

PENGARUH RASIO GAS LPG DAN UDARA TERHADAP PERUBAHAN TEMPERATUR DAN TEKANAN PADA PEMBAKARAN DI MIKROKOMBUSTOR

Achmad Walid
Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang ¹⁾
Jl.Veteran No.8 PO Box 04 Malang 65145
HP.0812525233568
Email : achmad.walid@yahoo.co.id¹

ABSTRAK

Microcombustion menjadi penting dalam bidang riset akibat pertumbuhan pada sistem mikro dan microelectromechanical system (MEMS). Sistem mikro banyak ditemukan dalam elektronika portabel, sensor mikro, dan lainnya yang membatasi komponen baik pada ukuran maupun performansinya. Perkembangan teknologi di bidang penerbangan, biotechnology, industry kimia, teknologi informasi menjadikan miniaturisasi produk semakin disukai karena memberikan suatu kontrol yang lebih baik, pengukuran yang lebih presisi dan lebih flexible dari pada perangkat konvensional. Pembakaran, bagian penting untuk mengkonversikan energi kimia ke bentuk energi thermal dari berbagai jenis bahan bakar seperti hydrogen, gas alam, premium dan bahan bakar alcohol lainnya. Pada penelitian ini dibahas mengenai pembakaran gas LPG pada suatu mikrokombustor. Pembakaran mengikuti konsep dan metode pembakaran premix. Bahan bakar yang digunakan adalah jenis hidro karbon, karena densitas energi bahan bakar hidro karbon 20 – 50 kali lebih tinggi dari baterai li-ion. Eksperimen menunjukkan bahwa pembakaran pada mikrokombustor dengan bahan bakar gas LPG melalui periode pemanasan, periode perubahan fase, dan penyalaan. Pada proses penyalaan pada pembakaran gas LPG di mikrokombustor diperoleh tekanan maksimum (P_{max}) sebesar 3745 Pa pada AFR 23. Pada proses penyalaan pembakaran gas LPG di mikrokombustor diperoleh lama terbakar rata-rata 0,35 detik.

Kata kunci: Microcombustion, Mikrokombustor, Air Fuel Ratio (AFR), Liquid Petroleum Gas (LPG)

PENDAHULUAN

Mikro combustor adalah suatu pemilihan yang menarik pengganti baterai dimana sejumlah panas ditransfer melalui dinding pemadaman api. Aplikasi microcombustion diaplikasikan pada berbagai alat misalnya :

- Perangkat komunikasi contoh: Mobile Phone, Komputer, dan Sensor – sensor

- Proses kimia industri , contoh : Reforming Gas
- Propulsi Kimia : Micro Air Vehicles, Micro Thruster
- Laboratorium Analitik : Lab on Chip (PCR reaction)

Pada penelitian ini masalah yang akan diteliti di rumuskan sebagai berikut : Mengetahui pengaruh rasio volume

bahan bakar gas LPG dan udara yang berlangsung dalam ruang bakar *microcombustor*.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan temperatur dan tekanan pada ruang bakar *microcombustor*.

Dengan mengukur temperatur dan tekanan pada mikrokombustor didapatkan data sehingga dengan demikian bisa mengetahui fenomena yang terjadi pada pembakaran di mikrokombustor.

a. Langkah – langkah penelitian

- I. Studi literatur meliputi Jurnal ilmiah, internet, textbook, kemudian design alat mikrokombustor, persiapan pengujian, campur LPG dan udara, kemudian injeksi ke ruang bakar mikro, ukur tekanan dan temperatur, eksperimen dengan campuran LPG dan udara bervariasi.
- II. Data hasil eksperimen, hasil dan pembahasan, kesimpulan.

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat penelitian dilaksanakan di Laboratorium penelitian Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang .

Variabel penelitian

Variabel bebas : Komposisi perbandingan gas LPG dengan udara dengan komposisi perbandingan campuran miskin , kaya dan stoikiometri.

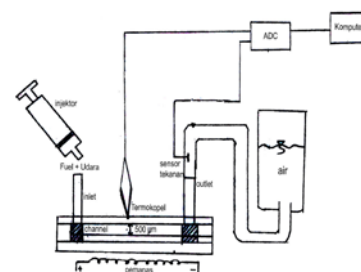
Variabel terikat :

- a. Perubahan temperatur pada ruang bakar *microcombustor* .
- b. Perubahan tekanan pada ruang bakar *microcombustor* .

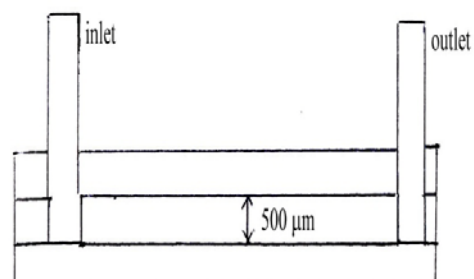
Alat-alat penelitian

1. Unit *microcombustor*
2. Kemasan gas LPG
3. Injektor
4. Sensor temperatur
5. Kompor pemanas
6. Komputer
7. Sensor tekanan
8. ADC (analog to digital converter)

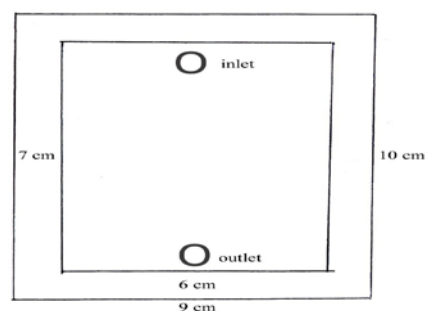
Instalasi penelitian



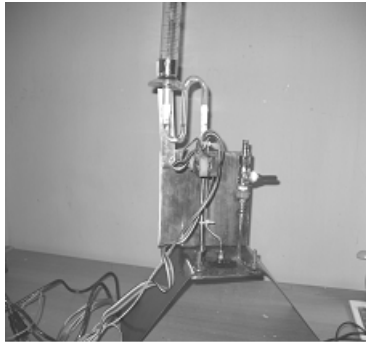
Gambar 1. Desain Penelitian



Gambar 2. Penampang melintang mikrokombustor



Gambar 3. Penampang atas mikrokombustor

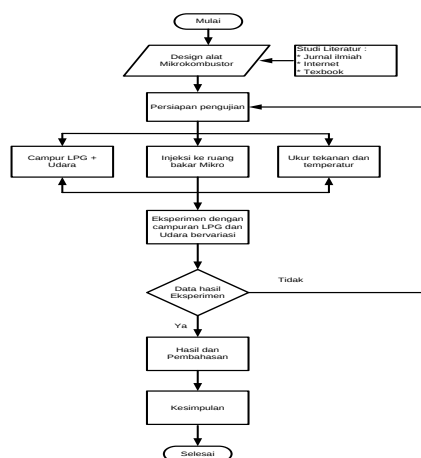


Gambar 4. Alat Injektor

Prosedur Pengambilan Data Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan terlebih dahulu mencampur bahan bakar gas LPG dan udara ke dalam injektor . Kemudian diinjeksikan ke dalam ruang bakar dan katup pipa inlet ditutup. Setelah itu ruang pembakaran *microcombustion* dipanaskan dengan pemanas selama beberapa saat . Data – data temperatur dan tekanan di tampilkan di komputer, setelah temperatur diukur dengan termokopel dan tekanan diukur dengan sensor tekanan .

Diagram Alir Penelitian

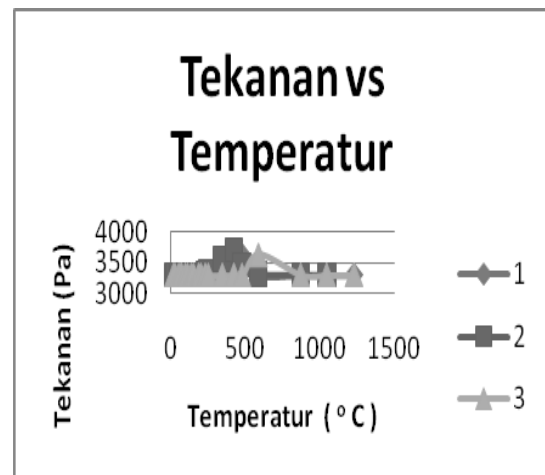


Gambar 5. Diagram alir penelitian

PEMBAHASAN

Hasil pengambilan data melalui data logger ditransfer dalam bentuk grafik dan table temperature dan tekanan dalam format MS Excel.

Perbandingan 1:20

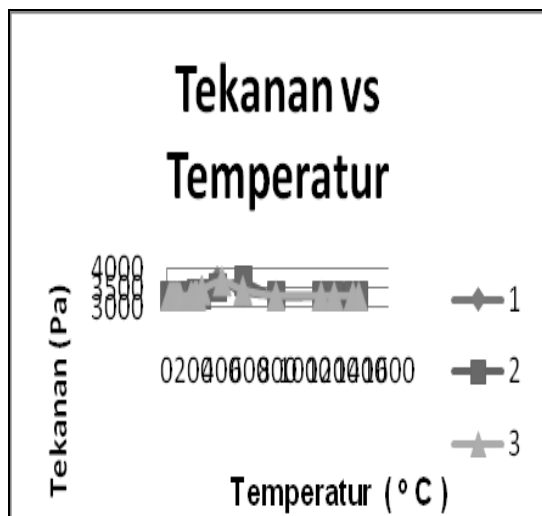


Gambar 6. Grafik hubungan tekanan dan temperature pada pembakaran di mikrocombustor

Pada grafik 1 temperatur naik dari 423 °C ke 478 °C, maka tekanan naik 3551 Pa ke 3630 Pa. Dan kemudian tekanan turun ke 3320 Pa. Pada grafik 2 temperatur naik dari 250 °C ke 345 °C, kemudian tekanan naik 3350 Pa ke 3561 Pa dan turun ke 3320 Pa. Pada grafik 3 temperatur naik dari 478 °C ke 589 °C dan tekanan naik dari 3301 Pa ke 3625 Pa dan tekanan turun 3305 Pa. Campuran diatas termasuk campuran kaya. Grafik 1, 2, dan 3 memperlihatkan pengujian 1, 2, 3, dimana kenaikan temperature merupakan proses pembakaran gas pada mikrocombustor, proses pembakaran tersebut bertahap

ditandai dengan kenaikan tekanan yang cepat. Ada perbedaan pada nilai puncak tekanan dan temperature penyalaan pada pengujian 1, 2, 3, hal ini adanya faktor energi aktivasi / pemanas pada mikrokombustor.

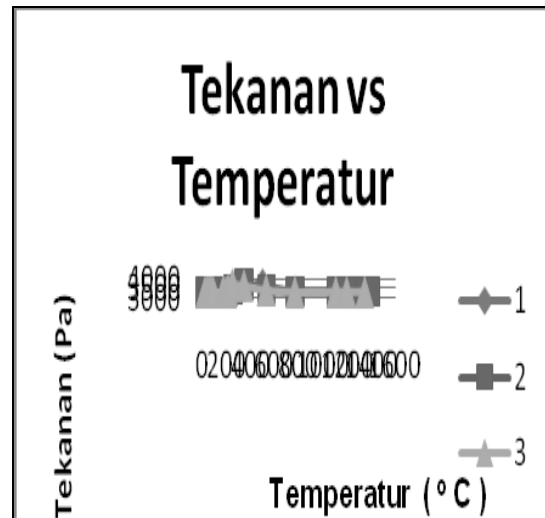
Perbandingan 1:21



Gambar 7. Grafik hubungan tekanan dan temperature pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 temperatur naik dari 255 °C ke 367 °C dan tekanan naik dari 3404 Pa ke 3680 Pa dan turun ke 3412 Pa. Pada grafik 2 temperatur naik dari 401 °C ke 551 °C dan tekanan naik dari 3500 Pa ke 3670 Pa. Pada grafik 3 temperatur naik dari 255 °C ke 401 °C, kemudian tekanan naik dari 3460 Pa ke 3680 Pa dan tekanan turun menjadi 3455 Pa. Campuran diatas termasuk campuran kaya. Pada pengujian 1, 2, 3 memperlihatkan proses kenaikan temperatur dan kenaikan tekanan, dimana pada proses tersebut merupakan proses pembakaran bahan bakar gas dan udara

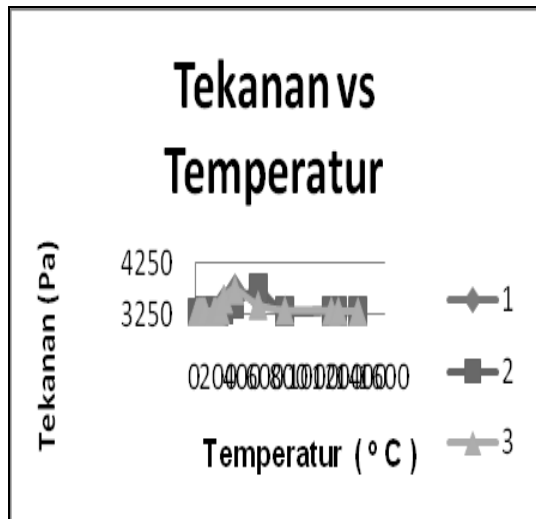
Perbandingan 1:22



Gambar 8. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 temperatur naik dari 250 °C ke 500 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3455 Pa ke 3715 Pa. Pada grafik 2 temperatur naik dari 250 °C ke 345 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3455 Pa ke 3689 Pa. Pada grafik 3 temperatur naik dari 215 °C ke 250 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3415 Pa ke 3704 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran kaya. Grafik 1, 2, 3 memperlihatkan pengujian pada pembakaran gas pada mikrokombustor. Pengujian 1, 2, 3 memperlihatkan kenaikan tekanan dimana hal ini merupakan proses pembakaran pada mikrokombustor. Kenaikan tekanan berlangsung dengan cepat yang menandakan terjadinya proses pembakaran.

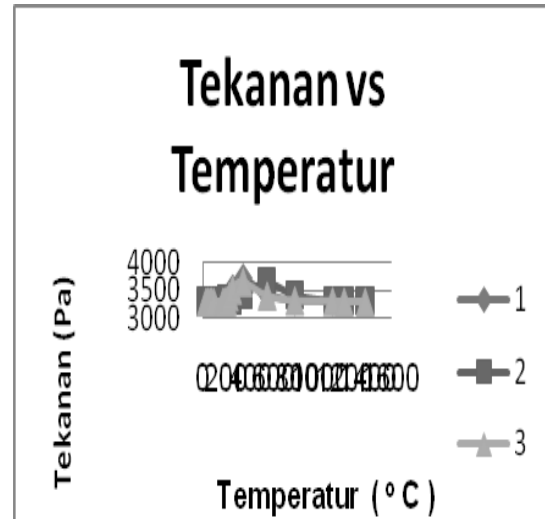
Perbandingan 1:23



Gambar 9. Grafik hubungan tekanan dan temperature pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 kenaikan temperatur dari 217 °C ke 340 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3410 Pa ke 3745 Pa. Pada grafik 2 kenaikan temperatur dari 340 °C ke 535 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3446 Pa ke 3745 Pa. Pada grafik 3 kenaikan temperatur dari 247 °C ke 340 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3542 Pa ke 3745 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran kaya. Grafik 1, 2, 3 memeperlihatkan enaikan tekanan cepat yang disertai dengan perubahan temperature , sehingga dengan itu berarti terjadi proses pembakaran pada mikrokombustor. Proses pembakaran dengan cepat terjadi pada mikrokombustor. Hal ini terlihat pada grafik seperti garis lurus yang menanjak.

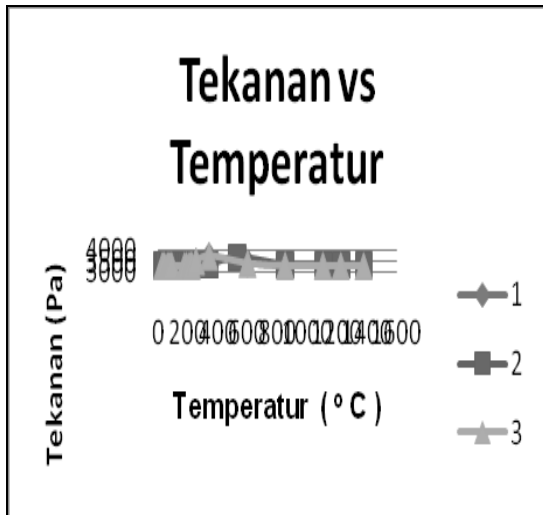
Perbandingan 1:24



Gambar 10. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 kenaikan temperature dari 222 °C ke 340 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 2423 Pa ke 3725 Pa. Pada grafik 2 kenaikan temperature dari 251 °C ke 545 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3336 Pa ke 3650 Pa. Pada grafik 3 kenaikan temperature dari 222 °C ke 340 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3400 Pa ke 3725 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran kaya. Dari perubahan tekanan yang terjadi pada grafik 1, 2, 3 terjadi proses pembakaran pada mikrokombustor. Hal ini bisa dilihat dari gambar grafik suatu garis lurus yang menanjak, dimana bahan bakar akan terbakar dengan cepat. Persiapan pembakaran tergantung pada beberapa factor antara lain pada tekanan dan temperature udara pada saat bahan bakar diinjeksikan, serta gerakan udara dan bahan bakar.

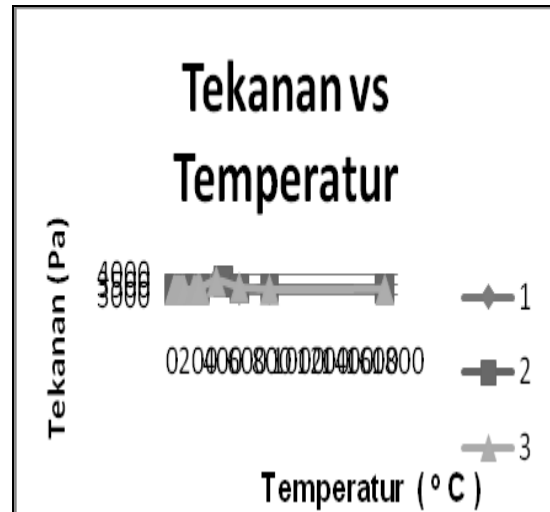
Perbandingan 1:25



Gambar 11. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 ada kenaikan temperature dari 253 °C ke 341 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3423 Pa ke 3689 Pa. Pada grafik 2 ada kenaikan temperature dari 341 °C ke 530 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3332 Pa ke 3670 Pa. Pada grafik 3 ada kenaikan temperature dari 253 °C ke 341 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3520 Pa ke 3740 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran kaya. Dari grafik 1, 2, 3 terlihat adanya perubahan tekanan yang cepat disertai dengan perubahan temperatur. Terlihat juga bahwa harga perubahan tekanan dan temperature berbeda – beda pada setiap pengujian. Proses pembakaran juga terlihat dari grafik seperti garis lurus yang menaik.

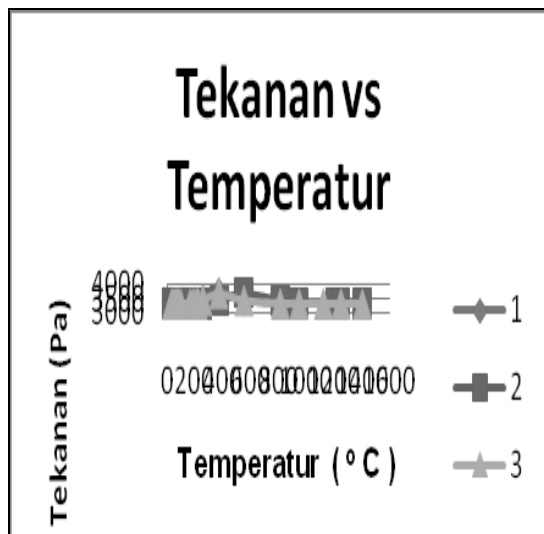
Perbandingan 1:26



Gambar 12. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 terdapat kenaikan temperature dari 204 °C ke 341 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3330 Pa ke 3680 Pa. Pada grafik 2 terdapat kenaikan temperature dari 184 °C ke 400 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3315 Pa ke 3675 Pa. Pada grafik 3 terdapat kenaikan temperature dari 198 °C ke 343 °C disertai dengan tekanan dari 3328 Pa ke 3710 Pa. Bentuk campuran diatas adalah stoikhiometri. Grafik 1, 2, 3 memperlihatkan pengujian bahwa terjadi kenaikan tekanan. Hal ini memperlihatkan terjadinya proses pembakaran pada mikrokombustor. Proses terjadinya kenaikan disertai dengan perubahan temperature. Bahan bakar terbakar dengan cepat ini terlihat dari grafik sebagai garis lurus yang menaik. Dari grafik 1, 2, 3 terlihat nilai temperature dan tekanan berbeda-beda pada setiap pengujian dari pembakaran, tapi perbedaannya tidak terlalu jauh / tidak signifikan.

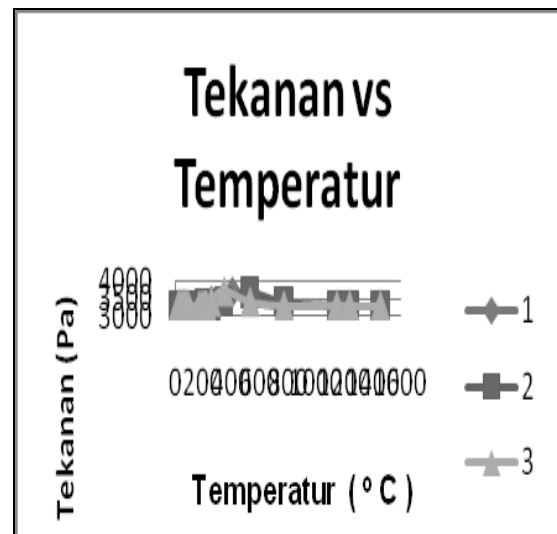
Perbandingan 1:27



Gambar 13. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 terdapat kenaikan temperature dari 255 °C ke 370 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3427 Pa ke 3690 Pa. Pada grafik 2 terdapat kenaikan temperatur dari 370 °C ke 550 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3430 Pa ke 3700 Pa. Pada grafik 3 terdapat kenaikan temperature dari 255 °C ke 370 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3427 Pa ke 3690 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran miskin. Grafik 1, 2, 3 pada gambar memperlihatkan pengujian 1, 2, 3 dimana dari grafik terlihat bahwa harga temperature dan tekanan memperlihatkan harga-harga yang berbeda-beda atau perbedaan nilai-nilainya tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh energi aktivasi pada pembakaran di mikrokombustor. Proses kenaikan tekanan ditandai dengan perubahan temperatur. Proses pembakaran ditandai dengan kenaikan yang ditandai dengan garis lurus yang menanjak pada tiap-tiap grafiknya.

Perbandingan 1:28

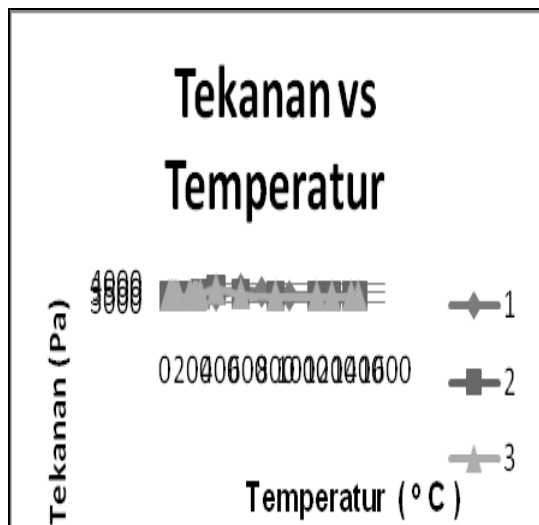


Gambar 14. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 terdapat kenaikan temperatur dari 250 °C ke 400 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3417 Pa ke 3670 Pa. Pada grafik 2 terdapat kenaikan temperatur dari 343 °C ke 527 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3412 Pa ke 3680 Pa. Pada grafik 3 terdapat kenaikan temperature dari 250 °C ke 353 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3418 Pa ke 3715 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran miskin. Grafik 1, 2, 3 memperlihatkan pengujian / eksperimen pembakaran pada mikrokombustor. Terlihat dari grafik bahwa kenaikan tekanan dan perubahan temperatur memperlihatkan harga yang berbeda-beda pada setiap eksperimen. Hal ini disebabkan oleh pengaruh energi aktivasi pada pembakaran di mikrokombustor. Kenaikan tekanan yang menanjak / perubahan temperatur yang menanjak seperti garis lurus yang menanjak. Pada grafik memperlihatkan terjadinya proses pembakaran di mikrokombustor. Waktu

persiapan pembakaran tergantung beberapa faktor, antara lain pada tekanan dan temperatur pada saat bahan bakar dan udara disemprotkan serta gerakan udara dan bahan bakar.

Perbandingan 1:29

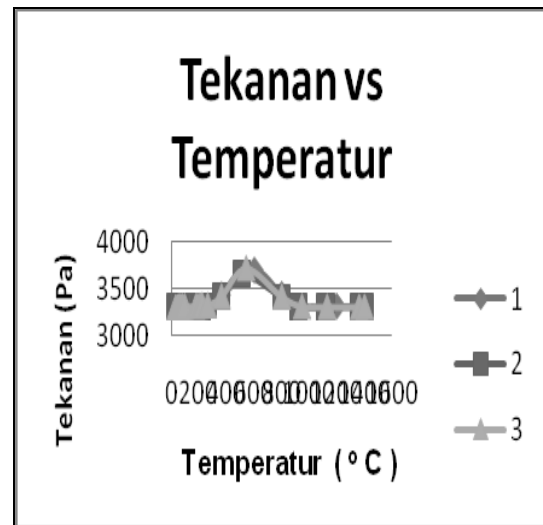


Gambar 15. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

Pada grafik 1 ada kenaikan temperatur dari 370 °C ke 550 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3320 Pa ke 3690 Pa. Pada grafik 2 ada kenaikan temperatur dari 255 °C ke 370 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3415 Pa ke 3695 Pa. Pada grafik 3 ada kenaikan temperatur dari 210 °C ke 370 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3320 Pa ke 3695 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran miskin. Grafik 1, 2, 3 memperlihatkan hasil eksperimen pada pembakaran di mikrokombustor. Terlihat dari grafik bahwa kenaikan tekanan dan perubahan temperatur pada setiap eksperimen memperlihatkan nilai-nilai yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh pengaruh energi aktivasi / pemanas pada

mikrokombustor. Terlihat dari grafik juga bahwa kenaikan tekanan yang menanjak atau seperti garis lurus yang menanjak, menandakan terjadinya proses pembakaran yang terjadi pada mikrokombustor.

Perbandingan 1:30

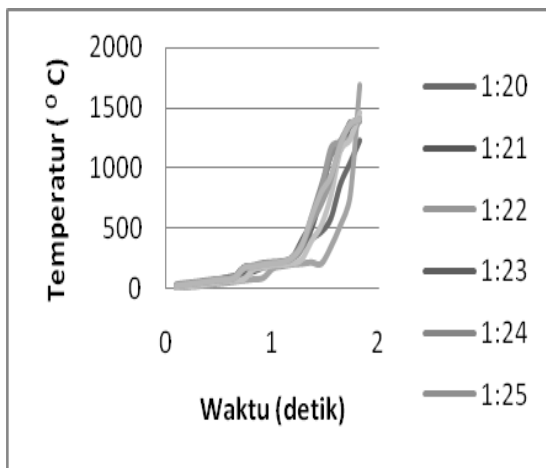


Gambar 16. Grafik hubungan tekanan dan temperatur pada pembakaran di mikrokombustor

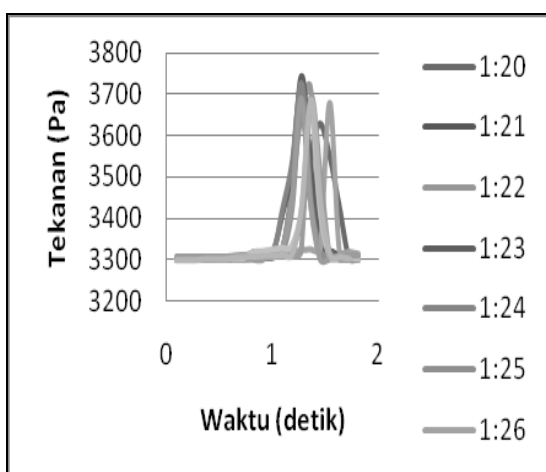
Pada grafik 1 terdapat kenaikan temperature dari 360 °C ke 600 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3430 Pa ke 3720 Pa. Pada grafik 2 terdapat kenaikan temperature dari 360 °C ke 540 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3430 Pa ke 3720 Pa. Pada grafik 3 terdapat kenaikan temperature dari 360 °C ke 600 °C disertai dengan kenaikan tekanan dari 3414 Pa ke 3689 Pa. Bentuk campuran diatas adalah bentuk campuran miskin. Grafik 1, 2, 3 meperlihatkan eksperimen pada pembakaran di mikrokombustor pada perbandingan seperti gambar diatas. Dari grafik terlihat bahwa eksperimen 1 memperlihatkan kenaikan tekanan yang lebih tinggi dari grafik 2 dan grafik 3. Begitu juga dengan

perubahan temperatur pada eksperimen 1, 2, dan 3. Perbedaan perubahan tekanan dan temperatur ini disebabkan oleh energi aktivasi / pemanas pada pembakaran di mikrokombustor. Waktu persiapan pembakaran tergantung pada beberapa factor, antara lain pada tekanan dan temperatur udara pada saat bahan bakar dan udara disemprotkan.

Pengulangan 1a

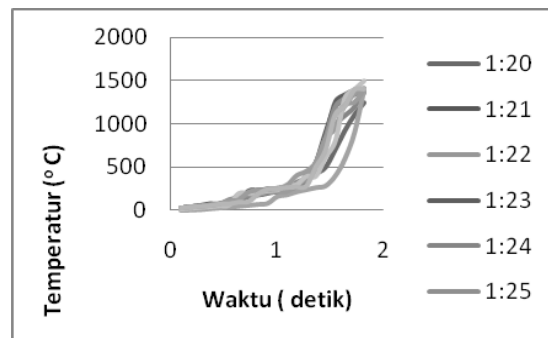


Gambar 17. Hubungan antara temperatur pembakaran dengan waktu

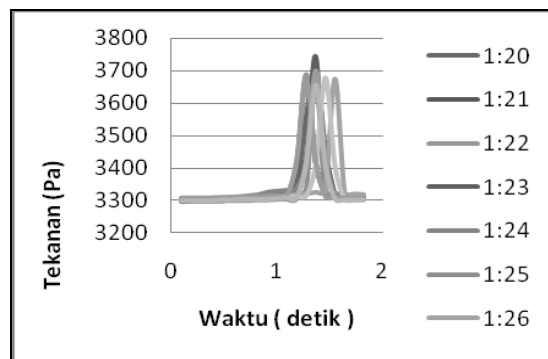


Gambar 18. Hubungan antara tekanan pembakaran dengan waktu

Pengulangan 2a

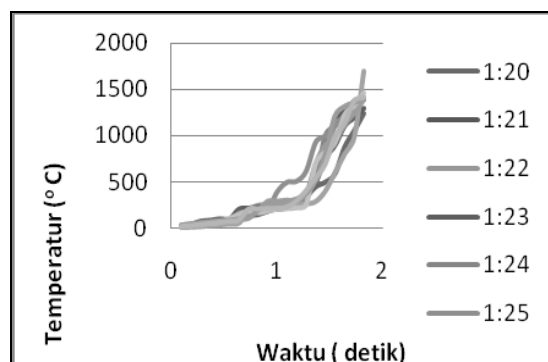


Gambar 19. Hubungan antara temperatur pembakaran dengan waktu

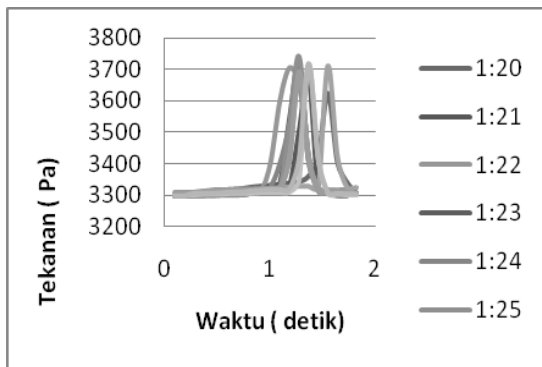


Gambar 20. Hubungan antara tekanan pembakaran dengan waktu

Pengulangan 3a

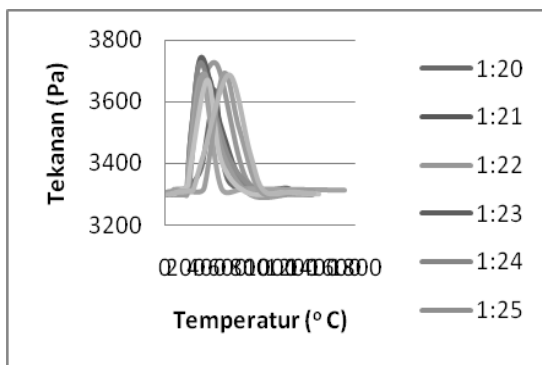


Gambar 21. Hubungan antara temperatur pembakaran dengan waktu



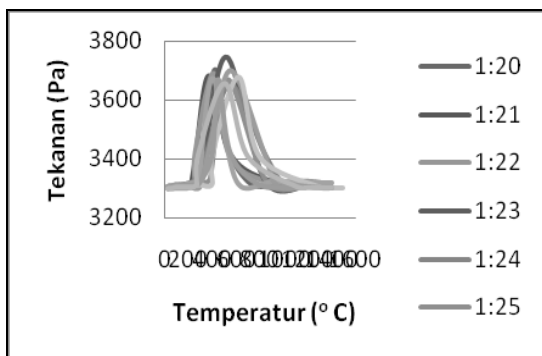
Gambar 22 Hubungan antara tekanan pembakaran dengan waktu

Pengulangan 1b



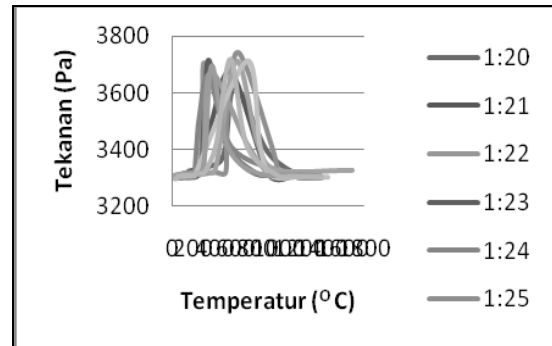
Gambar 23 Grafik hubungan tekanan vs temperature

Pengulangan 2 b



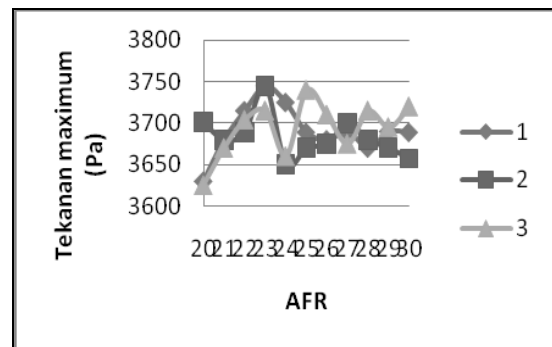
Gambar 24 Grafik hubungan tekanan vs temperatur

Pengulangan 3b



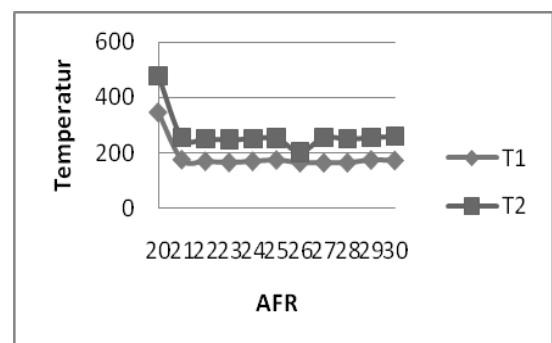
Gambar 25. Grafik hubungan tekanan vs temperatur

Pmax vs AFR



Gambar 27 Hubungan antara Pmax vs AFR

Temperatur vs AFR



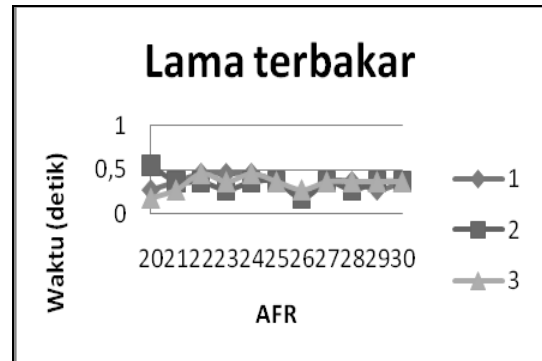
Gambar 28 hubungan temperature vs AFR

Waktu mulai berubah fase vs AFR



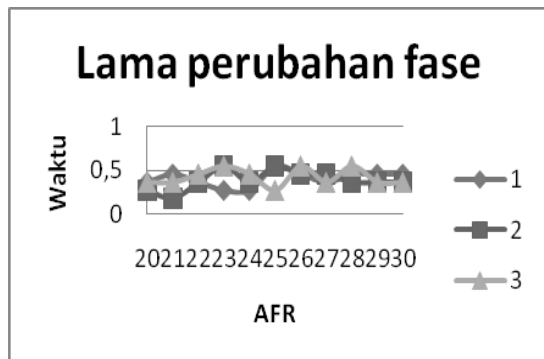
Gambar 29. Waktu mulai berubah fase vs AFR

Lama terbakar

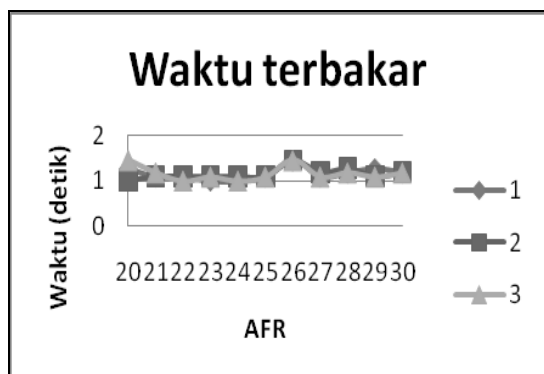


Gambar 32 Lama terbakar vs AFR

Lama perubahan fase vs AFR



Gambar 30. Lama perubahan fase vs AFR waktu terbakar



Gambar 31. waktu terbakar vs AFR

Pada gambar 1 terlihat proses pembakaran dimulai dengan pemanasan pada mikrokombustor sehingga terjadi perubahan fase pada gas yang dibakar, dimana gas terdiri dari campuran gas LPG dan udara. Setelah mengalami perubahan fase gas tersebut menyala. Pada gambar 2 menunjukkan terjadinya kenaikan tekanan pada pembakaran gas. Dimana pada kenaikan tersebut terjadi proses- proses pembakaran. Gambar 1 dan gambar 2 menunjukkan eksperimen pertama atau eksperimen kesatu. Pada gambar 3 menunjukkan proses pembakaran dimulai dengan proses pemanasan pada mikrokombustor. Sedangkan gambar 4 merupakan proses pengulangan dari eksperimen 1 dimana terjadi perubahan fase pada gas di mikrokombustor kemudian diikuti dengan terjadinya penyalaan dan menunjukkan proses perubahan tekanan /kenaikan tekanan, dimana terjadi pemanasan, perubahan fase dan penyalaan. Gambar 5 terlihat terjadi proses pembakaran pada mikrokombustor, awalnya proses pemanasan, proses perubahan fase dan penyalaan. Penyalaan terjadi seiring dengan terjadinya kenaikan temperature yang cepat setelah terjadinya perubahan fase. Gambar 6 adalah proses

perubahan tekanannya dan juga menunjukkan proses penyalaan yang diikuti dengan kenaikan lonjakan tekanan yang tinggi.

Pada gambar 10 menunjukkan hubungan antara AFR dengan tekanan maksimum penyalaan. Terlihat bahwa tiap-tiap AFR mempunyai nilai tekanan maximum yang berbeda . Tekanan maximum tertinggi dicapai pada AFR 23 dengan nilai tekanan 3740 Pa.

Gambar 11 menunjukkan hubungan antara temperature pada saat dimulai perubahan fase dan pada saat terjadinya penyalaan. Tiap – tiap AFR mempunyai nilai temperature yang berbeda – beda baik saat temperature mengalami perubahan fase maupun pada saat terjadinya penyalaan . Gambar 12 menunjukkan hubungan antara waktu mulai terjadinya perubahan fase . Ada perbedaan waktu pada masing –masing AFR namun perbedaan ttidak signifikan . Pada grafik menunjukkan rata-rata waktu terjadinya perubahan fase setelah 0,65 detik . Gambar 13 menunjukkan hubungan antara lama perubahan fase dengan AFR. Grafik menunjukkan bahwa rata-rata lama terjadinya perubahan fase 0,55 detik. Gambar 14 menunjukkan hubungan antara waktu terbakar dengan AFR. Grafik menunjukkan rata – rata waktu terbakar 1,2 detik. Gambar 15 menunjukkan hubungan antara lama terbakar dengan AFR . Grafik menunjukkan rata-rata lama terbakar 0,35 detik.

KESIMPULAN

1. Periode pembakaran gas LPG pada mikrokombustor terdiri dari periode pemanasan, periode perubahan fase dan periode penyalaan .
2. Pada proses penyalaan pada pembakaran gas LPG di

mikrokombustor diperoleh tekanan maksimum P_{max} sebesar 3745 Pa pada AFR 23.

3. Pada proses penyalaan pembakaran gas LPG di mikrokombustor diperoleh lama terbakar rata-rata 0,35 detik.

DAFTAR PUSTAKA

1. D.G.Norton, K.W.Voit, Brugman, D.G.Vlachos, E.D. Wetsel, 2004. Portable Power Generation Via Integrated Catalytic Microcombustion-Thermoelectric Devices.p. 1 – 3
2. Thomas Kania, Andreas Dreizler, 2009. Investigation of a Micro Combustion Chamber for a Thermoelectric Energy Converter. Proceedings of the European Combustion Meeting 2009. p. 1 – 2
3. Swarup Y. Jejurkar and Debi P. Mishra, 2009. A Review of Recent Patents on Micro-Combustion and Applications. p. 1 – 2
4. Micro Combustion – Wikipedia, the free Encyclopedia, 2010. <http://en.wikipedia.org/wiki/Micro-combustion>. October, 20, 2010.
5. Wonyoung Choi, Sejin Kwon, Hyun Dong Shin, 2009. Combustion characteristics of hydrogen–air premixed gas in a sub-millimeter scale catalytic combustor. Abstracts. ScienceDirect
6. Yang Wang, Zhijun Zhou, Weijuan Yang, Junhu Zhou, Jianzhong Liu, Zhihua Wang, Kefa Cen, 2010. Combustion of hydrogen-air in micro

- combustors with catalytic Pt layer.
Abstracts. ScienceDirect
7. Christopher M. Spadaccini, Ian A. Waitz,
2008. Micro-combustion.
Abstracts.ScienceDirect
8. I.N.G Wardana . Bahan Bakar &
Teknologi Pembakaran 2008.
Brawijaya University Press
9. Wiranto Arismunandar, Motor Bakar
Torak- Penggeral Mula, Penerbit ITB
Bandung, 1988