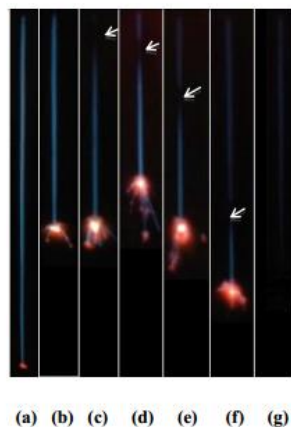


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Botero, M.L, *et al.* (2011) melakukan penelitian mengenai pengaruh pencampuran biodiesel, diesel dan etanol terhadap pembakaran *droplet*. Hasilnya penambahan etanol pada biodiesel memicu terjadinya *microexplosion* yang dengan segera memecah *droplet* dan mengubah bahan bakar cair menjadi gas. Penambahan etanol juga mempengaruhi visualisasi nyala api yang berwarna biru dan hampir tidak terlihat (gambar 2.1).

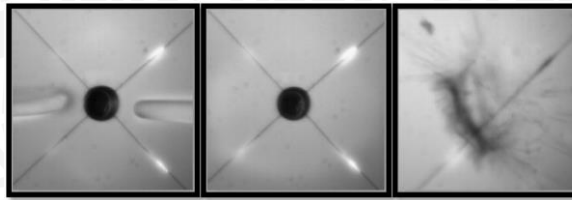


Gambar 2.1 Visualisasi nyala api campuran biodiesel-etanol : a) biodiesel, b) E20B80
c) E40B60, d) E50B50, e) E60B40, f) E80B20, g) etanol
Sumber : Botero et al (2011)

Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa adanya gap pada lintasan api. Hal tersebut mengindikasikan bahwa adanya periode pemanasan *droplet* dari bahan bakar yang memiliki *boiling point* yang lebih rendah (etanol) kemudian ke bahan bakar yang memiliki *boiling point* lebih tinggi (biodiesel). Perbedaan nilai *boiling point* menyebabkan *microexplosion* sehingga mempercepat *burning rate*.

Hasil penelitian tersebut diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Long-Pan, K. *et al.* (2013) melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran *droplet* pada pencampuran diesel-biodiesel dengan alkohol (*methanol*, etanol, *2-propanol*) dalam *microgravity condition*. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa penambahan alkohol pada biodiesel memiliki *burning rate* lebih tinggi dibandingkan dengan pembakaran pada biodiesel saja. Selain itu dari penelitian didapatkan bahwa titik didih alkohol yang lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel mengakibatkan proses

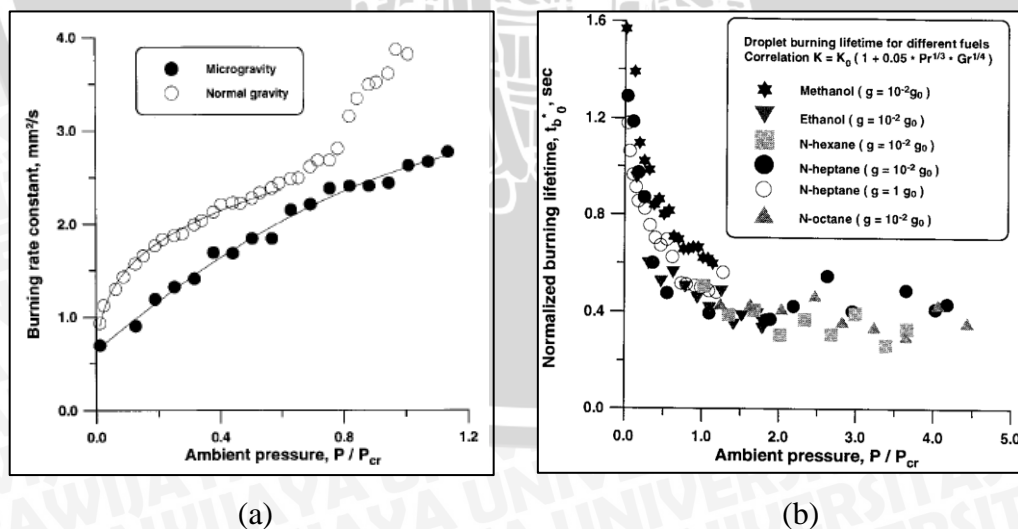
pembakaran lebih cepat berlangsung karena terjadi *microexplosion* seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Urutan kejadian dari *microexplosion* dari biodiesel 25% + etanol 75%
Sumber : Long-Pan, K. *et al* (2013)

Wang, C.H dan C.K Law (1985) meneliti pengaruh tekanan terhadap kejadian *microexplosion* untuk *multicomponent droplet*. Dalam penelitiannya variasi tekanan mulai dari tekanan lingkungan (1 atm) sampai 5 atm. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan tekanan dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya *microexplosion*.

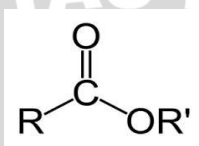
Vielle, B. *et al.* (1996) pernah meneliti tentang pembakaran bahan bakar *droplet* tekanan tinggi pada *microgravity*. Bahan bakar yang diteliti adalah methanol, etanol, *n-heptane*, *n-hexane* dan *n-octane*. Variasi tekanan yang digunakan mulai dari 0.1 Mpa sampai 15 Mpa dengan temperatur udara lingkungan yakni 300 K. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring meningkatnya tekanan menyebabkan *burning rate* meningkat (gambar 2.3 (a)) dan *burning life time* mengalami penurunan (gambar 2.3 (b))



Gambar 2.3 Pengaruh tekanan terhadap a).*burning rate* metanol pada *microgravity* dan *normal gravity*, b).*burning life time* bahan bakar
Sumber : Vielle *et al* (1996)

2.2 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak, yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel dan bersumber dari bahan yang dapat diperbarui seperti minyak nabati atau lemak hewan. (Soerawidjaja, T.H. 2006). Biodiesel diproduksi melalui proses transesterifikasi (alkoholisis) antara trigliserida (minyak nabati atau lemak hewan) dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis menghasilkan alkil ester dan gliserol atau esterifikasi asam-asam lemak (bebas) dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis menjadi senyawa alkil ester dan air. Rumus molekul ester dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rumus molekul Ester

Sumber : Ralph J. Fessenden (1996:314)

Biodiesel mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan minyak diesel yakni dapat diperbaharui (*renewable*), dapat terurai secara alami (*biodegradable*) dan nontoxic (Asnawati, D. *et al.* 2014). Standar mutu biodiesel di Indonesia sudah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional yang tercantum dalam SNI 7182 tahun 2012 pada tabel 2.1, sedangkan untuk standar mutu biodiesel internasional ditetapkan melalui standar ASTM D 6751 dan standar mutu minyak diesel solar 48 ditetapkan melalui standar Dirjen Migas nomor 3675K/24/DJM tahun 2006.

Biodiesel tersusun dari beberapa jenis alkil ester asam lemak seperti asam oleat, stearat, oktadekadienoat, palmitat dan elaidat dengan panjang rantai karbon permolekul antara 12 sampai 20. Hal ini menyerupai senyawa penyusun minyak solar yang terdiri 38% n-alkana, 38% alkana rantai cabang dan sikloalkana, 3% isoprenoid, 20% senyawa aromatik dengan panjang rantai karbon permolekul antara 15 sampai 20. Hal ini yang menyebabkan biodiesel dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar pengganti minyak solar tanpa harus memodifikasi mesin diesel (Mittlebach, M. 2006).

Tabel 2.1 Standar Nilai Mutu Biodiesel dan Perbandingan dengan Solar

No	Karakteristik	Solar 48 SNI	SNI	ASTM D6751
1	Massa Jenis	820-860 (kg/m ³)	850-890 (kg/m ³)	-
2	Viskositas Kinematik, 40°C	2,0-4,5 (cSt)	2,3-6,0 (cSt)	1,9-6,0 (cSt)
3	Angka Setana	≥ 48	≥ 51	≥ 51
4	Flash Point	≥ 55 (°C)	≥ 100 (°C)	≥ 130 (°C)
5	Nilai Kalor	10100 – 10600 (kkal/kg)	-	-
6	Kandungan Sulfur	≤ 0,05 (% m/m)	≤ 0,001 (% m/m)	≤ 0,0015 (% m/m)
7	Kandungan Abu	≤ 0,01 (% m/m)	≤ 0,02 (% massa)	≤ 0,02 (% massa)

Sumber : BPPT (2015)

Tabel 2.2 Sifat Biodiesel Minyak Biji Kapok

No	Sifat Biodiesel Minyak Biji Kapok	Nilai	Keterangan
1	Boiling Point, °C	86,6	
2	Flash Point, °C	92,0	
3	Cetane Index	47,5	
4	Gross Heating Value, BTU/lb	19,372.1	
5	Specific Gravity	0,876	
6	Viscosity, cS	5,122	
	mm ² /s	5,122	
	cP	4,487	
	Poise	0,04487	
7	Pour Point, °F	40	
8	Water Content, %		
9	CCR	0,112%	Berdasarkan metode untuk minyak diesel
10	Ash Content	0,022	

Sumber : Handoyo, R. *et al.* (2007)

2.3 Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba pentandra*)

Kapuk randu atau kapuk (*Ceiba pentandra*) adalah pohon tropis yang tergolong famili Bombacaceae, berasal dari bagian utara dari Amerika Selatan, Amerika Tengah dan Karibia, dan (untuk varietas *Ceiba pentandra* var. *guineensis*) berasal dari sebelah barat Afrika (Ramadani, R.D. 2012). Tanaman ini mampu tumbuh dan berproduksi di daerah dataran rendah sampai dataran tinggi serta dapat dikembangkan di lahan–lahan marjinal, kurang subur dan kurang sumber air (Priyono, R. 2008).

Tanaman kapuk randu merupakan salah satu komoditas perkebunan yang cukup besar di Indonesia. Tanaman ini berasal kapuk randu merupakan salah satu komoditas perkebunan yang sudah sejak lama diperdagangkan sebagai salah satu sumber serat alami. Daerah penghasil kapuk di Indonesia meliputi daerah D.I.Aceh, Jambi, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Sumatera Utara. Sampai dengan tahun 2013 luas perkebunan kapuk di Indonesia mencapai 150 hektar dengan produksi mencapai 64,8 ribu ton gelondong buah kapuk. (Dirjen Perkebunan dan Badan Pusat Statistik)



Gambar 2.5 Kulit, Serat dan Biji Kapuk Randu
Sumber : Balittas Litbang (2013:348)

Secara morfologi, setiap gelondong biji kapuk seperti pada gambar 2.5 dibagi menjadi tiga bagian, yaitu kulit gelondong, serat kapas dan biji kapuk. Pada saat ini pemanfaatan tanaman kapuk randu hanya terbatas pada komoditas serat kapuknya, hal ini menyebabkan biji kapuk menjadi limbah utama dari komoditas kapuk randu. Setiap gelondong buah kapuk mengandung 26% biji kapuk, sehingga untuk 100 kg gelondong dapat menghasilkan 26 kg biji kapuk. Biji kapuk mengandung 25–40% minyak biji. Kandungan asam lemak tak jenuh minyak biji kapuk mencapai 80% lebih tinggi dibandingkan dengan minyak kelapa, sehingga tidak cocok digunakan sebagai minyak makanan karena mudah tengik. Sesuai data Dirjen Perkebunan, jika dikonversikan ke minyak maka produksi minyak biji kapuk mencapai 22,68 ribu ton minyak (rendemen 30%) yang berpotensi sebagai salah satu sumber bahan bakar biodiesel Indonesia.

(Litbang Dirjen Perkebunan). Berikut penjelasan mengenai komposisi minyak randu dan perbandingan sifat fisik minyak nabati pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi Minyak Biji Kapuk Randu

No.	Persen	Retensi Waktu	Jenis Asam Lemak (Trigliserida)
1	0.176	44.669	Asam 9-heksadekanoat
2	24.765	45.112	Asam palmitat
3	0.556	46.553	Asam 2-heksil siklopropanoktanoat
4	0.611	47.328	Asam dekstro kamforat
5	35.107	48.283	Asam 8,11-oktadekadienoat
6	21.623	48.398	Asam elaidat
7	0.649	48.864	Asam stearate
8	0.579	49.529	Asam malvalat
9	1.005	49.659	Asam malvalat
10	2.078	50.316	Asam 2-oktil siklopropanoktanoat
11	0.334	51.386	Asam 2-oktilsiklopropena-1-oktanoat
12	0.805	52.303	Asam arakhidat
13	0.529	55.482	Asam behenat / asam dokosanoat

Sumber: Pengujian Komposisi GC-MS Laboratorium ULP Farmasi UNAIR.

2.4 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai dengan timbulnya cahaya (*flame*) dan menghasilkan kalor (Turns, 2000:6). Energi aktivasi tersebut berfungsi sebagai pemutus ikatan-ikatan molekul bahan bakar menjadi radikal bebas (ion) yang sangat reaktif. Ion-ion akan bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan yang lebih kuat dan kelebihan-kelebihan energi ikatan akan dilepas sehingga menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat tinggi.

Berdasarkan kondisi campuran bahan bakar dengan oksigen, pembakaran akan menjadi dua jenis yaitu :

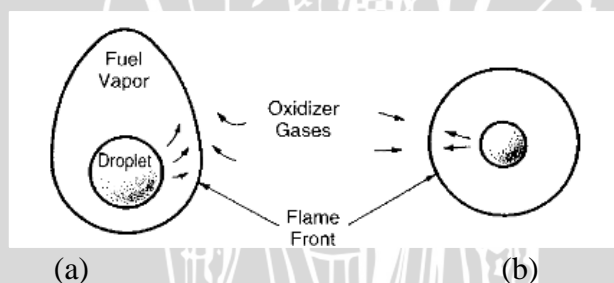
1. Pembakaran difusi yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur sendiri secara alami melalui proses difusi selanjutnya baru terjadi pembakaran (Wardana, 2008).
2. Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran. Keberhasilan dari pembakaran *premixed* dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran udara dan bahan bakar dimana pembakaran pada

campuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal.

2.4.1 Pembakaran pada *Droplet*

Pada pembakaran *droplet* biodiesel minyak biji kapuk randu terjadi dengan proses oksidasi udara atmosfer, dimana proses penguapan akan dimulai dari permukaan *droplet* kemudian berdifusi ke permukaan nyala api (*flame front*). Sementara oksigen akan bergerak dan berdifusi dari lingkungan sekeliling *droplet* menuju ke permukaan nyala api.

Bentuk dari nyala api bisa berupa *spherical* (bulat) dan *non-spherical* (tidak bulat) bergantung dari lingkungan sekitarnya dan juga bergantung dari ukuran *droplet* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Bentuk nyala api *non-spherical* dapat disebabkan karena kecepatan relatif antara udara sekeliling dengan *droplet* juga oleh karena efek konveksi alami atau gravitasi. Jika ukuran *droplet* dibuat kecil, maka *droplet* ditahan oleh gas sekelilingnya dan kecepatan relatif antara gas dengan *droplet* menjadi sangat kecil. Hal ini menyebabkan nyala api dari *droplet* dapat mendekati *spherical*.



Gambar 2.6 Model nyala api *droplet*

Sumber : Kenneth J. Kuo..*Principle of Combustion*, 2005 : 569

Setelah proses pembakaran, akan terjadi perambatan nyala api dari nyala api menuju permukaan *droplet* seperti yang tampak pada gambar 2.7. Temperatur gas hasil pembakaran yang lebih tinggi akan dipindahkan secara konveksi menuju permukaan *droplet*. Panas yang diterima oleh permukaan *droplet* akan digunakan untuk memanaskan *droplet* menuju fase gas. Peristiwa ini disebut dengan penguapan (*evaporation*). Besarnya energi yang dibutuhkan untuk penguapan *droplet* dapat diketahui dengan persamaan :

$$Q = \Delta h_v + C_{hf}(T_s - T_0) \quad (\text{Kuo, 1986 : 373}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

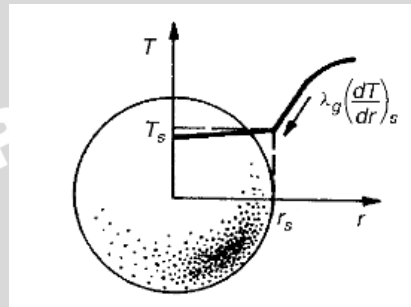
Q = energi total penguapan (kj/kg)

Δh_v = kalor laten (kj/kg)

C_{hf} = kalor jenis bahan bakar (kj/kg $^{\circ}$ C)

T_s = temperatur permukaan *droplet* ($^{\circ}$ C)

T_0 = temperatur awal *droplet* ($^{\circ}$ C)



Gambar 2.7 Distribusi temperatur pada penguapan *droplet*
Sumber : Kenneth K. Kuo. *Principle of Combustion*, 2005 : 575

2.4.1.1 Koefisien Evaporasi

Pada dasarnya koefisien evaporasi, didefinisikan berdasarkan hukum evaporasi yang secara eksperimental, dituliskan sebagai berikut :

$$d^2 = d_0^2 - \beta_v \cdot t \quad (\text{Kuo, 1986 : 372}) \quad (2-2)$$

Maka

$$\beta_v = \frac{d_0^2 - d^2}{t} \quad (\text{Kuo, 1986 : 372}) \quad (2-3)$$

Dengan :

d = diameter *droplet* dalam waktu t (mm)

d_0 = diameter awal *droplet* (mm)

β_v = koefisien evaporasi

t = waktu (detik)

Dari rumusan diatas menyatakan bahwa perubahan diameter *droplet* akan semakin mengecil seiring dengan berjalannya waktu karena menguapnya sebagian

massa *droplet* sebagai akibat terjadinya perpindahan panas yang merubah fase *droplet* dari cair menjadi uap yang terbakar.

2.4.2 Karakteristik Pembakaran

a. *Ignition Delay*

Ignition delay adalah waktu yang diperlukan antara bahan bakar mulai diinjeksikan sampai terjadinya titik api (Siagian, A dan S, Mawardi 2013). Pada jeda waktu antara injeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan munculnya titik api, jika dianalisa lebih mendalam, maka bahan bakar akan mengalami proses kimia maupun fisika yang kompleks contohnya adalah atomisasi dan evaporasi bahan bakar (Raslavicius, 2010).

b. *Burning Rate* (Kecepatan Pembakaran)

Burning rate atau kecepatan pembakaran merupakan massa dari bahan bakar solid atau cair yang dikonsumsi per unit waktu. Secara umum kecepatan pembakaran diukur berdasarkan massa, sehingga satuannya adalah gram per detik (Quintiere, 1997). Pada pembakaran *droplet* sangat sulit untuk mengukur kecepatan pembakaran berdasarkan massa karena ukuran yang terlalu kecil, sehingga untuk mengukur kecepatan pembakaran dapat digunakan perbandingan diameter yang ditinjau dari luas permukaan. Sehingga satuannya menjadi milimeter kuadrat (mm^2) per detik.

c. Temperatur Pembakaran

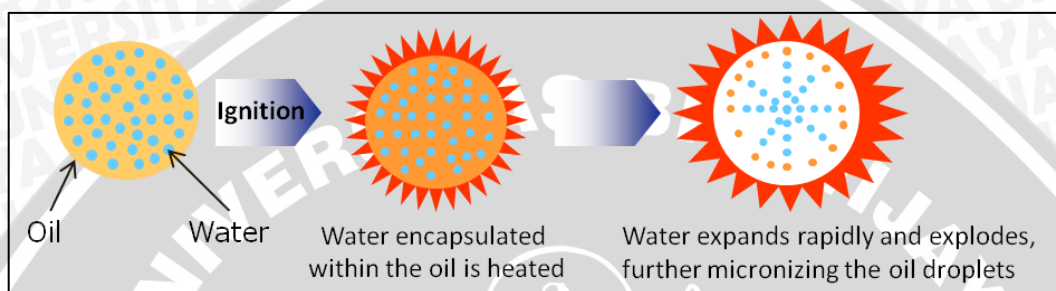
Temperatur api adalah temperature mulai terjadinya pembakaran.

2.6 *Microexplosion*

Microexplosion adalah ledakan *droplet* karena terjadinya penguapan internal di dalam *droplet*. Ledakan tersebut berpotensi meningkatkan *engine performance* karena dapat menjadi atomisasi bahan bakar (Zeng, Y. dan Lee, C. 2007). *Microexplosion* mengakibatkan *droplet* pecah menjadi butiran-butiran kecil sehingga membantu mempercepat penguapan dan pembakaran. Selain itu kualitas campuran bahan bakar dengan udara akan meningkat sehingga dapat terjadi pembakaran yang lebih sempurna (Dewi, R. 2012).

Menurut Alam, S.S (2013), *microexplosion* disebabkan karena kecepatan difusi massa yang terbatas dari *droplet*. Komponen yang memiliki volatilitas rendah tidak dapat muncul ke permukaan cukup cepat untuk mengimbangi laju penguapan yang lebih cepat dari komponen yang lain, sehingga fraksi massa dari komponen yang memiliki

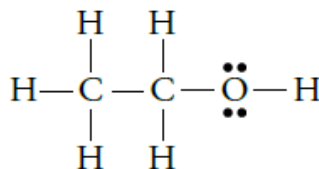
volatilitas lebih rendah di dalam *droplet* lebih besar daripada di permukaan. Sebagai konsekuensinya, walaupun temperatur permukaan *droplet* tidak melebihi nilai titik didihnya, temperatur di beberapa daerah dalam *droplet* kemungkinan lebih besar daripada nilai *boiling point* sehingga terdapat gas yang terjebak didalam *droplet* menciptakan gelembung-gelembung udara. Ketika temperatur di dalam *droplet* cukup tinggi maka terjadilah ledakan (*microexplosion*) (Wang, C.H. *et al* 1984). Tahapan dari *microexplosion* ditunjukkan pada ilustrasi gambar 2. 8.



Gambar 2.8 Tahapan *Microexplosion*
Sumber : Nanomizer Inc, 2012

2.7 Etanol

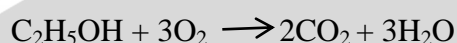
Etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) adalah alkohol yang memiliki golongan senyawa terdiri dari hidroksida $-\text{OH}$ yang diikat oleh atom karbon (C) yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Etanol memiliki titik lebur -114.1°C , memiliki titik didih 78.5°C dan densitas sebesar 0.789 g/mL pada suhu 20°C . (Shakashiri, 2009). Etanol merupakan cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, tak berwarna dan merupakan alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Mulyono dan T, Suseno 2010).



Gambar 2.9 Rumus Kimia Etanol
Sumber : Bishop, M. (2001: 448)

Etanol memiliki beberapa keuntungan yaitu merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dari lahan pertanian seperti *sugar beet*, gandum, jagung, tebu melalui proses biokimia. Selain itu etanol memiliki kandungan oksigen sebesar 34 % dari beratnya (Shahir, S.A *et al.* 2014) sehingga bila dicampur dengan

bahan bakar dalam silinder mesin akan mengurangi emisi dari *carbon monoxide* (CO) dan *hydrat carbon* (HC) (Iodice, P dan A. Senatore 2013). Hal ini disebabkan karena pembakaran bahan bakar yang mengandung alkohol mengarah pada pembakaran miskin (*lean combustion*) dimana udara yang tersedia lebih banyak daripada udara yang dibutuhkan untuk pembakaran dengan bahan bakar minyak bumi. Pada pembakaran etanol, reaksi kimia etanol yang terbakar di udara akan membentuk karbon dioksida dan air (Pandu, 2009). Adapun reaksi pembakaran etanol sebagai berikut :



2.7.1 Pengaruh Penambahan Etanol terhadap *Burning Rate*

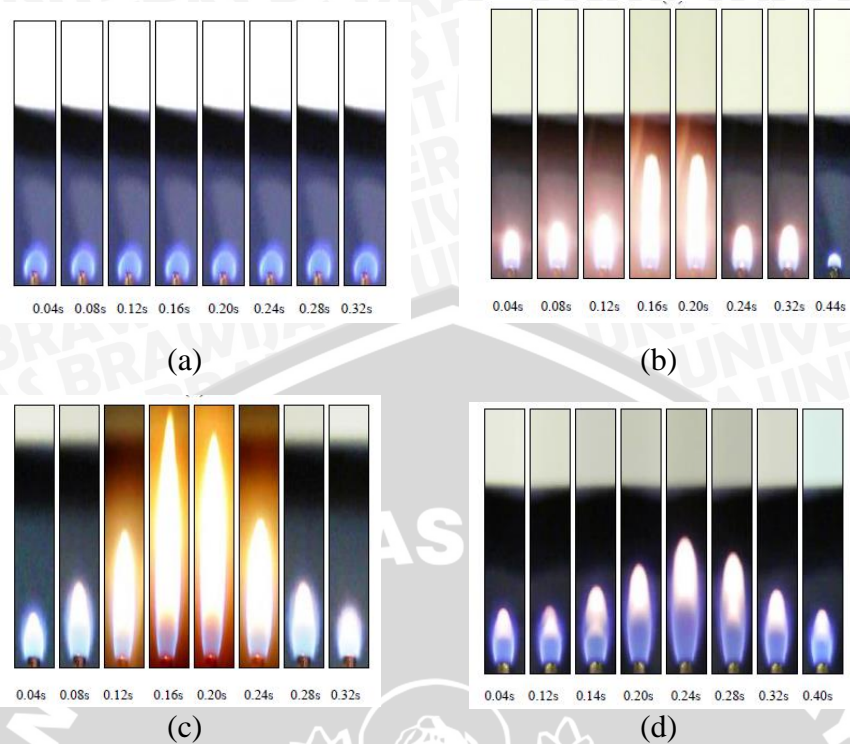
Etanol memiliki kandungan oksigen pada rantai karbonnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Adanya konsentrasi oksigen dalam etanol menyebabkan proses pembakaran terjadi semakin cepat (Long-Pan, K. 2013). Selain itu penambahan etanol juga memicu terjadinya *microexplosion*. Kehadiran *microexplosion* dapat menjadi atomisasi sekunder sehingga mempercepat proses pembakaran

2.7.2 Pengaruh Penambahan Etanol terhadap *Ignition Delay*

Etanol memiliki *boiling point* sebesar 78.5° C (Shakashiri, 2009) lebih rendah daripada nilai *boiling point* biodiesel minyak biji kapuk yakni 86,6°C (Tabel 2.2). Oleh karena itu pencampuran etanol dengan biodiesel menurunkan temperatur penyalaan bahan bakar. Hal tersebut disebabkan terjadi pembakaran terlebih dahulu oleh etanol yang memicu pembakaran biodiesel sehingga menurunkan *ignition delay*.

2.7.3 Pengaruh Penambahan Etanol terhadap Dimensi Api

Pengaruh penambahan etanol pada bahan bakar biodiesel telah diteliti sebelumnya (Robbi, T. 2014). Dalam penelitiannya, biodiesel minyak jarak dicampur dengan variasi campuran etanol (10%, 20%, 30%, 40% dan 50%) dan variasi debit bahan bakar untuk mengetahui karakteristik nyala api pembakaran difusi. Dari hasil penelitian pada pembakaran difusi didapatkan visualisasi nyala api laminar.



Gambar 2.10 Visualisasi Bentuk Api (a) etanol (b) biodiesel (c) E30 dan (d) E40
Sumber : Robbi, T. (2014)

Pada gambar (a) merupakan visualisasi nyala api pembakaran etanol yang menunjukkan nyala api yang stabil berwarna biru. Sedangkan pada gambar (b) merupakan visualisasi nyala api pembakaran minyak biodiesel yang berwarna kuning. Pada gambar (c) dan (d) warna yang tercipta dua warna yaitu warna biru dan kuning. Warna biru mengindikasikan pembakaran yang miskin karena etanol pembakaran bahan bakar yang mengandung alkohol mengarah pada pembakaran miskin (*lean combustion*) yang ditandai dengan dengan api yang berwarna biru. Api berwarna kuning merupakan indikasi adanya pembentukan jelaga

Dari gambar (c) dan (d) terlihat perbedaan yang jelas antara lebar dan tinggi api pada campuran etanol 30% dan campuran etanol 40%. Lebar api dan tinggi api berkurang dengan bertambahnya konsentrasi etanol karena pembakaran yang terjadi semakin sempurna dimana sisa bahan bakar yang belum terbakar lalu terbakar secara difusi dengan udara sekitar.

2.8 Tekanan

Tekanan didefinisikan sebagai sebuah gaya normal yang bekerja pada suatu fluida per luas area sehingga memiliki rumus newton per meter kuadrat (N/m^2), yang biasa disebut dengan Pascal (Pa). Dalam pengukuran tekanan terdapat beberapa istilah

diantaranya tekanan absolut (*absolute pressure*), tekanan gauge (*gauge pressure*) dan tekanan vakum (*vacuum pressure*).

Tekanan absolut adalah tekanan yang diberikan pada suatu keadaan dan diukur relatif terhadap *absolute vacuum* (*absolute zero pressure*). Sedangkan tekanan *gauge* adalah tekanan yang terbaca pada alat ukur. Tekanan vakum adalah tekanan dibawah tekanan atmosfer yang diukur oleh alat ukur vakum yang mengindikasikan perbedaan tekanan atmosfer dan tekanan absolut. Tekanan absolut, *gauge* dan vakum dapat dihubungkan sebagai berikut.

$$p_{gauge} = p_{abs} - p_{atm} \quad (\text{Cengel, 2005 : 48}) \quad (2-4)$$

$$p_{vac} = p_{atm} - p_{abs} \quad (\text{Cengel, 2005 : 48}) \quad (2-5)$$

Penguapan bahan bakar *droplet* pada tekanan dan temperatur tinggi menjadi dasar mekanisme *spray combustion* pada ruang bakar mesin-mesin pembakaran dalam dengan bahan bakar cair seperti gas turbin, mesin diesel dan roket semakin ditingkatkan. (Ghassemi, 2005). Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan efisiensi termal yang lebih tinggi (Alam, S. 2013).

2.8.1 Pengaruh Tekanan terhadap *Burning Rate*

Pada gambar 2.3(a) menunjukkan bahwa *burning rate* meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan. Hal tersebut dikarenakan dengan meningkatnya tekanan maka temperatur pembakaran mengalami kenaikan sehingga *burning rate* ikut meningkat.

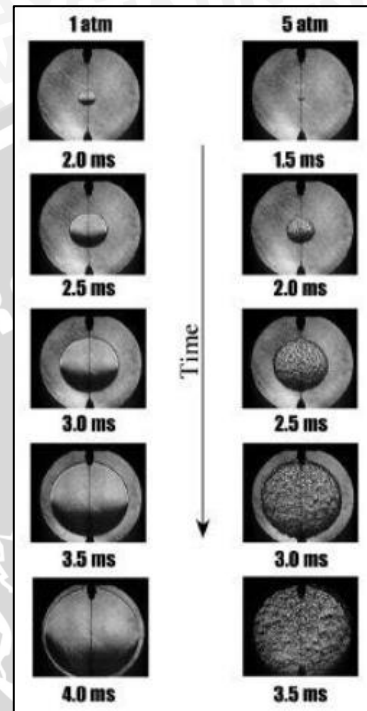
2.8.2 Pengaruh Tekanan terhadap *Ignition Delay*

Penambahan tekanan pada ruang bakar dapat meningkatkan temperatur di dalam *droplet* sehingga *droplet* dapat menguap lebih cepat dan mengurangi *ignition delay*. Peningkatan tekanan pada ruang bakar menyebabkan meningkatnya difusivitas gas yang membuat entalpi penguapan (h_{fg}) menurun sehingga memudahkan bahan bakar cair berubah menjadi uap sehingga proses pembakaran cepat terjadi.

2.8.3 Pengaruh Tekanan terhadap Dimensi Api

Peningkatan tekanan pada ruang bakar berpengaruh pada visualisasi nyala api. Dalam laporan NASA (2001) menemukan bahwa peningkatan tekanan pada ruang bakar

mengakibatkan terbentuknya kerutan (*wrinkles*) pada visualisasi api seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Kerutan tersebut disebabkan karena proses kimia pembakaran yang terjadi semakin cepat sehingga menyebabkan *rate of consumption fuel* meningkat, menciptakan api yang tidak stabil.



Gambar 2.11 Perbedaan visualisasi api pada tekanan 1 atm dan 5 atm
Sumber : NASA (2001)

Selain menimbulkan api yang tidak stabil, penambahan tekanan juga menyebabkan meningkatnya tinggi api karena faktor densitas. Densitas atau massa jenis didefinisikan sebagai massa per unit volume (Cengel 2005). Rumus dari densitas adalah sebagai berikut.

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \text{(Cengel, 2005 : 38) (2-5)}$$

Dengan :

ρ = densitas massa jenis (kg/m³)

m = massa zat (kg)

v = volume zat (m³)

Pada pembakaran *droplet*, massa *droplet* diukur dari sedangkan volumenya dapat diukur dengan menghitung volume bola dengan mengukur diameter *droplet* terlebih

dahulu. Pada pembakaran *droplet* dimana bahan bakar berbentuk cair, densitas dari *droplet* sangat dipengaruhi oleh temperatur. Ketika temperatur dari *droplet* mencapai titik didih maka *droplet* berubah menjadi gas yang memiliki densitas lebih rendah dari udara sekitarnya sehingga gas semakin mudah untuk bergerak keatas sehingga api cenderung untuk menuju ke atas.

2.9 Hipotesa

Semakin tinggi konsentrasi campuran etanol dan semakin meningkatnya tekanan ruang bakar pada pembakaran *droplet* biodiesel minyak biji randu akan meningkatkan temperatur didalam *droplet* sehingga meningkatkan temperatur pembakaran dan *burning rate* sehingga menurunkan *ignition delay*. Selain itu tinggi api juga mengalami peningkatan karena densitas bahan bakar yang menurun sehingga mengakibatkan bahan bakar semakin mudah bergerak ke atas sehingga mengakibatkan api bertambah tinggi namun lebar api semakin kecil.

