

Pengaruh *Air Fuel Ratio* Terhadap Emisi Gas Buang Berbahan Bakar Lpg Pada Ruang Bakar Model *Helle-Shaw Cell*

I Gusti Ngurah Putu Tenaya, Made Hardiana

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran Badung 80361, Indonesia

email : putu.tenaya@me.unud.ac.id

Abstraksi

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju sangat mempengaruhi kelangsungan hidup manusia. Perkembangan otomotif sebagai alat transportasi dan mesin-mesin penggerak sangat membantu dan memudahkan manusia dalam melaksanakan suatu pekerjaan. Untuk menggerakkan mesin-mesin tersebut dibutuhkan suatu bahan bakar yang tidak sedikit dari persediaan minyak bumi dunia. Namun cadangan minyak bumi di dunia semakin lama semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui. Untuk mengantisipasi dan menghadapi permasalahan tentang ketersediaan dan ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan bahan bakar minyak (BBM) digunakan Bahan Bakar Gas salah satunya *Liquified Petroleum Gas (LPG)*. Dalam kesempurnaan pembakaran ada tiga hal yang mempengaruhinya seperti perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio / AFR*), kehomogenan campuran, dan temperatur pembakaran. Dalam kesempurnaan pembakaran bisa dilihat dari kandungan emisi gas buangnya, maka dari itu penulis melakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh *AFR* terhadap emisi gas buang berbahan bakar *LPG* pada ruang bakar model *helle-shaw cell*.

Pengujian ini dilakukan pada ruang bakar model *helle-shaw cell* dengan memvariasikan perbandingan udara dan bahan bakar (*AFR*), dimana perbandingan udara dan bahan bakar dimulai dari 14:1, 15:1, 16:1, 17:1, 18:1, 19:1, 20:1, dan 21:1. Data yang di amati adalah kadar emisi gas buang CO , CO_2 , O_2 , dan HC .

Dari hasil penelitian didapat bahwa dengan menaikkan *AFR* dari 14:1 sampai 20:1 kadar CO , O_2 , dan HC menurun sedangkan CO_2 meningkat setelah itu pada *AFR* 21:1 kadar CO , O_2 , dan HC sedikit mengalami peningkatan sedangkan CO_2 sedikit mengalami penurunan. Untuk bahan bakar *LPG* *AFR* stoichiometry adalah 20:1. Pada *AFR* stoichiometry emisi gas buang CO , O_2 , HC adalah paling minimum sedangkan CO_2 adalah paling maximum

Kata kunci: Bahan Bakar *LPG*, *Air Fuel Ratio*, Emisi Gas Buang

Abstract

The progress of developing science and technology are really influence to human life. Expansion of automotive as transportation and machine mover, can help human to do their activities easily. To get the machines move, is need much of fuel from petroleum stock. But the stock of petroleum in world every day is very diminish and its unrenewable. To anticipation and solve the problem about ability and dependence of society to use the fuel, is used gasses fuel such as *liquified petroleum gas (LPG)*. The complete combustion are influence by three reason they are *Air Fuel Ratio (AFR)*, homogeneity of mixture, and temperature of combustion. The complete combustion can be seen from content of exhaust emission. From the reason, researcher was did the research to know the influence of *AFR* toward the exhaust emission of *LPG* fueled in the combustion chamber of *Helle-Shaw Cell* model.

This experiment was did in the combustion chamber of *Helle-Shaw Cell* model with varieted the *Air Fuel Ratio (AFR)*. The ratio is take from 14:1, 15:1, 16:1, 17:1, 18:1, 19:1, 20:1, and 21:1. The data that was observed are percentages of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), oxygen (O_2) and hydrocarbon (HC).

From result the research was get that the increasing of *AFR* from 14:1 to 20:1, the percentages of CO , O_2 , and HC are decrease but the percentages of CO_2 is increase and in *AFR* 21:1 is occur decrease of CO_2 , while the percentage other gases are increase. To the *LPG* fuel stoichiometry of *AFR* is occur in 20:1. In stoichiometry of *AFR* the exhaust emission of CO , O_2 , and HC are the most minimum but CO_2 is the most maximum.

Keywords: *LPG* fueled, *Air Fuel Ratio*, exhaust emission

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju sangat mempengaruhi kelangsungan hidup manusia. Perkembangan otomotif sebagai alat transportasi dan mesin-mesin penggerak sangat membantu dan memudahkan manusia dalam melaksanakan suatu pekerjaan. Untuk

menggerakkan mesin-mesin tersebut dibutuhkan suatu bahan bakar yang tidak sedikit dari persediaan minyak bumi dunia. Namun cadangan minyak bumi di dunia semakin lama semakin menipis sedangkan permintaan akan bahan bakar minyak akan terus meningkat seiring dengan perkembangan industri dunia. Dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi dunia maka harga Bahan Bakar Minyak (BBM) akan mengalami peningkatan yang semakin

tahun semakin meningkat, yang nantinya Bahan Bakar Minyak akan menjadi sangat mahal bagi sebagian besar masyarakat.

Untuk mengantisipasi dan menghadapi permasalahan tentang ketersediaan dan ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan bahan bakar minyak (BBM) digunakan Bahan Bakar Gas salah satunya *Liquified Petroleum Gas* (LPG), dimana bahan bakar LPG lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar minyak. LPG merupakan gas yang terbentuk dari unsur C_3H_8 (propana) dan C_4H_{10} (butana) diberikan tekanan sampai dengan 300 psi sehingga unsur tersebut berubah fase menjadi cair.

Dalam kesempurnaan pembakaran ada tiga hal yang mempengaruhinya seperti perbandingan udara dan bahan bakar (Air Fuel Ratio / AFR), kehomogenan campuran, dan temperatur pembakaran. Pada air fuel ratio (AFR) terdapat campuran kaya dan campuran kurus, campuran kaya adalah campuran dimana jumlah bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan udara, sedangkan campuran kurus adalah campuran yang kekurangan bahan bakar atau kelebihan udara. Antara campuran kaya dan campuran kurus terdapat campuran stoichiometry, dimana perbandingan antara udara dengan bahan bakar dalam keadaan setimbang. Setiap perbandingan volume udara dengan bahan bakar menghasilkan emisi gas buang yang berbeda – beda. Perbandingan udara dengan bahan bakar yang kurang sempurna akan berdampak terhadap gas buang dari proses pembakaran.

Menurut Wardana (1995) pada pembakaran *premixed* sering kali gagal atau tidak sempurna, karena tidak sesuai dengan syarat – syarat pembakaran seperti oksigen yang dipergunakan tidak cukup atau perbandingan campuran udara dengan bahan bakar tidak tepat, campuran antara udara dengan bahan bakar yang kurang sempurna dan temperatur udara dengan bahan bakar terlalu rendah untuk membantu pembakaran. Pembakaran yang tidak sempurna ini akan berdampak terhadap energi yang diperoleh tidak akan maksimal bahkan akan dapat menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan atau polusi udara.

Dari uraian latar belakang diatas, maka penulis merasa perlu untuk mengadakan penelitian tentang pengaruh variasi perbandingan campuran udara dengan Bahan Bakar Gas yaitu *Liquified Petroleum Gas* (LPG) terhadap emisi gas buang pada ruang bakar model *Helle-Shaw Cell* sehingga didapatkan campuran yang tepat.

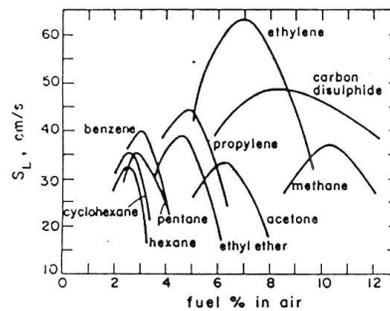
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan campuran udara dengan Bahan Bakar Gas yaitu *Liquified Petroleum Gas* (LPG) terhadap emisi gas buang pada ruang bakar model *Helle-Shaw Cell* sehingga didapatkan perbandingan AFR yang tepat yang akan mengurangi polusi udara dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Disamping itu

ingin memberikan sumbangan langsung terhadap peningkatan kualitas perkuliahan berupa teori baru, buku ajar, alat model pembelajaran mata kuliah bahan bakar pelumas dan teknik pembakaran.

2. STUDI PUSTAKA

Berbagai penelitian sebelumnya tentang pembakaran dan penggunaan bahan bakar gas yang mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut:

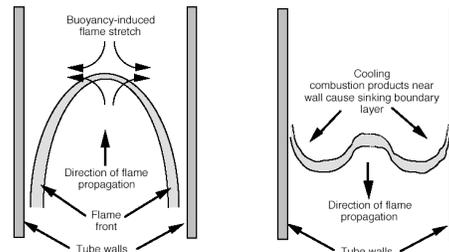
Suatu pengamatan yang dilakukan oleh Hartmann (1931) tentang pengaruh perbandingan campuran udara dan bahan bakar terhadap kecepatan penyalaan, menyatakan bahwa kecepatan nyala terutama ditentukan oleh variasi perbandingan campuran udara dengan bahan bakar. Untuk bahan bakar *hydrocarbon*, puncak dari kecepatan api terjadi pada *stoichiometry*.



Gambar 2.1 Variasi dari kecepatan api dengan perbandingan campuran

Sumber: Kenneth Kuan-yun Kuo, 1986: 310

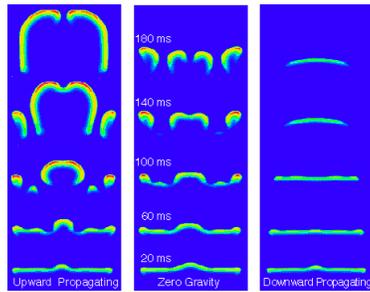
Buckmaster dan Kimolaitis (1982). Mereka mengamati perambatan api dalam pipa transparan dengan pergerakan api dari bawah dan dari atas untuk campuran bahan bakar CH_4 dan udara. Skema hasil pengamatan diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pergerakan api vertikal
Sumber: Buckmaster dan Kimolaitis, 1982

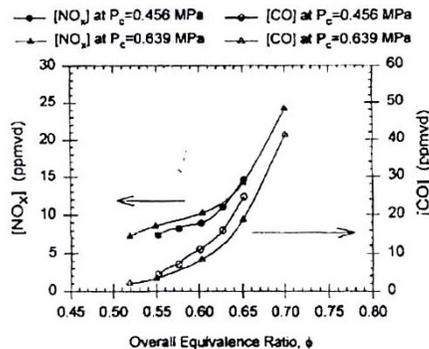
Patnaik dan Kailasanath (1992) mensimulasikan pergerakan api 2-D di dalam *Helle Shaw cell* dengan memperhitungkan gaya gravitasi pada berbagai tingkat kecepatan serta arah pergerakan dari atas dan dari bawah. Bahan bakar

yang digunakan adalah campuran 10 % *hydrogen* dan 90 % udara. Hasilnya dapat dilihat seperti pada gambar 2.3.



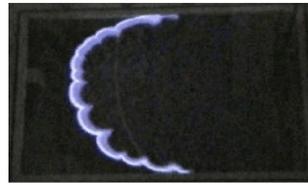
Gambar 2.3 Pergerakan api 2D di dalam cell
Sumber: Patnaik dan Kailasanath, 1992

Suatu eksperimen yang dilakukan oleh Broda, *et.al.* (1998) terhadap dinamika pembakaran pada turbin gas. Pada penelitian tersebut diamati pengaruh *equivalence ratio* (Φ) atau perbandingan antara *air-to-fuel ratio* teoritis ($AFR_{teoritis}$) dengan *air-to-fuel ratio* aktual (AFR_{aktual}) dan tekanan kompresi ruang bakar terhadap emisi gas buang terutama NO_x dan CO . Hasil eksperimen ini menunjukkan bahwa untuk Φ antara 0,52 – 0,60 menghasilkan emisi gas NO_x dan CO sangat rendah, sedangkan $\Phi = 0,60$ keatas menghasilkan emisi gas NO_x dan CO sangat tinggi. Grafik data hasil eksperimen seperti pada gambar 2.4.



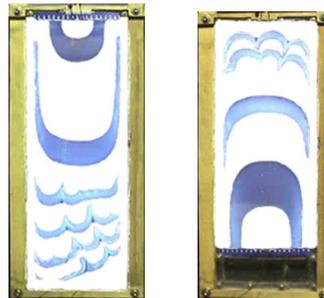
Gambar 2.4 Effect of equivalence ratio and chamber pressure on NO_x and CO emission (corrected 15% O_2)
Sumber: Broda *et.al.*, (1998)

Selain itu Ronney (2001) juga mengamati pergerakan api secara horizontal dari kanan ke kiri dalam *helle-shaw cell* dengan ukuran 60 cm x 40 cm x 1,27 cm. Bahan bakar yang digunakan adalah 6,8 % *methane* yang dicampur dengan 93,2 % udara. Hasil pengamatannya dapat dilihat pada gambar 2.5.



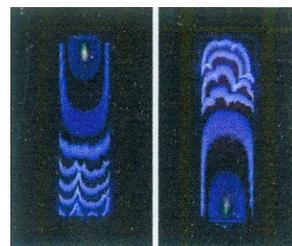
Gambar 2.5 Pergerakan api secara horizontal dari kanan ke kiri campuran *methane* dan udara
Sumber: Ronney, 2001

Penelitian yang dilakukan oleh Rafael Mado (2006) tentang pengaruh perbandingan campuran udara dengan bahan bakar (LPG) terhadap bentuk dan kecepatan rambat api. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *stoichiometry* untuk pembakaran LPG adalah pada perbandingan volume udara dengan volume bahan bakar (AFR) 20 : 1. Kecepatan rambat api maksimum dicapai pada campuran *stoichiometry*. Hasil pengamatannya dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bentuk rambat api pada AFR 20 : 1 bahan bakar LPG
Sumber: Rafael Mado, 2006

Penelitian yang dilakukan oleh Adi Winarta (2007) tentang pengaruh perbandingan campuran udara dengan bahan bakar gas (BBG) terhadap bentuk dan kecepatan rambat api. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *stoichiometry* untuk pembakaran BBG adalah pada perbandingan volume udara dengan volume bahan bakar (AFR) 8 : 1 dan kecepatan rambat api maksimum dicapai pada campuran *stoichiometry*. Hasil pengamatannya dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bentuk rambat api pada AFR 8 : 1 bahan bakar gas
Sumber: Adi Winarta, 2007

3. METODE PENELITIAN

3.1 Variable Yang Diukur

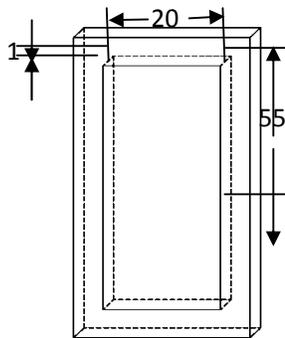
Ada dua buah variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Variable bebas, adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian dilakukan, dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah Air Fuel Ratio yaitu : 14:1, 15:1, 16:1, 17:1, 18:1, 19:1, 20:1, 21:1
2. Variabel terikat, adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah emisi gas buang yaitu : CO, CO₂, O₂, dan HC

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Ruang bakar model *Helle-Shaw Cell*.
Yaitu suatu ruang bakar yang terdiri dari dua buah plat dengan dimensi ruang bakar sebagai berikut:
 - Tinggi : 55 cm
 - Lebar : 20 cm
 - Tebal : 1 cm



Ruang bakar yang digunakan terbuat dari 2 buah bahan acrylic dengan ukuran 61 cm x 26 cm x 1 cm dan 1 buah acrylic ukuran yang sama dengan lubang di dalamnya yang berukuran 55 cm x 20 cm x 1 cm.

2. Pemantik.
Alat ini digunakan untuk menyalakan campuran bahan bakar gas dan udara yang berada di dalam ruang bakar.
3. Tabung pelimpahan.
Alat ini digunakan untuk menampung air pelimpahan dari ruang bakar.

4. Tabung LPG 3 kg.
Digunakan sebagai tempat penyimpanan bahan bakar gas LPG.
5. Kompresor.
Digunakan sebagai pemasuplai udara yang diperlukan dalam pembakaran. Kompresor yang digunakan memiliki spesifikasi :
 - Model : ZB-01/8-BaMa
 - Merk : Wipro
 - Buatan : Jepang
 - Tegangan : 220 Volt
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Arus : 7,5 A
 - Daya : 1650 Watt
6. Gas Analyzer.
Digunakan untuk mengukur gas buang dari hasil pembakaran.
7. Komputer.
Digunakan untuk mengolah data.
8. Selang udara dan selang LPG.
Digunakan untuk mengalirkan udara dan bahan bakar gas ke dalam tabung ruang bakar.
9. Katup.
Digunakan untuk mengatur kapasitas bahan bakar dan udara yang akan digunakan.

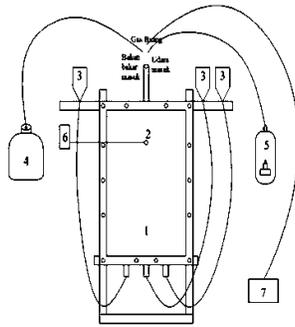
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Air.
Air disini diambil dari air bersih biasa.
2. Bahan bakar gas LPG.
Bahan bakar gas yang digunakan diambil dari gas LPG yang diproduksi dan dipasarkan oleh PT. Pertamina. LPG yang digunakan dalam penelitian adalah LPG dengan berat bersih 3 kg, seperti gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 tabung LPG 3 kg

3.3 Instalasi Penelitian



Gambar 3.2 Skema Instalasi

Keterangan:

1. Ruang bakar model *Helle-Shaw Cell*.
2. Lubang Pemanik.
3. Bak Penampung.
4. Tabung LPG.
5. Kompresor.
6. Pemanik.Gas
7. Analyzer.

3.4 Pelaksanaan Pengujian dan Pencatatan Data

Untuk mendapatkan perbandingan volume campuran udara dan bahan bakar diperoleh dengan membagi volume dari ruang bakar. Untuk perbandingan udara dan bahan bakar 14:1, maka volume ruang bakar dibagi menjadi 15 bagian lalu bahan bakar LPG dialirkan ke ruang bakar sampai menempati 1 bagian volume tersebut sisanya 14 bagian diisi udara. Kemudian pengujian berikutnya dengan memvariasikan perbandingan udara dengan bahan bakar dari 15:1, 16:1, 17:1, 18:1, 19:1, 20:1, 21:1.

Urutan pelaksanaan pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan dan disusun sesuai dengan gambar instalasi yang direncanakan.
2. Mengisi ruang bakar dengan air hingga penuh
3. Memasukkan bahan bakar gas dan udara secara bergantian melalui kran atas sesuai dengan skala pada ruang bakar untuk memperoleh perbandingan udara dan bahan bakar gas 14:1. Masuknya udara dan bahan bakar gas yang bertekanan akan menekan air dalam tabung sehingga air akan turun sampai batas skala yang ditetapkan dan air akan keluar melalui selang mengisi tabung pelimpahan yang ada di samping kiri dan kanan.
4. Menghubungkan alat uji gas buang dengan ruang bakar.
5. Penyala dihubungkan pada terminal bagian bawah.
6. Tombol pemanik ditekan.
7. Mengukur gas buang dari pembakaran.

8. Langkah 2 sampai 7 dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.
9. Ulangi langkah 2 sampai 8 dengan variasi campuran udara dan bahan bakar 15:1, 16:1, 17:1, 18:1, 19:1, 20:1, 21:1.

4. PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Data yang di tampilkan pada table 4.1 di bawah ini adalah data hasil pengujian pengaruh *Air Fuel Ratio* terhadap emisi gas buang berbahan bakar LPG. Adapun data-data yang diperoleh setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut.

Table 4.1 Data Hasil Pengujian

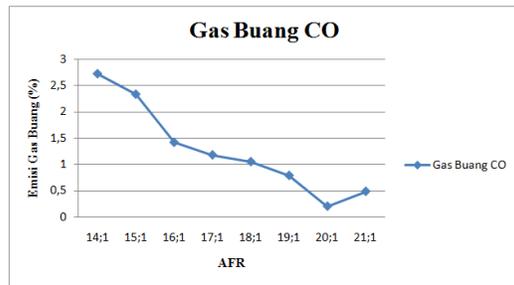
Air Fuel Ratio	Pengulangan	Kandungan Gas Buang			
		CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)
14:1	1	2,836	8,45	23,53	578
	2	2,604	8,37	23,49	564
	3	2,733	8,23	23,69	543
15:1	1	2,013	9,90	23,47	522
	2	2,225	9,26	23,40	517
	3	2,765	9,17	23,39	505
16:1	1	1,449	10,73	23,33	453
	2	1,491	10,84	23,37	489
	3	1,314	10,65	23,18	437
17:1	1	1,137	11,49	22,99	392
	2	1,087	11,23	22,93	356
	3	1,314	11,37	22,80	390
18:1	1	1,064	12,24	22,68	305
	2	1,015	12,06	22,61	300
	3	1,072	12,15	22,75	316
19:1	1	0,935	13,23	22,12	269
	2	0,725	13,17	21,96	260
	3	0,703	13,08	21,85	252
20:1	1	0,197	14,22	20,73	135
	2	0,177	14,54	20,64	116
	3	0,231	14,65	20,98	157
21:1	1	0,559	13,93	21,75	243
	2	0,445	13,87	21,59	241
	3	0,449	13,75	21,53	223

4.2 Pengolahan Data

Tabel 4.2 Data Hasil Penelitian Yang Telah di Rata-Ratakan

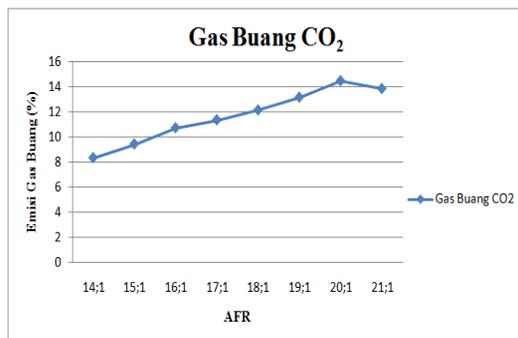
Air Fuel Ratio	Kandungan Gas Buang			
	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)
14:1	2,724	8,35	23,57	562
15:1	2,334	9,44	23,42	515
16:1	1,418	10,74	23,29	460
17:1	1,179	11,36	22,91	379
18:1	1,050	12,15	22,68	307
19:1	0,788	13,16	21,98	260
20:1	0,202	14,47	20,78	136
21:1	0,484	13,85	21,62	236

4.3 Grafik Hasil Penelitian Dan Pembahasan



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara *Air Fuel Ratio* Terhadap Gas Buang CO

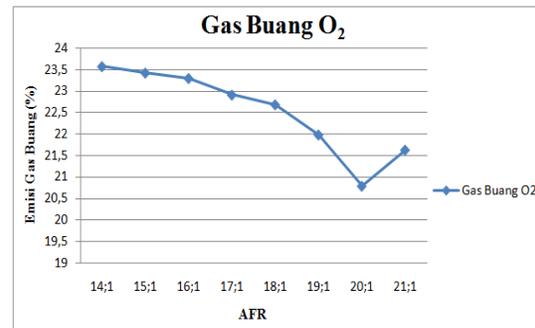
Ditinjau dari grafik di atas terlihat bahwa pada perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*/AFR) 14:1 yaitu perbandingan udara dengan bahan bakar dimana volume udara adalah 14 bagian dan bahan bakar 1 bagian. Pada kondisi ini gas buang CO-nya yang paling maksimum yaitu sebesar 2,724 %, dan akan mengalami penurunan sampai dengan AFR 20:1 sebesar 0,202 %. Hal ini terjadi karena pada AFR 14:1 udara yang masuk ke dalam ruang bakar masih sangat kecil dan akan terus meningkat dengan bertambahnya AFR sampai kondisi stoichiometry yaitu AFR 20:1. Tetapi pada AFR 21:1 konsentrasi gas CO kembali mengalami peningkatan menjadi 0,484 %, peningkatan gas CO ini terjadi karena bahan bakar tidak terbakar secara sempurna akibat perbandingan udara dan bahan bakar tidak ideal.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara *Air Fuel Ratio* Terhadap Gas Buang CO₂

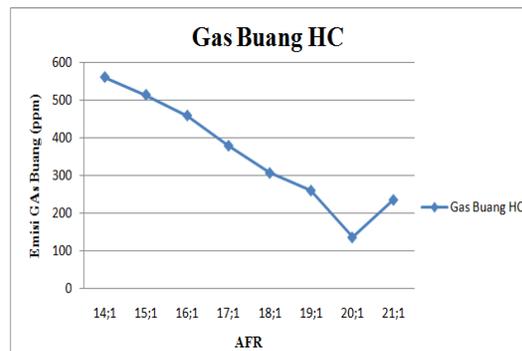
Ditinjau dari grafik di atas terlihat bahwa pada perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*/AFR) 14:1 emisi gas CO₂ merupakan nilai terendah sebesar 8,35 % dan akan meningkat sampai AFR 19:1 sebesar 13,16 %. Hal ini disebabkan karena proses pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna akibat dari kurangnya udara yang masuk ke dalam ruang bakar, sedangkan pada AFR 20:1 yaitu kondisi stoichiometry emisi CO₂ paling maksimum sebesar 14,47 % ini merupakan perbandingan udara dan bahan bakar paling ideal. Tetapi pada AFR 21:1 dimana kondisi stoichiometry

telah terlewati sehingga konsentrasi emisi gas CO₂ kembali mengalami penurunan menjadi 13,85 %.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara *Air Fuel Ratio* Terhadap Gas Buang O₂

Ditinjau dari grafik di atas terlihat bahwa pada perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*/AFR) 14:1 emisi gas O₂ sebesar 23,57 % dan terus mengalami penurunan sampai dengan AFR 20:1 dengan emisi gas O₂ 20,78 %. sedangkan pada AFR 21:1 emisi gas O₂ kembali naik menjadi 21,62 % karena pada campuran miskin, udara berlebih ini tidak terbakar dalam proses pembakaran.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara *Air Fuel Ratio* Terhadap Gas Buang HC

Dari grafik di atas terlihat bahwa pada perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*/AFR) 14:1 emisi gas HC merupakan nilai tertinggi sebesar 562 ppm dan akan menurun sampai AFR 19:1 sebesar 260 ppm. Hal ini terjadi karena udara semakin tidak cukup untuk membakar semua bahan bakar dalam proses pembakaran sehingga bahan bakar tidak habis terbakar sempurna dan bahan bakar yang belum terbakar akan keluar sebagai gas buang pada saluran buang dalam bentuk hidrokarbon. Sedangkan pada AFR 20:1 yaitu kondisi stoichiometry emisi gas HC paling minimum sebesar 136 ppm ini merupakan perbandingan udara dan bahan bakar paling ideal. Tetapi pada AFR 21:1 dimana kondisi stoichiometry telah terlewati sehingga konsentrasi emisi gas HC kembali

mengalami peningkatan menjadi 236 ppm karena pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar berlangsung kurang sempurna akibat kelebihan udara.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang emisi gas buang berbahan bakar LPG pada ruang bakar model *Helle-ShawCell* dengan perbandingan udara dan bahan bakar, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan:

1. Untuk bahan bakar LPG AFR stoichiometry adalah 20,33:1.
2. Pada AFR stoichiometry emisi gas buang CO, O₂, HC adalah paling minimum sedangkan CO₂ adalah paling maximum.
3. Semakin tepat campuran antara udara dan bahan bakar maka proses pembakaran yang terjadi semakin baik atau sempurna sehingga konsentrasi atau kadar gas buangnya akan memenuhi standar baku mutu.

5.2 Saran

Ada beberapa hal yang dapat penulis sarankan kepada para pembaca yaitu

1. Ruang bakar yang digunakan sebaiknya lebih panjang agar dalam menentukan ukuran sewaktu membagi ruang bakar menjadi beberapa bagian volume lebih mudah melakukan pengukurannya.
2. Ketebalan plat transparan (acrylic) sebaiknya ditingkatkan, sehingga dapat bertahan pada tekanan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abid Mohammed, Sharif Jamal A, Ronney Paul D, (2001). **Dynamics of Front Propagation in Narrow Channels**, Departement of Aerospace & Mechanical Engineering University of Southern California Los Angeles.
2. Adi Winarta (2007). **Pengaruh Perbandingan Campuran BBG dan Udara Terhadap Pola dan Kecepatan Api Premix**, Thesis Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
3. Broda, J.C., Seo, S., Santoro, R.J., Shirhatli, G and Yang, V., (1998). **An Experiment Study of Combustion Dynamics of a Premixed Swirl Injector**, Twenty Seventh Symposium (International) on Combustion /The Combustion Institute, 1998/pp. 1849-1856.
4. Buckmaster, J. D., Kimolaitis, D. (1982). **A flammability-limit model for upward propagation through lean methane/air mixture in a standard flammability tube**, Combust. Flame 45, 109-119.
5. Dugger, G.L., Heimel, S., and Weast, R.C., (1955). *Ind. and Engrg. Chem.* Vol.47.p.144.
6. Hartmann, E. (1931). *Thesis*, Karlsruhe.
7. Keller, Edward. (1995). **International Experience with Clean Fuel**, SAE, no. 931831, pp. 37-40.
8. Kenneth Kuan-yun Kuo. (1986). **Principles of Combustion**, Distinguished Alumni Professor Departement of Mechanical Engineering The Pennsylvania State University Park, Pennsylvania.
9. Patnaik, G., Kailasanath, K. (1992). **Numerical simulation of the extinguishment of downward diffusion flame in microgravity**, Combustion Flame 112. p.189-195.
10. Rafael Mado. (2006). **Pengaruh perbandingan campuran udara dan LPG pada bentuk dan kecepatan api premix**, Thesis Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
11. Wardana, ING., (1995). **Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran**, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
12. Zel'dovich, B. and Frank-Kamenetsky, D.A., (1938). *Comp. Rend. Acad. Sci. URSS*, vol. 19, p.693.