

KARAKTERISTIK KECEPATAN NYALA DAN KONSENTRASI ION PADA PEMBAKARAN *PREMIXED BUTANA*

Muh Nurkoyim Kustanto^{1*}

¹Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: *kustanto1969@gmail.com

ABSTRACT

Penelitian mengenai pembakaran premixed butana telah dilakukan, dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik kecepatan nyala dan konsentrasi ion. Penelitian dilakukan dengan melakukan pembakaran campuran premixed butana pada ruang bakar berbentuk silinder berukuran diameter 108 mm dan panjang 170 mm. Campuran premixed butana udara diatur pada komposisi ekuivalen rasio $\phi = 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan nyala tertinggi pada ekuivalen rasio 1,1 yaitu 198 cm/s. Sedangkan konsentrasi radikal tertinggi yang ditunjukkan dengan tegangan pada sistem sensor ion terdapat pada ekuivalen rasio 1,1 yaitu 5,5 volt.

Keywords : butana, kecepatan nyala, konsentrasi radikal, pembakaran premixed

PENDAHULUAN

Butana (C_4H_{10}) merupakan senyawa organik yang berbentuk gas pada temperatur ruangan dan tekanan atmosfer [1]. Berat jenis butana lebih tinggi dibanding udara, sehingga jika terjadi kebocoran sangat berbahaya. Penanganan butana relatif lebih mudah dibanding LNG (*liquefied Natural Gas*) maupun CNG (*Compressed Natural Gas*) karena mempunyai tekanan pencairan pada suhu kamar yang lebih rendah. Sifat tersebut memudahkan untuk pengemasan dalam tabung yang lebih ringan. Dengan alasan tersebut membuat butana mempunyai peluang yang lebih besar untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin penggerak mula.

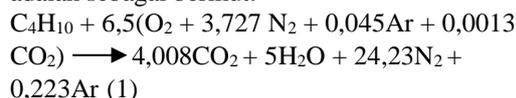
Pemanfaatan butana sebagai bahan bakar memerlukan penelitian yang mendalam, baik penelitian mengenai pembakaran maupun penerapan pada mesin penggerak mula. Mustafa., K.F., dkk [2] melakukan penelitian mengenai pembakaran butana melalui media porous yang akan digunakan sebagai sumber energi untuk generator termoelektrik. Penelitian mengenai mekanisme kimia pada pembakaran butana dilakukan oleh Juan C.P., dkk [3] penelitian dilakukan sampai pada simulasi penerapan dalam mesin HCCI. Penelitian mengenai penggunaan butana yang dicampur dengan bensin sebagai bahan bakar dilakukan oleh Jun J., dkk [4], campuran bensin-butana digunakan sebagai bahan bakar pada motor bensin. Penelitian mengenai bahan bakar campuran butana juga dilakukan oleh Wilk R. D., dkk [5], penelitian dilakukan dengan mencampurkan n-butana dengan isobutana yang

digunakan sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam. Pada penelitian tersebut dibandingkan antara percobaan dengan hasil pemodelan.

Penelitian mengenai pembakaran dengan bentuk api bola mengembang dengan bahan bakar butana masih sulit untuk ditemukan. Sehingga penelitian mengenai topik tersebut sangat perlu dilakukan, karena pada motor bakar torak kebanyakan api berbentuk bola yang mengembang. Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui karakteristik nyala api dan konsentrasi radikal, sehingga dapat dijadikan referensi penerapan penggunaan butana pada motor bakar torak.

TEORI

Pada penelitian yang dilakukan oksidator yang digunakan adalah oksigen yang berada dalam udara. Udara atmosfer mengandung 20,95 % Oksigen, 78,09 Nitrogen, 0,933 Argon dan gas lain yang dapat disetarakan dengan CO_2 sebanyak 0,027% dalam persen volume. Perhitungan reaksi stoikiometri antara Butana dan dengan udara adalah sebagai berikut:



Sehingga:

$$\begin{aligned} AFR_{(mol)} &= \text{mol udara/mol bahan bakar} \\ &= 6,5(1+3,727+0,045+0,0013)/1 \\ &= 31,027 \end{aligned}$$

Dengan $AFR_{(mol)}$ = Perbandingan bahan bakar udara dengan dasar perhitungan mol.

Kecepatan nyala dapat dirumuskan dari perubahan kenaikan jari-jari nyala dibagi dengan

perubahan waktu yang diperlukan. Dapat dituliskan dalam bentuk rumus [6]

$$S = \frac{dr}{dt}$$

Dengan S = kecepatan nyala (m/s)

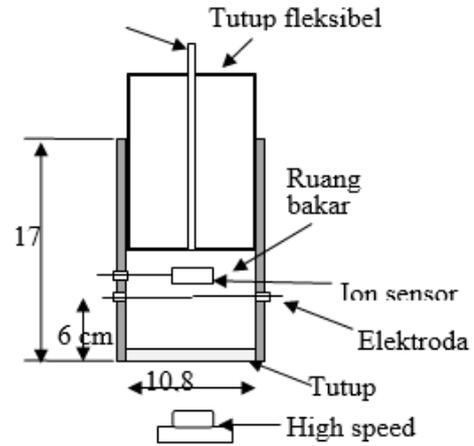
r = Jari-jari nyala api (m)

t = waktu (s)

METODOLOGI PENELITIAN

Pembakaran secara premixed Butana-udara dilakukan pada ruang bakar berbentuk silinder yang berdiameter 108 mm dan panjang 170 mm. Pada salah satu silinder ditutup dengan penutup tetap dari bahan akrilik, yang sekaligus berfungsi untuk mengintai api dalam ruang bakar. Silinder pada sisi yang lain ditutup menggunakan penutup fleksibel yang dapat bergerak maju-mundur, sehingga mampu menjaga ruang bakar tetap berada pada tekanan rendah. Pemantik nyala api diletakkan pada tengah diameter silinder ruang bakar dan berjarak 50 mm dari sisi penutup tetap. Pemantik tersebut dihubungkan dengan koil untuk meningkatkan tegangan listrik dan dicatu dengan menggunakan baterai. Perekaman gambar nyala api menggunakan kamera kecepatan tinggi Casio exilim ex-fc100 yang diatur pada kecepatan 420 fps. Gambar yang dihasilkan pada kecepatan tersebut mempunyai resolusi 224x168 pixel. Kamera diletakkan pada sisi silinder yang ditutup dengan menggunakan akrilik. Sensor diletakkan pada tengah diameter silinder dan berjarak 70 mm dari sisi penutup tetap. Sensor ion tersebut terdiri dari dua plat paralel berukuran 50 x 6 mm dan jarak antar plat 1mm. Sensor ion dihubungkan dengan rangkaian elektronika yang mengubah resistansi menjadi tegangan listrik. Rangkaian listrik tersebut selanjutnya dihubungkan dengan komputer yang berfungsi untuk mengolah sinyal dan menyimpan data. Gambar susunan ruang bakar dan peralatan yang berhubungan dengan sistem pengambilan data diperlihatkan pada gambar 1.

Campuran *premixed* bahan bakar antara butana-LPG pada penelitian ini diatur pada komposisi ekuivalen rasio (ϕ) 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2. Pencampuran *premixed* butana-udara dilakukan diluar ruang bakar, hal ini bertujuan agar campuran homogen.

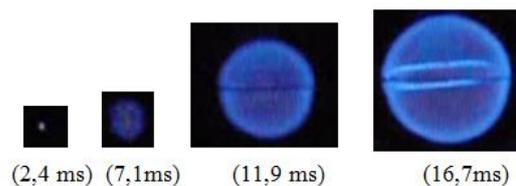


Gambar 1. Susunan ruang bakar dan peralatan pendukungnya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kamera kecepatan tinggi diatur pada 420 fps (*frame persecond*), hal ini berarti setiap detik perekaman gambar terdapat 420 frame gambar. Waktu yang dibutuhkan untuk berganti frame gambar adalah 1/420 detik. Pengukuran jarak tempuh nyala api diukur dengan melihat berapa jarak pergerakan nyala api dari satu frame gambar ke frame berikutnya. Sedangkan kecepatan nyala adalah perbandingan antara jarak pergerakan nyala dibagi dengan jumlah frame yang diperlukan untuk pergerakan tersebut dikalikan dengan 1/420.

Api mulai menyala pada tengah silinder dan mengembang seiring dengan bertambahnya waktu. Gambar 2 menunjukkan perkembangan api pembakaran premixed butana pada komposisi stoikiometri. Interval waktu tiap frame pada gambar 2 adalah 2,8 ms.

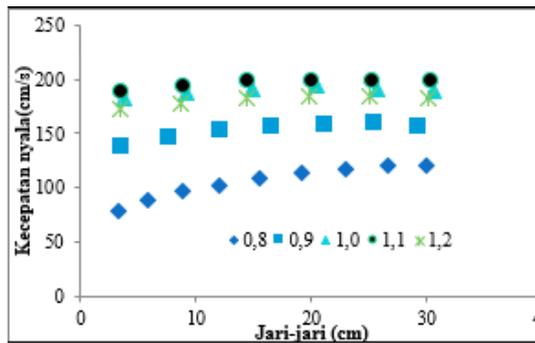


Gambar 2. Perambatan nyala pada pembakaran *premixed* butana komposisi stoikiometri

Gambar 2 memperlihatkan bahwa diameter api terus berkembang dengan interval 4,8 ms. Pada frame ketiga nyala api mulai menyentuh penutup fleksibel dan mendorong mundur untuk mempertahankan tekanan. Tutup fleksibel mempunyai gesekan yang sangat kecil sehingga kenaikan tekanan akibat ekspansi pembakaran dapat diabaikan.

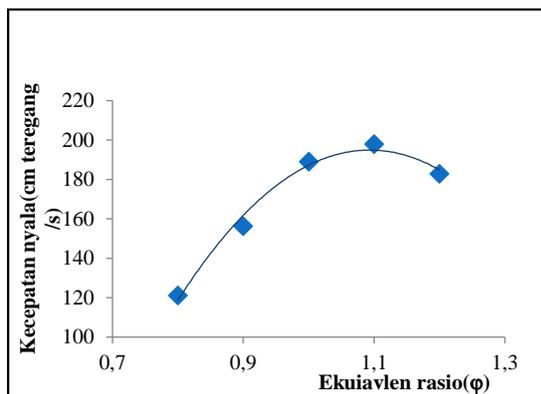
Kecepatan nyala yang terukur dari hasil gambar kamera kecepatan tinggi adalah kecepatan nyala api teregang. Dimana kecepatan nyala api

teregang adalah interaksi antara kecepatan reaksi dan ekspansi gas pembakaran. Kecepatan nyala lokal adalah kecepatan nyala pada diameter tertentu selama api mengembang. Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara kecepatan lokal terhadap jari-jari nyala api. Pada ekuivalen rasio rendah (0,8) kecepatan nyala terus meningkat seiring dengan peningkatan diameter. Sedangkan pada daerah campuran stoikiometri dan campuran kaya mula-mula terjadi peningkatan kecepatan nyala lokal seiring dengan peningkatan jari-jari nyala, tetapi pada pertengahan jari-jari kecepatannya cenderung konstan.



Gambar 3. Kecepatan nyala lokal pembakaran butana pada berbagai komposisi.

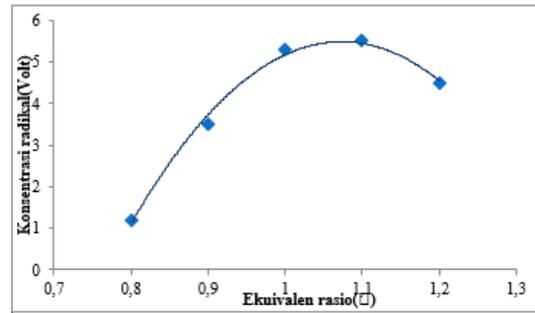
Sedangkan gambar 4 adalah grafik yang memperlihatkan hubungan kecepatan nyala api teregang dan ekuivalen rasio. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahwa kecepatan nyala api teregang tertinggi terdapat pada ukuivalen rasio 1,1 yang mempunyai kecepatan 198 cm/s, sedangkan yang terendah terdapat pada ekuivalen rasio 0,8 yaitu 121 cm/s.



Gambar 4. Kecepatan nyala api teregang pembakaran Butana pada berbagai komposisi

Pada ekuivalen rasio 1,0 mempunyai temperatur adiabatik tertinggi, tetapi kecepatan nyala teregang justru terjadi pada ekuivalen rasio 1,1. Hal ini disebabkan karena pada ekuivalen rasio 1,1 ketika terjadi peregangan nyala akibat

ekspansi gas hasil pembakaran terjadi peningkatan konsentrasi radikal. Sehingga reaksi pembakaran menjadi lebih cepat dibanding ekuivalen rasio 1,1. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat pada gambar 5, yaitu gambar yang memperlihatkan hubungan antara ekuivalen rasio dengan konsentrasi radikal yang dinyatakan dalam Volt. Gambar 5 memperlihatkan bahwa konsentrasi radikal tertinggi terdapat pada ekuivalen rasio 1,1.



Gambar 5. Konsentrasi radikal pembakaran premixed butana pada berbagai komposisi

PEMBAHASAN

Pada proses pembakaran secara umum terdapat 2 *zone* pembakaran, yaitu zona *preheating* dan zona reaksi [6]. Pada zona *preheating* terjadi pemanasan pada campuran bahan bakar-udara. Temperatur campuran semakin meningkat jika jarak terhadap zona reaksi semakin dekat. Peningkatan temperatur akan menyebabkan terjadi proses dekomposisi molekul menjadi unsur-unsur. Dekomposisi molekul menjadi unsur dimulai dari ikatan yang lemah yaitu C-C, C-H berturut-turut [7]. Oksigen yang berikatan ganda akan terputus ikatannya pada zona reaksi. Dengan terputusnya ikatan oksigen maka akan terjadi reaksi rekombinasi untuk membentuk ikatan CO₂ dan H₂O yang disertai pelepasan panas dan cahaya.

Pada proses pembakaran butana konsentrasi radikal tertinggi terdapat pada komposisi bahan bakar dengan ekuivalen rasio 1,1. Semakin tinggi konsentrasi radikal maka difusi masa dan panas akan semakin meningkat. Peningkatan difusi panas dan masa akan menyebabkan daerah *preheating* meningkat, yang pada akhirnya akan meningkatkan kecepatan nyala.

Campuran stoikiometri mempunyai temperatur pembakaran tertinggi, namun jumlah radikalnya lebih kecil dibanding campuran kaya dengan ekuivalen rasio 1,1. Hal ini disebabkan karena pada campuran stoikiometri jumlah bahan bakar lebih sedikit, sehingga jumlah ikatan yang mempunyai energi ikatan rendah, sehingga energi

lebih banyak digunakan untuk melakukan dekomposisi pada energi ikatan yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Dari penelitian tentang pembakaran premixed butana yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Kecepatan pembakaran tertinggi terdapat pada campuran kaya dengan ekuivalen rasio 1,1 sedangkan kecepatan pembakaran terendah terdapat pada ekuivalen rasio 0,8.
2. Konsentrasi radikal terbanyak terdapat pada ekuivalen rasio 1,1 sedangkan terendah pada ekuivalen rasio 0,8.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Matheson, N-Butane, *Safety Data Sheet*. 2011
- [2] Mustafa. K.F., Abdullah.S.,Abdullah.M.Z., Sopian K, *Combustion characteristics of butane porous burner for thermoelectric power generation*, journal of combustion, 2015.
- [3] Juan C.P, Forman A., Williams, Guillermo E., Ovando, Marco, A Romo, *Chemical Mechanism For N-Butane Ignition and Its Application to HCCI Engine Simulation*, Memorias Del Xviii Congreso Internacional Anual De La Somim, 2012.;
- [4] Jun J., Park S., Bae C., *Combustion characteristics of gasoline and n-butane under lean stratified mixture conditions in a spray-guided direct injection spark ignition engine*, Fuel, 2017;
- [5] Wilk R.D., Pitz. W.J., Westbrook C.K., Addagarla S., Miller D.L., Cemansky N.P., Green R.M, *Combustion of N-butane and isobutane in an internal combustion engine: A comparison of experimental and modeling results*, Symposium (International) on Combustion, 1991;
- [6] Nurkoyim M.K., Wardana ING., Sasongko M.N., Yuliati L., *Laminar burning velocity of ethanol premixed combustion enriched with liquefied petroleum gas(LPG)*, Energetika, 2017;
- [7] Ebbing D.D., Gammon., D.S., *General Chemistry* , Ninth Edition, New York, Houghton Mifflin Company, 2009;
- [8] Glassman I., Yetter R.A., *Combustion*, Singapore, Elsevier, 2008;