

## BENTUK RAMBATAN API DAN CEPAT RAMBAT PEMBAKARAN BIOGAS PADA BERBAGAI KONDISI CAMPURAN

Suprayitno<sup>1</sup>

### Abstraksi

Pemanfaatan campuran biogas dan udara dengan perbandingan tertentu dimasukkan dalam suatu wadah tertutup berukuran tinggi 90 cm, lebar 30 cm, dan tebal 2 cm. Campuran kemudian dinyalakan menggunakan percikan bunga api dari elektroda menggunakan *spark generator*. Didapatkan mampu bakar biogas (*flameability limit*) pada rentang 4 : 1 sampai 6 : 1 (perbandingan volume udara-biogas). Pada campuran 4:1 bentuk nyala beraturan, terang dan tebal. Pada campuran 5 : 1 menunjukkan perubahan yang tidak teratur, sedikit lebih redup dan tipis. Pada campuran 6 : 1 memperlihatkan bentuk yang diskontinyu dengan nyala api yang sangat tipis sehingga sukar untuk diamati. Sedangkan kecepatan rambat api pembakaran juga bisa diamati pada jumlah gambar nyala api yang dapat ditangkap pada sepanjang jarak lintasan yang sama. Dengan resolusi kamera sebesar 26 fps, maka cepat rambat yang lebih tinggi akan lebih sedikit gambar yang ditangkap pada panjang lintasan yang sama. Dari hasil pengukuran cepat rambat pembakaran kemudian dilakukan uji t dengan  $\alpha = 5\%$  didapat bahwa tidak terdapat perbedaan kecepatan rambat pembakaran antara campuran udara-biogas 4:1 dengan campuran 5:1. Kecepatan rambat pembakaran biogas pada campuran 4 : 1 dan 5 : 1 rata-rata 171 cm/detik. Sedangkan campuran terbaiknya didasarkan pada bentuk nyala api maka terjadi pada campuran volume udara-biogas 4 : 1 atau pada 20% volume biogas dalam ruang bakar.

**Kata Kunci :** Perambatan Api, Cepat Rambat Pembakaran, Pembakaran Biogas.

### PENDAHULUAN

Biogas mengandung  $\pm 60\%$  metana dan  $\pm 38\%$  karbon dioksida saat ini dimanfaatkan mulai dari untuk keperluan memasak skala rumah tangga, transportasi, bahkan di industri (Ditjen PPHP-Deptan 2006). Pengembangan biogas ini juga telah merambah pada pemanfaatannya sebagai bahan bakar pada mesin-mesin torak. Beberapa laporan penelitian, terutama dengan memanfaatkan kandungan utamanya, metana, diantaranya adalah Klimkiewicz (2003), Ebrahimi (2005), Healy (2008), dan Gersen (2008). Usaha-usaha yang dilakukan diantaranya adalah untuk mendapatkan kondisi pembakaran biogas yang efisien. Efisiensi dapat dilakukan salah satunya dengan kesempurnaan proses pembakaran. Beberapa faktor yang dapat diamati untuk menginvestigasi efisiensi proses pembakaran

adalah bentuk nyala api dan cepat rambat pembakaran (Fristrom, 1965).

Beberapa laporan tentang cepat rambat pembakaran dan bentuk nyala api beberapa jenis bahan bakar seperti metana dan hidrogen (diantaranya ; Buckmaster, 1982; Ronney, 2001; dan Patnaik, 1992), dan propana (Karim, 1992; dan Bernie, 1990). Pada penelitian Buckmaster (1982) mendapatkan perbedaan bentuk nyala api dengan pergerakan ke atas (penyalaan dari bawah), dan bentuk nyala api dengan pergerakan ke bawah (penyalaan dari atas). Sedangkan Ronney (2001) mengamati pergerakan nyala api secara horisontal. Pada penelitian sebelumnya (Suprayitno, 2008), yang mengamati struktur nyala api dan cepat rambat pembakaran LPG, didapatkan bahwa batas-batas mampu bakar berada di atas campuran stokiometrinya. Campuran

---

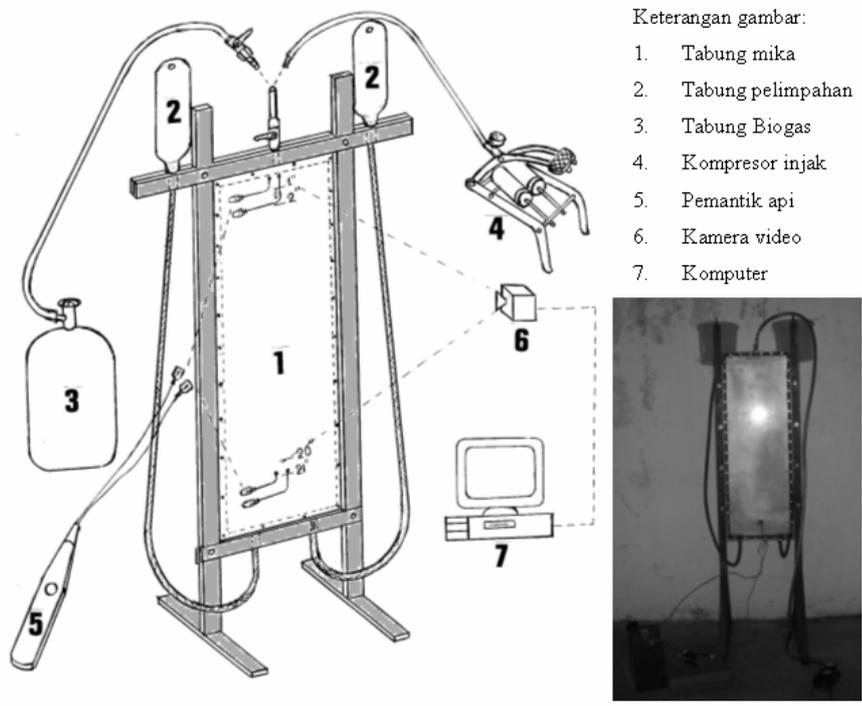
<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Malang

stokiometri LPG – udara adalah sekitar 1 : 10 (perbandingan volume). Namun pada penelitian tersebut mendapatkan bentuk nyala api yang paling sempurna dan cepat rambat pembakaran yang paling tinggi terjadi pada perbandingan campuran 1 :20. dan penyalaan dari bawah menunjukkan bentuk nyala api yang lebih sempurna dibandingkan dengan penyalaan dari atas. Baik Buckmaster (1982) maupun Ronney (2001) menggunakan gas metana dalam penelitiannya. Belum ada laporan-laporan tentang karakteristik pembakaran metana beserta campurannya seperti yang dikandung dalam biogas. Jika diperbandingkan dengan LPG. Biogas lebih

ringan dari udara sedang LPG lebih berat dari udara (Borman, 1998). Dengan ini biogas akan cenderung berada pada lapisan bawah suatu campuran biogas-udara, sedang LPG cenderung berada pada lapisan atas suatu campuran udara-LPG.

### Pelaksanaan Penelitian

Peralatan pengujian terdiri atas *Hele-Shaw cell*, berukuran tinggi 90 cm, lebar 30 cm, dan tebal 2 cm terbuat dari mika transparan. Sebuah kompresor yang berfungsi untuk memasukkan udara dengan perbandingan tertentu terhadap bahan bakar. Bahan bakar dimasukkan melalui sebuah selang ke *Hele-Shaw cell* dari tabung Biogas.



Gambar 1. Setup Peralatan Pengujian

Pengambilan data dilakukan dengan kamera video dengan resolusi 26 fps. Campuran biogas dan udara dengan perbandingan tertentu dimasukkan dalam *Hele-Shaw cell*. Kemudian dinyalakan

menggunakan percikan bunga api dari elektroda yang diletakkan didalamnya. Rambatan api pembakaran campuran udara-biogas direkam dalam bentuk video menggunakan sebuah kamera. Data rekaman

video ini kemudian diolah untuk mendapatkan pola perambatan api dan kecepatan pembakarannya.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Batas mampu bakar campuran biogas dan udara**

Dari hasil perhitungan stokiometri pembakaran biogas dengan kandungan 60% metana ( $\text{CH}_4$ ) dan 40% karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) diperoleh perbandingan volume stokiometri udara-biogas sebesar 5,7 : 1. Berdasarkan hasil perhitungan ini maka dipersiapkan untuk diujicoba pembakaran campuran volume udara-biogas dari 3 : 1 sampai 9 : 1. Namun dalam pelaksanaannya ternyata biogas hanya mampu terbakar dengan ratio 4 : 1 sampai 6 : 1. Jika dibandingkan dengan pembakaran LPG dengan kondisi yang sama, LPG mampu terbakar pada rentang campuran udara-LPG dari 13 : 1 sampai 22 : 1 (Suprayitno, 2008). Tidak mampu terbakarnya campuran udara-biogas 7 : 1, misalnya, diakibatkan kecilnya densitas penyebaran biogas dalam ruang volume udara, sehingga pembakaran yang terjadi didekat percikan bunga api tidak mampu

dilanjutkan/dirambatkan pada seluruh ruang. Penjelasan ini diperkuat pada pengamatan rambatan api pada campuran 6 : 1. Pada campuran 6 : 1 rambatan api menunjukkan ketidaksempurnaan, terjadi diskontinuitas. Bentuk nyala api juga sangat tipis, bahkan sulit diamati. Sehingga pada campuran yang lebih tinggi, 7 : 1, rambatan pembakaran sudah tidak dapat terjadi.

Sempitnya rentang mampu bakar campuran udara-biogas tidak lepas dari komposisi biogas itu sendiri. Biogas dengan kandungan 60%  $\text{CH}_4$  dan 40%  $\text{CO}_2$  memerlukan lebih sedikit udara dalam proses pembakarannya dibandingkan bahan bakar keluarga alkana lainnya. Untuk memperbesar rentang mampu bakar biogas bisa ditempuh dengan menaikkan prosentasi kandungan metana dalam biogas itu sendiri dengan mengurangi kandungan karbondioksidanya.

### **Bentuk perambatan api pembakaran biogas**

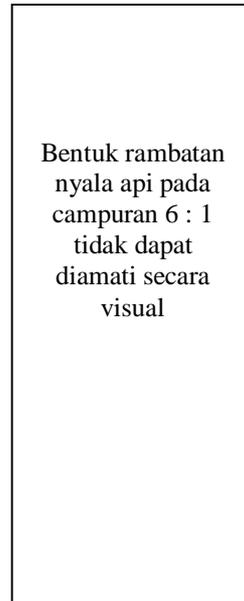
Seperti disebutkan sebelumnya, bahwa campuran udara-biogas hanya mampu terbakar dengan perbandingan 4 : 1 sampai 6 : 1. Sehingga pengamatan lebih difokuskan pada campuran 4 : 1 dan 5 : 1.



a. Campuran 4 : 1



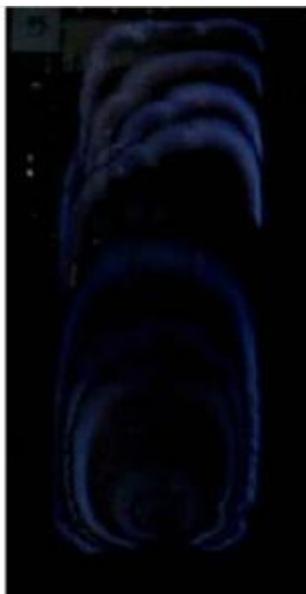
b. Campuran 5 : 1



c. Campuran 6 : 1



a. Campuran 4 : 1



b. Campuran 5 : 1



c. Campuran 6 : 1

**Gambar 2. Bentuk Rambatan Nyala Api Pembakaran Biogas Pada Berbagai Campuran**

Terlihat pada gambar 2 bahwa rambatan nyala api terlihat terang pada campuran 4 : 1. Pada campuran dengan kandungan udara lebih banyak, rambatan api semakin redup dan tipis, bentuk rambatannya juga mulai tidak beraturan. Pada campuran 6 : 1 sangat terlihat penurunannya. Rambatan

api sangat tipis dan bentuknya tidak beraturan, sehingga sulit untuk diamati.

Pada campuran 4 : 1, bentuk nyala api sangat terang dan tebal. Pada saat awal terbakar, bentuk api lebih tipis dan terlihat lebih lebar. Ini karena tekanan dalam ruangan masih merata seperti tekanan sebelum terjadi

pembakaran. Karena pembakaran telah terjadi, menghasilkan panas, campuran gas disekitarnya mulai memuai mengakibatkan terjadinya penambahan tekanan sehingga mendesak campuran gas disampingnya. Tekanan disamping kanan dan kiri yang lebih dekat ke dinding lebih besar dibandingkan pada bagian atas yang lebih jauh ke dinding batas ruangan. Sehingga rambatan api pada beberapa saat awal penyalaan terlihat lebih sempit pada bagian samping kanan dan kiri dibandingkan pada bagian atas. Nyala api pada samping kanan dan kiri juga terlihat lebih terang. Sedangkan pada bagian atas api terlihat lebih lebar dan tipis. Semakin mendekati dinding bagian atas, perambatan api pada samping kanan dan kiri tidak terlihat lagi. Ini karena campuran udara-biogas pada daerah tersebut sudah terbakar. Sedangkan pada bagian atas bentuk nyala api semakin sempit namun juga semakin terang. Hal ini karena semakin perambatan pembakarannya mendekati dinding bagian atas, tekanannya juga semakin besar. Disamping itu terlihat juga bentuk rambatan api mulai bergelombang seiring rambatan mendekati dinding bagian atas. Dugaannya adalah rambatan nyala api mulai terpengaruh oleh gaya apung akibat naiknya temperatur hasil proses pembakaran.

Pada campuran 5 : 1, terlihat bentuk nyala mulai tidak teratur. Kalau pada campuran 4 : 1 bentuk rambatan api seperti parabola, pada campuran 5 : 1 saat awal penyalaan bentuk rambatan api masih serupa dengan rambatan api pada campuran 4 : 1.

Namun semakin mendekati dinding bagian atas, bentuk parabolik rambatan api mulai berubah dan lebih bergelombang. Nyala rambatan yang lebih tipis pada campuran ini dibandingkan pada campuran 4 : 1 karena berkurangnya densitas (distribusi) biogas pada ruang volume udara. Melemahnya bentuk rambatan api pembakaran pada campuran 5 : 1 mengindikasikan pembakaran pada campuran 4 : 1 lebih sempurna dan akan menghasilkan energi yang lebih besar bila dibandingkan dengan pembakaran pada campuran 5 : 1.

Pada campuran 6 : 1, bentuk rambatan api pembakaran sangat tipis dan hampir tidak terlihat. Tidak banyak yang bisa diamati dari hasil pembakaran pada campuran ini, kecuali bahwa rambatan pembakaran pada campuran ini sangat lemah sehingga energi yang bisa diharapkan dari pembakaran pada campuran ini juga kecil

Berdasarkan hasil pengamatan dan diskusi bentuk perambatan nyala api pembakaran di atas, maka sampai sejauh ini campuran udara-biogas dengan perbandingan volume 4 : 1 menunjukkan pola perambatan yang paling sempurna dan mengindikasikan energi yang dihasilkan juga lebih besar.

#### **Cepat rambat pembakaran biogas**

Kecepatan perambatan nyala pembakaran didapatkan dengan mengolah rekaman video menjadi gambar-gambar yang berurutan. Dengan mengukur perbedaan jarak tempuh rambatan antara dua gambar yang berurutan dan dengan mengetahui beda waktu antara dua gambar yang berurutan,

maka kecepatan rambat pembakaran bisa didapat.

Kamera yang digunakan untuk merekam mempunyai kecepatan 26 frame gambar tiap detiknya. Artinya kamera tersebut akan menangkap gambar sebanyak 26 gambar berurutan setiap detiknya, atau selang waktu antara dua gambar yang berurutan adalah  $1/26$  detik. Lintasan perambatan nyala pembakaran sepanjang tinggi ruang pembakaran yakni 90 cm. Artinya campuran udara-biogas dengan kecepatan rambat pembakaran yang lebih tinggi akan lebih sedikit gambar berurutan yang bisa ditangkap oleh kamera perekam. Penjelasan inilah yang selanjutnya akan digunakan untuk mengamati kecepatan rambat pembakaran masing-masing campuran udara-biogas. Gambar-gambar berurutan yang didapat kamera pada lintasan sepanjang 90 cm untuk tiap-tiap campuran udara-biogas seperti pada gambar 3.

Secara umum tampak pada gambar 3 adalah pada awal-awal perambatan jarak-jarak rambatan lebih besar dibandingkan ketika rambatan mulai mendekati dinding bagian atas. Ini menunjukkan kecepatan rambatan pembakaran saat-saat awal lebih besar dan mulai menurun/melambat saat mendekati dinding bagian atas. Hal ini terjadi karena pengaruh tekanan. Dengan terus berlangsungnya pembakaran, dan perambatan api mendekati dinding bagian atas mengakibatkan tekanan semakin besar dengan semakin dekatnya perambatan api pada dinding bagian atas. Semakin besarnya

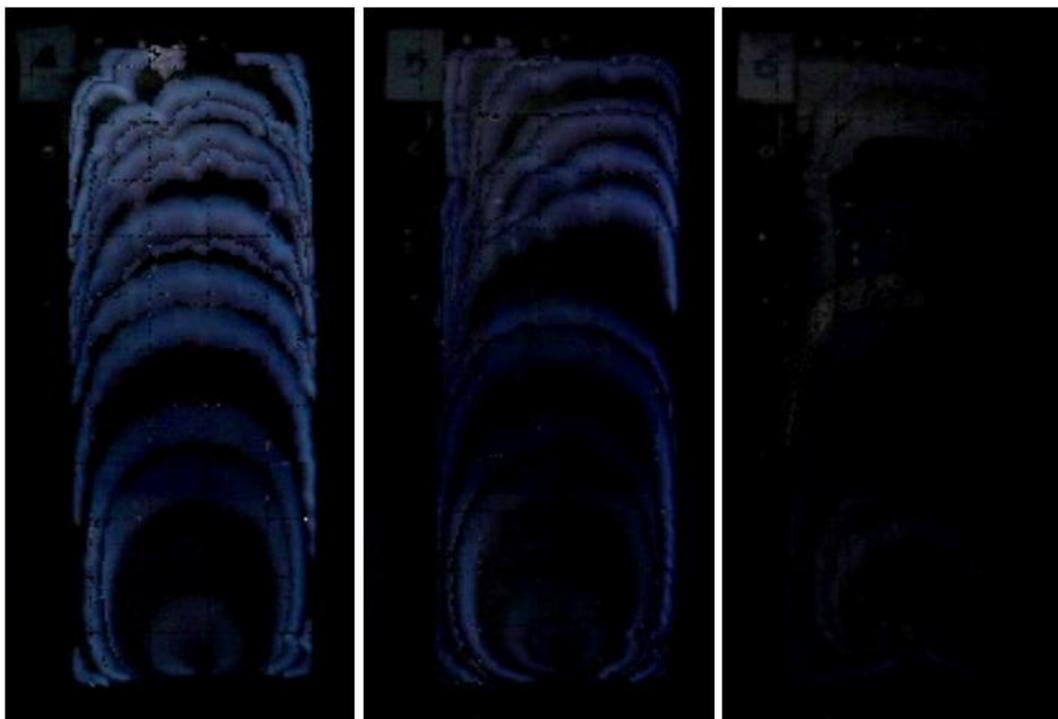
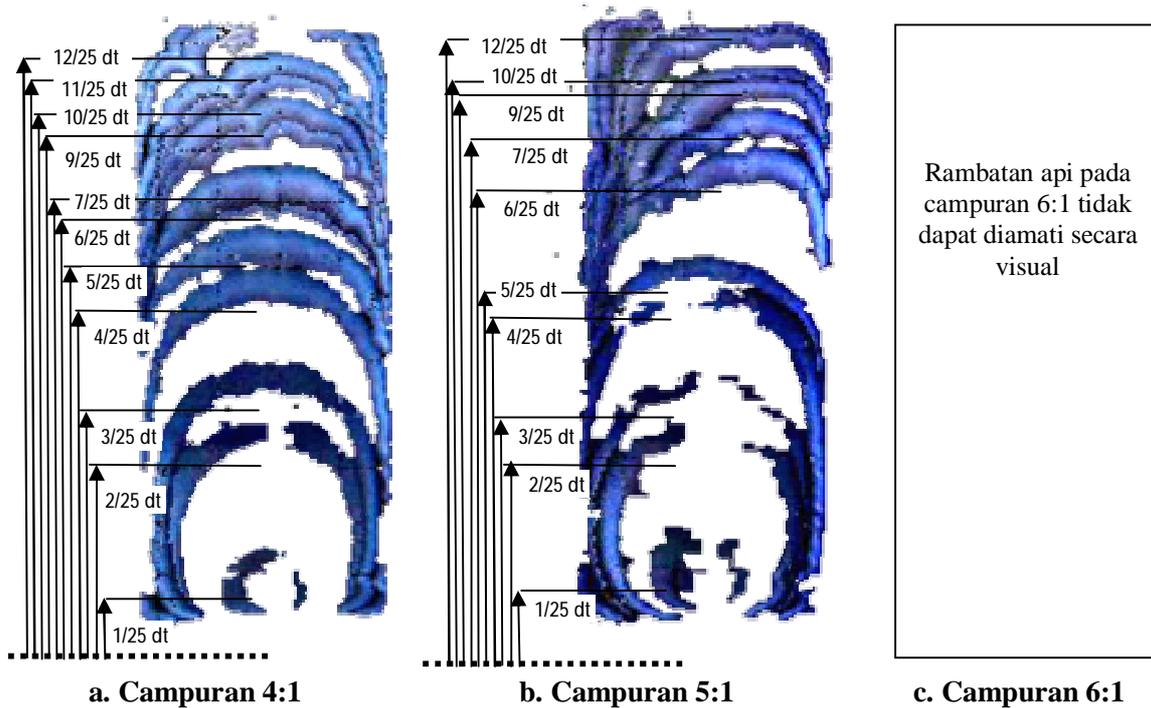
tekanan inilah yang mengurangi laju perambatan pembakaran. Terlihat pula pada gambar bahwa jarak antar rambatan api tidak selalu sama. Selalu ada rambatan api yang saling berdekatan. Hal ini menunjukkan kecepatan rambat yang tidak konstan/stabil, melainkan berdenyut/fluktuatif. Hal ini dimungkinkan karena terjadi gelombang tekanan yang kemudian memantul ke dinding dan bergerak berlawanan dengan arah rambatan api, terjadi semacam *shock wave*.

Pada campuran 6 : 1 kecepatan rambat pembakaran tidak dapat diamati dan diukur secara jelas. Sehingga pengamatan dan pengukuran kecepatan rambat pembakaran lebih diarahkan pada hasil pembakaran campuran 4 : 1 dan 5 : 1.

Hasil pengukuran kecepatan rambat pembakaran campuran volume udara-biogas 4 : 1 dan 5 : 1 ditabelkan seperti pada tabel 1. Dari hasil pengukuran kecepatan rata-rata campuran 4 : 1 sebesar 166 cm/detik dan pada campuran 5 : 1 rata-rata cepat rambat pembakaran sebesar 177 cm/detik. Dari kumpulan data ini selanjutnya dilakukan uji f untuk melihat adanya perbedaan varian, hasilnya bahwa kedua campuran ini memiliki varian yang sama. Selanjutnya dilakukan uji t untuk melihat apakah ada perbedaan kecepatan rambat pembakaran pada campuran 4 : 1 dengan 5 : 1. Dengan mengambil peluang kesalahan  $\alpha = 5\%$ , hasil probabilitas uji t bernilai 0,815, yang artinya tidak terdapat perbedaan kecepatan rambat pembakaran pada campuran 4 : 1 dengan campuran 5 : 1.

Kecepatan rata-rata perambatan pembakaran biogas sebesar 171 cm/detik. Kecepatan rambat pembakaran biogas secara premik ini hanya setengahnya bila

dibandingkan dengan kecepatan rambat pembakaran LPG yang mencapai 320 cm/detik.



a. Campuran 4 : 1

b. Campuran 5 : 1

c. Campuran 6 : 1

Gambar 3. Rambatan Nyala Api Pembakaran Biogas Pada Berbagai Campuran

Tabel 1. **Kecepatan Rambat Pembakaran Campuran Volume Udara-Biogas**

Waktu tempuh (detik)	Kecepatan rambat pembakaran (cm/detik)	
	Campuran 4:1	Campuran 5:1
1/26	433	116
2/26	208	396
3/26	318	179
4/26	144	277
5/26	156	116
6/26	69	326
7/26	202	130
8/26	69	116
9/26	202	92
10/26	69	124
11/26	87	72
12/26	58	
13/26	144	
<b>Rata-rata</b>	<b>166</b>	<b>177</b>
	<b>171</b>	

## SIMPULAN

### Batas-batas mampu bakar

Pembakaran biogas menunjukkan rentang mampu bakar yang sempit, yakni dengan perbandingan volume udara-biogas dari 4 : 1 sampai 6 : 1. Bandingkan dengan LPG yang mempunyai batas mampu bakar 13 : 1 sampai 22 : 1. Sedangkan secara teoritis pembakaran stokiometris biogas adalah pada perbandingan volume udara-biogas sebesar 5,7 : 1. Kalau dinyatakan dalam prosentase biogas terhadap volume ruang bakar, perbandingan volume udara-biogas 6 : 1 sampai 4 : 1 setara dengan 14,3% sampai 20% volume biogas. Sedangkan campuran stokiometrinya adalah 15% volume biogas.

### Struktur/bentuk rambatan api pembakaran biogas

Struktur/bentuk rambatan api pembakaran juga dipengaruhi oleh tekanan. Pada saat awal penyalaan, bentuk rambatan

api terlihat tipis dan melebar. Semakin mendekati dinding bagian atas bentuk api semakin ramping/semipit namun lebih tebal/terang. Selain itu semakin ke atas mendekati dinding, bentuk rambatan api pembakaran mulai bergelombang. Campuran 4 : 1 menunjukkan bentuk rambatan api yang lebih tebal/terang dan lebih stabil dari campuran lainnya.

### Cepat rambat pembakaran

Kecepatan rambat pembakaran semakin menurun ketika rambatan api pembakaran semakin mendekati dinding bagian atas. Penurunan kecepatan rambatan pembakaran tersebut tidak terjadi secara gradual yang stabil, namun menunjukkan penurunan yang fluktuatif. Kecepatan rambat pembakaran, baik pada campuran 4 : 1 dan 5 : 1, tidak terdapat perbedaan. Kecepatan rata-rata perambatan api pembakaran biogas pada campuran tersebut sebesar 171 cm/detik.

### Campuran terbaik pembakaran biogas

Walaupun campuran 4 : 1 dan 5 : 1 menunjukkan kecepatan rambat api pembakaran yang sama, namun campuran 4 : 1 menunjukkan bentuk nyala api yang sempurna dan lebih terang. Sehingga campuran terbaik pembakaran biogas terjadi pada 4 : 1 perbandingan volume udara-biogas. Perbandingan volume tersebut setara dengan 20% volume biogas dalam ruang bakar.

### DAFTAR PUSTAKA

- Borman, Gary L. 1998. *Combustion Engineering*. Singapore.McGraw-Hill.
- Buckmaster, J.D., Mikolaitis, D. 1982. *A Flammability Limit Model For Upward Propagation Throught Lean Methane/Air Mixture In A Standard Flammability Tube*, Combustion Flame 45, 109-119.
- Ditjen PPHP-Deptan. 2006. **Program BioEnergi Pedesaan**. Jakarta.
- Ebrahimi, Rahim., Desmet, Bernard. 2005. *Study of Auto Ignition of Methane and Air Mixture in HCCI Engine*. Univesite de valenciennes et du Hainaut-Cambresis.
- Fristrom, R.M .1965. *Flame Structure*. New York. McGraw-Hill.
- Gersen, S. 2008. *Ignition Properties Of Methane/Hydrogen Mixtures In A Rapid Compression Machine*. Elsevier, *International Journal of Hydrogrn Energy* 33.
- Healy, D. 2008. *Methane/Ethane/Propane Mixture Oxidation At High Pressure And At High, Intermediate And Low Temperatures*. Elsevier, Combustion and Flame.
- Kenneth Kuan-yun Kuo. 1986. *Principles of Combustion*, Distinguished Alumni Professor Departement of Mechanical Engineering The Pennsylvania State University Park, Pennsylvania.
- Klimkiewicz, Dariusz., Rychter, tadeusz J. 2003. *Ignition And Mixing-Ey Feature At Late Methane Injection In IC Engine*, *Journal of KONES Internal Combustion Engines* Vol. 10.
- Patnaik, G., Kailasanath, K. 1992. *Numerical Simulation Of The Extiguishment Of Downward Diffusion Flame In Microgravity*, Combustion Flame 112, 189-195.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia. Nomor 5 tahun 2005 **Tentang Kebijakan Energi Nasional**. Jakarta
- Ronney, Paul D., 2001. *Premixed-Gas Flames*, Departement of Aerospace and Mechanical Engineering University of Southern California, Los Angeles.
- Suprayitno. 2008. **Cepat Rambat Pembakaran Dan Struktur Nyala Api Pembakaran LPG Pada Berbagai Kondisi Campuran**. Laporan penelitian dosen muda, DP2M-Dikti.
- Wang, Q., Ronney, Paul D. 1993. *Mechanism of Flame Propagation limits in Vertical Tubes*, paper no. 45, Spring Technical Meeting, Combustion Institute, Eastern/Central States Section, March 15-17, New Orleans, LA.

