

## Pengaruh Karbondioksida pada Kecepatan Pembakaran dari Refrigeran Hidrokarbon

Nasrul Ilminnafik

Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Jember  
Jl. Slamet Riyadi 62 Jember  
Jawa Timur, Indonesia

Phone/ FAX: +62-0331-410243, E-mail: [nasrul.ilminnafik@gmail.com](mailto:nasrul.ilminnafik@gmail.com)

### ABSTRAKSI

Refrigeran berbasis karbondioksida dan hidrokarbon dikenal sebagai refrigeran alami yang mulai banyak digunakan karena sifatnya yang relatif aman lingkungan. Karbondioksida yang non flammable sebagai refrigeran memiliki tekanan kerja yang tinggi sehingga mengurangi prestasi kerjanya, sementara hidrokarbon yang flammable bekerja pada tekanan rendah sehingga prestasi kerja lebih tinggi dari refrigerasi umumnya. Apabila keduanya dicampurkan, maka karbondioksida akan bertindak sebagai inhibitor yang akan menghambat terjadinya reaksi pembakaran. Campuran ini bisa digunakan sebagai refrigeran pada sistem refrigerasi dan memberi efek refrigerasi yang lebih baik.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui pengaruh karbondioksida pada pembakaran refrigeran hidrokarbon. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan menggunakan standar DIN 51649.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan inhibitor berupa karbondioksida mempengaruhi kecepatan pembakaran. Penambahan CO<sub>2</sub> pada pembakaran LPG dan udara mampu menurunkan kecepatan pembakaran. Hal ini disebabkan adanya CO<sub>2</sub> sebagai inhibitor pada campuran LPG dan udara akan menghalangi terjadinya tumbukan antara molekul LPG dan molekul udara secara langsung.

Hasil ini diperkuat dengan melihat warna dari nyala api, dimana warna api pada campuran stoikiometri berwarna biru yang menunjukkan pembakaran berlangsung sempurna. Sedangkan pada penambahan CO<sub>2</sub> menyebabkan nyala api berubah kekuningan. Ini menunjukkan pembakaran terjadi tidak sempurna sehingga berpengaruh terhadap kecepatan pembakaran.

*Keywords* : Refrigeran hidrokarbon, Inhibitor, Karbondioksida, Kecepatan pembakaran.

### 1. Pendahuluan

Sejak produksi chlorofluorocarbons (CFCs) diregulasi dibawah Montreal Protocol, hydrofluorocarbons (HFCs), yang tidak merusak stratospheric ozone, telah dikembangkan sebagai alternatif bagi CFCs. Pada bidang refrigerant, CH<sub>2</sub>FCF<sub>3</sub> (HFC-134a) saat ini secara luas telah digunakan sebagai refrigeran pada *air conditioner* di kendaraan. Campuran gas dengan komposisi CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (HFC-32)/CHF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub> (HFC-125) = 50/50 berat didesain sebagai R-410A dan secara luas digunakan sebagai refrigerant *air conditioner* untuk ruangan. Refrigeran ini mempunyai sifat sempurna dalam arti tidak hanya efisien dalam energy tapi juga keamanan, yaitu non-flammability dan sangat rendah

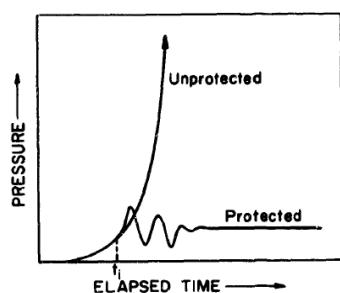
kandungannya.

Kemudian HFCs telah diatur sebagai greenhouse gas (GHGs) dan akan dikurangi di bawah Kyoto Protocol. Global warming potential (GWP) adalah penunjuk efek greenhouse dan sering direpresentasikan sebagai nilai relative pada CO<sub>2</sub> untuk 100 tahun horizon (GWP100yr). Nilai GWP100yr dari HFC-134a, HFC-125, and HFC-32 secara berurutan adalah 1430, 3500, dan 675. Pada tahun 2006, the Parlemnt Eropa memutuskan untuk melarang pengisian *air conditioners* baru pada mobil dengan fluorinated GHGs dengan nilai GWP100yr lebih tinggi 150 mulai tahun. sebagai hasil dari peraturan ini, saat ini sedang dibahas refrigeran baru dengan nilai GWP rendah dari tipe HFC.



Perbincangan umum, pemendekan atmospheric lifetime, yang menghasilkan pengurangan GWP memicu peningkatan reaktivitas penguraian dan alhasil meningkatkan flammability. Untuk pengembangan refrigeran alternatif perlu penemuan solusi untuk kasus tersebut dalam rangka memperkecil dampak lingkungan seperti halnya resiko flammability. Fluoroalkanes dengan GWP rendah meliputi CH<sub>3</sub>F (HFC-41), CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F (HFC-161), and CH<sub>3</sub>CHF<sub>2</sub> (HFC-152a), secara berturut-turut mempunyai GWP100yr values of 97, 12, and 124. Ini kebanyakan dicampur hidrogen fluoroalkana yang mempunyai lifetimes atmosfer lebih pendek dibandingkan kebanyakan kombinasi seperti HFC-134a dan HFC-125 sejak atom H dalam molekul bereaksi dengan atmosfer radikal OH. Bagaimanapun burning velocity maksimum dari HFC-41, HFC-161, and HFC-152a secara berurutan telah ditemukan besarnya 28, 38, and 24cms<sup>-1</sup> yang hampir mendekati C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> yang sangat flammable (39cms<sup>-1</sup>). Dari sini penurunan lifetimes atmosferic oleh hidrogenasi dari fluoroalkana terlihat untuk menurunkan resiko flammability.

Bahan yang *flammable* memiliki efek merusak apabila terjadi ledakan [1]. Satu bentuk pencegahan meliputi penambahan bahan inert yang mampu memadamkan atau mengurangi laju reaksi sebelum terjadi kerusakan yang besar. Gambar 1 menunjukkan bagaimana tekanan yang bervariasi dengan atau tanpa proteksi. Pada grafik yang unprotected, tekanan yang terjadi sekitar pangkat 3 dari waktu. Peningkatan tekanan terjadi sekejap di atas nilai yang ditemukan pada kasus unprotected dan kemudian turun dengan cepat ketika reaksi pembakaran dipadamkan oleh inert.



Gambar 1 Variasi tekanan pada penyalaan sebuah campuran *flammable* antara *unprotected* dan *protected* (Michael, 1965)

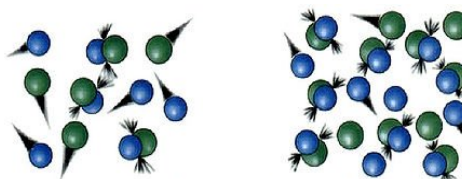
Cara lain untuk menurunkan resiko flammability adalah menambahkan refrigeran hidrokarbon dengan inhibitor. R134a digunakan untuk mengurangi flammability dari R290 [2,3]. Untuk memudahkan aplikasi inhibitor dipilih dari jenis refrigeran alami yaitu karbondioksida, merupakan refrigeran masa depan [4]. Karbondioksida merupakan bahan yang mampu menjadi inhibitor yang efektif [5]. Sejumlah penelitian telah

dilakukan untuk aplikasi kedua refrigeran alami ini. Kim mengukur konsentrasi dari CO<sub>2</sub>/propane dan pengaruhnya pada kapasitas pendinginan dari system air condition [6]. Kim juga melakukan penelitian untuk menghitung prestasi pendinginan dari beberapa campuran refrigeran Propane/CO<sub>2</sub> [7]. Tanaka mengukur kesetimbangan vapor-liquid untuk campuran CO<sub>2</sub>/R290 [8]. Monteanu menggunakan karbondioksida sebagai inhibitor pada pembakaran propane [9]. Dari sejumlah penelitian campuran kedua refrigeran alami tersebut terlihat bahwa campuran refrigeran hidrokarbon dan karbondioksida berpeluang menjadi refrigeran alternatif di masa depan. Tapi sejauh mana tingkat penurunan sifat flammability dari campuran masih perlu dilakukan penelitian. Pada penelitian ini akan dikaji bagaimana pengaruh penambahan karbondioksida terhadap pembakaran dari campuran refrigeran hidrokarbon dan udara.

## 2. Tinjauan Pustaka

Teori collision diajukan oleh Max Trautz and William Lewis pada 1916 dan 1918, yang secara quantitative menjelaskan bagaimana reaksi kimia terjadi dan mengapa laju reaksi berbeda untuk reaksi yang berbeda? teori ini didasarkan pada ide bahwa partikel reaktan harus bertumbukan agar terjadi reaksi, tapi tumbukan harus dalam arah yang tepat dan memutus serta membentuk ikatan-ikatan yang tepat pula.

Dari teori tumbukan juga diketahui bahwa perubahan jumlah molekul reaktan dapat mempengaruhi laju suatu reaksi. Bila konsentrasi pereaksi diperbesar dalam suatu reaksi, berarti kerapatannya bertambah dan akan memperbanyak kemungkinan tabrakan sehingga akan mempercepat laju reaksi. Bila partikel makin banyak, akibatnya lebih banyak kemungkinan partikel saling bertumbukan yang terjadi dalam suatu larutan, sehingga reaksi bertambah cepat, sebagaimana diilustrasikan dalam gambar 2.



Gambar 2 : Jumlah konsentrasi mempengaruhi laju reaksi

Menurut Wardana reaksi bisa terjadi apabila molekul-molekul bertabrakan dalam arah yang tepat dan memutus serta membentuk ikatan-ikatan yang tepat pula [10]. Sebaliknya, untuk mencegah terjadinya reaksi harus dicegah terjadinya tumbukan atau tabrakan dalam arah yang tepat sehingga terhidar dari pemutusan dan pembentukan ikatan-ikatan yang tepat. Hal ini bisa



dilakukan dengan memasukkan molekul-molekul yang bersifat non flammable sehingga molekul tersebut akan menghambat terjadinya reaksi. Molekul-molekul ini sering disebut inhibitor. Menurut Wikipedia (2010) inhibitor adalah zat yang menghambat atau menurunkan laju reaksi kimia. Sifat inhibitor berlawanan dengan katalis, yang mempercepat laju reaksi.

### 3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Eksperimental dengan metode Germany, DIN 51649. Berdasarkan standar ini ruang bakar yang digunakan adalah berbentuk silinder dengan diameter dalam 60 mm dan tinggi 300 mm yang ditempatkan secara vertikal. Ruang bakar dibuat transparan sehingga perilaku nyala bisa diamati secara visual. Dua elektroda sebagai pemantik diletakkan 60 mm dari bawah silinder.



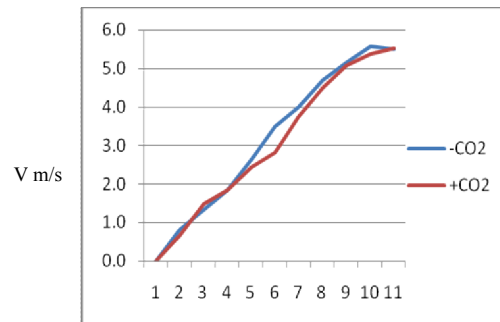
Gambar 3. Ruang Bakar

Jenis refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG produksi Pertamina yang menurut Purkayastha [11] pantas untuk menggantikan HCFC. Adapun inhibitor yang digunakan adalah Karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Penelitian ini menggunakan oksidator udara yang dipompakan ke dalam ruang bakar. Untuk melakukan pengamatan nyala secara visual, nyala direkam dengan video kamera. Hasil rekaman dari kamera video ditransfer ke CD menjadi file AVI kemudian dg software Free Video to JPG Converter dari gambar bergerak diekstraksi menjadi gambar diam sejumlah frame yg tersusun berurutan dari saat menyala pertama sampai padam. Setiap variasi dari perbandingan campuran R-HC/ udara menampilkan gambar bentuk dan pola rambatan yg berbeda-beda dalam setiap framenya. Dari hasil gambar ini dilakukan pengukuran jarak ujung api setiap frame menggunakan software lunak ImageJ. Kecepatan kamera video yang digunakan adalah 420 fps (*frame per second*), maka waktu yg diperlukan untuk satu frame adalah 1/420 detik. Sehingga kecepatan rambat api bisa diperoleh dengan cara membagi jarak api pada setiap frame dengan waktu.

### 4. Hasil dan Pembahasan

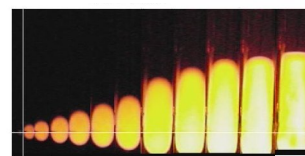
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan

inhibitor berupa karbondioksida akan mempengaruhi pola rambatan api. Dari perhitungan stokiometri menunjukkan bahwa jumlah penambahan CO<sub>2</sub> tidak berpengaruh terhadap kesetimbangan reaksi, tapi perubahan hanya terjadi pada penambahan jumlah produk CO<sub>2</sub> seiring meningkatnya jumlah CO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan CO<sub>2</sub> sebagai senyawa yang stabil yang tidak terurai pada saat reaksi pembakaran berlangsung. Secara umum diperoleh bahwa penambahan CO<sub>2</sub> pada pembakaran LPG dan udara mampu menurunkan kecepatan reaksi pembakaran. Hal ini disebabkan adanya CO<sub>2</sub> sebagai inhibitor pada campuran LPG dan udara akan menghalangi terjadinya tumbukan antara molekul LPG dan molekul udara sehingga reaksi pembakaran tertunda. Hal ini menyebabkan energi aktivasi akan meningkat sehingga kecepatan pembakaran juga menurun.



Gambar 4. Grafik perbandingan kecepatan antara campuran tanpa CO<sub>2</sub> dan dengan CO<sub>2</sub>

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan CO<sub>2</sub> pada campuran LPG dan udara akan berpengaruh terhadap kecepatan pembakaran. Garis warna biru adalah pembakaran stoikiometri LPG dan udara tanpa penambahan CO<sub>2</sub>. Sedangkan garis merah campuran telah ditambah CO<sub>2</sub> sebesar 20%. meski selisih tidak terlalu signifikan tapi secara umum terlihat penambahan CO<sub>2</sub> mempunyai pengaruh terhadap penurunan kecepatan pembakaran.



Gambar 5. Pembakaran campuran LPG dan udara dengan 20% CO<sub>2</sub>

Hasil ini diperkuat dengan pengamatan secara visual dengan melihat warna dari nyala api, dimana warna api menunjukkan jenis ion yang terbentuk selama proses pembakaran. Warna api merupakan panjang gelombang dari getaran ion yang dominan dalam api. Nyala api sempurna tanpa CO<sub>2</sub> didominasi warna biru. Sedangkan



penambahan CO<sub>2</sub> menyebabkan warna api cenderung kekuningan yang menunjukkan pembakaran tidak sempurna yaitu sebagian karbon tidak terbakar.

Dari hasil pengamatan secara visual dari nyala api pembakaran stoikiometri diperoleh bahwa tanpa penambahan CO<sub>2</sub> nyala api terjadi secara sempurna yang ditunjukkan dengan warna biru dari nyala api. Sedangkan pada nyala yang ditambahkan 20% CO<sub>2</sub> warna tampak kekuningan (gambar 5) yang menunjukkan pembakaran terjadi tidak sempurna.

### 5. Saran

High speed camera yang digunakan masih memerlukan resolusi lebih tinggi untuk bisa mendapatkan hasil gambar yang lebih jelas sehingga pengukuran panjang nyala api bisa lebih akurat. Pada penelitian selanjutnya diperlukan flowmeter agar konsentrasi yang diinginkan bisa lebih akurat.

### 6. Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada DIKTI yang telah mendanai penelitian yang merupakan rangkaian penelitian penunjang disertasi di Universitas Brawijaya Malang. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Brawijaya yang telah mendukung sepenuhnya pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami disampaikan kepada pimpinan Universitas Jember yang telah mendukung penulis dalam menyampaikan hasil penelitian ini pada SNTTM di Unsri.

### 7. Referensi

- [1] Michael G. Zabetakis, *FLAMMABILITY CHARACTERISTICS OF COMBUSTIBLE GASES AND VAPORS*, US Bureau of Mines, Bulletin 627, 1965.
- [2] Pasek AD., R. Ufie, C. Adrian, A. Suwono, 2008, *Flammability and Performance Test of R290/R134a Mixture for HCFC-22 Replacement*, International Journal of Energy Machinery, ISSN:1976-9954, The Korean Society of Heat and Cold Energy Engineers, vol. 1., no 1, May 2008, pp 86-92.
- [3] Slamet Agus, *Kaji Eksperimental dan Teoritik Nilai Batas Penyalaan Refrigeran Hidrokarbon Campuran*, Tesis, ITB, 2000.
- [4] Nasruddin, Edi Hamdi, *Natural Refrigerants in Indonesia : Challenge and Opportunity*, Presented in ISSM Delft, The Netherland, 2003
- [5] Chiang C.C., et.all., *Inert Effect on the Flammability Characteristic of Methanol by Nitrogen of Carbon Dioxide*, *Journal Thermal Anal Calorim* (2009) 96:759-763.
- [6] Kim Ju Hyok, Jin Min Cho, Il Hwan Leeb, Jae Seung Leeb, Min Soo Kim, 2007, ELSEIVER, International Journal of Refrigeration 30 (2007) 43-49
- [7] Kim Ju Hyok, Jin Min Cho, Min Soo Kim, 2008, *Cooling Performance of Several CO<sub>2</sub>/propane mixture and glide matching with secondary heat transfer fluid*, ELSEIVER, International Journal of Refrigeration 31 (2008) 800-806
- [8] Tanaka Katsuyuki, Higashi Yukihiro, Ryo Akasak, Yohei Kayukawa, and Kenich Fujii, 2009, *Measurements of the Vapor-Liquid Equilibrium for the CO<sub>2</sub> + R290 Mixture*, *Journal Chemical Eng.*, 54, 1029-1033.
- [9] Munteanu, *CARBON DIOXIDE AS INHIBITOR FOR IGNITION AND FLAME PROPAGATION OF PROPANE-AIR MIXTURES*, Department of Physical Chemistry, University of Bucharest, 4-12 Regina Elisabeta Blvd., 70346 Bucharest, ROMANIA, 2001.
- [10] Wardana, ING, *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*, PT Danar Wijaya, Brawijaya University Press., 2008. [2] Indartono Yuli, *Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi, Artikel Iptek Bidang Energi dan Sumber Daya Alam*, 2006.
- [11] Purkayastha B., and P. K. Bansal, *An experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas (LPG) mix as suitable replacements for HCFC22*, Elsevier Science Ltd and IIR , *Int J. Refrig.* Vol. 2 I, No. 1, pp. 3-17, 1998
- [12] Mohanraj M., et.all., *Environment Friendly Alternative to Halogenated Refrigerants-A Review*, [www.elsevier.com/locate/ijggc](http://www.elsevier.com/locate/ijggc), International Journal of Greenhouse Gas Control 3 (2009) 108-119

