

## PEMBENTUKAN API *CELLULAR* PADA PEMBAKARAN *PREMIXED* MINYAK KELAPA

I Ketut Gede Wirawan<sup>1,\*</sup>, Ainul Ghurri<sup>2</sup>, I Gede Putu Agus Suryawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

\* email : [ikgwirawan@unud.ac.id](mailto:ikgwirawan@unud.ac.id)

### Abstrak

Pembakaran *premixed* minyak nabati diteliti secara eksperimen pada *perforated burner*. Minyak nabati yang digunakan adalah minyak kelapa murni dan hidrolisis. Api yang terbentuk di ujung *burner* diberi penutup berbahan *acilic* agar tembus pandang dan tidak kontak udara ambien. Penelitian ini dilakukan pada berbagai rasio kesetaraan atau *equivalence ratio*,  $\phi$ . Ketidakstabilan api dalam campuran minyak kelapa-udara ditandai dengan munculnya struktur sel pada  $\phi=0.72$ . Kenaikan rasio kesetaraan menyebabkan munculnya api *perforated* menuju campuran kaya ( $\phi=1.13$ ), dimana nantinya akan membentuk api Bunsen. Ketika gliserol dihilangkan dari kandungan minyak kelapa, struktur sel akan terbentuk dan cenderung menuju munculnya kepunahan api pada  $\phi=0.72$ . Dapat dilihat pula bahwa peningkatan  $\phi$  dari campuran miskin menuju kaya atau di sekitar daerah stokiometri hanya akan memunculkan api *perforated*.

**.Kata kunci:** api Bunsen ujung terbuka, api *perforated*, api selular. *perforated burner*.

### Pendahuluan

Pengembangan energi nasional dilakukan dengan memaksimalkan penggunaan energi terbarukan, meminimalkan penggunaan minyak bumi, mengoptimalkan pemanfaatan gas bumi dan energi baru, menggunakan batubara sebagai andalan pasokan energi nasional, dan memanfaatkan nuklir sebagai pilihan terakhir [1]. Pada saat ini, kondisi energi nasional 90% berasal dari bahan bakar fosil yang keberadaannya semakin menipis. Disamping itu, energi fosil mempunyai dampak yang kurang baik bagi iklim dunia.

Minyak kelapa yang merupakan bahan bakar nabati (BBN) dikategorikan sebagai salah satu contoh energi terbarukan. Bahan bakar ini umumnya menggunakan proses pembakaran *non premixed* untuk menghasilkan energi. Inilah yang menyebabkan BBN layak untuk dikembangkan di Indonesia. Apalagi mengingat BBN berasal dari sumber daya hayati yang banyak tumbuh di seluruh Indonesia. Hal ini didukung pula dengan besarnya potensi lahan untuk produksi tanaman nabati yaitu 82,71% dari total luas lahan Indonesia, dimana lahan tersebut merupakan lahan pertanian [2]. Selain itu, BBN mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai substitusi minyak solar B20 yang uji

jalannya sudah dilakukan ke pulau Sumatera. Kegiatan ini merupakan wujud dukungan dalam menyukseskan mandatori pemanfaatan biodiesel sebesar 20% pada 2016 sebagaimana tertuang dalam Kebijakan Energi Nasional [3].

Kebutuhan minyak kelapa tentunya juga didukung oleh ketersediaan kelapa di Indonesia yang sangat berlimpah. Pohon kelapa banyak tumbuh di dataran rendah dekat pantai, dengan panjang pantai sekitar 81000 km. Dari sini dapat diketahui bahwa pohon kelapa jumlahnya cukup banyak. Biji kelapa dapat diolah dengan menggunakan teknologi modern maupun dengan cara tradisional untuk mendapatkan minyaknya sebelum dijadikan bahan bakar. Minyak kelapa mempunyai rantai karbon paling pendek jika dibandingkan minyak nabati lainnya [4]. Struktur kimia minyak kelapa mirip dengan *petrodiesel* sehingga sangat cocok untuk mesin Diesel. Apabila digunakan secara langsung, minyak kelapa ini mempunyai kelemahan seperti: viskositas tinggi, volatilitas rendah, reaktivitas rantai hidrokarbon tak jenuh, perlu adanya pemanasan awal, aliran, atomisasi dan emisi partikel [5]. Minyak kelapa terdiri dari komponen asam lemak dan gliserol yang mempunyai *properties* berbeda-beda [6]. Multi komponen asam lemak dan gliserol perlu diteliti jika hendak digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

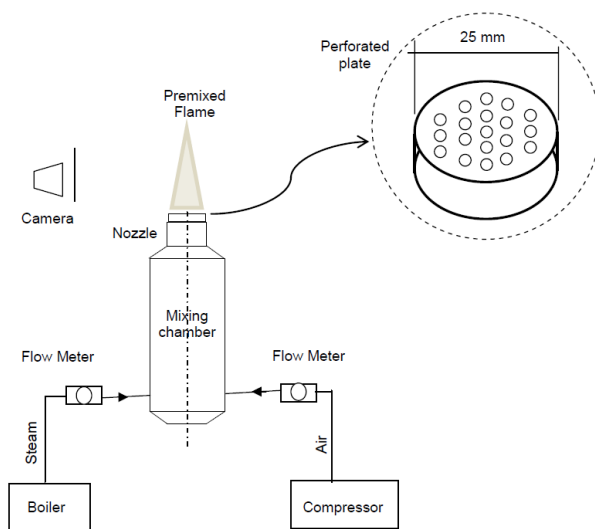
Minyak kelapa perlu diubah fasenya menjadi uap dengan cara pemanasan. Tujuannya adalah agar minyak kelapa dapat dibakar secara *premixed*. Uap dan udara dicampur dalam *burner chamber*, kemudian diberi energi aktivasi pada ujung *burner*. Laju aliran massa udara diatur untuk mendapatkan variasi rasio kesetaraan ( $\phi$ ). Pada  $\phi$  tertentu dihasilkan api selular, dimana api inilah yang kemudian akan dianalisis.

### Metodologi

*Perforated plate* (pelat yang dilubangi) dipasang untuk memanfaatkan tahanan kontak termal. Ini bertujuan untuk menjaga distribusi temperatur agar lebih seragam dalam seluruh permukaan pelat dan menjamin keseragaman aliran bahan bakar dengan udara selama proses pembakaran berlangsung. *Perforated plate* terbuat dari baja dan dirancang seperti bentuk matriks geometris dengan lubang sebanyak 19 buah. Diameter setiap lubang adalah 2,5 mm dan jarak antar lubang adalah 3,75 mm.

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan peralatan seperti yang ditunjukkan skematis pada gambar 1. Minyak diuapkan dalam *boiler* pada suhu *boiling point*, dimana suhunya dijaga konstan. Uap minyak dari *boiler* bergabung dengan udara dari kompresor di ruang pencampuran. Sebelum dinyalakan, campuran reaktan mengalir ke nosel untuk membentuk api pada *perforated plate* yang telah dipasang di bagian atas nosel.

*Flowmeter* udara mempunyai dua saluran yaitu: saluran *inlet* dan *outlet* yang ditempatkan diantara kompresor dan *burner*. Saluran *inlet flowmeter* udara dihubungkan dengan katup *outlet* kompresor sedangkan saluran *outlet* nya dihubungkan dengan saluran *inlet* udara pada *burner*. Sementara itu *flowmeter* bahan bakar ditempatkan diantara ketel dan *burner*, dimana saluran *inlet flowmeter* bahan bakar dihubungkan dengan katup *outlet* ketel dan saluran *outlet flowmeter* nya dihubungkan dengan saluran *inlet* bahan bakar pada *burner*.



Gambar 1 Set Up Penelitian

Untuk melindungi api dari pengaruh udara ambien maka dibuatkan penutup api berbahan *acilic* tembus pandang. Penutup api ditempatkan pada ujung burner dan kamera ditempatkan sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu proses pengambilan foto api

Minyak kelapa murni dan hidrolisis digunakan sebagai bahan baku penelitian. Minyak kelapa diperoleh dari daerah Buleleng Bali. Sebagian minyak kelapa dihilangkan kandungan gliserolnya dengan cara hidrolisis.

Tabel 1 Kandungan Minyak Kelapa<sup>7</sup>

Asam Lemak	Rumus Molekul	Kandungan
Asam kaproat	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.240
Asam kaprilat	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	4.852
Asam kaprat	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	5.031
Asam Laurat	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	46.256
Asam Myristat	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	20.508
Asam palmitat	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	10.706
Asam stearat	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	3.711
Asam arachidat	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	0.051
Asam behenat	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	0.028
Asam palmitolat	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	0.018
Asam oleat	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	8.413
Asam linoleat	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.060
Asam linolenat	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	0.107

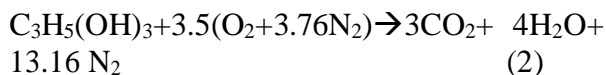
Asam Lemak	Rumus Molekul	Kandungan
Asam eicosatrienoat	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0.020

(Sumber: Wirawan, 2013)

## Hasil dan Pembahasan

### a. Stokiometri Air Fuel Ratio Minyak Kelapa

Minyak kelapa yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 85% asam lemak dan 15% gliserol [8]. Komponen asam lemak dalam minyak kelapa sebagian besar mengandung asam lemak jenuh rantai menengah. Hanya kurang dari 10% yang berupa rantai panjang tak jenuh dengan karakteristik pembakaran spontan. Reaksi asam lemak minyak kelapa menggunakan oksidator udara lingkungan. Analisis stokiometri yang sederhana digunakan pada proses pembakaran dapat dilihat seperti persamaan 1 dan persamaan 2 sebagai berikut:

$$C_{13.26}H_{26.52}O_2 + 18.89(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow 13.26CO_2 + 13.26H_2O + 71.03N_2 \quad (1)$$


Persamaan 1 adalah reaksi pembakaran molekul asam lemak dari data yang ada di tabel 1 dan persamaan 2 adalah reaksi pembakaran gliserol. Dari persamaan 1 dan 2 dengan melibatkan berat molekul total minyak didapat *stoichiometric air fuel ratio* ( $AFR_{stoic}$ ) minyak kelapa murni adalah 10.91 gram udara/gram bahan bakar. Dalam minyak kelapa hidrolisis  $AFR_{stoic}$  adalah 11.91 gram udara / gram bahan bakar.

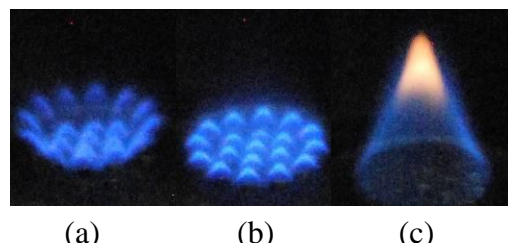
*Air Fuel Ratio (AFR) actual* diperoleh dari pengukuran laju aliran massa minyak kelapa terhadap laju aliran massa udara. Laju aliran massa bahan bakar dijaga konstan, sementara laju aliran massa udara diubah. Hal ini dimaksudkan agar proses pembakaran mampu menghasilkan api selular.

### b. Api Selular (*cellular flame*)

Kecepatan pembakaran adiabatik api laminar diukur pada rasio kesetaraan

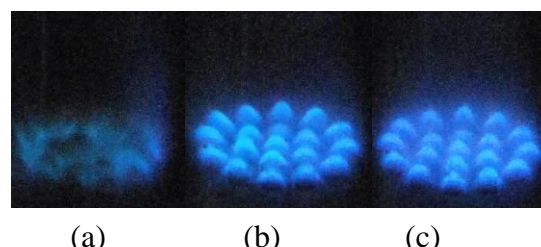
(*equivalent ratio*)  $\phi$  yang berbeda dengan tujuan untuk memperoleh ketidakstabilan api selular. *Equivalent ratio* diperoleh dengan membandingkan AFR aktual dengan AFR stoikiometri. Pengambilan foto dilakukan secara langsung untuk menilai struktur selular api secara kualitatif

Ketidakstabilan api dalam campuran minyak kelapa murni- udara ditandai dengan munculnya struktur sel-sel berbentuk *petal* (kelopak), dimana  $\phi=0.72$  seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.a. Kenaikan rasio kesetaraan  $\phi$  mengakibatkan munculnya api *perforated* (gambar 2.b). Pada campuran kaya ( $\phi=1.13$ ) terbentuk api Bunsen ujung terbuka seperti gambar 2.c.



Gambar 2. Pembentukan Api Minyak Kelapa Murni. (a) selular  $\phi=0.72$ , (b) *perforated*  $\phi=0.94$  dan (c) Bunsen  $\phi=1.13$

minyak kelapa hidrolisis. Struktur sel berbentuk *island* (pulau) dan cenderung menghasilkan kepunahan api pada  $\phi=0.72$  seperti yang ditunjukkan di gambar 3.a. Peningkatan  $\phi$  dari campuran miskin (gambar 3.b) menuju kaya (gambar 3.c) atau di sekitar daerah stokiometri hanya akan memunculkan api *perforated*.



Gambar 3. Pembentukan Api Minyak Kelapa Hidrolisis (a) selular  $\phi=0.72$ , (b) *perforated*  $\phi=0.94$  dan (c) *perforated*  $\phi=1.13$

Munculnya api selular akibat perpindahan panas dan massa yang diinduksi oleh difusi termal api laminar [9,10]. Selain itu

campuran miskin [11] dan kenaikan tekanan [12] juga turut mempengaruhi terbentuknya api selular akibat terjadinya peregangan (*stretch*) api.

### Kesimpulan

Api selular terbentuk akibat ketidakstabilan difusivitas termal karena adanya bentuk *flame front* yang cembung terhadap *urburn gas*, sehingga fluks panas lokal divergen. Ini menyebabkan temperatur dan kecepatan perambatan lokal mengalami peningkatan. Di sisi lain, gradien konsentrasi spesies berlawanan arah dengan gradien suhu dan ditambah dengan adanya bentuk *flame front* cembung terhadap *unburn gas* menyebabkan fluks spesies lokal konvergen penurunan fluks spesies di zona reaksi, sekaligus mengarah pada penurunan kecepatan perambatan lokal.

Adanya kandungan gliserol dalam minyak kelapa berpengaruh terhadap munculnya api selular kelopak pada campuran miskin dan api Bunsen ujung terbuka pada campuran kaya. Ketika kandungan gliserol dihilangkan, bisa dilihat bahwa pada campuran miskin terbentuk api selular pulau, dan ketika menuju campuran kaya hanya aka terbentuk api *perforated*.

### Referensi

- [1] Information on <http://www.ebtke.esdm.go.id/post/2016/05/23/1240/dirjen.ebtke.energi.telah.menjadi.kebutuhan.dasar>. Diakses tanggal 21 Juni 2016.
- [2] Departemen Perindustrian, Rodmap Industri Pengolahan Kelapa, Jakarta, 2009.
- [3] Buletin Energi Hijau, Kementerian Energi Dan Sumberdaya Mineral, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi, 2015
- [4] Yuan W., Hansen A.C., Zhang Q., Vapor pressure and normal boiling point predictions for pure methyl esters and biodiesel fuels, *Fuel* 84 (2005) 943–950/
- [5] Recep Altin, Selim Cetinkaya, Huseyin Serdar Yucesu, The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engine, *Energy Conversion and Management* 42 (2001) 529-538.
- [6] Information on [https://id.wikipedia.org/wiki/Minyak\\_kelapa](https://id.wikipedia.org/wiki/Minyak_kelapa), Diakses tanggal 21 Juni 2016.
- [7] Wirawan, I.K.G., Wardana, I.N.G., Soenoko, R. & Wahyudi, S. Premixed combustion of coconut oil on perforated burner. *Int.Journal of Renewable Energy Development*, 2(3), (2013), pp.133-139.
- [8] Frank D. Gunstone, *Vegetable Oil in Food Technology*, Blackwell Publishing, USA, 2002
- [9] Abdulwahid Mazlan, Saqr Khalid M., Sies Mohsin M. and Ujir Haffis, Diffusive Thermal Instabilities of C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>-C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> /Air Laminar Premixed Flames, *diffusion-fundamentals.org* 9 (2009) 8, pp 1-8.
- [10] Konnov, A.A. and Dyakov, I.V., Measurement of burning velocity in adiabatic cellular methane-oxygen-carbon dioxide flames. *Proceedings of the Third Mediterranean Combustion Symposium: 2003*, pp1-10.
- [11] Miao H., Jiao Q., Huang Z. and Jiang D., Effect of initial pressure on laminar combustion characteristics of hydrogen enriched natural gas, *International Journal of Hydrogen Energy* 33(2008) 3876-3885.
- [12] Tang C., He J., Huang Z., Jin C., Wang J., Wang X. and Miao H., 2008. Measurements of laminar burning velocities and Markstein lengths of propane–hydrogen–air mixtures at elevated pressures and temperatures, *International Journal of Hydrogen Energy* 33: 7274-7285.