

Pengaruh Kandungan CO₂ Terhadap Karakteristik Pembakaran Stoikiometri Biogas

Nurkholis Hamidi, ING Wardana, Widya Wijayanti, Denny W, M Syaiful A

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. MT Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia
Corresponding author: hamidy@ub.ac.id

Abstrak

Biogas adalah energi terbarukan yang memiliki potensi yang besar sebagai energi alternatif. Kandungan biogas pada umumnya adalah metana (CH₄) sekitar 50-70%, karbondioksida (CO₂) sekitar 30-40%, dan beberapa gas lain dalam jumlah kecil. Dari kandungan yang ada tersebut, hanya gas metana yang merupakan komponen utama bahan bakar biogas, sedang kandungan yang lainnya umumnya bersifat merugikan. Karbondioksida (CO₂) merupakan gas *inhibitor* yang bersifat menghambat reaksi pembakaran, sehingga mempengaruhi karakteristik pembakaran biogas itu sendiri. Pada penelitian ini, pengamatan telah dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kandungan CO₂ terhadap karakteristik pembakaran stoikiometri biogas. Bahan bakar biogas diasumsikan hanya terdiri atas gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Kandungan CO₂ dalam bahan bakar divariasikan dalam berbagai persentase hingga mencapai batas mampu nyala. Pembakaran dilakukan pada campuran stoikiometri dalam suatu ruang bakar dengan dimensi tinggi 50cm, panjang 20cm, dan lebar 1cm. Penyalaan dilakukan dengan pemantik bersumber tegangan listrik 12.000 volt dengan posisi penyalaan atas dan bawah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya kandungan CO₂ dalam bahan bakar dapat mengakibatkan penurunan intensitas pembakaran dan kecepatan rambat api. Semakin besar kadar CO₂ dalam bahan bakar, intensitas pembakaran dan cepat rambat api akan semakin menurun. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kadar CO₂ sebesar 62.5% dalam bahan bakar (campuran metana-CO₂) merupakan batas mampu nyala untuk campuran stoikiometri dengan penyalaan atas, sedangkan pada penyalaan bawah adalah 60%.

Keywords: Biogas, CO₂, CH₄, stoikiometri, cepat rambat api

Pendahuluan

Indonesia akhir-akhir ini mengalami permasalahan yang pelik berkenaan dengan meningkatnya kebutuhan dan harga minyak bumi. Permasalahan tersebut baik secara langsung atau tidak langsung akan berdampak terhadap perekonomian masyarakat dan negara Indonesia tentunya. Konsumsi BBM yang mencapai 1,3 juta/barel tidak seimbang dengan produksinya yang nilainya sekitar 1 juta/barel sehingga terdapat defisit yang harus dipenuhi melalui impor. Menurut data ESDM (2006) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sekitar 9 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah menerbitkan Peraturan presiden republik Indonesia nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kebijakan tersebut menekankan pada

sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak.

Usaha untuk menciptakan sumber energi baru saat ini telah dilakukan oleh banyak kalangan. Alternatif yang dikembangkan antara lain energi panas matahari, energi air, nuklir, gas bumi dan lain – lain. Akan tetapi penciptaan sumber energi alternatif yang relative murah dan mudah dibuat harus segera dilakukan. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah biogas. Proses pembuatan yang relative mudah, menjadikan biogas memiliki peluang besar untuk menghasilkan energi alternatif sehingga akan mengurangi dampak penggunaan bahan bakar fosil.

Biogas berasal dari proses fermentasi bahan-bahan organik, (seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan) oleh bakteri methan yang merupakan bakteri an-aerob. Proses pembuatan yang relative mudah, menjadikan biogas memiliki peluang besar untuk menghasilkan energi alternatif yang dapat mengurangi dampak penggunaan bahan bakar fosil. Biogas memiliki kandungan utama berupa gas metana (CH₄) yang apabila dibakar dapat

menghasilkan energi panas yang tinggi. Selain gas metana terdapat juga komponen-komponen lain yang terkandung dalam gas hasil fermentasi tersebut. Biogas dari digester umumnya memiliki kandungan utama berupa gas metana (CH_4 , 40-75%) dan karbondioksida (CO_2 , 15-60%), serta beberapa kandungan lain seperti uap air, H_2S , amonia dalam jumlah yang tidak terlalu besar (Ryckebosch E., et al, 2011). Usaha-usaha pemurnian juga sudah dilakukan sehingga biogas dapat memiliki kandungan metana hingga 99% (Johanson N, 2008).

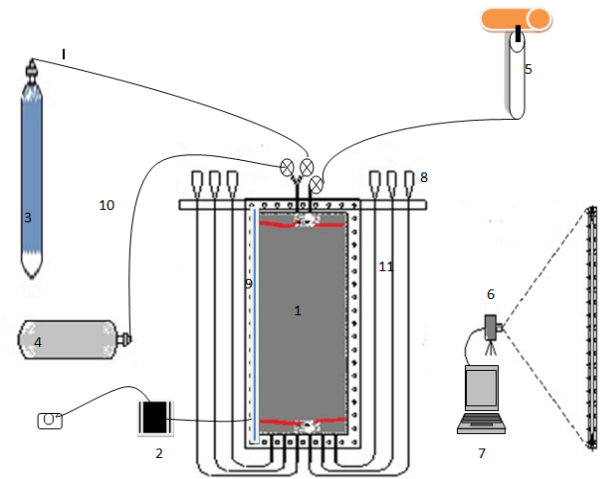
Di Indonesia biogas sudah banyak diproduksi dan umumnya digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga. Biogas dengan kandungan utama gas metana (CH_4) sebenarnya memiliki potensi untuk dijadikan bahan bakar mesin ataupun industri. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya, seperti bensin dan solar, pembakaran CH_4 akan memproduksi CO_2 yang lebih sedikit dan banyak uap air sehingga relative lebih ramah lingkungan.

Untuk menjadikan biogas sebagai bahan bakar suatu mesin, tentunya kita perlu mengetahui karakteristik pembakarannya. Apalagi, dalam biogas masih terdapat beberapa zat pengotor yang dapat mempengaruhi karakteristiknya. Kandungan CO_2 sebagai pengotor utama dalam biogas diketahui dapat mengakibatkan penurunan nilai kalor. Penelitian-penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa CO_2 dalam bahan bakar seperti LPG dapat berperilaku sebagai inhibitor yang dapat menurunkan laju pembakaran serta menurunkan batas mampu nyala bahan bakar (Iminafik N, 2010, Hamidi, et al, 2011; Mishra, 2003). Iminafik (2010) juga melaporkan bahwa kandungan CO_2 dalam bahan bakar LPG akan menyerap sebagian panas reaksi yang dapat mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna.

Karakteristik pembakaran, seperti kecepatan api, kestabilan nyala, dan sebagainya, merupakan hal penting yang harus diketahui dalam perencanaan suatu sistem pembakaran terutama untuk mesin kecepatan tinggi seperti otomotif. Berdasarkan uraian di atas maka dalam studi eksperimen ini akan diteliti lebih lanjut tentang pengaruh kadar CO_2 sebagai inhibitor terhadap karakteristik besar nyala api dan cepat rambat api pada pembakaran stikiometri biogas.

Metoda Ekperimen

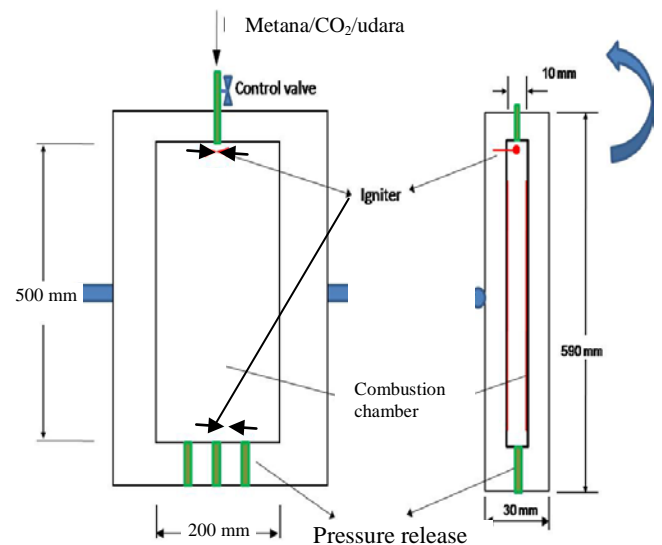
Untuk mengetahui pengaruh kandungan CO_2 terhadap karakteristik pembakaran stoikhiometri biogas dilakukan pengamatan secara langsung. Pada penelitian ini, bahan bakar biogas kami asumsikan hanya terdiri atas gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Bahan bakar dibuat dengan cara mencampurkan gas metana dan gas karbondioksida sesuai dengan perbandingan yang



Keterangan gambar:

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Ruang bakar (<i>helle-shaw cel</i>) | 7. Komputer |
| 2. Pemantik | 8. Tabung pelimpah |
| 3. Tabung CO_2 | 9. Penggaris |
| 4. Tabung BPG | 10. Selang gas |
| 5. Pompa manual | 11. Selang air |
| 6. Kamera Video | |

Gambar 1. Instalasi Penelitian



Gambar 2. Ruang bakar

ditentukan. Kandungan CO_2 dalam bahan bakar kami variasikan mulai dari 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 62,5% (persentase volum).

Proses pembakaran dilakukan dalam sebuah ruang bakar celah sempit seperti yang tampak pada gambar 2. Ruang bakar dibuat sedemikian hingga untuk melihat rambatan api dengan jelas. Ruang bakar terbuat dari bahan acrylic yang tembus pandang dengan dimensi 50cm x 20 cm x 1 cm. Penyalaan dilakukan dengan pemantik (*igniter*) yang diletakkan pada sisi atas dan bawah ruang bakar sehingga memungkinkan dilakukan penyalaan atas dan penyalaan bawah. Secara keseluruhan instalasi penelitian ditunjukkan gambar 1.

Untuk menakar persentase volume dari gas metana, CO_2 dan udara digunakan media air. Pada

awal langkah penelitian, ruang bakar diisi air secara penuh. Kemudian gas metana, karbondioksida dan udara secara berurutan dimasukkan kedalam ruang bakar sesuai dengan perhitungan komposisi yang direncanakan. Ketika gas dimasukkan ke dalam ruang bakar, air terdorong dan melimpah ke tabung pelimpah. Pemantik dengan sumber tegangan 12.000 Volt dinyalakan sehingga terjadi pembakaran dan hasil pembakaran tersebut direkam dengan kamera 18.0 *megapixel*. Kecepatan kamera yang digunakan adalah 30fps.

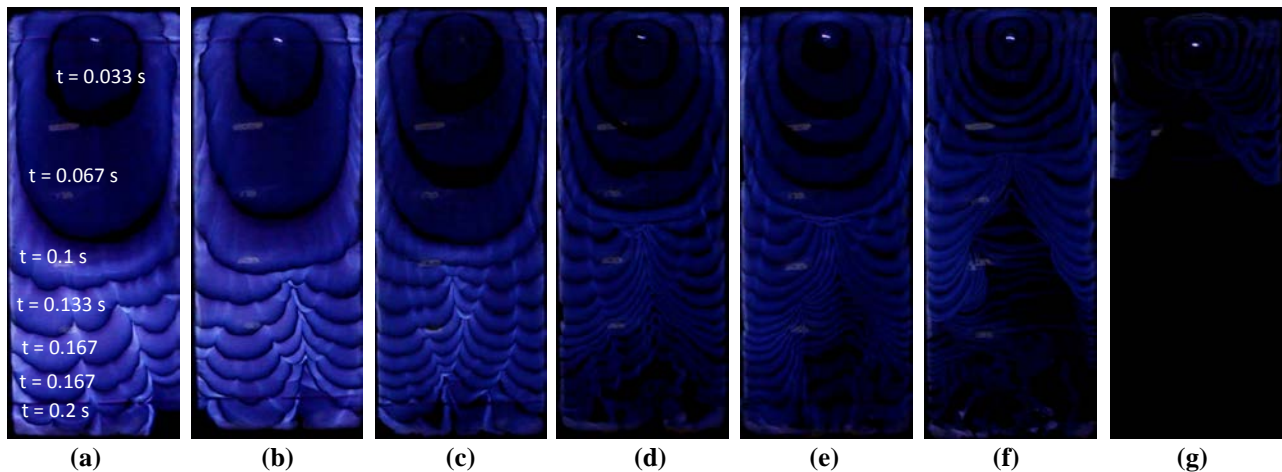
Hasil rekaman dari kamera diolah menggunakan *software Ulead 8* untuk menghasilkan rekaman video hanya pada proses pembakaran. Video proses pembakaran tersebut diolah dengan *software Video to JPG Converter* untuk menjadikan video menjadi gambar diam dengan kecepatan 30fps atau dalam satu detik menghasilkan 30 gambar diam. Gambar tersebut dipotong hanya pada bagian ruang bakar dengan ukuran 50cm x 20 cm sesuai dengan ukuran aslinya dengan menggunakan *software Adobe Photoshop*. Gambar potongan-potongan dalam satu

kali pembakaran tersebut disusun dalam satu frame sehingga tampak rambatan api.

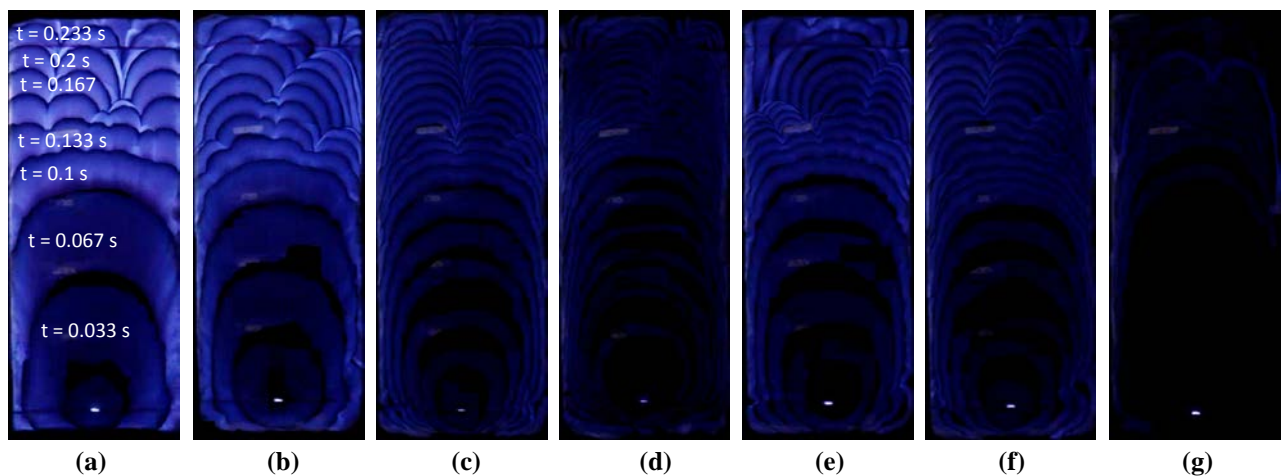
Perhitungan cepat rambat api dan tebal api menggunakan *software Autocad 2009*. Gambar susunan rambatan api dimasukkan ke dalam *software Autocad 2009* untuk dihitung jarak api dengan waktu yang sudah diketahui, sehingga cepat rambat pembakaran dapat dihitung dengan membagi jarak api dengan waktu api tiap satu frame.

Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 dan 4 menunjukkan pola rambatan api dari pembakaran biogas (campuran metana-CO₂) dengan berbagai variasi kandungan CO₂. Gambar tersebut dibuat dengan cara menyusun potongan-potongan gambar api selama proses pembakaran menjadi satu *frame*. Kecepatan pengambilan gambar adalah 30 *frame per second*, sehingga, waktu tempuh tiap-tiap lapisan api dalam satu frame adalah 0.033 detik. Semakin banyak lapisan api dalam satu *frame* berarti semakin lama



Gambar 3 Rambatan api pembakaran campuran stoikiometri metana-CO₂-udara pada penyalaan atas. Kandungan CO₂ dalam bahan bakar (metana-CO₂) : a) 0% CO₂, b) 10% CO₂, c) 20% CO₂, d) 30% CO₂, e) 40% CO₂, f) 50% CO₂, g) 62.5% CO₂.



Gambar 4 Rambatan api pembakaran campuran stoikiometri metana-CO₂-udara pada penyalaan bawah. Kandungan CO₂ dalam bahan bakar (metana-CO₂) : (a) 0% CO₂, (b) 10% CO₂, (c) 20% CO₂, (d) 30% CO₂, (e) 40% CO₂, (f) 50% CO₂, dan (g) 60% CO₂.

waktu tempuh api dari titik penyalan menuju dinding akhir (*endwall*). Gambar 3 menunjukkan pola rambatan api dengan penyalan atas, sedangkan gambar 4 adalah rambatan api dengan penyalan bawah.

Pada gambar 3 dan 4 terlihat bahwa kandungan CO_2 dalam bahan bakar mengakibatkan perubahan pola api yang terjadi. Tampak adanya penurunan tebal dan cepat rambat api akibat adanya penambahan CO_2 dalam bahan bakar. Penurunan tebal ini mengindikasikan adanya penurunan intensitas pembakaran. Semakin tinggi kandungan CO_2 dalam bahan bakar, semakin menurun intensitas pembakarannya. Penurunan intensitas pembakaran ini dapat disebabkan oleh keberadaan molekul-molekul CO_2 yang mengganggu laju difusi suplai metana ke daerah reaksi. Selain itu, CO_2 juga memiliki kapasitas panas yang relatif besar, sehingga mampu menyerap sebagian panas hasil reaksi dan mengurangi suplai panas untuk aktivasi pembakaran selanjutnya. Untuk bahan bakar dengan kandungan CO_2 di atas 50% dengan penyalan atas api tidak bisa mencapai *endwall*. Hal ini ini disebabkan fakta bahwa CO_2 memiliki massa molekul yang lebih berat dibanding metana, sehingga cenderung menempati ruang bagian bawah. Selain itu, gaya apung ke atas mengakibatkan api yang kecil tidak mampu merambat ke bawah.

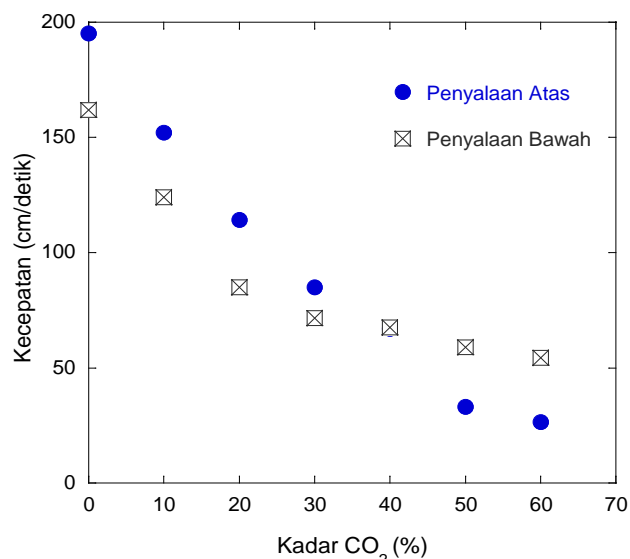
Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ketika kandungan CO_2 dalam bahan bakar di atas 62,5% pembakaran tidak mampu dilakukan lagi dengan penyalan atas. Sedangkan untuk penyalan bawah, pembakaran tidak dapat dilakukan dengan kadar CO_2 di atas 60%.

Data kecepatan rambat api rata-rata dari titik penyalan menuju dinding akhir diplot dalam gambar 5. Dari hasil pengamatan tampak bahwa semakin besar kadar CO_2 dalam bahan bakar mengakibatkan menurunnya cepat rambat api pembakaran biogas. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, gas CO_2 dapat memperlambat reaksi pembakaran dengan cara mengganggu suplai metana ke daerah reaksi maupun dengan menyerap panas hasil pembakaran, sehingga laju reaksi mengalami penurunan. Dari gambar 5 juga terlihat bahwa pembakaran dengan penyalan atas memiliki cepat rambat api yang lebih tinggi dibanding dengan penyalan bawah. Berat molekul yang lebih besar mengakibatkan CO_2 cenderung mengisi ruangan bagian bawah, sehingga penyalan dari atas dapat lebih cepat membakar kandungan metana yang terakumulasi dalam ruangan bagian atas dan menjadikan kecepatan rambat api menjadi lebih cepat dibanding dengan penyalan dari bawah.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa karbondioksida (CO_2) dalam bahan bakar biogas, dalam hal ini campuran metana- CO_2 , memiliki pengaruh terhadap karakteristik pembakarannya,

Kandungan CO_2 dalam bahan bakar dapat mengakibatkan penurunan intensitas pembakaran dan



Gambar 5. Kecepatan rata-rata api hasil pembakaran biogas

kecepatan rambat api. Semakin besar kadar CO_2 dalam bahan bakar, intensitas pembakaran dan cepat rambat api akan semakin menurun. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kadar CO_2 sebesar 62.5% dalam bahan bakar (campuran metana- CO_2) merupakan batas mampu nyala untuk campuran stoikhiometri dengan penyalan atas, sedangkan pada penyalan bawah adalah 60%.

Referensi

- Hamidi N, Ilminnafik N, ING Wardana, Sabaruddin A, 2011, An Experimental Study of the Flammability Limits of LPG- CO_2 -Air Mixtures, The 2011 International Symposium on Advanced Engineering, Pukyong-Korea Proc.
- Ilminnafik, Nasruk (2010). Pengaruh Karbondioksida pada Kecepatan Pembakaran dari Refrigeran Hidrokarbon. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9. Palembang
- Johanson N, 2008, Production of Liquid biogas, LBG, with Cryogenic and Conventional Upgrading Technology, Lunds University, Swedia, Thesis.
- Mark W. Ackley, Salil U. R, Himanshu S., 2003 Application of natural zeolites in the purification and separation of gases, Microporous and Mesoporous Materials, 61, 25-42
- Mishra, DP., Rahman, A., An experimental study of flammability limits of LPG /air mixtures, Fuel 82 (2003) 863-866
- Ryckebosch E., Drouillon M., Vervaeren H., 2011, Techniques for transformation of biogas to biomethane, biomass and bioenergy, 1-13