



MINYAK NABATI

(BAHAN BAKAR ALTERNATIF MASA DEPAN)



Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, M.T.

Tentang Penulis



Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, M.T.

Merupakan Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik di Universitas Udayana. Dosen di Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana. Kelahiran 28 Februari 1962, Denpasar-Bali. SD sampai SMA diselesaikan di Denpasar. Lulus SMA tahun 1981. Pendidikan Sarjana (S1) diselesaikan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya lulus tahun 1986. Memperoleh gelar Master of Engineering di Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya pada tahun 2000. Gelar doktor diperoleh di Universitas Brawijaya tahun 2014. Aktif mengajar di Program Studi Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Udayana (S1) untuk Mata Kuliah Ekonomi Teknik, Termodinamika dan Turbin Gas. Pada Program Magister (S2) mengajar Mata Kuliah Metode Penelitian, Energi Baru Terbarukan (S3).



Anggota IKAPI
No. 225/JTE/2021

0858 5343 1992
eurekamediaaksara@gmail.com
Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362



MINYAK NABATI (BAHAN BAKAR ALTERNATIF MASA DEPAN)

Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, M.T.



PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA

**MINYAK NABATI (BAHAN BAKAR ALTERNATIF MASA
DEPAN)**

Penulis : Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, M.T.

Editor : Darmawan Edi Winoto, S.Pd., M.Pd.

Desain Sampul : Eri Setiawan

Tata Letak : Rizki Rose Mardiana

ISBN : 978-623-487-428-0

No. HKI : EC002022103458

Diterbitkan oleh: **EUREKA MEDIA AKSARA, DESEMBER 2022**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekaediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2022

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan buku ini. Penulisan buku merupakan buah karya dari pemikiran penulis yang diberi judul “Minyak Nabati (Bahan Bakar Alternatif Masa Depan)”. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan karya ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan banyak terima kasih pada semua pihak yang telah membantu penyusunan buku ini. Sehingga buku ini bisa hadir di hadapan pembaca.

Buku ini merupakan pengembangan ilmu pengetahuan dari energi terbarukan (*renewable energy*) yang pembakarannya dilakukan secara *premixed*. Selama ini kajian dari minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif hanya dilakukan secara *non premixed*. Selain itu minyak nabati merupakan bahan bakar multi komponen yang terdiri dari asam lemak dan gliserol, dimana dari aspek teoritis sangat menarik untuk dikaji sebagai bahan bakar pada pembakaran *premixed*.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna penyempurnaan buku ini. Akhir kata saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga buku ini akan membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
BAB 2 KOMPOSISI MINYAK NABATI.....	7
A. Hidrolisis.....	7
B. Minyak Kelapa.....	12
C. Minyak Jarak Pagar (<i>Jatropha Curcas</i>)	15
D. Minyak Jarak Kapok (<i>Ceiba Pentandra</i>)	17
BAB 3 KECEPATAN PEMBAKARAN DAN KETIDAKSTABILAN	19
A. Kecepatan Pembakaran.....	19
B. Ketidakstabilan Difusivitas Panas	22
C. Ketidakstabilan Hidrodinamik	24
BAB 4 PERAMBATAN API	29
A. Mekanisme Terbentuknya Api.....	29
B. Perambatan Api.....	30
BAB 5 PEMBAKARAN PREMIXED	45
A. Pembakaran <i>Premixed</i> Minyak Kelapa.....	45
B. Pembakaran <i>Premixed</i> Minyak Jarak Pagar (<i>Jantropa Curcas</i>)	53
C. Pembakaran <i>Premixed</i> Minyak Biji Kapok.....	60
BAB 6 PENUTUP	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69
TENTANG PENULIS.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Perubahan fraksi mol trigliserida (TG) versus waktu.....	9
Gambar 2. 2	Perubahan fraksi mol digliserida (DG) versus waktu.....	10
Gambar 2. 3	Perubahan fraksi mol monogliserida (MG) versus waktu.....	10
Gambar 2. 4	Perubahan fraksi mol gliserol (G) versus waktu	11
Gambar 3. 1	Foto Api dan Cara Mengukur Kecepatan Pembakaran Laminar.....	20
Gambar 3. 2	Struktur internal api premixed kerutan.....	23
Gambar 3. 3	Ekspansi Gas Pada Api Planar	25
Gambar 3. 4	(a) Penyimpangan streamlines melalui kemiringan api, (b) Visualisasi streamlines melalui kemiringan api Bunsen	26
Gambar 3. 5	Penyimpangan lokal streamlines melalui api kerutan.....	27
Gambar 3. 6	Kurva streamlines melalui api kerutan	27
Gambar 4. 1	Perforated flame dan secondary Bunsen flame	30
Gambar 4. 2	Skematik Api Bunsen	31
Gambar 4. 3	Foto api hydrogen/propane/nitrogen dengan ujung terbuka.....	32
Gambar 4. 4	Api propane/carbon dioxide-oxygen.....	33
Gambar 4. 5	Cellular instabilities pada 318 K (a) $\Phi=0,707$ (b) $\Phi=0,976$ (c) $\Phi=1,336$	36
Gambar 4. 6	Foto langsung cellular $\text{CH}_4 + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ dengan rasio dilution $D=35\%$ dan pada temperature 323K. (a) $\phi=0,7$; (b) $\phi=1,0$; (c) $\phi=1,2$	36
Gambar 4. 7	Foto perambatan api pada variasi tekanan awal dan rasio kesetaraan dengan penambahan 80% vol. hydrogen.....	37
Gambar 4. 8	(a) laminar triple flame, (b) diagram skematik burner triple flame.....	40
Gambar 4. 9	Foto dan skematik struktur triple flame.....	42

Gambar 4. 10	Foto api pada 100%CH ₄ - 70%CH ₄ /30%CO - 10%CH ₄ /90%CO - 4%CH ₄ /96%CO	43
Gambar 4. 11	Foto api propane/propane dalam campuran berbeda dengan $\phi_{in}=2.159$ (a) $\phi_{out}=0$, (b) $\phi_{out}=0.329$, (c) $\phi_{out}=0.437$, (d) $\phi_{out}=0.503$, (e) $\phi_{out}=0.542$, (f) $\phi_{out}=0.639$	44
Gambar 5. 1	Struktur api minyak kelapa murni	46
Gambar 5. 2	Pandangan atas api minyak kelapa murni: (a) perforated flame dan Bunsen sekunder , $\phi=0.72$, (b) api triple dengan api seluler, $\phi=1.61$	46
Gambar 5. 3	Gambar nyala api minyak kelapa murni yang diisolasi dari udara ambien.....	47
Gambar 5. 4	Bentuk nyala api minyak kelapa hidrolisis.....	48
Gambar 5. 5	Bentuk nyala api minyak kelapa hidrolisis yang diisolasi dari udara ambien	48
Gambar 5. 6	Api Bunsen ujung terbuka, (a) minyak kelapa murni $\phi = 1.14$, (b) Minyak kelapa hidrolisis $\phi = 1.24$	51
Gambar 5. 7	Bentuk selular pada (a) minyak kelapa murni $\phi = 1.14$, (b) minyak kelapa hidrolisis $\phi = 1.24$	52
Gambar 5. 8	Bentuk api triple minyak kelapa murni pada $\phi = 1.61$	53
Gambar 5. 9	Bentuk nyala api minyak jarak pagar.....	54
Gambar 5. 10	Bentuk nyala api minyak jarak pagar yang diisolasi	54
Gambar 5. 11	Api Bunsen sekunder ujung terbuka minyak jarak pagar $\phi=0.632$	57
Gambar 5. 12	Api seluler minyak jarak pagar (a) berbentuk pulau pada $\phi=0,516$; (b) berbentuk kelopak pada $\phi =0.547$	58
Gambar 5. 13	Bentuk api triple minyak jarak pagar pada $\phi = 0,547$	59
Gambar 5. 14	Struktur api minyak biji kapok	60
Gambar 5. 15	Pandangan atas minyak biji kapok: (a) perforated flame $\phi=0.44$, (b) api triple $\phi=0.62$	61

Gambar 5. 16 Api minyak biji kapok yang diisolasi dari udara ambien	61
Gambar 5. 17 Api Bunsen ujung terbuka pada minyak biji kapok, $\varphi = 1.07$	64
Gambar 5. 18 Bentuk api selular minyak biji kapok, (a) island cellular $\varphi=0,44$, (b) petal cellular $\varphi=0,62$	65
Gambar 5. 19 Bentuk api triple minyak biji kapok pada $\varphi = 0,75$..	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Komposisi Minyak Kelapa dari Berbagai Referensi	13
Tabel 2. 2	Hasil Perhitungan Berat Molekul Tiap-Tiap Komponen Asam Lemak Minyak Kelapa	13
Tabel 2. 3	Kompisisi Minyak Jarak Pagar (<i>Jatropha Curcas</i>) dari Berbagai Referensi	15
Tabel 2. 4	Kompisisi Minyak Biji Kapok (<i>Ceiba Pentandra</i>) dari Berbagai Referensi	17

BAB

1

PENDAHULUAN

Kelangkaan bahan bakar minyak (BBM) telah memberikan dampak yang luas di berbagai sektor kehidupan. BBM sangat dibutuhkan oleh manusia karena hampir semua gerak kehidupan di dunia tidak akan dapat jalan tanpa adanya BBM. Demikian juga halnya di Indonesia yang merupakan negara kepulauan dengan jumlah penduduk banyak sangat tergantung pada BBM, bahkan kebutuhan BBM semakin meningkat dari tahun ke tahun. Kebutuhan bahan bakar ini berdampak pada harga yang juga terus meningkat. Selama sepuluh tahun terakhir terjadi kecenderungan fluktuasi harga BBM untuk bensin premium, minyak solar, dan minyak tanah. Pada bensin premium, terjadi fluktuasi harga dari tahun 2003 hingga 2013 dengan periode dan prosentase yaitu: 21 Januari 2003 - 1 Oktober 2005 sebesar 149%; 1 Oktober 2005 - 15 Desember 2008 sebesar 11%; 15 Desember 2008 - 15 Januari 2009 terjadi penurunan sebesar 10%; dan 15 Januari 2009 hingga 22 Juni 2013 terjadi peningkatan lagi sebesar 44% (Wikipedia, 2013). Fluktuasi perubahan harga yang cenderung meningkat ini disebabkan oleh ketidakstabilan harga minyak dunia dan sifat sumber daya minyak bumi yang terbatas dan tidak terbaharui (*unrenewable*). Keterbatasan sumber BBM *unrenewable* kalau terus menerus dieksplorasi dapat menyebabkan krisis bahan bakar. Oleh karena itu timbul ide-ide untuk menggantikan bahan bakar yang selama ini menggunakan bahan bakar fosil dengan bahan bakar alternatif yang bersifat *renewable* yang memungkinkan dari segi teknologi dan bahan yang tersedia. Banyak penulis menggunakan bahan bakar alternatif sebagai *renewable energy* yang diambil dari

BAB 2

KOMPOSISI MINYAK NABATI

A. Hidrolisis

Wang *et al.*, (2012) melakukan penelitian mengenai bahan bakar hidrokarbon dari minyak nabati melalui *hydrolysis* dan *thermo-catalytic decarboxylation*. Bahan baku minyak canola digunakan untuk mengkonversikannya menjadi hidrokarbon alkana normal. Asam lemak bebas FFA (*Free Fatty Acid*) produk setengah jadi dari hidrolisis dihitung menggunakan GC-FID (*Gas Chromatography-Flame Ionization Detector*), yang menunjukkan konversi 99,7% dan komponen-komponen berikut: palmitat, oleat, linoleat, linolenat, stearat, asam arachidic dan behenat. FFA jenuh kemudian didekarboksilasi pada laju rata-rata 15,5 mmol / menit menggunakan katalis Pd / C 5% pada 300 °C. Sekitar 90% dekarboksilasi dikonversi ke n-alkana dicapai dalam waktu reaksi 5 jam. Hasil campuran n-alkana dapat segera dikonversi menjadi bahan bakar diesel terbarukan menggunakan isomerisasi untuk meningkatkan sifat aliran bahan bakar.

Kinematika hidrolisis minyak bunga matahari pada kondisi air subkritis diteliti oleh Alenezi *et al.*, (2009). Pada proses hidrolisis umumnya berlangsung secara bertahap seperti reaksi pada persamaan 2.1, 2.2, 2.3 :

BAB 3

KECEPATAN PEMBAKARAN DAN KETIDAKSTABILAN

A. Kecepatan Pembakaran

Soriano *et al.*, (2010) melakukan penelitian secara eksperimental untuk mendapatkan kecepatan pembakaran perambatan api dalam campuran yang mudah terbakar yang dipengaruhi oleh perbedaan kelengkungan api atau kurva aliran, yang merupakan laju regangan aliran gas segar sepanjang garis normal ke api dibagi dengan kecepatan pembakaran api planar. Perbedaan antara kecepatan pembakaran lokal dan kecepatan pembakaran api planar dalam gas diam sebanding dengan perbedaan kurva aliran api. Kecepatan pembakaran api planar dan panjang Markstein merupakan faktor proporsional produk hakiki dari sifat nyala yang mencirikan dinamika api. Panjang Markstein dapat ditentukan secara eksperimental dengan sekaligus mengukur kurva aliran api dan laju regangan. *Laminar jet burner* di set up dan digunakan dua sistem yaitu: (1) *particle image velocity* (PIV) seperti pada gambar 3.1 untuk mengukur kecepatan aliran gas dalam dua bidang normal tegak lurus api. (2) Tetesan minyak digunakan untuk melacak aliran dan api. Sistem PIV dan tetesan dibentuk oleh kondensasi setelah penguapan minyak dalam ruang pemasukan di jalur udara. Pemasukan udara dan bahan bakar gas (CO, H₂, CH₄) dicampur dalam ruang di hulu *burner* dan terbakar di api Bunsen stasioner. Tetesan minyak menguap di zone pemanasan awal api, sehingga memungkinkan tomography ganda di bagian depan api.

BAB 4 | PERAMBATAN API

A. Mekanisme Terbentuknya Api

Perforated plate ditempatkan di ujung *burner* untuk memaksa api menjadi beberapa api kecil yang mirip seperti pada Meker *burner* (Jensen 2009) dan kontak termal terjadi di ujung *burner* menghasilkan panas yang lebih banyak. Kontak termal menyebabkan kerugian panas rendah sehingga *perforated plate* menjadi sumber panas yang memudahkan api menyala. Beberapa api kecil di ujung *burner* diisitilahkan *perforated flame* seperti gambar 4.1. Berbeda dengan Bunsen *burner*, panas yang dihasilkan oleh *perforated burner* secara seragam tersebar di seluruh area api. Di hilir *perforated flame* terbentuk *secondary Bunsen flame*. Ketika ϕ dinaikkan atau fraksi bahan bakar ditingkatkan maka akan terbentuk api Bunsen ujung terbuka dan selular. Campuran diperkaya lagi menyebabkan terbentuknya api *triple*.

Campuran bahan mudah terbakar (seperti bahan bakar gas atau uap, beberapa debu) dan udara akan terbakar jika konsentrasi bahan bakar terletak dalam batas bawah dan atas yang ditentukan secara eksperimental, disebut *flammability limits*.

BAB 5

PEMBAKARAN PREMIXED

A. Pembakaran *Premixed* Minyak Kelapa

Minyak kelapa mempunyai rantai karbon paling pendek diantara minyak nabati (Yuan *et al.*, 2005). Struktur kimia minyak kelapa mirip dengan petrodiesel sehingga sangat cocok untuk mesin diesel. Namun bila digunakan secara langsung mempunyai kelemahan seperti: viskositas tinggi, volatilitas rendah, reaktivitas dari rantai hidrokarbon tak jenuh, perlu pemanasan awal, aliran, atomisasi dan emisi partikel (Ayhan 2009 & Recep *et al.*, 2001). Selama ini minyak kelapa lebih banyak digunakan sebagai pembakaran *non premixed* seperti pada kompor bertekanan (Kratzeisen M. and Müller J. 2010), karena emisi gas buang rendah, ramah lingkungan, tetapi nilai kalornya rendah dibandingkan diesel (Masjuki *et al.*, 2001). Bila minyak kelapa digunakan sebagai pembakaran *premixed* maka perlu proses penguapan bahan bakar sebelum dimasukkan ke dalam *mixing chamber*.

Perilaku api minyak kelapa pada pembakaran *premixed* di *perforated burner* dalam berbagai *equivalence ratio* ditampilkan dalam gambar 5.3 sampai dengan gambar 5.7. Gambar 5.3 menunjukkan api minyak kelapa murni. Gliserol secara intensif dibakar dari $\phi = 0,93$ sampai 1,14 (Wardana 2010), yang berada dalam stoikiometri. Pada campuran kaya ($\phi = 1,61$) jumlah gliserol terbakar berkurang karena menjadi jauh dari stoikiometri. Pandangan atas api ditunjukkan pada gambar 5.4, bahwa ada dua struktur api yaitu *perforated Bunsen flame* dengan api Bunsen sekunder ujung terbuka pada campuran miskin

BAB

6

PENUTUP

Pada minyak kelapa murni maupun hidrolisis terjadi penurunan kecepatan pembakaran S_L api *perforated* dan Bunsen ketika *equivalence ratio* ϕ ditingkatkan. Ketika api diisolasi dari udara ambien maka terjadi penurunan S_L api *perforated* pada minyak kelapa murni maupun hidrolisis pada saat ϕ ditingkatkan. Pada saat ϕ ditingkatkan terjadi kenaikan S_L api Bunsen minyak kelapa murni dan penurunan S_L api Bunsen minyak kelapa hidrolisis.

Kecepatan pembakaran S_L api *perforated* dan Bunsen minyak jarak pagar menurun secara drastis dengan kenaikan ϕ sedikit saja. Ketika api diisolasi dari udara ambien, juga terjadi penurunan S_L api *perforated* dan Bunsen secara drastis pada saat ϕ dinaikkan sedikit saja.

Pada minyak biji kapok terjadi penurunan S_L api *perforated* dan Bunsen ketika ϕ ditingkatkan. Pada saat api diisolasi dari udara ambien, dengan kenaikan ϕ sedikit saja maka terjadi penurunan S_L api *perforated* dan Bunsen secara drastis.

Api Bunsen ujung terbuka terbentuk di minyak kelapa murni maupun hidrolisis, jarak pagar dan biji kapok, dimana api dibiarkan kontak dengan udara ambien. Hal ini disebabkan oleh gliserol dan asam lemak yang tak terbakar lolos dari zona produk, kemudian kontak dengan udara ambien membentuk api jelaga berwarna kuning di bagian ujung api.

Api selular berbentuk pulau maupun kelopak terjadi pada minyak kelapa murni ketika api dibiarkan kontak dengan udara ambien. Ketika gliserol dihilangkan dari minyak maka yang terbentuk hanyalah api selular berbentuk kelopak. Api selular

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulwahid M., Saqr K. M., Sies M.M. and Ujir H., 2009. Diffusive thermal instabilities of C_4H_{10} - C_3H_8 /air laminar flames, *Diffusion-Fundamentals.org* 9: 1-8.
- Alenezi R., Leeke G.A., Santos R.C.D., Khan A.R., 2009. Hydrolysis kinetics of sunflower oil under subcritical water conditions, *Chemical Engineering Research and Design* 87: 867-873.
- Alliche M., Haldenwang P. and Chikh S., 2010. Extinction conditions of a flame in a channel, *Combustion and Flame* 157: 1060-1070.
- Ayhan Demirbas, 2009. Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Conversion and Management* 50: 14-34.
- Berchmans H. J., Morishita K. and Takarada T., 2013. Kinetic study of hydroxide-catalyzed methanolysis of jatropha curcas curcas-waste food oil mixture for biodiesel production, *Fuel* 104: 46-52.
- Bouaid A., Martínez M. and Aracil J., 2010. Biorefinery approach for coconut oil valorisation: A statistical study, *Bioresource Technology* 101: 4006-401.
- Bradley D., Hicks R. A., Lawes M., Sheppard C. G. W. and Woolley R., 1998. The measurement of laminar burning velocities and markstein numbers for iso-octane-air and iso-octane-n-heptane-air mixtures at elevated temperatures and pressures in an explosion bomb, *Combustion and Flame* 115: 126-144.
- Briones A.M., Mukhopadhyay A. and Aggarwal S.K., 2009. Analysis of entropy generation in hydrogen-enriched methane-air propagating triple flames, *International Journal of Hydrogen Energy* 34: 1074-1083.
- Broustail G., Seers P., Halter F., Moréac G, Mounaim-Rousselle C., 2011. Experimental determination of laminar burning velocity for butanol and ethanol iso-octane blends, *Fuel* 90: 1-6.

- Chakraborty S., Mukhopadhyay A. and Sen S., 2008. Interaction of Lewis number and heat loss effects for a laminar premixed flame propagating in a channel, *International Journal of Thermal Sciences* 47: 84–92.
- Chao C.Y.H., Hui K.S., Kong W., Cheng P. and Wang J.H., 2007. Analytical and experimental study of methane–air flame propagation in narrow channels, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 50: 1302-1313.
- Chaos M., Kazakov A., Dryer F.L., Zhao Z. and Zeppieri S.P., 2005. High temperature compact mechanism development for large alkanes: n-hexadecane, *6th International Conference on Chemical Kinetics*.
- Chaudhuri S. and Cetegen B.M., 2008. Blow off characteristics of bluff-body stabilized conical flames with upstream spatial mixture gradients and velocity oscillations, *Combustion and Flame* 153: 616-633.
- Dahoe A.E., 2005. Laminar burning velocities of hydrogen–air mixtures from closed vessel gas explosions, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18: 152-166.
- Daou J. and Matalon M., 2001. Flame propagation in poiseuille flow under adiabatic conditions, *Combustion and Flame* 124: 337-349.
- Daou J. and Matalon M., 2002. Influence of Conductive Heat-Losses on the Propagation of Flames in Channels, *Combustion and Flame* 128: 321-339.
- Fan A., Maruta K., Nakamura H., Kumar S. and Liu W., 2010. Experimental investigation on flame pattern formations of DME-air mixtures in a radial microchannel, *Combustion and Flame* 157: 1637-1642.
- Gilard V., Gillon P. and Blanchard C.J.N., 2009. Effects of a magnetic field on the stabilization of a lifted diffusion flame, *Proceedings of the European Combustion Meeting*.

- Gopinath A., Puhan S. and Nagarajan G., 2010. Effect of unsaturated fatty acid esters of biodiesel fuels on combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine, *International Journal of Energy and Environment* 1: 411-430.
- Groff E.G., 1982. The cellular nature of confined spherical propape-air flame, *Combustion and Flame* 48: 51-62.
- Gunstone F.D., 2002. Vegetable Oils In Food Technology : Composition, Properties And Uses, Blackwell Publishing Lt.
- Handayani N.A., Santosa H., Sofyan M., Tanjung I., Chyntia A., Putri P.A.R.S., and Ramadhan Z.R., 2013. Biodiesel Production from Kapok (*Ceiba pentandra*) Seed Oil using Naturally Alkaline Catalyst as an Effort of Green Energy and Technology, *Int. Journal of Renewable Energy Development* 2: 169-173.
- Heravi H.M., Azarinfar A., Kwon S.I, Browen P.J. and Syred N., 2007. Determination of laminar flame thickness and burning velocity of methane-air mixture, *Third European Meeting ECM*.
- Holliday R.L., King J.W. and List G.R., 1997. Hydrolysis of vegetable oils in sub- and supercritical water, *Industrial and Engineering Chemistry Research* 36: 932-935.
- Hossain AK, Davies PA., 2012. Performance, emission and combustion characteristics of an indirect injection (IDI) multi-cylinder compression ignition (CI) engine operating on neat jatropha curcas and karanj oils preheated by jacket water. *Biomass and Bioenergy* 46:332-342.
- Hudaya T., Liana, and Soerawidjaja T.H., 2013. A study on low temperature and pressure hydrogenation of cyclopropenoid-group containing non-edible oil for biodiesel Feedstock, *Energy Procedia* 32: 209-215.
- Hwang K.J., Kang D., Lee S., Kim C.H.H.N., Jin S., Lee I.H., Park J.Y. and Kim C., 2014. Synthesis and characterization of hollow

TiO₂ fibers using *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (kapok) as a natural template, *Materials Letters* 115: 265-267.

Im H. G., Law C. K. and Axelbaum R. L., 1990. Opening of the burkeschumann flame tip and the effects of curvature on diffusion flame extinction, *Twenty-Third Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute* : 551-558.

Inpres No 1 tahun 2006, tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (*biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain.

Ishizuka S., 1982. An experimental study on the opening of laminar diffusion flame tips, *Nineteenth Symposium (International) on Combustion Institute*: 319-326.

Ishizuka S. and Sakai Y., 1986. Structure and tip-opening of laminar diffusion flames, *twenty fist Symposium (International) on Combustion / The Combustion Institute*: 1821-1828.

Jarosinski J. and Veysiere B., 2009. *Combustion Phenomena : selected mechanisms of flame formation, propagation, and extinction*, CRC Press Taylor & Francis Group.

Jensen W.B., 2009. The Origins of the Meker and Tirrill Burners, *Journal of Chemical Education* 86: 1362-1363.

Kadowaki S., Suzuki H. and Kobayashi H., 2005. The unstable behavior of cellular flames induced by intrinsic instability, *Proceedings of the Combustion Institute* 30: 169-176.

Kang S.H., Baek S.W. and Im H.G., 2006. Effects of heat and momentum losses on the stability of flames in a narrow channel, *Combustion Theory and Modeling* 10: 659-681.

Kim K.T., Lee D.H. and Kwon S., 2006. Effects of thermal and chemical surface-flame interaction on flame quenching, *Combustion and Flame* 146: 19-28.

Kitagawa T., Nakahara T., Maruyama K., Kado K., Hayakawa A. and Kobayashi S., 2008. Turbulent burning velocity of hydrogen-air propagating flames at elevated pressures, *International Journal of Hydrogen Energy* 33: 5842-5849.

- Konnov, A.A. and Dyakov, I.V., 2003. Measurement of burning velocity in adiabatic cellular methane-oxygen-carbon dioxide flames. *Proceedings of the Third Mediterranean Combustion Symposium*: 1-10.
- Kratzeisen M. and Müller J., 2010. Influence of free fatty acid content of coconut oil on deposit and performance of plant oil pressure stoves, *Fuel* 89: 1583-1589.
- Kratzeisen M, Muller J., 2010. Prediction of deposit formation during combustion of jatropha curcas oil from standard quality parameters. *Fuel* 89:2769-2774.
- Kratzeisen M, Müller J., 2013. Suitability of Jatropha curcas seed shells as fuel for small-scale combustion units. *Renew Energy* 51:46-52.
- Kumar G., Kumar D., Singh S., Kothari S., Bhatt S. and Singh C.P., 2010. Continuous low cost transesterification process for the production of coconut biodiesel, *Energies* 3: 43-56.
- Kurdyumov V.N., Pizza G., Frouzakis C.E and Mantzaras J., 2009. Dynamics of flames in a narrow channel with a step-wise wall temperature, *Combustion and Flame* 156: 2190-2200.
- Law Chung K., 2006. *Combustion Physics*, Cambridge University Press.
- Liao S.Y., Jiang D.M., Cheng Q., 2004. Determination of laminar burning velocities for natural gas, *Fuel* 83: 1247-1250.
- Lin J-C And Lin T-H., 2003. Influence of water spray on normal and inverted Bunsen flame, *Combustion Science and Technology* 175:1263-129.
- Llamas A., García-Martínez M-J, Al-Lal A-M, Canoira Laureano and Lapuerta Magín, 2012. Biokerosene from coconut and palm kernel oils: production and properties of their blends with fossil kerosene, *Fuel* 102: 483-490.
- Machacon H.T.C. , Shiga S., Karasawa T. and Nakamura H., 2001. Performance and emission characteristics of a diesel

engine fueled with coconut oil-diesel fuel blend, *Biomass and Bioenergy Journal* 20: 63-69.

- Masjuki H H, Kalam M A, Maleque M A, Kubo A and Nonaka T., 2001. Performance, emissions and wear characteristics of an indirect injection diesel engine using coconut oil blended fuel, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 215: 393-404 .
- Miao H., Jiao Q., Huang Z. and Jiang D., 2008. Effect of initial pressure on laminar combustion characteristics of hydrogen enriched natural gas, *International Journal of Hydrogen Energy* 33: 3876-3885.
- Min J.,Baillot F.,Guo H., ,Domingues E., Talbaut M.,Patte-Rouland B., 2011. Impact of CO,N or Ar diluted in air on the length and lifting behavior of a laminar diffusion flame, *Proceedings of Combustion and Flame Institute* 33: 1071-1078.
- Minami E. and Saka S., 2006. Kinetics of hydrolysis and methyl esterification for biodiesel production in two-step supercritical methanol process, *Fuel* 85: 2479-2483.
- Mizomoto M. and Yoshida H., 1987. Effects of Lewis number on the burning intensity of Bunsen flames, *Combustion and Flame* 70: 47-60.
- Mofijur M, Masjuki HH, Kalam MA, Hazrat MA, Liaquat AM, Shahabuddin M, Varman M., 2012. Prospects of biodiesel from jatropha curcas in Malaysia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:5007-5020.
- Palash S.M., Kalam M.A., Masjuki H.H., Masum B.M., Fattah I.M. Rizwanul, Mofijur M., 2013. Impacts of biodiesel combustion on NOx emissions and their reduction approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23: 473-490.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006: Tentang Kebijakan Energi Nasional.

- Plessing T., Terhoeven P. and Peters N., 1998. An experimental and numerical study of a laminar triple flame, *Combustion and Flame* 115: 335-353.
- Ray J., Najm H.N., Milne R.B., Devine K.D. and Kempka S., 2000. Triple flame structure and dynamics at the stabilization point of an unsteady lifted jet diffusion flame, *Proceedings of the Combustion Institute* 28: 219-226.
- Recep Altin, Selim Cetinkaya, Huseyin Serdar Yucesu., 2001. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engine, *Energy Conversion and Management* 42: 529-538.
- Sahoo P.K., Das L.M., 2009. Combustion analysis of jatropha, karanja and polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine, *Fuel* 88: 994-999.
- Sahu K.B., Kundu A., Ganguly R. and Datta A., 2009. Effects of fuel type and equivalence ratios on the flickering of triple flames, *Combustion and Flame* 156: 484-493.
- Satyanarayana M., Muraleedharan C., 2011. A comparative study of vegetable oil methyl esters (biodiesels), *Energy* 36: 2129-2137.
- Shaheed A and Swain E., 1999. Combustion analysis of coconut oil and its methyl esters in a diesel engine, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 213: 417-425.
- Silitonga A.S., Ong H.C., Mahlia T.M.I., Masjuki H.H. and Chong W.T., 2013. Characterization and production of *ceiba pentandra* biodiesel and its blends, *Fuel* 108: 855-858.
- Singh P.J., Khurma J. and Singh A., 2010. Preparation, characterisation, engine performance and emission characteristics of coconut oil based hybrid fuels, *Renewable Energy* 35: 2065-2070.
- Sivakumar P., Sindhanaiselvan S., Gandhi N.N., Devi S.S. and Renganathan S., 2013. Optimization and kinetic studies on biodiesel production from underutilized *Ceiba Pentandra* oil, *Fuel* 103: 693-698.

- Soriano G.G., Castillo J. L., P. L. Ybarra G. and Higuera F.J., 2010. Curvature and burning velocity of Bunsen flame tips, *Monografías de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza* 34: 73-86.
- 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.
- Vedharaj S., Vallinayagam R., Yang W.M., Chou S.K., Chua K.J.E. and Lee P.S., 2013. Experimental investigation of kapok (*Ceiba pentandra*) oil biodiesel as an alternate fuel for diesel engine, *Energy Conversion and Management* 75: 773-779.
- Wang W.C., Thapaliya N., Campos A., 2012. Stikeleather L.F. and Roberts W.L., Hydrocarbon fuels from vegetable oils via hydrolysis and thermo-catalytic decarboxylation, *Fuel* 95: 622-629.
- Wardana I.N.G., 2010. Combustion characteristics of jatropha oil droplet at various oil temperatures, *Fuel* 89: 659-664.
- Wikipedia, 2013
- Wirawan I.K.G., Wardana I.N.G., Soenoko R. and Wahyudi S., 2013. Premixed combustion of coconut oil on perforated burner, *Int. Journal of Renewable Energy Development* 2: 133-139.
- Wu C-Y, Li Y-H and Chang T-W., 2012. Effects of CO addition on the propagation characteristics of laminar CH₄ triple flame, *Combustion and Flame* 159: 2806-2816.
- Yuan W., Hansen A.C., Zhang Q., 2005. Vapor pressure and normal boiling point predictions for pure methyl esters and biodiesel fuels, *Fuel* 84: 943-950.

TENTANG PENULIS

Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, M.T.



Merupakan Dosen di Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana. Kelahiran 28 Februari 1962, Denpasar-Bali. SD sampai SMA diselesaikan di Denpasar. Lulus SMA tahun 1981. Pendidikan Sarjana (S1) diselesaikan di Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Brawijaya. Memperoleh gelar Master of Engineering di Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya pada tahun 2000. Gelar doktor diperoleh di Universitas Brawijaya tahun 2014. Aktif mengajar di Program Studi Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Udayana (S1) untuk Mata Kuliah Ekonomi Teknik, Termodinamika dan Turbin Gas. Pada Program Magister (S2) mengajar Mata Kuliah Metode Penelitian, Energi Baru Terbarukan (S3).

Publikasi penulis antara lain I K.G. Wirawan, Ainul Ghurri, Wayan Nata Septiadi, I G.K. Sukadana, Spray Angle Evaluations of Waste Cooking Oil on the Simple Nozzle Tip, *Advances In Renewable Energy* February 2017, I K.G Wirawan, Ainul Ghurri, W.N. Septiadi, Effect of Pressure and Preheating Temperature on Droplet Measure of Waste Cooking Oil, *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Augst 2017., I.K.G. Wirawan, A. Ghurri, W.N. Septiadi, The Effect of Biodiesel-Diesel Fuel Blending on Exhaust Gas Emissions, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, February 2019., I.K.G. Wirawan, A. Ghurri, W.N. Septiadi, The Characteristics of Biodiesel from Waste Cooking Oil, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, September 2019., serta I Made Rajendra, I Nyoman Suprpta Winaya, Ainul Ghurri, I Ketut Gede Wirawa Comprehensive Kinetic Study of Pyrolysis of Sunan Candles: The Effect of Using Iron Oxide, Zeolite and ZSM-5 as Bed Materials, March 2021.



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC002022103458, 10 Desember 2022

Pencipta

Nama : **Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, M.T.**

Alamat : Jl. Muding Mekar No. 3 Lingk. Muding Mekar, Kerobokan Kaja, Kuta Utara, Kabupaten Badung, Bali, Badung, BALI, 80363

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Dr. Ir. I Ketut Gede Wirawan, M.T.**

Alamat : Jl. Muding Mekar No. 3 Lingk. Muding Mekar, Kerobokan Kaja, Kuta Utara, Kabupaten Badung, Bali, Badung, BALI, 80363

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **Minyak Nabati (Bahan Bakar Alternatif Masa Depan)**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 6 Desember 2022, di Purbalingga

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, dihitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000419202

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual
u.b.
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Anggoro Dasananto
NIP.196412081991031002

Disclaimer:
Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.