

## PENGARUH PEMANASAN CAMPURAN BAHAN BAKAR GAS-UDARA TERHADAP KECEPATAN RAMBAT API *PREMIXED* PADA RUANG BAKAR MODEL *HELLE-SHAW CELL*

I Gusti Ngurah Putu Tenaya, ST., MT.

(Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana)

### ABSTRACT

*The completeness of combustion is influence by many factors, one of them is the temperature heating of air-fuel mixture (reactant). In high-temperature reactant, the reaction of decomposition or fuel break-down would be intensified. This reaction could form free radical or ion in a large number in the ignition and this free radical is the carrier which triggers the reaction.*

*The chamber used in this research is the Helle-shaw cell model with the dimension of 55 x 20 x 1.2 cm. The variations of reactant temperature heating used in this process are 300 K, 303 K, 308 K, 313 K, 318 K, 323 K, 328 K, 333 K, 338 K, 343 K, and 348 K. The ignition was initiated from the upper part. The observation of form of fire and its spreading speed was conducted using high-speed camera.*

*The research shows that the higher the reactant temperature heating, then the bluer the color of fire and the faster its spreading speed.*

**Keywords:** *BBG, fire spreading speed, reactant temperature heating, pre-mixed fire, Helle-shaw cell.*

### PENDAHULUAN

Untuk mengantisipasi ketergantungan yang sangat tinggi terhadap BBM, mengingat suatu saat cadangan minyak bumi akan habis dan untuk mengurangi polusi udara dari kendaraan bermotor, pemerintah telah mengupayakan diversifikasi bahan bakar kendaraan bermotor berupa penggunaan bahan bakar gas (BBG). Mengingat cadangan gas alam yang dimiliki oleh negeri kita cukup besar maka berbagai penelitian mengenai pemanfaatan dan penggunaan secara lebih efisien masih perlu dilaksanakan. Salah satunya dengan menaikkan temperatur pemanasan campuran udara dan bahan bakar gas. Karena dengan temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara yang semakin tinggi akan membuat ikatan-ikatan penyusun senyawa bahan bakar menjadi lebih tidak stabil sehingga reaksi penguraian ikatan-ikatan senyawa bahan bakar tersebut menjadi radikal bebas atau atom-atom yang sangat halus dalam jumlah yang besar menjadi sangat mudah. Setelah bercampur dengan udara, campuran menjadi lebih homogen sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

Beberapa peneliti yang melakukan penelitian tentang fenomena pembakaran adalah Hartman (1931) yang meneliti tentang pengaruh perbandingan campuran udara dengan bahan bakar terhadap kecepatan penyalan, menyatakan bahwa untuk bahan bakar *hydrocarbon* puncak dari kecepatan api terjadi pada

campuran *stoichiometry*. Zel'dovich (1938) menyatakan pada temperatur tinggi reaksi penguraian atau pemutusan ikatan-ikatan bahan bakar menjadi sangat intensif. Duger, *et.al.* (1955) meneliti tentang pengaruh temperatur awal untuk campuran *hydrocarbon*-udara terhadap kecepatan nyala laminer. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kecepatan nyala laminer ( $S_L$ ) makin bertambah naik dengan meningkatnya temperatur awal ( $T_0$ ) untuk campuran *hydrocarbon*-udara. Rafael Mado (2006) melakukan penelitian tentang pengaruh perbandingan campuran udara dengan bahan bakar (LPG) terhadap kecepatan rambat api, hasil penelitian menunjukkan bahwa *stoichiometry* untuk pembakaran LPG adalah pada (AFR) 20 : 1 dan 21 : 1 dan kecepatan rambat api maksimum dicapai pada campuran *stoichiometry*. Adi Winarta (2007) juga melakukan penelitian tentang pengaruh perbandingan campuran udara dengan bahan bakar terhadap kecepatan rambat api tetapi menggunakan bahan bakar gas (BBG), hasil penelitian menunjukkan bahwa *stoichiometry* untuk pembakaran BBG adalah pada (AFR) 8 : 1 dan kecepatan rambat api maksimum dicapai pada campuran *stoichiometry*.

Mengingat belum ada yang meneliti tentang pengaruh temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara terhadap kecepatan rambat apinya dan untuk mendukung upaya diversifikasi bahan bakar gas sebagai bahan bakar kendaraan bermotor maka perlu dilakukan penelitian dasar mengenai hal tersebut di atas.



## METODE

### • Tempat Penelitian

• Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana.

### • Variabel Penelitian

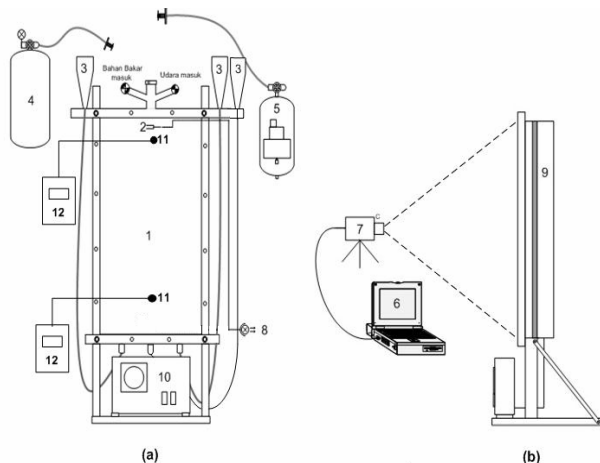
Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah kecepatan rambat api *premixed* pada ruang bakar model *Helle-shaw cell*, sedangkan perlakuan yang diberikan adalah variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara yaitu 300 K, 303 K, 308 K, 313 K, 318 K, 323 K, 328 K, 333 K, 338 K, 343 K dan 348 K pada AFR 7 : 1 dengan penyalan dari atas.

### • Alat dan Bahan

Ruang bakar yang digunakan adalah ruang bakar model *Helle-shaw cell* seperti gambar 1, dengan ukuran 55 x 20 x 1,2 cm yang terbuat dari bahan *acrylic* dengan ukuran 61 x 26 x 1,2 cm dan plat besi dengan ukuran 55 x 20 x 0,3 cm. Bahan Bakar Gas diperoleh dari Natural Gas PT. Lapindo Brantas dengan kandungan 98,5 % methana (CH<sub>4</sub>) dan 1,4 % nitrogen (N<sub>2</sub>).

### • Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema instalasi

(a) Tampak depan

(b) Tampak samping

Keterangan gambar:

1. Ruang bakar model *helle-shaw cell*
2. Pemantik
3. Tabung pelimpahan

4. Tabung BBG
5. Kompresor
6. Komputer
7. *Handycam*
8. Saklar pematik
9. Sistem pemanas
10. *Termocontrol*
11. *Thermocouple*
12. *Digital Multimeter*

### • Metode Pengambilan Data

Untuk mendapatkan perbandingan volume campuran udara dan bahan bakar diperoleh dengan membagi volume dari ruang bakar. Untuk perbandingan udara bahan bakar 7 : 1, maka volume ruang bakar dibagi menjadi 8 bagian lalu BBG dialirkan ke ruang bakar sampai menempati 1 bagian volume tersebut, sisanya 7 bagian diisi udara.

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. *Handycam* diatur dudukannya di atas *threepod*.
4. Penyala dihubungkan pada terminal bagian atas.
5. Memasukkan bahan bakar gas dan udara secara bergantian melalui kran atas sesuai dengan skala pada ruang bakar untuk memperoleh perbandingan bahan bakar gas dan udara 1 : 7.
6. Setelah ruang bakar terisi campuran bahan bakar gas dan udara, ruang bakar dipanaskan sesuai dengan temperatur pemanasan yang diinginkan.
7. Diamkan  $\pm 5$  detik untuk meratakan temperatur pemanasan dan campuran menjadi homogen.
8. Catat temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara tersebut sesuai dengan yang ditunjukkan pada *Digital Multimeter*.
9. Kamera dihidupkan.
10. Tombol pemantik ditekan.
11. Setelah gambar rambatan api terekam, kamera kemudian dimatikan dan gas hasil pembakaran yang tersisa dalam tabung dibuang dengan membuka kran atas.
12. Kemudian dilakukan langkah – langkah seperti di atas untuk tiap – tiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara.

### • Metode Pengolahan Data

Hasil rekaman dari *handycam* ditransfer ke CD menjadi *file AVI*, kemudian dengan menggunakan *software Pinnacle* dari gambar bergerak diextract menjadi gambar diam dalam sejumlah *frame* yang tersusun berurutan dari saat menyala pertama sampai padam. Pola rambat api dapat ditampilkan dalam bentuk



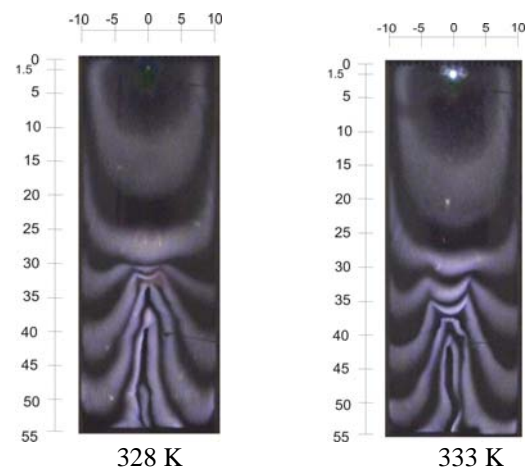
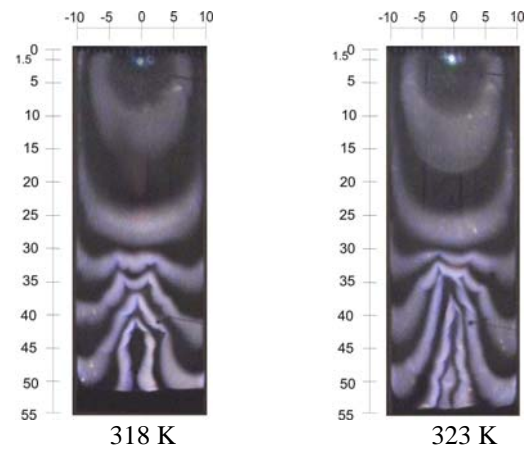
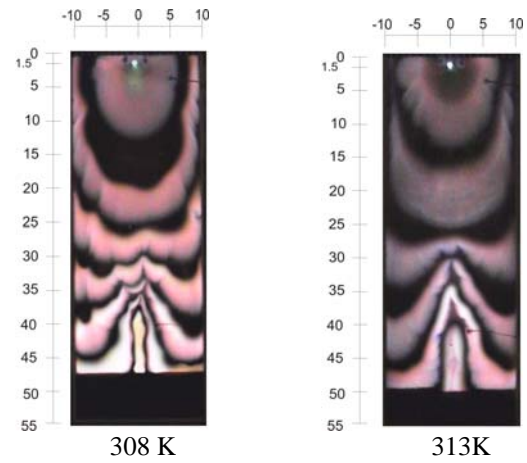
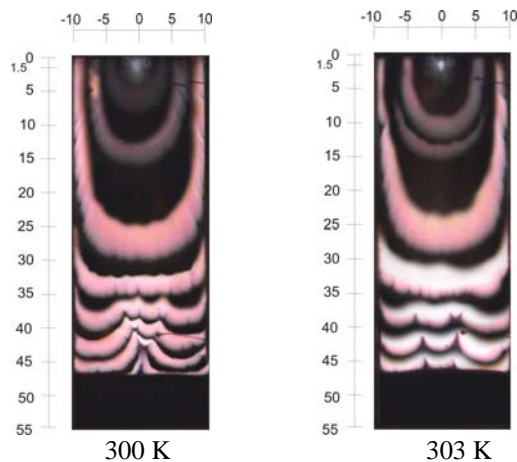
gambar transparan yang ditumpuk, dimana sebelumnya setiap *frame* gambar dihilangkan latar belakangnya menggunakan *software* lunak *Adobe Photoshop 7.0*, sehingga setiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara akan menampilkan gambar pola rambatan api yang berbeda-beda dalam setiap *framenya*.

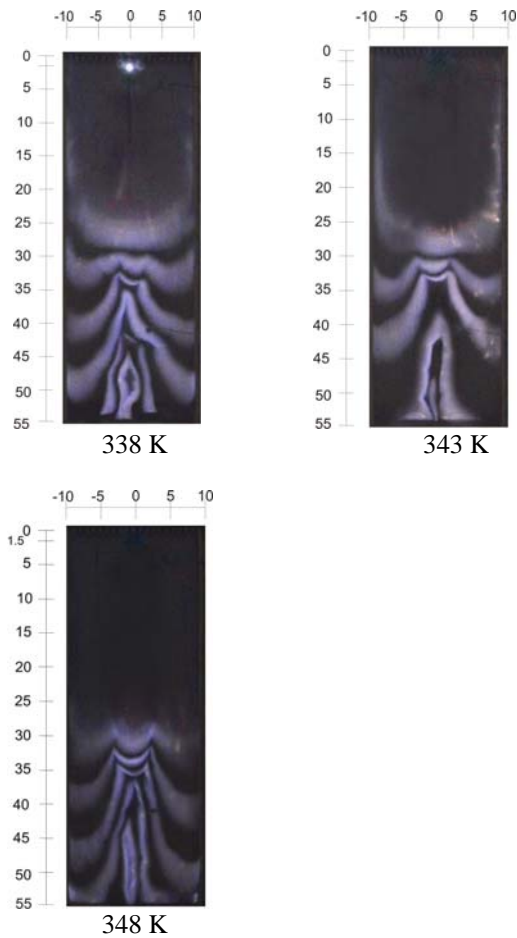
Dari hasil gambar ini dilakukan pengukuran jarak ke arah vertikal secara tegak lurus dari titik penyala ke ujung api setiap *framenya* dengan menggunakan *software* lunak *ImageJ*, dimana sebelumnya sudah ditetapkan suatu skala yang diketahui sebagai acuan sehingga jarak yang dicari bisa diperoleh. Secara horizontal pengukuran jarak dilakukan 0,5 cm ke arah kanan dan 0,5 cm ke arah kiri dari penyala dengan beda jarak 1 mm. Titik tepat posisi penyala dinyatakan dengan titik 0 (nol) sedangkan posisi ke arah kanan dari penyala dinyatakan dengan nilai + (positif) dan ke arah kiri dari penyala dinyatakan dengan nilai negatif (-). Kecepatan kamera yang digunakan adalah 25 *frame/detik*, maka waktu yang diperlukan untuk satu *frame* adalah 1/25 detik. Dengan demikian kecepatan rambat api bisa didapat dengan jalan membagi jarak api ke arah vertikal pada setiap *frame* dengan waktu. Dengan menggunakan piranti lunak *Excel* akan diperoleh tabel dan grafik hubungan jarak dari penyala secara horizontal dengan kecepatan rambat api pada setiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara.

## ANALISA

### • Bentuk Rambatan Api

Setelah menumpuk gambar transparan dengan menggunakan *software* lunak *Adobe Photoshop 7.0*, maka akan didapatkan gambar bentuk serta pola rambatan api (satuan dalam cm) seperti gambar 2 berikut:





**Gambar 2.** Pola rambatan api dengan penyalaan dari atas pada variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara

Bentuk rambatan api yang dihasilkan akibat variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara yang dilakukan ternyata menunjukkan perubahan yang berbeda-beda, seperti pada gambar 2 terlihat bahwa:

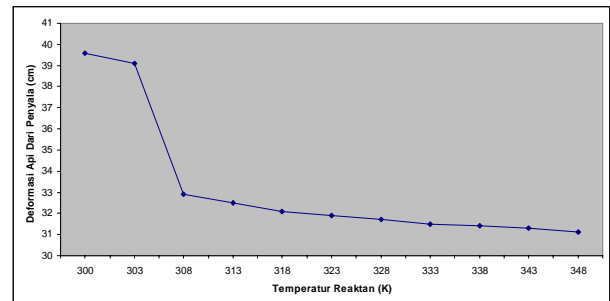
Dari bentuk *framanya*, pada umumnya pola rambatan api adalah berbentuk parabola, dari parabola yang kecil didekat pemantik terus berkembang menjadi parabola yang besar, bahkan semakin jauh dari pemantik awalnya berbentuk parabola yang mendatar dan akhirnya pecah menjadi beberapa parabola yang kecil-kecil. Pada temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara 300 K dan 303 K pola rambat berbentuk parabola terjadi sampai *frame* keempat untuk temperatur 308 K sampai 328 K terjadi sampai *frame* kedua, untuk temperatur 333 K sampai 343 K terjadi pada *frame* pertama, bahkan pada temperatur 348 K tidak ada, langsung pecah menjadi parabola kecil-kecil. Pola rambat berbentuk parabola kecil-kecil pada temperatur

300 K dan 303 K mulai terjadi pada *frame* keenam, pada temperatur 308 K sampai 328 K mulai terjadi pada *frame* ketiga, untuk temperatur 333 K sampai 343 K mulai terjadi pada *frame* kedua sedangkan pada temperatur 348 K langsung dari *frame* pertama. Pada temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara yang semakin tinggi, semakin kebawah bentuk *frame* parabola pada posisi tepat segaris dengan titik penyalaan rambatan apinya tertahan sedangkan semakin jauh dari titik penyalaan kearah kanan dan kiri, rambatan api semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh dari gaya apung.

Dari jumlah *frame*, semakin tinggi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara jumlah *framanya* menjadi berkurang seperti pada temperatur 300 K jumlahnya 9, temperatur 303 K jumlahnya 8, temperatur 308 K jumlahnya 7, temperatur 313 K sampai temperatur 338 K jumlahnya 6 dan temperatur 343 K, 348 K jumlahnya 5.

Dari warna apinya, pada temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara 300 K sampai temperatur 313 K warna api pada umumnya berwarna merah tetapi pada temperatur pemanasan yang semakin tinggi warna merahnya semakin pudar. Pada temperatur 318 sampai temperatur 348 K api berwarna biru, tetapi warna birunya berbeda-beda dari biru yang kemerah-merahan menjadi biru yang cerah.

Gaya apung timbul karena adanya perbedaan densitas campuran antara bahan bakar dengan udara akibat adanya perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur timbul karena adanya panas yang dihasilkan akibat reaksi pembakaran antara bahan bakar dengan udara dan adanya proses pemanasan, dimana secara vertikal temperatur pembakaran dibagian bawah lebih besar dari temperatur pembakaran diatas, sehingga densitas reaktan di bawah lebih ringan dari densitas reaktan di atas yang nantinya akan menyebabkan aliran secara vertikal dari bawah keatas, aliran ini akan menghambat rambatan api dari atas ke bawah.



**Gambar 3** Grafik hubungan temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara terhadap deformasi bentuk api



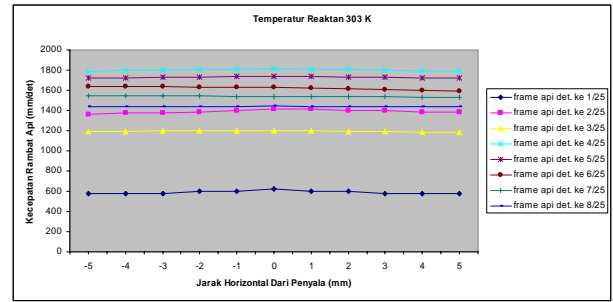


Gaya apung juga menyebabkan deformasi bentuk api, dimana semakin tinggi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara deformasi api terjadi semakin dekat dengan titik penyalaan, seperti gambar 3. Ini menunjukkan bahwa semakin besar temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara, akan memberikan efek gaya apung semakin besar.

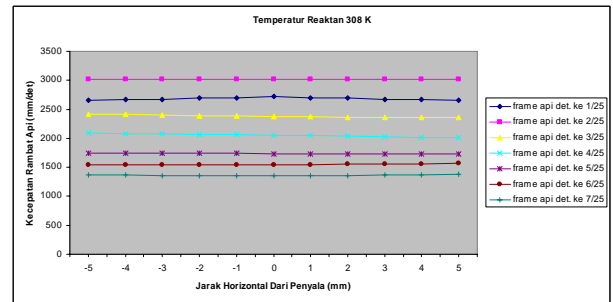
Warna api merah disebabkan oleh kondisi campuran yang kaya bahan bakar, karena *stoichiometry* untuk pembakaran BBG adalah pada AFR 8 :1 (Adi Winarta, 2007). Dengan temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara yang semakin tinggi warna api akan berubah, dari warna merah menjadi merah yang pudar, biru kemerah-merahan, biru, terakhir berwarna biru yang cerah, hal ini menunjukkan proses pembakaran berlangsung lebih sempurna. Dengan temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara yang semakin tinggi, juga menyebabkan jumlah *frame* api semakin berkurang, ini menunjukkan kecepatan rambat apinya semakin cepat. Kedua hal ini disebabkan karena dengan temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara yang semakin tinggi akan membuat ikatan-ikatan penyusun senyawa bahan bakar menjadi lebih tidak stabil sehingga reaksi penguraian ikatan-ikatan senyawa bahan bakar tersebut menjadi radikal bebas atau atom-atom yang sangat halus dalam jumlah yang besar menjadi sangat mudah. Sehingga setelah bercampur dengan udara, campuran menjadi lebih homogen dan proses pembakaran akan berlangsung lebih sempurna.

• **Kecepatan Rambat Api**

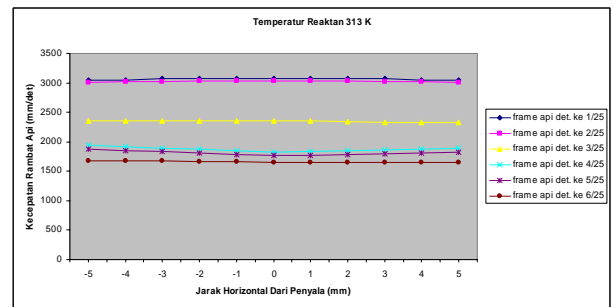
Setelah menggunakan piranti lunak *Excel* akan diperoleh grafik hubungan jarak dari penyala secara horizontal dengan kecepatan rambat api pada setiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara seperti gambar 4 berikut,



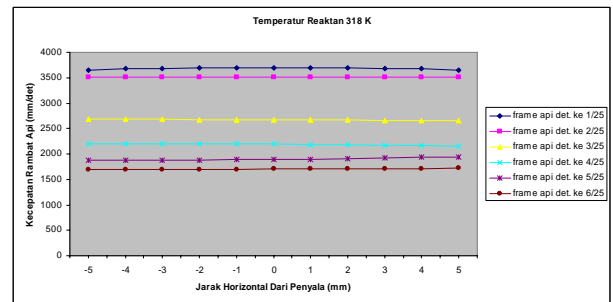
303 K



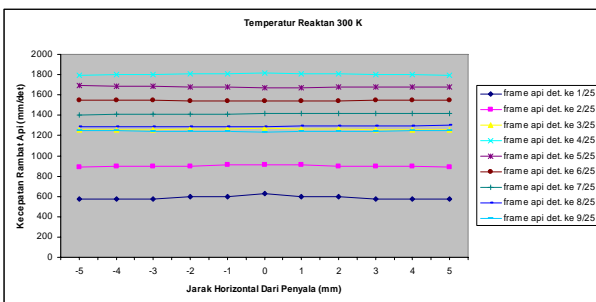
308 K



313 K

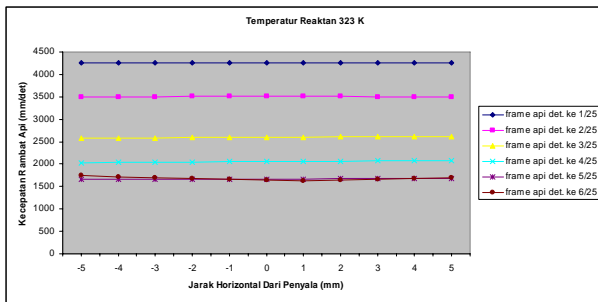


318 K

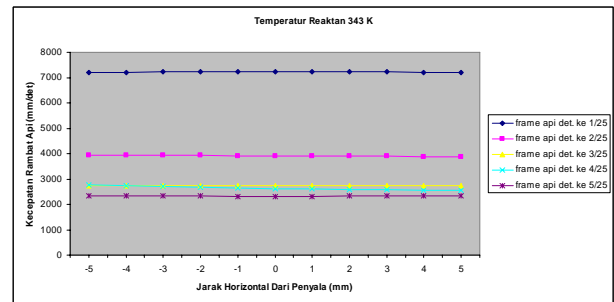


300 K

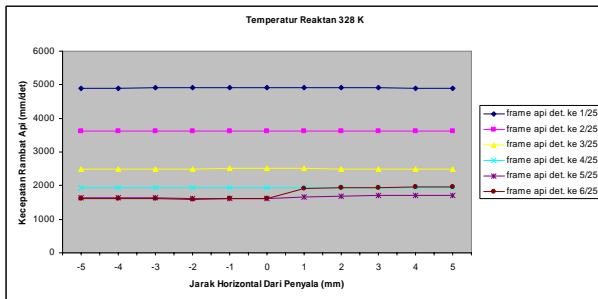




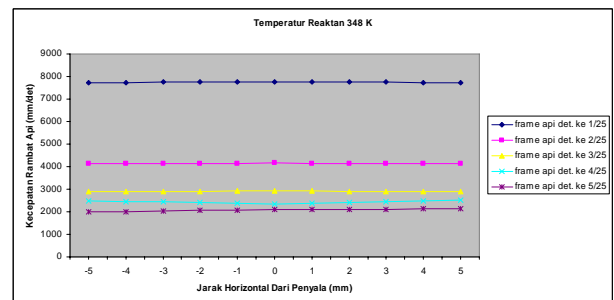
323 K



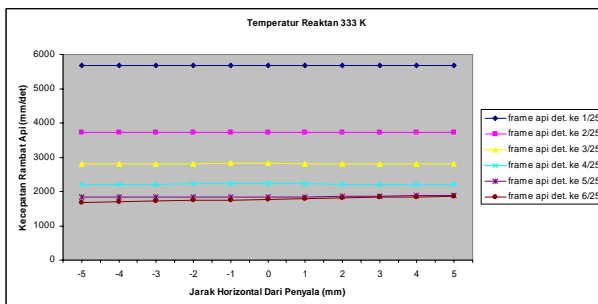
343 K



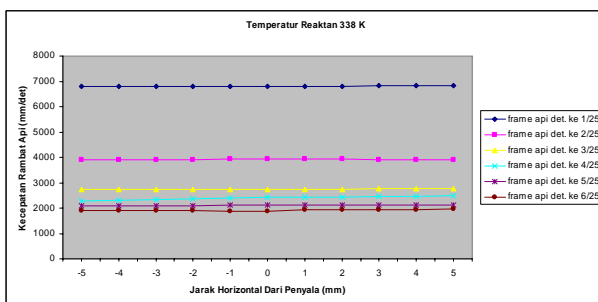
328 K



348 K



333 K



338 K

**Gambar 4.** Grafik hubungan jarak dari penyala secara horizontal dengan kecepatan rambat api pada setiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara

Kecepatan rambat api yang dihasilkan akibat variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara, ternyata menunjukkan perubahan yang berbeda-beda. Pada temperatur pemanasan 300 K dan 303 K kecepatan api terus naik dari *frame* pertama sampai *frame* keempat tetapi untuk *frame* berikutnya kecepatannya menurun dengan penurunan yang tidak begitu drastis. Pada temperatur pemanasan 308 K kecepatan rambat api naik dari *frame* pertama sampai *frame* kedua sedangkan untuk temperatur pemanasan 313 K sampai 348 K kecepatan tertinggi sudah dimulai dari *frame* pertama, seperti apa yang terlihat pada gambar 4.

Berdasarkan data yang sama dengan hanya mengambil data kecepatan rambat api tengah, maksimumnya dan rata-ratanya pada setiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara maka diperoleh tabel dan grafik sebagai berikut.

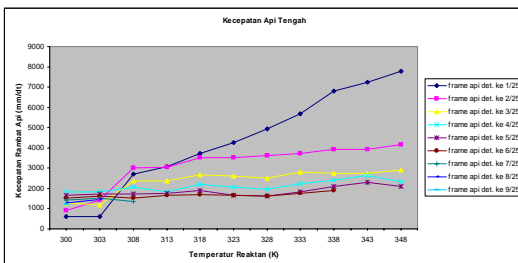


**Tabel 1.** Kecepatan rambat api tengah (mm/det) pada setiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara

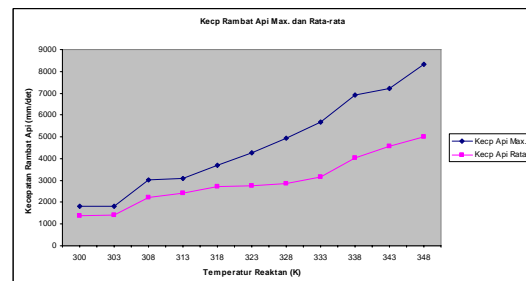
Frame	Waktu (dt)	Temperatur Reaktan (K)										
		300	303	308	313	318	323	328	333	338	343	348
1	0,04	625	625	2725	3075	3700	4250	4925	5675	6800	7225	7775
2	0,08	913	1413	3013	3038	3513	3513	3625	3725	3925	3913	4163
3	0,12	1275	1200	2375	2358	2675	2600	2508	2817	2742	2733	2917
4	0,16	1813	1813	2056	1825	2200	2056	1950	2219	2419	2625	2350
5	0,20	1670	1735	1735	1765	1890	1670	1615	1845	2110	2315	2100
6	0,24	1538	1629	1538	1654	1704	1650	1613	1775	1888		
7	0,28	1414	1539	1350								
8	0,32	1291	1444									
9	0,36	1233										

**Tabel 2.** Kecepatan rambat api maximum dan rata-rata

Temperatur Reaktan (K)	Kecep. Rambat Api Maximum (mm/det)	Kecep. Rambat Api Rata-Rata (mm/det)
300	1813	1303
303	1813	1413
308	3013	2111
313	3075	2297
318	3700	2610
323	4250	2627
328	4925	2733
333	5675	3009
338	6825	3315
343	7225	3766
348	7775	3862



**Gambar 5.** Grafik kecepatan rambat api tengah pada setiap variasi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara



**Gambar 6.** Grafik hubungan temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara terhadap kecepatan rambat api maximum dan rata-rata



Dari grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara sangat mempengaruhi kecepatan rambat api, pada temperatur pemanasan yang semakin tinggi kecepatan rambat api pada setiap *frame* akan semakin naik. Hal ini kelihatan sekali pada *frame* api yang pertama kecepatan rambat apinya terus naik dengan perubahan yang cukup tinggi sedangkan untuk *frame-frame* berikutnya kecepatan rambat apinya naik dengan perubahan agak rendah. Fenomena ini terjadi karena dengan naiknya temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara, disamping untuk membuat proses pembakaran menjadi lebih sempurna tetapi disatu sisi juga akan membuat fenomena gaya apung menjadi lebih besar, tetapi pengaruhnya lebih dominan terhadap kesempurnaan proses pembakaran daripada gaya apung.

Dari gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tingginya temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara akan menaikkan kecepatan rambat api, baik kecepatan rambat api maximumnya maupun kecepatan rambat api rata-ratanya. Pada temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara 300 K, 303 K, 308 K, 313 K, 318 K, 323 K, 328 K, 333 K, 338 K, 343 K dan 348 K kecepatan rambat api maximum masing-masing adalah 1810,7 mm/det, 1810,7 mm/det, 3014,1 mm/det, 3075,0 mm/det, 3709,8 mm/det, 4261,8 mm/det, 4924,2 mm/det, 5687,4 mm/det, 6911,4 mm/det, 7230,5 mm/det dan 8317,0 mm/det, sedangkan kecepatan rambat api rata-ratanya masing-masing adalah 1384,8 mm/det, 1405,7 mm/det, 2218,6 mm/det, 2401,1 mm/det, 2728,0 mm/det, 2759,8 mm/det, 2860,2 mm/det, 3146,3 mm/det, 4016,9 mm/det, 4565,1 mm/det dan 5014,8 mm/det. Hal ini menunjukkan dengan naiknya temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dengan udara membuat proses pembakaran menjadi lebih sempurna, karena ikatan-ikatan penyusun senyawa bahan bakar menjadi lebih tidak stabil sehingga reaksi penguraian ikatan-ikatan senyawa bahan bakar tersebut menjadi radikal bebas atau atom-atom yang sangat halus dalam jumlah yang besar menjadi sangat mudah. Sehingga setelah bercampur dengan udara campuran menjadi lebih homogen. Ini juga sesuai dengan pemikiran Zel'dovich (1938) dan kajian pada penelitian Dugger, *et.al.* (1955).

## KESIMPULAN

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

1. Semakin tinggi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara warna api semakin biru.
2. Semakin tinggi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara bentuk api semakin mendatar dan terpecah menjadi parabola kecil-kecil.
3. Semakin tinggi temperatur pemanasan campuran bahan bakar gas dan udara kecepatan rambat api semakin cepat.

## 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* Pada *Helle-Shaw Cell*, Thesis Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
- [3] Anonim, Company Profile, PT. Pratama Multi Guna Gas.
- [4] Atmanto, M.D, dkk, (1992). Prospek Bahan Bakar Gas untuk Transportasi di Indonesia, Diskusi Ilmiah VII Hasil Penelitian LEMIGAS
- [5] 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.
- [6] Dugger, G.L., Heimel, S., and Weast, R.C., (1955). Ind. and Engrg. Chem. Vol.47.p.144.
- [7] Hartmann, E. (1931). *Thesis*, Karlsruhe.
- [8] Kenneth Kuan-yun Kuo. (1986). Principles of Combustion, Distinguished Alumni Professor Departement of Mechanical Engineering The Pennsylvania State University Park, Pennsylvania.





- [9] Milton, Brian E., (1995). *Thermodynamic, Combustion and Engines*, Chapman & Hall. Propulsion Engineering Research Center and Department of Mechanical Engineering The Pennsylvania State University.
- [10] Patnaik, G., Kailasanath, K. (1992). Numerical simulation of the extinguishment of downward diffusion flame in microgravity, *Combustion Flame* 112. p.189-195.
- [11] Rafael Mado. (2006). Pengaruh perbandingan campuran udara dan LPG pada bentuk dan kecepatan api premix, Thesis Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
- [12] Stephen R. Turns, (1996). *An Introduction To Combustion, Concepts and Application*,
- [13] Wardana, ING., (1995). *Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran, Teknik Mesin*, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
- [14] Zel'dovich, B. and Frank-Kamenetsky, D.A., (1938). *Comp. Rend. Acad. Sci. URSS*, vol. 19, p.693.



