komersial

Nilai densitas masing-masing campuran bahan bakar premium dengan *bio-additive orange peel* dapat dilihat pada Gambar 4. Minyak atsiri kulit jeruk yang digunakan sebagai *bio-additive* memiliki nilai densitas sebesar 0,89 g/ml³, lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai densitas bahan bakar premium yang hanya sebesar 0,76 gr/ml³. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai densitas pada setiap konsentrasi campuran. Pada pencampuran bahan bakar premium dengan konsentrasi *bio-additive orange peel* 1%-10% kenaikan nilai densitas terjadi tidak begitu signifikan yaitu hanya sebesar 0,003 gr/ml³. Kenaikan signifikan dimulai pada penambahan *bio-additive orange peel* sebesar 25% keatas. Namun kenaikan nilai densitas campuran pada penelitian ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai densitas premium murni. Besar nilai densitas pada campuran 1% - 25% berturut-turut yaitu 0,72 gr/ml, 0,72 gr/ml, 0,73 gr/ml, dan 0,76 gr/ml. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan *bio-additive orange peel* pada konsentrasi tersebut terjadi pergerakan intramolekul yang sangat cepat sehingga ikatan antar molekul

melemah dan kerapian antar molekul menurun. Selain itu, naik dan turunnya nilai densitas juga dipengaruhi oleh struktur molekul senyawa penyusun keduanya. Hal tersebut dapat dilihat pada campuran bahan bakar premium dengan *bio-additive orange peel* dengan konsentrasi 50% dan 75% yang nilainya lebih besar dari pada densitas premium. *Bio-additive* yang digunakan pada penelitian ini diketahui termasuk golongan senyawa yang memiliki ikatan atom karbon sebesar C_9-C_{12} . Banyaknya atom karbon yang menyusun senyawa *bio-additive orange peel* menjadikan masing-masing senyawa penyusunnya memiliki massa molekul (*molecular weight*) yang tinggi pula. Massa molekul masing-masing senyawa penyusun *bio-additive orange peel* dapat dilihat pada Tabel 2. Semakin tinggi massa molekul suatu senyawa maka semakin tinggi pula densitas senyawa tersebut [24]. Oleh karena itu hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai densitas tertinggi pada penelitian ini adalah campuran yang terdiri dari bahan bakar premium dan 75% *bio-additive orange peel*.

Perbandingan nilai densitas bahan bakar premium yang dicampur *bio-additive orange peel* dengan bahan bakar lainnya dapat dilihat pada Gambar 6. Melalui grafik tersebut dapat dilihat bahwa pencampuran *bio-additive orange peel* pada bahan bakar premium dengan konsentrasi 1%, 5%, 10%, dan 25% masih berada di *range* bahan bakar minyak berbasis bensin atau *gasoline*. Hal tersebut menunjukkan bahwa formulasi pencampuran *bio-additive orange peel* dengan konsentrasi tersebut aman digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin bersiklus bensin. Pencampuran *bio-additive orange peel* dengan konsentrasi lebih dari 25% memiliki nilai densitas yang lebih tinggi sehingga belum memenuhi standar densitas bahan bakar bensin dan lebih sesuai dengan bahan bakar diesel. Oleh karena itu pencampuran *bio-additive orange peel* dengan konsentrasi lebih dari 25% lebih sesuai digunakan untuk mesin dengan siklus bahan bakar diesel.

3.1.3 Nilai Kalor (*High Heating Value*)

Hasil pengujian nilai kalor pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7. Bahan bakar premium yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai kalor sebesar 8.624,28 cal/gram, lebih rendah jika dibandingkan dengan *orange oil* yang digunakan sebagai *bio-additive* (8.964,34 cal/gram). Pencampuran *bio-additive orange peel* dengan bahan bakar premium pada konsentrasi 1%, 25%, 50%, dan 75% menyebabkan peningkatan nilai kalor. Pada pencampuran tersebut, masing-masing campuran memiliki nilai kalor yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar premium. Secara berurutan sebesar 8672,34 cal/gram, 8.827,54 cal/gram, 10.085,66 cal/gram, dan 10372,14 cal/gram. Sedangkan pada campuran bahan bakar premium dan *bio-additive orange peel* dengan konsentrasi 5% dan 10% nilai kalor yang dihasilkan mengalami penurunan menjadi 8200,55 cal/gram dan 8193,19 cal/gram.

Gambar 7: Perbandingan nilai kalor campuran premium-*bio-additive orange peel* dengan bahan bakar premium

Fluktuasi nilai kalor campuran antara bahan bakar premium dengan *bio-additive orange peel* dipengaruhi oleh berapa faktor salah satunya yaitu reaksi antara kedua bahan pada saat pencampuran. Peningkatan nilai kalor pada campuran diduga akibat adanya reaksi antara senyawa penyusun *bio-additive* dengan senyawa pada premium. Massa molekul senyawa penyusun bahan bakar dapat mempengaruhi tinggi

rendahnya nilai kalor saat pembakaran [25]. Tingginya massa molekul pada setiap senyawa penyusun *bio-additive orange peel* dapat mendorong terjadinya dipol sesaat dengan intensitas yang sering dan berpengaruh pada senyawa lain disekitarnya termasuk senyawa penyusun bahan bakar premium. Pegerakan tersebut menyebabkan terjadinya perbedaan kutub (kutub + dan kutub -) dan terjadi gaya tarik menarik antar senyawa pada *bio-additive orange peel* dengan bahan bakar premium. Akibatnya terjadi percabangan senyawa dan terbentuk senyawa baru yang lebih kuat sehingga dibutuhkan energi aktivasi yang lebih tinggi dalam proses pembakarannya. Oleh karena itu nilai kalor yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Gambar 8 menunjukkan perbandingan nilai kalor antara campuran bahan bakar premium dan *bio-additive orange peel* dengan bahan bakar komersial lainnya. Nilai kalor campuran *bio-additive orange peel* dengan berbagai konsentrasi pada premium menghasilkan nilai kalor yang lebih rendah jika dibandingkan dengan rata-rata nilai kalor *gasoline* dan bahan bakar diesel yang umum dijual di masyarakat.

Gambar 8: Perbandingan nilai kalor campuran premium-*bio-additive orange peel* dengan nilai kalor standar bahan bakar komersial

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa minyak atsiri kulit jeruk sangat berpotensi untuk digunakan sebagai zat aditif *anti-knock* bahan bakar jenis *gasoline* khususnya premium.

1. Keberadaan senyawa polar dan non polar pada *bio-additive orange peel* mempengaruhi gaya intermolekul campuran bahan bakar. Senyawa aromatis *bio-additive* kulit jeruk menyebabkan terjadinya proses delokalisasi elektron sehingga terbentuk perbedaan kutub antar molekul penyusun *bio-additive orange peel* dan bahan bakar premium dan berpengaruh terhadap gaya tarik menarik antar keduanya.
2. Struktur geometri molekul mempengaruhi intensitas gaya tarik menarik antar molekul sehingga berpengaruh terhadap viskositas, densitas, dan nilai kalor campuran bahan bakar. Semakin tinggi intensitas gaya tarik menarik antar molekul semakin rendah nilai viskositas campuran *bio-additive* kulit jeruk dan bahan bakar premium. Namun semakin sering molekul tarik menarik satu sama lain menyebabkan nilai densitas meningkat karena posisi setiap molekul semakin rapat.
3. Peningkatan nilai kalor campuran *bio-additive* kulit jeruk dan bahan bakar premium yang sebanding dengan peningkatan konsentrasi penambahan *bio-additive* kulit jeruk menunjukkan bahwa penggunaan *bio-additive* ini dapat meningkatkan kualitas *anti-knock* dengan baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] CNN, "BPH Migas Antisipasi Lonjakan Konsumsi Solar dan Premium." 2019, [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20190717175058-85-413025/bph-migas-antisipasi-lonjakan-konsumsi-solar-dan-premium>.
- [2] D. H. ESS, S. LIU, AND F. DE PROFT, "Density functional steric analysis of linear and branched

- alkanes,” *J. Phys. Chem. A*, vol. 114, no. 49, pp. 12952–12957, 2010, doi: 10.1021/jp108577g.
- [3] R. VALLINAYAGAM, S. VEDHARAJ, W. L. ROBERTS, R. W. DIBBLE, AND S. M. SARATHY, “Performance and emissions of gasoline blended with terpineol as an octane booster,” *Renew. Energy*, vol. 101, pp. 1087–1093, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2016.09.055.
- [4] V. S. B. SHANKAR *ET AL.*, “Antiknock quality and ignition kinetics of 2-phenylethanol, a novel lignocellulosic octane booster,” *Proc. Combust. Inst.*, vol. 36, no. 3, pp. 3515–3522, 2017, doi: 10.1016/j.proci.2016.05.041.
- [5] K. T. RASHID, K. MANSOUR, M. F. ABID, S. M. ALI, AND K. N. ABED, “Synthesis of dimethyl carbonate for enhancement of gasoline performance,” *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 31, no. 2, pp. 171–177, 2019, doi: 10.1016/j.jksues.2018.11.006.
- [6] R. VALLINAYAGAM, S. VEDHARAJ, N. NASER, W. L. ROBERTS, R. W. DIBBLE, AND S. M. SARATHY, “Terpineol as a novel octane booster for extending the knock limit of gasoline,” *Fuel*, vol. 187, pp. 9–15, 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2016.09.034.
- [7] M. Tian *et al.*, “Performance of lignin derived compounds as octane boosters,” *Fuel*, vol. 189, pp. 284–292, 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2016.10.084.
- [8] C. WANG, Y. LI, C. XU, T. BADAWY, A. SAHU, AND C. JIANG, “Methanol as an octane booster for gasoline fuels,” *Fuel*, vol. 248, no. March, pp. 76–84, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2019.02.128.
- [9] A. ZARE *ET AL.*, “The effect of triacetin as a fuel additive to waste cooking biodiesel on engine performance and exhaust emissions,” *Fuel*, vol. 182, no. 2, pp. 640–649, 2016, doi: 10.1016/j.fuel.2016.06.039.
- [10] H. FAN, Q. WU, J. E. SIMON, S. N. LOU, AND C. T. HO, “Authenticity analysis of citrus essential oils by HPLC-UV-MS on oxygenated heterocyclic components,” *J. Food Drug Anal.*, vol. 23, no. 1, pp. 30–39, 2015, doi: 10.1016/j.jfda.2014.05.008.
- [11] N. SREENIVASULU, K. GOVINDARAJULU, K. JOHN SAMUEL, Y. RAJASEKHAR, G. EDISON, AND R. THUNDIL KARUPPA RAJ, “Experimental investigation on engine performance and emission characteristics using pongamia - Orange oil blends,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 229–236, 2016.
- [12] A. M. KUMAR, M. KANNAN, AND G. NATARAJ, “A study on performance, emission and combustion characteristics of diesel engine powered by nano-emulsion of waste orange peel oil biodiesel,” *Renew. Energy*, vol. 146, no. x, pp. 1781–1795, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.06.168.
- [13] C. K. WESTBROOK *ET AL.*, “Experimental and Kinetic Modeling Study of 2-Methyl-2-Butene: Allylic Hydrocarbon Kinetics,” *J. Phys. Chem. A*, vol. 119, no. 28, pp. 7462–7480, 2015, doi: 10.1021/acs.jpca.5b00687.
- [14] S. M. SARATHY *ET AL.*, “A comprehensive combustion chemistry study of 2,5-dimethylhexane,” *Combust. Flame*, vol. 161, no. 6, pp. 1444–1459, 2014, doi: 10.1016/j.combustflame.2013.12.010.
- [15] A. R. KATRITZKY *ET AL.*, “Quantitative correlation of physical and chemical properties with chemical structure: Utility for prediction,” *Chem. Rev.*, vol. 110, no. 10, pp. 5714–5789, 2010, doi: 10.1021/cr900238d.
- [16] R. NADKARNI, *Guide to ASTM Test Methods for the Analysis of Petroleum Products and Lubricants, 2nd Edition*. 2007.
- [17] H. A. DABBAGH, F. GHOBADI, M. R. EHSANI, AND M. MORADMAND, “The influence of ester additives on the properties of gasoline,” *Fuel*, vol. 104, pp. 216–223, 2013, doi: 10.1016/j.fuel.2012.09.056.
- [18] PERTAMINA, “Spesifikasi Premium,” no. 1, p. 5, 2016, [Online]. Available: <https://www.pertamina.com/industrialfuel/media/20705/premium.pdf>.
- [19] F. VOM LEHN, B. BROSIUS, R. BRODA, L. CAI, AND H. PITSCH, “Using machine learning with target-specific feature sets for structure-property relationship modeling of octane numbers and octane sensitivity,” *Fuel*, vol. 281, no. May, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118772.
- [20] J. YANG, Y. MA, J. FU, J. SHU, AND J. LIU, “Parametric study of gasoline properties on combustion characteristics of gasoline compression engines using reaction kinetics simulation and density-based global sensitivity analysis,” *Appl. Energy*, vol. 255, no. August, p. 113858, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113858.
- [21] M. LUTHFI, D. AHMAD, M. SETIYO, AND S. MUNAHAR, “Uji Komposisi Bahan Bakar dan Emisi Pembakaran Peralite dan Premium,” *Jakarta J. Teknol. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 10, no. 1, pp. 67–72, 2018, doi: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.10.1.67-72>.
- [22] E. MARLINA, W. WIJAYANTI, L. YULIATI, AND I. N. G. WARDANA, “The role of pole and molecular geometry of fatty acids in vegetable oils droplet on ignition and boiling characteristics,” *Renew. Energy*, vol. 145, pp. 596–603, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.06.064.

- [23] M. TIAN *ET AL.*, “Anti-knock quality of sugar derived levulinic esters and cyclic ethers,” *Fuel*, vol. 202, pp. 414–425, 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2017.04.027.
- [24] M. D. BOOT, M. TIAN, E. J. M. HENSEN, AND S. MANI SARATHY, “Impact of fuel molecular structure on auto-ignition behavior – Design rules for future high performance gasolines,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 60, pp. 1–25, 2017, doi: 10.1016/j.pecs.2016.12.001.
- [25] H. RAHMAD, M. NUR SASONGKO, AND W. WIJAYANTI, “Pengaruh Prosentase Etanol terhadap Torsi dan Emisi Motor Indirect Injection dengan Memodifikasi Engine Control Module,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 49–54, 2016, doi: 10.21776/ub.jrm.2016.007.02.2.