

## PENGUJIAN ARAK BALI SEBAGAI ADITIF BAHAN BAKAR

<sup>1)</sup> I Made Suarta, <sup>2)</sup> I Putu Darmawa

<sup>1,2)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

### ABSTRAK

Arak diperoleh dari penyulingan tuak (nira) dari pohon rontal, enau atau kelapa yang mempunyai sifat mudah terbakar (*flameable*). Arak adalah etanol, jika proses penyulingan dengan temperatur 78,1°C menghasilkan arak (etanol) dengan kadar lebih tinggi yang sering disebut arak api di Bali. Secara teoritis proses penyulingan akan menghasilkan arak dengan kadar maksimum 95,5% yang sering disebut etanol azeotrop. Langkah pertama yang dilakukan dalam pengujian arak bali sebagai bahan bakar adalah pengujian terhadap kadar air. Pengujian kadar air arak bali hasil Laboratorium Kimia adalah 70% atau etanol 30%. Selanjutnya dilakukan distilasi lanjutan untuk mengurangi kadar air sampai komposisi azeotrope. Pengujian kecepatan pembakaran arak bali dilakukan dalam ruang bakar *cylinder show shell*. Proses pembakaran direkam menggunakan kamera kecepatan 420 fps. Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan pembakaran arak bali komposisi azeotrope lebih tinggi dari etanol 99% pada campuran stoichiometri dan kaya.

Kata kunci : Arak, Arak bali, Etanol basah, Kecepatan pembakaran

Arak didapat dari nira. Dalam bahasa ilmiah arak disebut dengan alkohol. Kalau dalam gugus alkohol terdapat dua atom C(Carbon) maka disebut etanol. Jadi istilah ilmiah untuk arak adalah etanol. Bioetanol adalah campuran antara bensin dengan alkohol. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor sudah biasa dilakukan. Bioetanol merupakan campuran bahan bakar bensin dengan etanol murni (absolut). Penggunaan etanol murni sebagai bahan aditif bahan bakar membutuhkan energi yang sangat tinggi dalam proses pemurniannya.

Arak bali adalah bahan bakar alternatif seperti ethanol [13]. Arak bali mengandung sedikit kadar air, berbeda dengan alkohol murni yang hanya mengandung maksimum hanya 1% air [14]. Karena dalam proses pemurnian arak (Etanol basah) agar menjadi arak etanol murni tidak mungkin dilakukan dengan proses penyulingan maka prosesnya menjadi sangat rumit dan membutuhkan biaya yang sangat tinggi. Kadar tertinggi yang bisa didapat dari hasil penyulingan adalah 95,6% maka hasilnya dalam istilah ilmiah disebut etanol basah (sering juga disebut azeotropik etanol/ hydrous ethanol[14]) adalah etanol dengan sedikit kadar air yang dapat diproduksi dengan proses destilasi sederhana, tanpa dibutuhkan langkah destiasi lanjutan (penyaringan molekul/molecular sieves) untuk menjadikan etanol kering. Etanol azeotrope menguap pada suhu 78,1 °C [1] dibandingkan dengan alkohol murni 78,8 °C [2].

Salah satu cara untuk mengurangi biaya produksi bahan bakar renewable yang terbuat dari fermentasi tanaman adalah menggunakannya dengan sedikit kadar air. Saat ini, komposisi normal bahan bakar etanol hidrat (azeotrope) adalah sekitar 92,6 %(186 proof) - 96,5 % (192 proof)[1,3,4,5,6]. Campuran zeotrope dapat tercapai selama proses distilasi. Dan biaya produksi dapat berkurang secara dramatis jika konsumsi energi pada proses penyulingan dapat dikurangi, meskipun meninggalkan persentase air yang lebih tinggi.

Meskipun memiliki keuntungan seperti biaya produksi menjadi murah dan dapat diproduksi secara home industri tetapi arak murni hasil penyulingan juga memiliki beberapa kelemahan signifikan. Yang paling menyolok adalah densitas energi yang rendah[14]. Etanol hidrat memiliki nilai kalor 24,99 MJ/kg [1,3], dibandingkan dengan etanol kering 26,8.Mj/kg. [7,8,11] dan bensin sebesar 44 MJ/kg [5].

Rodrigo C. Costa, José R. Sodré [3]. Melakukan pengujian etanol basah pada mesin dengan kadar air 6,8%v/v (etanol 93,2%v). Menyatakan pembentukan jembatan hidrogen dalam molekul etanol mengakibatkan suhu didih lebih tinggi dibandingkan dengan bensin. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan hidrous etanol menghasilkan power yang lebih tinggi pada putaran mesin tinggi.

Samveg Saxena, et al. [9]. Melakukan pengujian penggunaan etanol basah sebagai bahan bakar pada mesin HCCI. Bahan bakar yang diuji dari adalah 100% - 80% etanol fraksi volume. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa: output daya tinggi, terjadi pada equivalen rasio tinggi. Penggunaan etanol basah secara langsung sebagai bahan bakar dapat meningkatkan keseimbangan antara energi yang dihasilkan dengan energi yang dibutuhkan pada saat proses produksi.

Tadeu C. Et al.[1]. Mengatakan bahwa hidrous etanol adalah etanol dengan komposisi 95,1%v – 96%v. Penelitian ini meneliti pengaruh penggunaan etanol basah 95,7%v/v dan penambahan campuran etanol basah pada bahan bakar campuran gasolin dengan etanol kering (25%v/v etanol kering dengan 75%v/v gasolin). Etanol basah adalah azeotrope dengan temperatur penguapan 78,1 °C dengan kadar air 4,4% v/v dan tidak dapat dimurnikan lebih lanjut dengan metode destilasi. Ini juga menjadi catatan bahwa H100 membutuhkan durasi pembakaran lebih singkat dan emisi CO yang lebih kecil dari campuran etanol kering dengan bensin.

I.Schifter, et al.[10]. Melakukan penelitian untuk mengungkap analisis kuantitatif emisi gas buang dan performa mesin menggunakan campuran bahan bakar hydrous etanol mid-level (0-40% volume), etanol hydrous (96%) merupakan bahan bakar yang praktis jika digunakan sebagai pengganti campuran bensin-etanol anhidrat tradisional. Pengujian dilakukan pada mesin satu silinder dengan equivalen rasio bervariasi 0,9-1,1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan kompresi lebih tinggi dan suhu intake manifold rendah dicapai dengan campuran etanol basah. Selain itu, laju pembuangan panas, efisiensi pembakaran, dan efisiensi termal pembakaran tidak terpengaruh oleh kadar air. Hasil praktis dari pembakaran bahan bakar hydrous adalah berkurangnya emisi nitrogen ksida sebagai akibat dari peningkatan kadar air dalam bahan bakar.

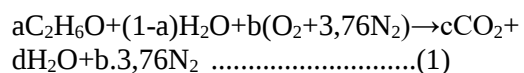
Baine B. Breaux, et al [5] melakukan pengujian terhadap etanol dengan komposisi dari 0-40% air. Etanol basah adalah campuran azeotropic pada komposisi 95,57% etanol. Dalam penelitiannya temperatur adiabatik pembakaran dihitung dengan NASA CEA code. Temperatur adiabatik pembakaran etanol meningkat seiring dengan berkurangnya kadar air, dan temperatur maksimum terjadi pada equivalence ratio antara 1 dan 1,1. Temperatur adiabatik maksimum untuk etanol 95% pada  $Eq=1$  adalah 2350 °K. Penelitiannya menyimpulkan bahwa LBO (lean blow out =batas terendah dari equivalence ratio)

meningkat sebanding dengan peningkatan kadar air. Penelitiannya memberi catatan bahwa LBO menurun jika komposisi bahan bakar berubah dari 0% sampai 5% air. Ini menunjukkan bahwa penambahan sedikit air ke dalam bahan bakar sebenarnya menurunkan batas LBO dan menstabilkan api. Hal ini berlawanan dengan hubungan antara batas LBO dengan kadar air.

Derek Bradley, et al [4]. Melakukan pengujian terhadap kecepatan nyala etanol dan etanol basah, Etanol yang diuji adalah kadar 96,5%v/v. Sangat menarik penggunaan etanol hydrous secara langsung pada mesin, karena tidak membutuhkan energi lebih lanjut untuk proses pemurnian. Tapi masih sangat sedikit data terhadap karakteristik pembakarannya. Dalam penelitiannya kecepatan nyala maksimum etanol terjadi pada equivalen ratio 1,1 yaitu sebesar 2,7 m/s, sedangkan untuk etanol basah adalah 26 m/s.

Langkah pertama dalam menguji kelayakan etanol hydrous sebagai bahan bakar adalah dengan mengevaluasi beberapa karakteristik penggunaannya. Yang meliputi nilai kalor, temperatur nyala adiabatik, reaksi pembakaran etanol untuk menentukan AFR bahan bakar, sebagai konsekuensi dari penambahan air.

Jika kita mengasumsikan reaksi umum untuk etanol maka kita akan menganggap bahwa untuk pembakaran sempurna pada kondisi stoikiometri produk yang akan terjadi hanya  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan  $N_2$ . Hal ini penting untuk menentukan rasio udara-bahan bakar stoikiometri untuk etanol sebagai bahan bakar dengan kadar air bervariasi. Hal ini dilakukan dengan menyeimbangkan Persamaan 1



Koefisien a ditentukan oleh persen volume etanol. Koefisien c dan d didapat dengan me-nyeimbangkan karbon dan hidrogen di seluruh reaksi. Oksigen kemudian dijumlahkan sehingga koefisien b ditentukan. Dengan menyeimbangkan koefisien 3,76b kita dapat menentukan rasio molekul udara-bahan bakar fraksi mol. Dengan menggunakan Massa molekul kita dapat menentukan rasio udara-bahan bakar fraksi massa ( $AFR_m$ ).

$$AFR_m = \frac{m_a}{m_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f} = AFR_s \frac{M_a}{M_f} \quad (2)$$

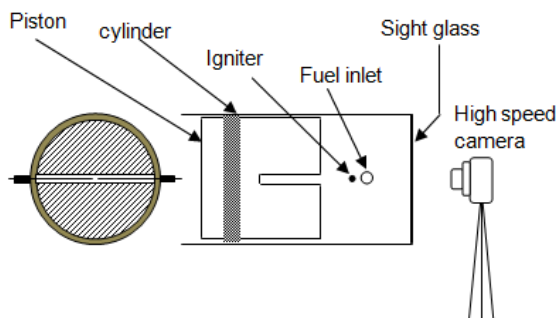
Equivalence Ratio digunakan untuk menyatakan bahwa campuran udara-bahan bakar adalah campuran miskin, stoichiometri atau campuran kaya. Equivalence ratio merupakan perbandingan antara AFRs (AFR stoichiometri) dengan AFRa (AFR aktual) [4]

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{AFR_s}{AFR_a} = \frac{AFR_s}{\frac{N_a}{N_f}} = \frac{N_f}{N_a} AFR_s \\ \theta &= \frac{\frac{m_f}{M_a}}{\frac{m_a}{M_a}} AFR_s = \left(\frac{m_f}{m_a}\right) \left(\frac{M_a}{M_f}\right) AFR_s = \left(\frac{m_f}{m_a}\right) AFR_m \\ \theta &= \left(\frac{m_f}{m_a}\right) AFR_m = \frac{(\rho_f)(V_f)}{(\rho_a)(V_a)} AFR_m \dots \dots \dots (3)\end{aligned}$$

Nilai kalor Arak api ditentukan berdasarkan kadar air yang terkandung dalam arak tersebut.. Prosen massa dari etanol hidrous dikalikan dengan Nilai dari LHV etanol kering maka didapat nilai kalor arak. Dengan menggunakan data bahwa LHV ethanol kering adalah 26,8 MJ/kg. Maka nilai kalor arak (etanol basah) dapat ditentukan.

### Eksperimen set up and prosedure

Perangkat penelitian dapat dilihat pada gambar gambar 1.



Gambar 1. Perangkat Penelitian.

Arak api yang telah didestilasi secara fraksinasi di laboratorium kimia Politeknik Negeri Malang dan Ethanol dengan kemurnian 99,7% didapat dari Merc, diuji kecepatan pembakarannya. Pengujian kecepatan api laminar menggunakan ruang bakar syllinder Explosion bomb dengan diameter 135mm dan panjang 270mm yang juga digunakan oleh [4].

Penelitian ini dilakukan pada tekanan dan temperatur ruangan (32°C). Bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu dalam *mixing chamber* sesuai equivalence ratio. Selanjutnya reaktan dimasukkan ke dalam ruang bakar, pada

awalnya lubang bilas dibiarkan terbuka untuk mengeluarkan udara dalam alur pemantik setelah beberapa saat lubang bilas ditutup. selanjutnya dengan menarik piston kebelakang untuk menarik reaktan dari *mixing chamber* kedalam ruang bakar sampai volume yang ditentukan. Sebelum pemantik dinyalakan camera HS dinyalakan dan diseting pada kecepatan 420 fps. Selanjutnya pemantik dinyalakan. Adapun variasi bahan bakar yang diuji seperti terlihat pada tabel 1.

Hasil rekaman berupa DVD vedio diekstrak menjadi gambar, selanjutnya diameter api diukur dengan program Imagej.

### Analisa nyala

Jari-jari nyala dihitung pada lingkaran yang dibentuk oleh luas foto nyala. Sesuai dengan teori bola api laminar, gas hasil pembakaran bergerak keluar, sehingga jarak permukaan api berhubungan dengan kecepatan pembakaran laminar gas terbakar. Kecepatan pembakaran laminar dapat diturunkan dari metode pertumbuhan nyala. Dimana Kecepatan nyala mulur  $S_n$  diturunkan dari radius  $r$  nyala terhadap waktu  $t$ :

$$S_n = \frac{dr_b}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana  $r_b$  adalah radius nyala dan  $t$  adalah waktu. Laju mulur nyala  $\alpha$  untuk api berbentuk bola didapat pada setiap titik pada permukaan nyala, dengan:

$$\alpha = \frac{d(\ln A)}{dt} = \frac{dA/A}{dt} = \frac{dA}{A \cdot dt} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana  $A$  adalah luas permukaan nyala. Dalam kasus api menyebar berbentuk bola (spherically propagating premixed flame) laju api mulur dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{dA}{A \cdot dt} = \frac{d(\pi r_b^2)}{\pi r_b^2 dt} = \frac{2\pi r_b dr_b}{\pi r_b^2 dt} = \left(\frac{2}{r_b}\right) \left(\frac{dr_b}{dt}\right) \\ &= \left(\frac{2}{r_b}\right) S_n \dots \dots \dots (6)\end{aligned}$$

Penilaian terhadap data pengamatan diukur pada luas permukaan api dimulai dari saat penyalaan. Permukaan nyala diekstrak dari tangkapan film. Gambar hasil ekstrak pertumbuhan api diasumsikan terjadi pada tekanan konstan.

Dimana  $S_s$  adalah kecepatan nyala tidak mulur (unstretched flame speed). Nilai  $S_s$  didapat dengan cara memplot nilai  $S_n$  pada  $\alpha=0$ .  
 $S_n - S_s = L_b \cdot \alpha \quad S_s = L_b \cdot \alpha + S_n$  jika  $\alpha = 0$  maka  $S_s = S_n$

Dalam memplot  $S_n$  terhadap  $\alpha$ , gradien garis lurus merupakan nilai  $L_b$  dari data yang didapat. Kecepatan pembakaran laminar tidak mulur (unstretched laminar burning velocity)  $S_L$  diturunkan dari  $S_s$  yaitu:

$$S_L = \frac{\rho_b}{\rho_u} S_s \dots \dots \dots (7)$$

$\rho_b$  dan  $\rho_u$  adalah densitas gas hasil pembakaran dan densitas reaktan.  $\rho_b$  dihitung pada temperatur nyala adiabatik.

Hal lain yang sangat penting dalam sifat pembakaran yang harus diperhitungkan adalah

temperatur adiabatik dari nyala campuran. Cara untuk menghitung temperatur adiabatik pembakaran dilakukan dengan cara termodinamika yaitu kesetimbangan entalpi dari reaksi pembakaran reaktan dan produk. Karena entalpi secara termodinamika berhubungan dengan temperatur sehingga sangat mungkin untuk perhitungan terhadap temperatur produk yang homogen. Cara yang lebih mudah untuk menghitung temperatur adiabatik ditawarkan dalam "Chemical Engineering Thermodynamics" by J. M. Smith, H. C. Van Ness, M. M. Abbott.[15]. Temperatur adiabatik nyala dapat dihitung dengan persamaan:

$$T_p = \frac{LHV}{\sum(m_i C_{pi})} + T_0 \dots \dots \dots (8)$$

Tabel 1 Karakteristik bahan bakar yang diuji

| Jenis       | $\rho$ | $\Theta$ | Tu   | Tb   | $\rho_u$ | $\rho_b$ | $\rho_b/\rho_u$ |
|-------------|--------|----------|------|------|----------|----------|-----------------|
| Bahan bakar | (g/cc) |          | (°K) | (°K) | (g/l)    | (g/l)    |                 |
| Alkohol 99% | 0,787  | 0,9      | 305  | 2119 | 1,1928   | 0,1617   | 0,1355          |
|             |        | 1        | 305  | 2253 | 1,1970   | 0,1521   | 0,1271          |
|             |        | 1,1      | 305  | 2296 | 1,2011   | 0,1462   | 0,1217          |
| Arak bali   | 0,811  | 0,9      | 305  | 2010 | 1,1915   | 0,1703   | 0,1429          |
|             |        | 1        | 305  | 2136 | 1,1955   | 0,1602   | 0,1340          |
|             |        | 1,1      | 305  | 2177 | 1,1995   | 0,1540   | 0,1283          |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat igniter dinyalakan percikan api terjadi ditengah ruang bakar. Selanjutnya api menyebar bebas dari sumber percikan kearah reaktan yang diam. Gambar. 2 menunjukkan foto

pertumbuhan api dari arak api bali dan etanol 99%v pada equivalence rasio 1 berbentuk piringan dengan diameter meningkat setiap 2,381 ms.



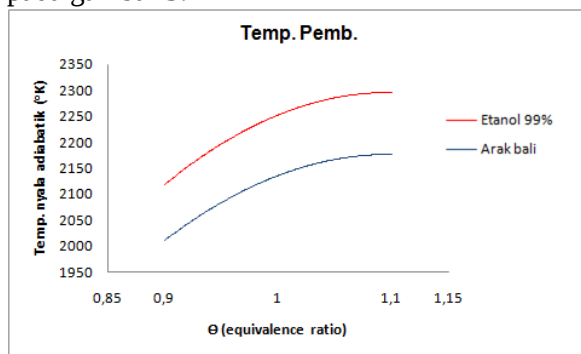
Gambar 2 Model perkembangan diameter nyala dari arak bali b. Model perkembangan diameter nyala dari etanol 99%v Interval waktu 2,381 ms ( $\Theta = 1$ ,  $T_u = 305$  °K,  $P_u = 0.1$  Mpa).

Nilai kalor arak bali ditentukan berdasarkan kadar air yang terkandung dalam arak tersebut. Prosen massa dari arak bali dikalikan dengan nilai dari LHV etanol kering dibagi seratus maka didapat nilai kalor arak bali. Dengan menggunakan data bahwa LHV etanol kering adalah 26,8 MJ/kg [1,8,11]. Maka nilai kalor arak bali dapat dilihat pada tabel 2. Hasil ini mendekati hasil yang didapat oleh [1].

Tabel 2. Nilai kalor arak bali

| % Volume | % Massa | LHV etanol murni (MJ/kg) | LHV Arak bali (MJ/kg) |
|----------|---------|--------------------------|-----------------------|
| 94,6     | 91,86   | 26,8                     | 24,71                 |

Dengan menggunakan persamaan 8 perbandingan temperatur gas hasil pembakaran antara arak bali dan etanol 99%v dapat dilihat pada gambar 3.

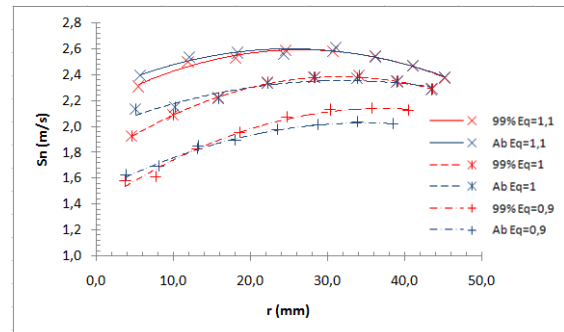


Gambar 3. Temperatur adiabatik gas hasil pembakaran arak bali dan etanol 99%v

Pada gambar 3 terlihat bahwa temperatur gas hasil pembakaran arak bali lebih rendah dari etanol 99%v. Ini disebabkan adanya kadar air dari arak bali yang menurunkan nilai kalor sehingga temperatur pembakaran juga turun. Penurunan temperatur gas hasil pembakaran memberikan dampak yang lebih baik karena akan terbentuk lebih sedikit kadar NO<sub>x</sub> nya.

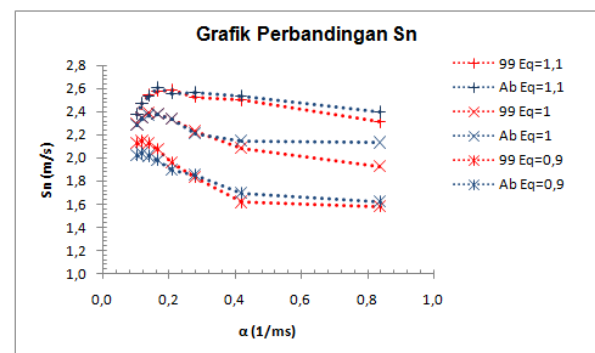
Pada gambar 4 ditunjukkan variasi kecepatan nyala ( $S_n$ ) dari arak api bali dan etanol 99%v terhadap radius nyala ( $r$ ) pada campuran miskin, stoikiometri dan kaya, pada temperatur dan tekanan atmosfer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan api dengan radius jauh lebih besar untuk api campuran kaya pada periode yang sama. Hal ini dapat dijelaskan bahwa untuk

bahan bakar yang mengandung air dibutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan energi yang sama sehingga menghasilkan kecepatan nyala yang sama. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [3,5].

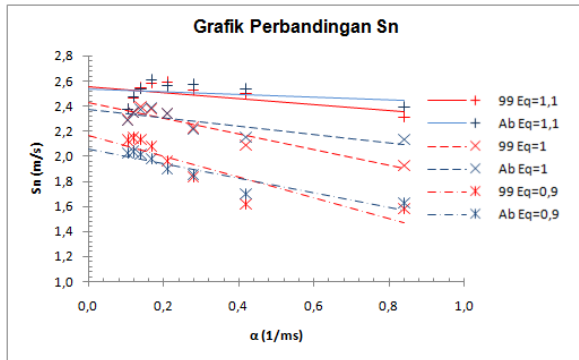


Gambar 4. Perbandingan kecepatan nyala terhadap radius nyala pada campuran miskin, stokiometri dan campuran kaya.

Pada Gambar.5 ditunjukkan variasi kecepatan nyala ( $S_n$ ) terhadap total peregangannya nyala ( $\alpha$ ). Pada radius api kecil peregangannya terjadi sangat tinggi, dan kecepatan api juga tinggi. Selanjutnya kecepatan api perlahan menurun karena berkurangnya peregangannya, sampai tercapai suatu keadaan dimana api menjadi tidak stabil kemudian padam.

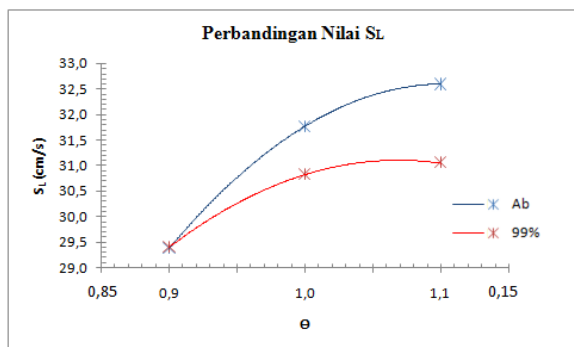
Gambar 5 Nilai  $S_s$  dari arak api bali dan etanol 99%v terhadap peregangannya yang terjadi pada campuran miskin, stoichiometri dan kaya.

Dengan menggunakan persamaan 6 jika nilai  $S_n$  diproyeksikan pada nilai  $\alpha=0$  maka didapat nilai kecepatan nyala tidak mulur ( $S_s$ ) dari masing masing bahan bakar, seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Nilai dari kecepatan nyala tidak mulur ( $S_n$ ) dari arak api bali dan etanol 99%v terhadap peregang yang terjadi pada campuran miskin, stoichiometri dan kaya.

Kecepatan pembakaran laminar ( $S_L$ ) didapat dari persamaan 7. Nilai perbandingan kecepatan pembakaran laminar ( $S_L$ ) dari arak api bali dan etanol kering (99%v) dapat dilihat pada gambar 7. Ab adalah arak api bali, 99% adalah etanol kering dengan kemurnian 99%v. Pada gambar 7 terlihat bahwa nilai  $S_L$  dari kedua bahan bakar memiliki nilai yang sama pada campuran miskin. Selanjutnya kecepatan pembakaran laminar dari arak api bali lebih tinggi dari etanol kering pada campuran stoichiometri dan kaya. Kecepatan pembakaran maksimum terjadi pada campuran kaya yaitu sebesar 32,59 cm/detik untuk arak api bali dan 31,05 cm/detik untuk etanol kering.



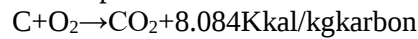
Gambar 7. Perbandingan kecepatan pembakaran laminar arak api bali dengan etanol kering

Nilai dari  $S_L$ , dipengaruhi oleh kombinasi dari beberapa faktor seperti panjang rantai, nilai kalor dan emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar. Semakin pendek rantai bahan bakar kecepatan pembakaran akan meningkat [12]. Semakin tinggi nilai kalor kecepatan pembakaran akan meningkat. Hasil penelitian

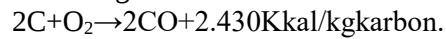
ini juga didukung oleh [1] yang menyatakan durasi pembakaran dari hidrous etanol 95,6 lebih singkat dari campuran gasolin dan etanol kering.

Sedikit kadar air dalam arak api bali dapat berfungsi sebagai oksigenit dalam proses pembakaran. Oksigenit yang terdapat dalam arak api bali mengakibatkan pembakaran menjadi lebih sempurna dengan emisi CO yang sangat rendah. Penggunaan etanol dengan sedikit kadar air meningkatkan komposisi emisi  $CO_2$  dan mengurangi emisi CO sesuai hasil penelitian [3]. Seperti telah diketahui pembentukan CO hanya menghasilkan 30% panas dibandingkan panas yang timbul oleh pembentukan  $CO_2$ .

Reaksi pembentukan



dibandingkan



Untuk kasus emisi gas buang hasil pembakaran perlu dilakukan pengujian terhadap arak api bali pada komposisi azeotrope untuk lebih meyakinkan litinjau dari beberapa aspek.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Arak api bali adalah etanol dengan komposisi 30%v atau etanol dengan kadar air 70%.
- Untuk menjadikan arak api bali layak menjadi aditif bahan bakar terutama bensin perlu dilakukan penyulingan tambahan untuk meningkatkan kemurniannya.
- Hasil penyulingan arak bali pada tingkat lanjut didapat etanol dengan komposisi azeotrope 94,6%v
- Kecepatan pembakaran laminar arak api bali lebih tinggi dari etanol kering pada campuran stoichiometri dan kaya. Jadi arak api bali sangat layak untuk dijadikan aditif bahan bakar.

## Ucapan Terima kasih

Terima kasih saya ucapkan kepada Team P3M Politeknik Negeri Bali, Direktorat Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia, atas bantuan dana yang diberikan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

**Daftar Simbol**

$AFR_m$  = perbandingan udara bahan bakar fraksi massa

$AFR_s$  = perbandingan udara bahan bakar stoichiometri

$m_a$  = massa udara

$m_f$  = massa bahan bakar

$M_a$  = massa molekul udara

$M_f$  = massa molekul bahan bakar

$N_a$  = jumlah mol udara

$N_f$  = jumlah mol bahan bakar

$\Theta$  = equivalence ratio

$\rho$  = densitas

$V$  = volume

$r$  = radius nyala

$t$  = waktu

$\alpha$  = laju mulur nyala

$T$  = temperatur

$S_n$  = kecepatan nyala mulur

$S_s$  = kecepatan nyala tidak mulu

$S_L$  = kecepatan pembakaran

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Tadeu C. Cordeiro de Melo, Guilherme B. Machado, Carlos R.P. Belchior, Marcelo J. Colaço, José E.M. Barros, Edimilson J. de Oliveira, Daniel G. de Oliveira. 2012, *Hydrous ethanol-gasoline blends – Combustion and emission investigations on a Flex-Fuel engine*, Fuel, 97, 796–804 .
- [2] Leith Higgins , HAZMAT, 2008, *Methanol & Ethanol*, Fire & Emergency Services Authority of Western Australia (FESA).
- [3] Rodrigo C. Costa, José R. Sodr . 2010, *Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions*. Fuel 89 287–293.
- [4] Derek Bradley, Malcolm Lawes, Shiyong Liao, Aminuddin Saat, 2014, *Laminar mass burning and entrainment velocities and flame instabilities of i-octane, ethanol and hydrous ethanol/air aerosols*, Combustion and Flame 161 1620–1632.
- [5] Baine B. Breaux, Sumanta Acharya. 2013, *The effect of elevated water content on swirl-stabilized ethanol/air flames*, Fuel 105 90–102.
- [6] Brian J. Donovan, 2009, *Anhydrous Ethanol vs. Hydrous Ethanol in Gasoline Blending*, Renegie.
- [7] Gesheng Li, Zunhua Zhang, Fubing You, Zhixiang Pan, Xintang Zhang, Jian Dong, 2013 Xiaohong Gao, *A novel strategy for hydrous-ethanol utilization: Demonstration of a spark-ignition engine fueled with hydrogen-rich fuel from an onboard ethanol/steam reformer*, international journal of hydrogen energy 385936-5948
- [8] B.M. Masum, H.H.Masjuki, M.A.Kalam, I.M. Rizwanul Fattah, S.M. Palash, M.J.Abedin, 2013, *Effect of ethanol-gasoline blend on Nox emission in SI engine*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 24. 209–222.
- [9] Samveg Saxena, Silvan Schneider, Salvador Aceves, Robert Dibble, 2012, *Wet ethanol in HCCI engines with exhaust heat recovery to improve the energy balance of ethanol fuels*, Applied Energy 98 448–457.
- [10] I. Schifter, L. Diaz, J.P. G mez, U. Gonzalez, 2013, *Combustion characterization in a single cylinder engine with mid-levels hydrated ethanol-gasoline blended fuels*, Fuel 103 292–298.
- [11] G. Broustail, P. Seers, F. Halter, G. Mor ac, C. Mounaim-Rousselle, 2011, *Experimental determination of laminar burning velocity for butanol and ethanol iso-octane blends*, Fuel 90 1–6
- [12] E. Ranzi, A. Frassoldati, R. Grana, A. Cuoci, T. Faravelli, A.P. Kelley, C.K. Law, 2012, *Hierarchical and comparative kinetic modeling of laminar flame speeds of hydrocarbon and oxygenated fuels*, Progress in Energy and Combustion Science 38 468-501.
- [13] I Dewa Made Krishna Muku, I Gusti Ketut Sukadana, 2009, *Pengaruh Rasio Kompresi terhadap Unjuk Kerja Mesin Empat Langkah Menggunakan Arak Bali sebagai Bahan Bakar*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram Vol. 3 No. 1, 26 – 32
- [14] I Gede Wiratmaja, 2010, *Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM Vol. 4 No.2. 145-154.
- [15] J. M. Smith, H. C. Van Ness, M. M. Abbott, 2001, *Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics*, Mc. Graw-Hill