

EKSPLORASI MINYAK ATSIRI SEBAGAI BIOADITIF BAHAN BAKAR SOLAR

Asep Kadarohman
Program Studi Kimia, FPMIPA, UPI Bandung

ABSTRAK

Bahan bakar solar saat ini telah banyak digunakan baik untuk aktifitas transportasi maupun industri. Namun, pembakaran yang kurang sempurna menyebabkan penggunaan minyak solar menjadi lebih boros dan dapat menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya. Upaya untuk mengurangi masalah tersebut sering dilakukan dengan menambahkan zat aditif pada bahan bakar solar yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas bahan bakar. Karakter dasar yang diinginkan dari suatu aditif adalah kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi pembakaran baik melalui peningkatan reaktifitas bahan bakar maupun dengan penyediaan oksigen secara internal. Minyak atsiri merupakan produk bahan alam dari keragaman hayati Indonesia yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bioaditif bahan bakar solar. Minyak cengkeh, minyak terpentin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh dan minyak kayu putih adalah minyak atsiri yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai bioaditif bahan bakar solar karena dari tinjauan terhadap struktur senyawa penyusunnya, material ini memiliki rantai siklik dan ketersediaan oksigen yang cukup besar. Temuan penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai minyak atsiri yang paling berpotensi untuk dijadikan sebagai bioaditif bahan bakar solar, yang selanjutnya dapat dilakukan kajian lebih lanjut tentang potensi minyak atsiri tersebut. Secara umum, penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama karakterisasi minyak solar dan bioaditif menggunakan GCMS dan FTIR, tahap kedua karakterisasi fisik solar-bioaditif pada berbagai komposisi, dan tahap ketiga penentuan laju konsumsi pada mesin satu silinder skala laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak cengkeh memiliki kemampuan paling tinggi dalam menurunkan tingkat laju konsumsi bahan bakar solar.

Kata kunci: *minyak cengkeh, minyak terpentin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh, minyak pala, solar, bioaditif*

PENDAHULUAN

Di era industrialisasi, bahan bakar minyak mempunyai fungsi yang sangat penting dalam mendukung pengembangan nasional di sektor industri dan transportasi. Di sektor transportasi, fenomena persaingan negara-negara produsen seperti Jepang dan Eropa dalam teknologi transportasi merupakan sebuah pemicu tersendiri bagi peminat transportasi dunia dalam menciptakan kendaraan yang ramah lingkungan. Jepang menawarkan teknologi *fuel-cell* atau *mobil hybrid*, sedangkan Eropa memilih teknologi mesin diesel. Kelebihan yang ditawarkan mesin diesel adalah hemat bahan bakar dan harganya yang murah menjadikan diesel menjadi pilihan utama di Eropa, walaupun permasalahan terbesar mesin diesel adalah asap yang hitam masih menjadi tantangan.

Mesin diesel dapat mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi tenaga mekanik. Namun gas yang dikeluarkan oleh mesin diesel mengandung beberapa konstituen yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Diantaranya adalah emisi dari materi partikulat, CO, hidrokarbon, NO_x, dan SO₂. Emisi-emisi tersebut dapat menyebabkan penyakit-penyakit seperti sakit kepala, iritasi mata, kanker, dan pernapasan.

Emisi hidrokarbon dan NO_x juga merupakan komponen penting yang menyebabkan terjadinya peristiwa *smog* (kabut fotokimia).

Untuk mengatasi permasalahan emisi akibat pembakaran bahan bakar pada mesin diesel, seharusnya digunakan bahan bakar dengan *cetane number* yang tinggi (Sudrajad A, 2005). *Cetane number* dapat meningkat apabila proses pembakaran bahan bakar pada kendaraan bermesin diesel lebih optimal. Peningkatan mutu bahan bakar diesel dipengaruhi oleh dua hal, yakni parameter bahan bakar yang baik dan ketersediaan oksigen yang cukup. Parameter yang mempengaruhi kinerja bahan bakar diesel adalah kerapatan, kekentalan, titik anilin dan indeks diesel yang dimiliki oleh bahan bakar diesel tersebut (Callahan, 1987).

Alternatif untuk meningkatkan efisiensi pembakaran bahan bakar dan mengurangi pencemaran adalah mereformulasi bahan bakar dengan zat aditif yang berfungsi untuk memperkaya kandungan oksigen dalam bahan bakar. Song (2001) dan Choi (1999) mengemukakan zat aditif 'penyedia oksigen' pada bahan bakar solar berperan untuk meningkatkan bilangan setana (*cetane number*), sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

Zat aditif terdiri dari dua macam, yaitu aditif sintesis (aditif buatan) dan bioaditif (berasal dari tumbuhan). Telah banyak penelitian dalam melakukan reformulasi bahan bakar ini. Terobosan yang semakin tajam dalam pemilihan aditif pada bahan bakar adalah aditif organik (bioaditif) yang berasal dari tumbuhan alam. Indonesia merupakan produsen utama beberapa minyak esensial, seperti Minyak Nilam (*Patchouli Oil*), Minyak Akar Wangi (*Vertiver Oil*), Minyak Sereh Wangi (*Cintronella Oil*), Minyak kenanga (*Cananga Oil*), Minyak Kayu Putih (*Cajeput Oil*), Minyak Sereh Dapur (*Lemon Grass*), Minyak Cengkeh (*Cloves Oil*), Minyak Cendana (*Sandal wood Oil*), Minyak Pala (*Nutmeg Oil*), Minyak Kayu Manis (*Cinamon Oil*), Minyak Kemukus (*Cubeb Oil*) dan Minyak Lada (*Pepper Oil*).

Minyak atsiri dapat larut dalam minyak solar dan hasil analisis terhadap komponen penyusunnya banyak mengandung atom oksigen (Kadarohman, 2003), yang diharapkan dapat meningkatkan pembakaran bahan bakar dalam mesin. Hal lain yang cukup penting dari struktur ruang senyawa penyusun minyak atsiri, ada yang dalam bentuk siklis dan rantai terbuka diharapkan dapat menurunkan kekuatan ikatan antar molekul penyusun solar sehingga proses pembakaran akan lebih efektif. Berdasarkan uraian di atas penting untuk diteliti mengenai karakterisasi bioaditif dari berbagai minyak atsiri serta uji kinerjanya terhadap kinerja mesin diesel yang menggunakan bahan bakar solar. Minyak cengkeh, minyak terpentin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh, dan minyak kayu putih adalah minyak atsiri yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai bioaditif bahan bakar solar karena dari tinjauan terhadap struktur senyawa penyusunnya, material ini memiliki rantai siklik dan ketersediaan oksigen yang cukup besar.

Minyak cengkeh (*Eugenia caryophyllata* Tumberg) diperoleh dengan cara destilasi uap dari buah atau daun pohon cengkeh yang telah gugur. Buah cengkeh yang kering mengandung sekitar 18,32% minyak atsiri dengan kandungan eugenol sebesar 80,94%, sedangkan daun cengkeh mengandung sekitar 2,79% minyak atsiri dengan kandungan eugenol sebesar 82,13% (Agusta, 2000). Minyak cengkeh hasil destilasi uap berwarna coklat gelap, tetapi setelah didestilasi ulang akan diperoleh cairan berwarna kekuningan jernih dengan indeks bias pada 20°C = 1,530, massa jenis pada 30°C = 0,9994 (Guenther dalam Sastrohamidjojo, 2004). Senyawa yang terkandung dalam minyak cengkeh dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama merupakan senyawa fenolat dan eugenol, dan kelompok kedua adalah senyawa nonfenolat yaitu β-kariofilen, α-kubeben, α-kopaen, humulen, δ-kadien, dan kadina 1,3,5-trien (Sastrohamidjojo, 2004).

Minyak terpentin sering disebut dengan *spirits of turpentine*, berupa cairan yang mudah menguap, berasal dari hasil penyulingan getah pinus, tidak berwarna (jernih), bau khas (keras), dan mudah terbakar (Sastrohamidjojo, 1981). Getah yang disadap dari batang pinus mengandung sekitar 14,2% minyak atsiri (Agusta, 2000). Minyak terpentin memiliki massa jenis (20°C) = 0,860-0,875, indeks bias (20°C) = 1,465-1,478, suhu penyulingan pertama = 150-160°C pada 760mmHg (Silitonga dkk dalam Sastrohamidjojo, 2004). Di Indonesia, minyak terpentin hampir seluruhnya berasal dari pinus *merkusii Jungh et de Vr* dengan kandungan utama α -pinen (70-85%), dan komponen lain seperti β -pinen, Δ -karen dan δ -longifolen dalam jumlah yang relatif kecil (Sastrohamidjojo, 2004).

Minyak pala (*Myristica fragrans*) merupakan minyak atsiri dengan komposisi pinen, kamfena, mirsena, osimena, limonena, terpineol, safrol, miristisin, elimisin. Daun segar tumbuhan pala mengandung sekitar 3,78% minyak atsiri, daging buahnya mengandung 0,32% minyak atsiri, sedangkan bijinya mengandung 2,16% minyak atsiri (agusta, 2000).

Minyak gandapura dalam perdagangan internasional dikenal dengan nama *Winter green oil*. Minyak gandapura diperoleh dari hasil penyulingan terna tanaman gandapura (*Gaultheria fragrantissima Auct*). Sebagian besar bagian tanaman mengandung senyawa-senyawa flavonoid, sedangkan daunnya mengandung tanin dan minyak. Komponen utama minyak gandapura adalah metil salisilat.

Minyak sereh (*citronella oil*) merupakan minyak atsiri yang diproduksi dari tanaman sereh wangi terutama bagian daun. Kandungan utama minyak sereh wangi adalah sitronelal (*citronellal*), sitronelol (*citronellol*), geraniol dan ester dari geraniol dan sitronelol (*citronelol*). Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa monoterpen yang biasa dimanfaatkan sebagai senyawa dasar dalam industri manufaktur, produk-produk parfum dan farmasi. Keberadaan sitronelal di alam tidak tersebar secara luas. Sitronelal dengan dekstrorotari ditemui pada *Ceylonese citronella oil* (dari *C. Nardus*) sedangkan pada minyak sereh jawa dan *Pinus Jeffereyi* ditemukan sitronelal dengan levorotari. Stuktur kimia dari kandungan minyak sereh wangi (*citronellal oil*) sebagai monoterpen, menjadi pertimbangan yang menguntungkan sebagai aditif pada solar yang tersusun atas karbon lurus.

Minyak kayu putih diisolasi dari daun dan ranting pohon kayu putih (*Melaleuca leucadendra*). Minyak kayu putih adalah minyak yang berwarna kekuningan atau kehijauan jernih, khas, berbau harum, dan berasa sedikit pahit. Secara kimiawi kandungan di dalam ekstrak *Melaleuca leucadendra* adalah 50–65 % sineol (C₁₀H₁₈O) dan juga bentuk alkohol dari terpineol (C₁₀H₁₇OH), beberapa jenis terpen seperti 1-pinena, valerat dan benzoat aldehyd.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, dengan tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Tahap karakterisasi solar dan bioaditif

Minyak cengkeh, minyak terpentin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh dan minyak kayu putih serta solar murni dikarakterisasi dengan menggunakan Spektrofotometer FTIR dan GCMS untuk memperoleh gambaran struktur dan komposisinya.

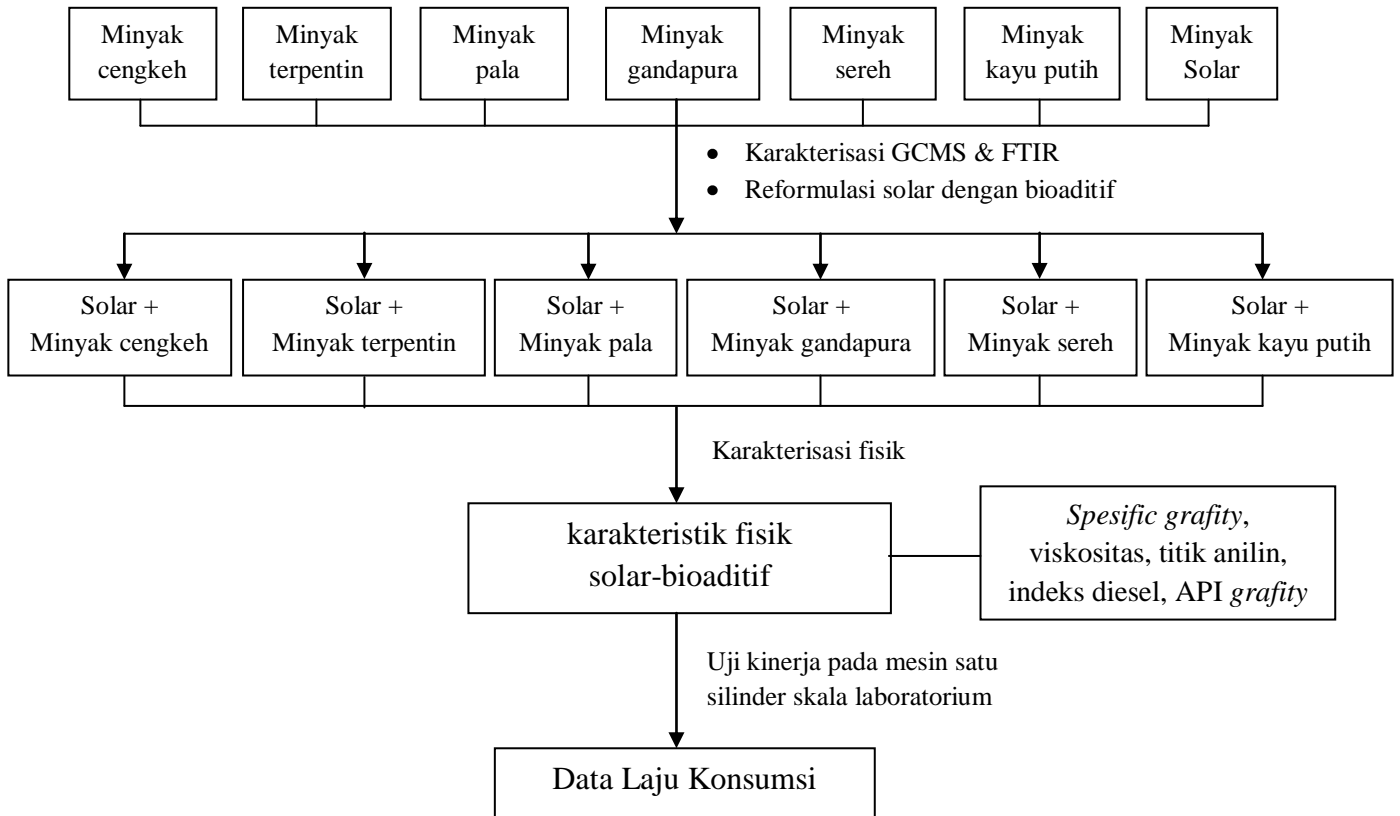
2. Tahap karakterisasi fisik solar-bioaditif

Karakterisasi fisik solar-bioaditif diperoleh dari data pengukuran parameter *Spesific Gravity*, Viskositas, titik anilin, *flash point*, *API Gravity* dan indeks diesel. Data yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi minyak solar berdasarkan peraturan DIRJEN MIGAS.

3. Tahap uji kinerja solar-bioaditif pada mesin satu silinder

Setelah diketahui komposisi optimum solar-bioaditif, dilakukan uji kinerja bioaditif pada mesin satu silinder skala laboratorium, dengan parameter pengukuran laju konsumsi. Mesin yang digunakan adalah mesin satu silinder KUBOTA.

Adapun bagan alir dari penelitian ini ditunjukkan pada gambar berikut.



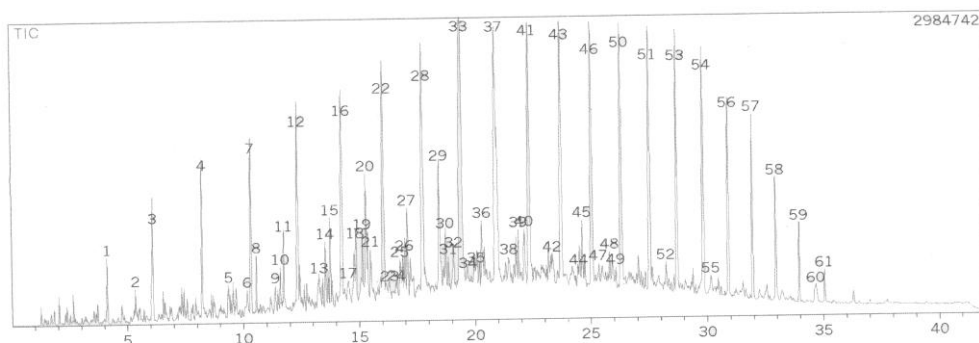
Gambar 1. Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakterisasi Solar dan Bioaditif

1.1. Hasil Karakterisasi Minyak Solar

Hasil analisis minyak solar dengan menggunakan GCMS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra GC Solar

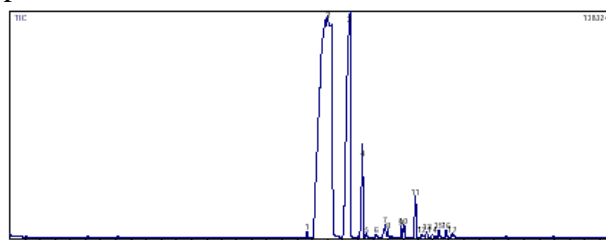
Hasil analisis minyak solar menggunakan GC-MS, menunjukkan bahwa minyak solar yang digunakan dalam penelitian ini mengandung 61 komponen. Semua komponen merupakan senyawa alkana atau rantai karbon jenuh dengan atom C berkisar antara 14 sampai 19. Beberapa senyawa yang diprediksikan terdapat dalam minyak solar dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Senyawa-senyawa yang terdapat dalam minyak solar.

No	Rumus Molekul	Nama Senyawa	Waktu Retensi (menit)	Kelimpahan (%)
1.	C ₁₄ H ₃₀	Tetradekana	14,278	3,60
2.	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana	16,071	4,18
3.	C ₁₆ H ₃₄	Heksadekana	17,770	4,67
4.	C ₁₇ H ₃₆	Heptadekana	19,428	9,28
5.	C ₁₈ H ₃₈	Oktadekana	20,925	6,95
6.	C ₁₉ H ₄₀	Nonadekana	22,363	5,03

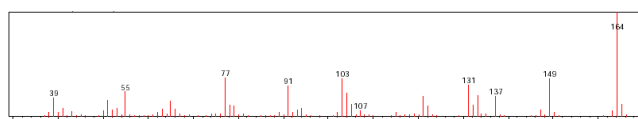
1.2. Hasil Karakterisasi Minyak Cengkeh

Minyak cengkeh dikarakterisasi menggunakan GC-MS untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung didalamnya, dan analisis IR untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terdapat senyawa komponen minyak cengkeh. Hasil analisis GC minyak cengkeh ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.

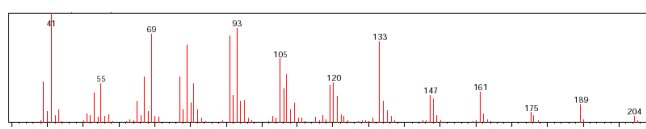


Gambar 3. Spektra GC Minyak Cengkeh

Kromatogram pada Gambar 3 menunjukkan ada dua puncak dengan konsentrasi yang cukup besar, yaitu puncak kedua dan ketiga, masing-masing sebesar 70,54% dan 21,54%. Puncak kedua muncul pada waktu retensi 10,515 menit, sedangkan puncak ketiga muncul pada waktu retensi 11,223 menit. Puncak kedua dan ketiga selanjutnya dianalisis dengan MS, yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.

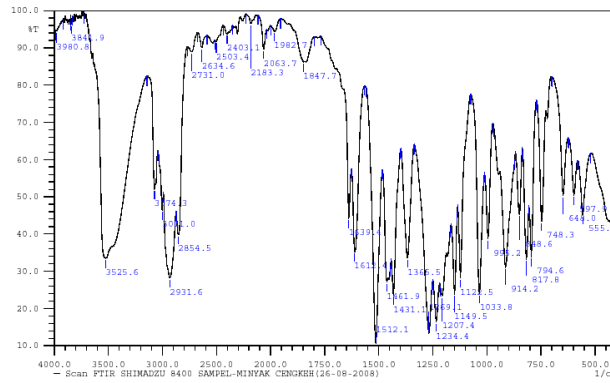


Gambar 4. Spektra Massa dari puncak kedua



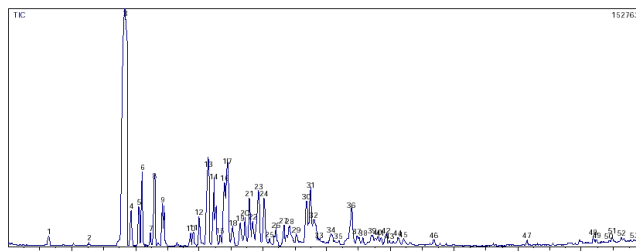
Gambar 5. Spektra Massa dari puncak ketiga

Spektra massa dari setiap puncak 2 dan 3 selanjutnya dibandingkan dengan pustaka MS, sehingga dapat diketahui bahwa puncak kedua adalah eugenol dan puncak ketiga adalah kariofilen. Hasil analisis GCMS terhadap minyak cengkeh juga didukung dengan spektra IR (Gambar 6).



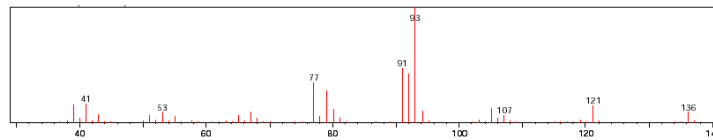
Gambar 6. Spektra IR minyak cengkeh

1.3. Hasil Karakterisasi Minyak Terpentin



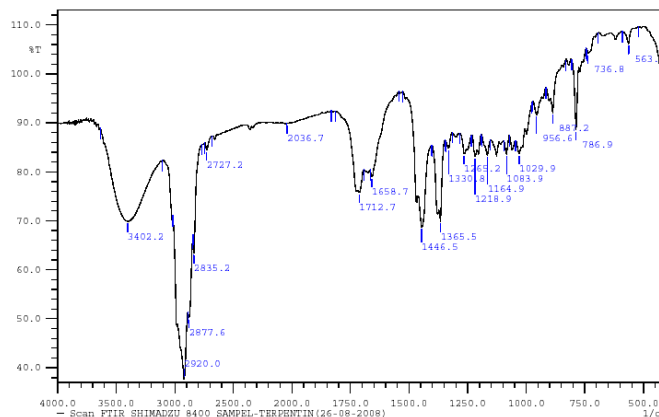
Gambar 7. Spektra GC minyak terpentin

Berdasarkan analisis MS terhadap puncak-puncak yang muncul pada spektra GC (Gambar 7), maka dapat diketahui bahwa puncak ketiga dengan konsentrasi 34,82% dan muncul pada waktu retensi 3,684 menit adalah alfapinen. Alfapinen ini merupakan komponen terbesar yang terkandung dalam minyak terpentin. Spektra MS puncak ketiga ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Spektra MS puncak ketiga

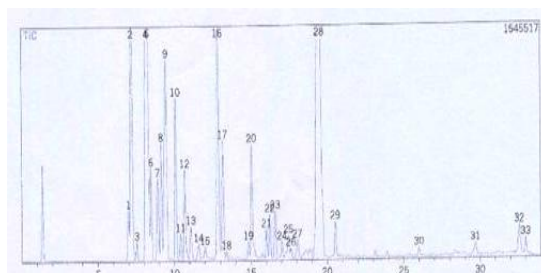
Selain dianalisis menggunakan GCMS, minyak terpentin juga dianalisis dengan IR (Gambar 9).



Gambar 9. Spektra IR minyak terpentin

1.4. Hasil Karakterisasi Minyak Pala

Minyak pala yang diperoleh dari penyulingan pala Sumber Rejeki Kampung Krajan Wanayasa Purwakarta juga dianalisis dengan instrumentasi GC-MS untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung didalamnya.

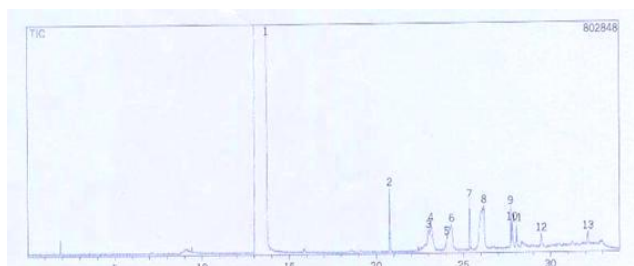


Gambar 10. Spektra GC minyak pala

Berdasarkan spektra GC diatas, minyak pala yang digunakan sebagai bioaditif mengandung 33 komponen. Puncak tertinggi yaitu puncak nomor 2, 4, 5, 16, dan 28 diidentifikasi sebagai senyawa alfapipen, Sabinene, beta-pinene, 4-terpineol, dan Myristisin. Kandungan terbesar senyawa yang terdapat dalam minyak pala ini adalah Myristisin dengan persentase sebesar 26,30 %.

1.5. Hasil Karakterisasi Minyak Gandapura

Hasil analisis GC minyak gandapura disajikan pada Gambar 11 berikut.

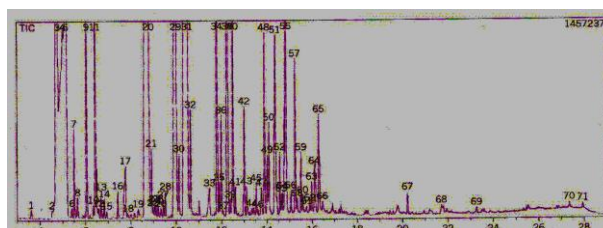


Gambar 11. Spektra GC minyak gandapura

Dari gambar kromatogram diatas terlihat pada waktu retensi 13,731 mulai muncul puncak dengan intensitas yang sangat tinggi (94,21%), dan hasil analisis MS menunjukkan puncak tersebut adalah puncak untuk senyawa metil salisilat dengan indeks kemiripan 97%.

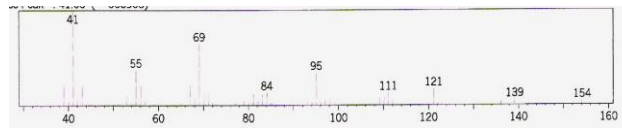
1.6. Hasil Karakterisasi Minyak Sereh

Identifikasi kandungan minyak sereh Brataco yang digunakan dengan menggunakan instrumentasi GC menghasilkan pola kromatogram seperti pada Gambar 12 di bawah ini:



Gambar 12. Spektra GC minyak sereh

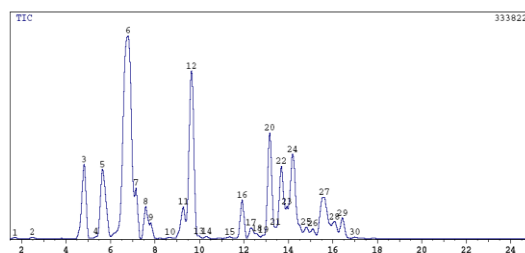
Berdasarkan analisis MS terhadap puncak-puncak yang teridentifikasi oleh GC (Gambar 12), maka dapat diketahui kandungan utama minyak serih berturut-turut yaitu sitronellal (16,55%), sitronellol (8,87%) dan geraniol (15,46%). Spektra massa sitronellal disajikan pada Gambar 13 di bawah ini:



Gambar 13. Spektra Massa Sitronelal

1.7. Hasil Karakterisasi Minyak Kayu Putih

Hasil analisis GC minyak kayu putih ditunjukkan pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Spektra GC minyak kayu putih

Spektra GC diatas menunjukkan minyak kayu putih mengandung 30 komponen senyawa. Puncak tertinggi muncul pada waktu retensi 6,792 menit, dan setelah dianalisis MS puncak tersebut adalah senyawa sineol dengan persentase sebesar 28,84. Sedangkan senyawa-senyawa penyusun lainnya diantaranya adalah α -terpineol, L-linalool, sikloheksanol, sitronelol, nerol, linalil asetat, α -terpinil asetat, viridiflorol, eudesmol, farnesol, butanal, dan asam butanoat.

2. Karakterisasi Fisik Solar-Bioaditif

Solar yang telah direformulasi dengan bioaditif dikarakterisasi pada berbagai komposisi dengan parameter pengukuran kerapatan, *API gravity*, viskositas, titik anilin, titik nyala (*flashpoint*), dan indeks diesel. Hasil karakterisasi fisik ini selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi minyak solar berdasarkan DIRJEN MIGAS.

2.1. Hasil Karakterisasi Fisik Solar-Minyak Cengkeh

Hasil karakterisasi fisik solar-minyak cengkeh pada berbagai komposisi ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil karakterisasi fisik solar-minyak cengkeh

Parameter Pengukuran	Komposisi Solar-Bioaditif											Spesifikasi Solar DIRJEN MIGAS	
	0%	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,7%	0,8%	0,9%	1,0%	Min	Max
Specific gravity (25°C)	0,845	0,847	0,848	0,848	0,848	0,848	0,847	0,847	0,847	0,847	0,847	-	-
Specific gravity (15,55°C)	0,852	0,854	0,855	0,855	0,855	0,854	0,854	0,853	0,853	0,853	0,853	0,82	0,87
API Gravity	34,54	34,19	34,98	34,02	34,09	34,11	34,27	34,33	34,35	34,39	34,41	-	-
Viskositas (cSt)	3,722	3,919	3,895	3,821	3,796	3,697	3,672	3,672	3,672	3,424	3,573	1,6	5,8
Titik Anilin (°F)	156,2	154,4	153,5	152,6	151,7	150,8	149,9	149,0	148,1	147,2	146,3	129,6	-
Indeks Diesel	53,95	52,79	53,69	51,91	51,72	51,44	51,37	51,15	50,87	50,62	50,33	-	-

2.2. Hasil Karakterisasi Fisik Solar-Minyak Terpentin

Hasil karakterisasi fisik solar-minyak terpenin pada berbagai komposisi ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil karakterisasi fisik solar-minyak terpenin

Parameter Pengukuran	Komposisi Solar-Bioaditif				Spesifikasi Solar DIRJEN MIGAS	
	0%	5%	10%	15%	Min	Max
Specific gravity (25°C)	0,9170	0,9178	0,9168	0,9184	-	-
Viskositas (cSt)	5,3906	4,9246	4,4813	4,1213	1,6	5,8
Titik Anilin (°F)	159,2	159,5	155	150,2	129,6	-
Indeks Diesel	52,6641	52,6105	51,1559	51,3341	-	-

2.3. Hasil Karakterisasi Fisik Solar-Minyak Pala

Hasil karakterisasi fisik solar-minyak pala pada berbagai komposisi ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil karakterisasi fisik solar-minyak pala

Parameter Pengukuran	Komposisi Solar-Bioaditif			Spesifikasi Solar DIRJEN MIGAS	
	0%	0,2%	0,4%	Min	Max
Specific gravity (25°C)	0,8357	0,8364	0,8370	-	-
Specific gravity (15,55°C)	0,8383	0,8392	0,8390	0,82	0,87
Viskositas (cSt)	5,360	5,158	5,212	1,6	5,8
API Gravity	37,295	37,10	37,153	-	-
Titik Anilin (°F)	159,8	147,2	143,6	129,6	-
Indeks Diesel	59,6	54,65	53,35	-	-

2.4. Hasil Karakterisasi Fisik Solar-Minyak Gandapura

Hasil karakterisasi fisik solar-minyak gandapura pada berbagai komposisi ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil karakterisasi fisik solar-minyak gandapura

Parameter Pengukuran	Komposisi Solar-Bioaditif			Spesifikasi Solar DIRJEN MIGAS	
	0%	0,2%	0,4%	Min	Max
Specific gravity (25°C)	0,8357	0,8377	0,8378	-	-
Specific gravity (15,55°C)	0,8383	0,8399	0,8398	0,82	0,87
Viskositas (cSt)	5,36	5,183	5,347	1,6	5,8
API Gravity	37,295	36,971	36,993	-	-
Titik Anilin (°F)	159,7	147,1	145,35	129,6	-
Indeks Diesel	59,6	54,4	53,8	-	-

2.5. Hasil Karakterisasi Fisik Solar-Minyak Sereh

Hasil karakterisasi fisik solar-minyak sereh pada berbagai komposisi ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil karakterisasi fisik solar-minyak sereh

Parameter Pengukuran	Komposisi Solar-Bioaditif								Spesifikasi Solar DIRJEN MIGAS	
	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%	15%	Min	Max
Specific gravity (25°C)	0.8419	0.8427	0.8429	0.8431	0.8436	0.8444	0.8444	0.8464	-	-
Specific gravity (15,55°C)	0.8519	0.8525	0.8520	0.8523	0.8523	0.8544	0.8546	0.8554	0,82	0,87
API Gravity	34.434	34.326	34.409	34.361	34.348	33.957	33.901	33.756	-	-
Viskositas	5.2094	5.1889	5.0152	4.9348	4.8936	4.9048	4.6943	4.6283	1,6	5,8
Titik Anilin (°F)	192.6	185.4	184.5	183.96	182.7	181.8	177.3	169.2	129,6	-
Indeks Diesel	66.320	63.639	63.485	63.209	62.754	61.734	60.106	57.115	-	-

2.6. Hasil Karakterisasi Fisik Solar-Minyak Kayu Putih

Hasil karakterisasi fisik solar-minyak kayu putih pada berbagai komposisi ditunjukkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil karakterisasi fisik solar-minyak kayu putih

Parameter Pengukuran	Komposisi Solar-Bioaditif								Spesifikasi Solar DIRJEN MIGAS	
	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%	15%	Min	Max
Specific gravity (25°C)	0,8450	0,8455	0,8456	0,8460	0,8465	0,8476	0,8503	0,8534	-	-
Specific gravity (15,55°C)	0.8502	0.8515	0.8517	0.8523	0.8527	0.8538	0.8562	0.8595	0,82	0,87
API Gravity	34.931	34.677	34.638	34.521	34.444	34.230	33.765	33.131	-	-
Viskositas	5.3976	5.4278	5.3079	5.2547	5.1706	5.2032	5.0682	4.8484	1,6	5,8
Titik Anilin (°F)	189.9	189.0	187.2	186.3	184.5	180.9	178.2	167.4	129,6	-
Indeks Diesel	66,335	65,540	64,843	64,313	63,548	61,922	60,170	55,461	-	-

2.7. Analisis Data

Harga *specific gravity* berpengaruh pada massa bahan bakar yang diinjeksikan pada ruang bakar. Bahan bakar dengan harga *specific gravity* tinggi mengindikasikan komponen bahan bakar yang dibutuhkan melalui injektor lebih banyak. Namun hasil samping dari proses pembakaran menjadi lebih banyak. Sebaliknya, penambahan bioaditif yang cenderung menurunkan harga *specific gravity* mengindikasikan komponen bahan bakar yang dibutuhkan melalui injektor lebih sedikit dan hasil samping proses pembakaran pun lebih sedikit. Harga *specific gravity* memiliki hubungan berbanding terbalik dengan nilai kalornya. Semakin rendah *specific gravity* maka nilai kalor akan semakin tinggi.

Adanya penambahan bioaditif minyak cengkeh menyebabkan turunnya *specific gravity*, yang berarti nilai kalor minyak solar pun mengalami peningkatan. Berbeda dengan minyak cengkeh, penambahan bioaditif minyak terpenin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh, dan minyak kayu putih secara umum menyebabkan *specific gravity* minyak solar mengalami peningkatan. Bahan bakar dengan *specific gravity* yang lebih tinggi akan memberikan nilai kalor yang lebih rendah.

Harga API *Gravity* memiliki hubungan berbanding lurus dengan nilai kalor yang dihasilkan. Semakin tinggi API *gravity* (atau semakin rendah *specific gravity*), maka nilai kalor akan semakin tinggi. Sebaliknya, semakin rendah API *gravity*, maka nilai kalor akan semakin rendah (Schulz, 1977). Penambahan bioaditif yang menyebabkan terjadinya peningkatan harga API *gravity* adalah bioaditif minyak cengkeh, sehingga nilai kalor minyak solar yang direformulasi dengan minyak cengkeh akan semakin tinggi dan tenaga yang dihasilkan pun semakin besar.

Viskositas minyak solar yang direformulasi bioaditif secara umum mengalami penurunan relatif terhadap solar yang tidak direformulasi. Penambahan bioaditif yang mengakibatkan penurunan harga viskositas memungkinkan kualitas pengabutan lebih maksimal sehingga pembakaran yang terjadi lebih cepat dan sempurna, walaupun keefektifannya sebagai pelumas berkurang. Dengan harga viskositas yang lebih rendah, kemungkinan pembentukan deposit karbon pada mesin dapat dikurangi dan keawetan peralatan injeksi pun tetap terjaga. Selain itu pendistribusian bahan bakar akan lebih mudah karena daya pompa yang dibutuhkan untuk membawa bahan bakar dari tangki ke ruang bakar lebih kecil.

Titik anilin merupakan suhu terendah bercampurnya antara anilin dengan bahan bakar pada volume yang sama. Reformulasi minyak solar dengan semua bioaditif menyebabkan penurunan titik anilin relatif terhadap minyak solar murni. Hal ini disebabkan oleh senyawa aromatis yang terkandung dalam bioaditif. Kadar aromatis dalam minyak solar yang tinggi menyebabkan minyak solar akan mudah larut dalam anilin dalam suhu yang relatif rendah. Kerugian dari rendahnya titik anilin adalah dapat menurunkan kualitas *self ignition* yang mengindikasikan penundaan penyalaan semakin bertambah dan cenderung menurunkan bilangan setana bahan bakar. Selain itu kandungan aromatis yang lebih tinggi cenderung menyebabkan terbantuknya endapan pada injektor bahan bakar dan komponen lainnya.

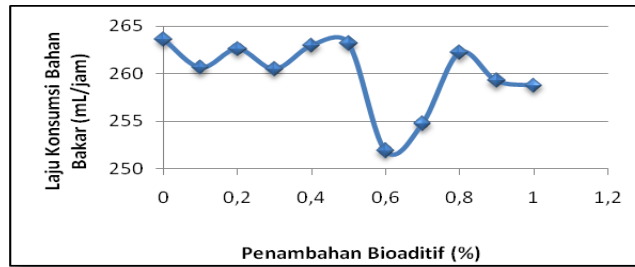
Indeks diesel memuat informasi yang berhubungan dengan komponen bahan bakar (titik anilin) dan *specific gravity*, dan API *gravity*, yang juga menggambarkan kualitas penyalaan bahan bakar setelah dilakukan penambahan bioaditif. Penambahan bioaditif minyak cengkeh, minyak terpentin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh dan minyak kayu putih pada minyak solar menyebabkan penurunan indeks diesel relatif terhadap minyak solar tanpa reformulasi. Fenomena ini dapat menyebabkan semakin lamanya perlambatan penyalaan bahan bakar. Namun, secara umum kualitas minyak solar meningkat karena nilai viskositasnya menurun, walaupun harga indeks diesel mengalami sedikit penurunan karena adanya penambahan senyawa- senyawa aromatis.

3. Penentuan Laju Konsumsi Solar-Bioaditif

Pengukuran harga laju konsumsi merupakan salah satu cara untuk menguji kualitas bioaditif pada bahan bakar solar. Dalam penelitian ini, laju konsumsi ditentukan melalui pengukuran langsung konsumsi bahan bakar solar pada mesin diesel. Mesin diesel yang digunakan bermerk "KUBOTA". Pada pelaksanaannya bahan bakar solar yang dicampur bioaditif dibandingkan laju konsumsinya dengan bahan bakar solar tanpa aditif sebagai acuan. Konsumsi minyak solar ditentukan dengan mengaplikasikan minyak solar ke dalam mesin selama 20 menit. Setiap interval waktu empat menit, konsumsi bahan bakar dicatat.

3.1. Laju Konsumsi Solar-Minyak Cengkeh

Penentuan laju konsumsi minyak solar yang direformulasi dengan minyak cengkeh dilakukan pada variasi komposisi 0%, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 0,8%, 0,9% dan 1,0%. Grafik laju konsumsi solar yang direformulasi bioaditif minyak cengkeh ditunjukkan pada Gambar 15.

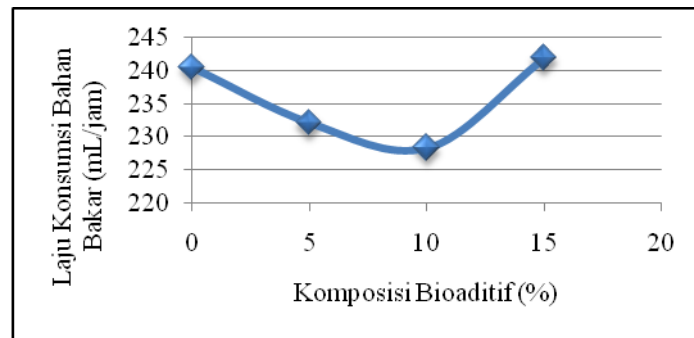


Gambar 15. Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh terhadap laju konsumsi bahan bakar

Berdasarkan grafik pada Gambar 15, komposisi optimum solar yang direformulasi minyak cengkeh berada pada penambahan 0,6% dengan laju konsumsi 251,91 mL/jam.

3.2. Laju Konsumsi Solar-Minyak Terpentin

Penentuan laju konsumsi minyak solar yang direformulasi dengan minyak terpentin dilakukan pada variasi komposisi 0%, 5%, 10% dan 15%. Grafik laju konsumsi solar yang direformulasi bioaditif minyak terpentin ditunjukkan pada Gambar 16.

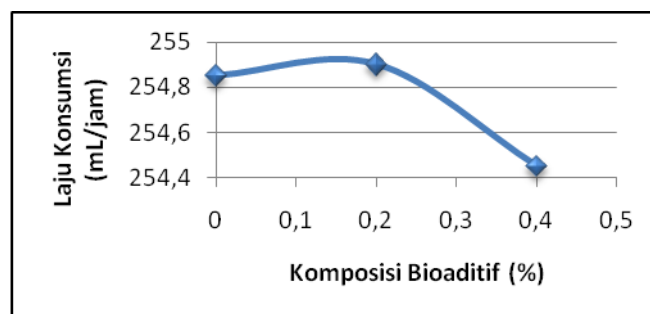


Gambar 16. Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak terpentin terhadap laju konsumsi bahan bakar

Berdasarkan grafik pada Gambar 16, komposisi optimum solar yang direformulasi minyak terpentin berada pada penambahan 10% dengan laju konsumsi 228,28 mL/jam.

3.3. Laju Konsumsi Solar-Minyak Pala

Penentuan laju konsumsi minyak solar yang direformulasi dengan minyak pala dilakukan pada variasi komposisi 0%, 0,2% dan 0,4%. Grafik laju konsumsi solar yang direformulasi bioaditif minyak pala ditunjukkan pada Gambar 17.

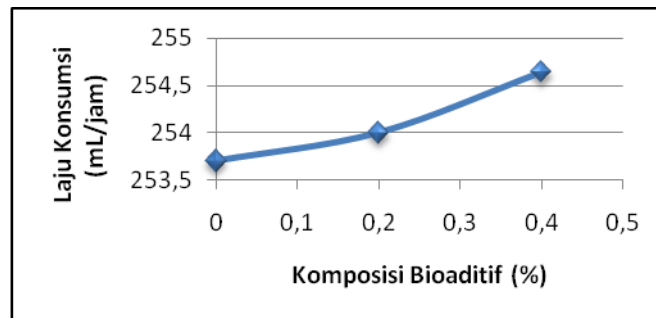


Gambar 17. Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak pala terhadap laju konsumsi bahan bakar

Berdasarkan grafik pada Gambar 17, komposisi optimum solar yang direformulasi minyak pala berada pada penambahan 0,4% dengan laju konsumsi 254,45 mL/jam.

3.4. Laju Konsumsi Solar-Minyak Gandapura

Penentuan laju konsumsi minyak solar yang direformulasi dengan minyak gandapura dilakukan pada variasi komposisi 0%, 0,2% dan 0,4%. Grafik laju konsumsi solar yang direformulasi bioaditif minyak gandapura ditunjukkan pada Gambar 18.

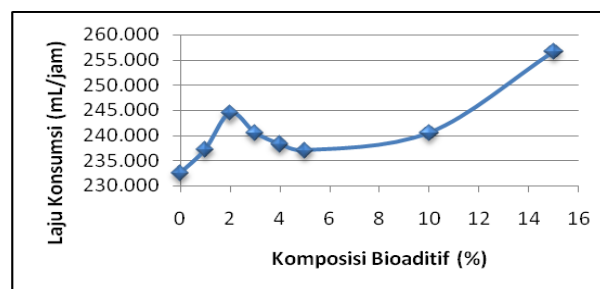


Gambar 18. Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak gandapura terhadap laju konsumsi bahan bakar

Berdasarkan grafik pada Gambar 18, laju konsumsi minyak solar yang tidak direformulasi lebih rendah daripada minyak solar yang direformulasi bioaditif minyak gandapura. Hal ini menunjukkan bahwa minyak gandapura tidak memiliki potensi untuk digunakan sebagai bioaditif bahan bakar solar.

3.5. Laju Konsumsi Solar-Minyak Sereh

Penentuan laju konsumsi minyak solar yang direformulasi dengan minyak sereh dilakukan pada variasi komposisi 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1,0%, 1,25%, 1,5%, 1,75%, dan 2,0%. Grafik laju konsumsi solar yang direformulasi bioaditif minyak sereh ditunjukkan pada Gambar 19.



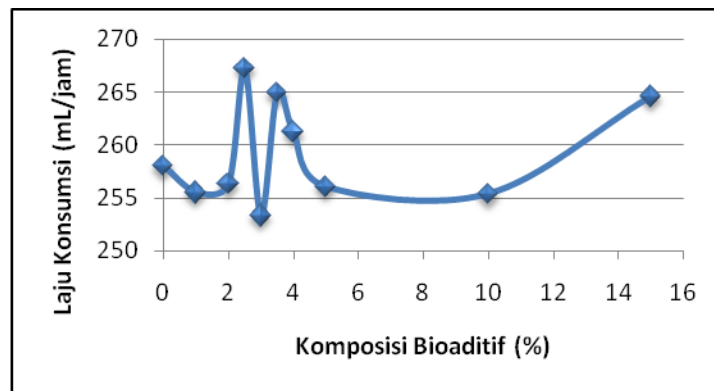
Gambar 19. Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak sereh terhadap laju konsumsi bahan bakar

Sama halnya dengan minyak gandapura, penambahan bioaditif minyak sereh juga tidak dapat menurunkan laju konsumsi bahan bakar relatif terhadap minyak solar yang tidak direformulasi.

3.6. Laju Konsumsi Solar-Minyak Kayu Putih

Penentuan laju konsumsi minyak solar yang direformulasi dengan minyak kayu putih dilakukan pada variasi komposisi 0%, 1%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4%, 5%, 10%, dan

15%. Grafik laju konsumsi solar yang direformulasi bioaditif minyak kayu putih ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak kayu putih terhadap laju konsumsi bahan bakar

Berdasarkan grafik pada Gambar 20, komposisi optimum solar yang direformulasi minyak kayu putih berada pada penambahan 3% dengan laju konsumsi 253,314 mL/jam.

3.7. Analisis Data

Keenam bioaditif yang ditambahkan kedalam minyak solar memiliki tingkat laju konsumsi bahan bakar optimumnya masing-masing, seperti ditunjukkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Laju konsumsi bahan bakar optimum solar-bioaditif

bioaditif	Komposisi optimum (%)	Laju konsumsi bahan bakar (mL/jam)
Minyak cengkeh	0,6	251,91
Minyak terpentin	10	228,28
Minyak pala	0,4	254,45
Minyak gandapura	-	Laju konsumsi solar-minyak gandapura dan minyak sereh lebih tinggi dibanding solar murni
Minyak sereh	-	
Minyak kayu putih	3	253,314

Walaupun minyak terpentin dapat menurunkan laju konsumsi bahan bakar paling rendah sampai 228,28 mL/jam, namun reformulasi minyak solar dengan bioaditif ini memerlukan penambahan minyak terpentin sebesar 10%, jauh lebih tinggi dari penambahan minyak cengkeh (0,6%). Selain laju konsumsi, faktor ekonomi dalam penggunaan bioaditif ini juga harus diperhatikan, karena penggunaan bioaditif dalam jumlah yang tinggi akan menyebabkan biaya produksi pun meningkat.

Jika ditinjau dari segi efisiensi, komposisi solar-minyak cengkeh memiliki kemampuan paling tinggi dalam menurunkan tingkat laju konsumsi bahan bakar dibanding bioaditif yang lain, karena pada penambahan jumlah bioaditif yang rendah (0,6%) mampu menurunkan laju konsumsi bahan bakar hingga 251,91 mL/jam. Sedangkan hasil penelitian terhadap kinerja minyak gandapura dan minyak sereh menunjukkan bahwa bioaditif ini tidak dapat menurunkan laju konsumsi bahan bakar.

Kinerja yang tinggi pada penambahan bioaditif minyak cengkeh kemungkinan disebabkan minyak cengkeh memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam minyak solar. Tingginya tingkat kelarutan ini dapat mengurangi kekakuan struktur bahan bakar dengan

cara menurunkan kekuatan ikatan Van Der Waals antar molekul penyusun bahan bakar solar sehingga dapat meningkatkan reaktivitas pembakaran bahan bakar. Selain itu, dua atom oksigen pada eugenol (Kadarohman, 2003), yaitu komponen utama minyak cengkeh, dapat berperan sebagai “penyedia oksigen” secara internal. Hal ini sesuai dengan Song (2001) yang mengemukakan bahwa penambahan zat aditif ‘penyedia oksigen’ pada bahan bakar solar berperan untuk meningkatkan bilangan setana (*cetane number*), sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna, serta temuan Choi (1999) yang mengemukakan bahwa atom oksigen di dalam bahan bakar akan berperan untuk mengoksidasi jelaga dan gas karbon monoksida (CO) sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

KESIMPULAN

1. Minyak cengkeh memiliki potensi untuk dijadikan bioaditif minyak solar karena memiliki kinerja paling tinggi dalam menurunkan laju konsumsi bahan bakar dibanding minyak terpentin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh maupun minyak kayu putih.
2. Komposisi optimum penambahan bioaditif minyak cengkeh adalah sebesar 0,6%. Komposisi solar-minyak cengkeh 0,6% mampu menurunkan laju konsumsi bahan bakar hingga 251,91 mL/jam relatif terhadap laju konsumsi minyak solar yang tidak direformulasi (263,58 mL/jam)

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, A. (2000). *Minyak Atsiri Tumbuhan Tropika Indonesia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Callahan, T. J., Ryan, T. W., and Schwalb, J. A. (1987). "Effects of Fuel Properties on Diesel Spray Characteristics". Society of Automotive Engineers Paper No. 870533, SAE Warrendale, PA (1987).
- Choi, C.H., Reitz, R.Y. (1999). "An Experimental Study on The Effects of Oxygenated Fuel Blends and Multiple Injection Strategies on Diesel Engine Emission". *Journal of Fuel*. (78), 1303-1317.
- Kadarohman, A. (2003). *Isomerisasi, Hidrogenasi Eugenol, Dan Sintesis Turunan Kariofilena*. Disertasi Doktor pada FMIPA UGM Yogyakarta: Tidak diterbitkan.
- Sastrohamidjojo, H. (2004). *Kimia Minyak Atsiri*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Song, J. (2001). *Effect of Oxygenated Fuel on Combustion and Emissions in a Light-Duty Turbo Diesel Engine*. The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802.
- Sudrajad A. (2005). Pencemaran Udara Suatu Pendahuluan. *Inovaso Online* Vol. 5/XVII.