

## ANALYSIS OF REACTION RATES ON COMBUSTION OF CNG - AIR WITH DILUENT ARGON

(Analisa tingkat reaksi Pada Pembakaran CNG – Udara dengan Diluent Argon)

Iwan Gunawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Khairun  
Jl. Pertamina Kampus II Unkhair Gambesi Kota Ternate Selatan

### ABSTRACT

*Natural gas was formed millions of years ago through the process of decomposition of plants and animals. This natural gas is composed mostly by methane and a number of other gases in small quantities such as ethane, propane, butane. We know that the heating value of oil and gas such as CNG is very different, where the heating value of CNG (Compressed Natural Gas) is higher than oil (premium). This will have an impact that if an accident occurs due to human error or a fault the tool will cause an explosion, so it is important to know the flammability limit of CNG mixtures with air. In this study a mixture of hydrogen gas fuel and oxygen gas oxidizer was used as fuel in the driver for initial initiation, while CNG fuel was used with driven air oxidizer. The fuel mixture was tested on a circle section horizontal flammability test pipe with a total length of 6000 mm (1000 mm in the driver section and 5000 mm in the driven section), a 50 mm diameter inside the room temperature and a pressure of 100 kPa driver. At driven the pressure is still 100 kPa and the CNG concentration changes with variations of 0 kPa to 40 kPa CNG with air and a total pressure mixture of 100 kPa. From the results of the study it was found that the flammability limit of CNG between 5 kPa at the lower flammability limit and 15 kPa at the upper flammability limit, detonation did not occur on the width of the flammability limit. In the range between 1-4 kPa and 16-40 kPa CNG there is no combustion reaction, and in the range 5-15 deflagration occurs.*

**Keywords:** level of combustion reaction, flammability limit, lower flammability limit, detonation, deflagration

### 1. PENDAHULUAN

Gas alam dibentuk jutaan tahun yang lalu melalui proses dekomposisi dari tumbuhan dan binatang. Telah ditemukan lebih dari satu mil dibawah permukaan bumi dalam bentuk batuan keropos, gas alam disusun sebagian besar oleh metana dan sejumlah gas lain dalam jumlah kecil seperti etana, propane, butane. Kita ketahui bahwa *heating value* dari premium dan gas semisal CNG berbeda jauh, dimana *heating value* dari CNG (*Compressed Natural Gas*) lebih tinggi dibandingkan dengan minyak (premium). Hal ini akan memberikan dampak bahwa jika terjadi kecelakaan akibat kesalahan manusia maupun kesalahan alat akan menyebabkan terjadinya ledakan. Oleh

sebab itu, penggunaan alat pengaman di tabung gas mutlak diperlukan agar dapat menghentikan atau menggagalkan ledakan yang mungkin terjadi.

*Flammability limit* adalah batas reaksi pembakaran dari suatu campuran bahan bakar dengan Oksidernya. Phenomena yang terjadi pada proses *flammability limit* sangat penting diamati karena melibatkan banyak hal dalam mekanisme pembakaran bahan bakar gas. Pada penelitian ini pengamatan dititikberatkan pada perubahan kecepatan api laminar (*laminar burning velocity*) menjadi kecepatan api turbulen (*turbulent flame*) yang diakibatkan oleh pengaruh *equivalence ratio*, konsentrasi dan tekanan awal

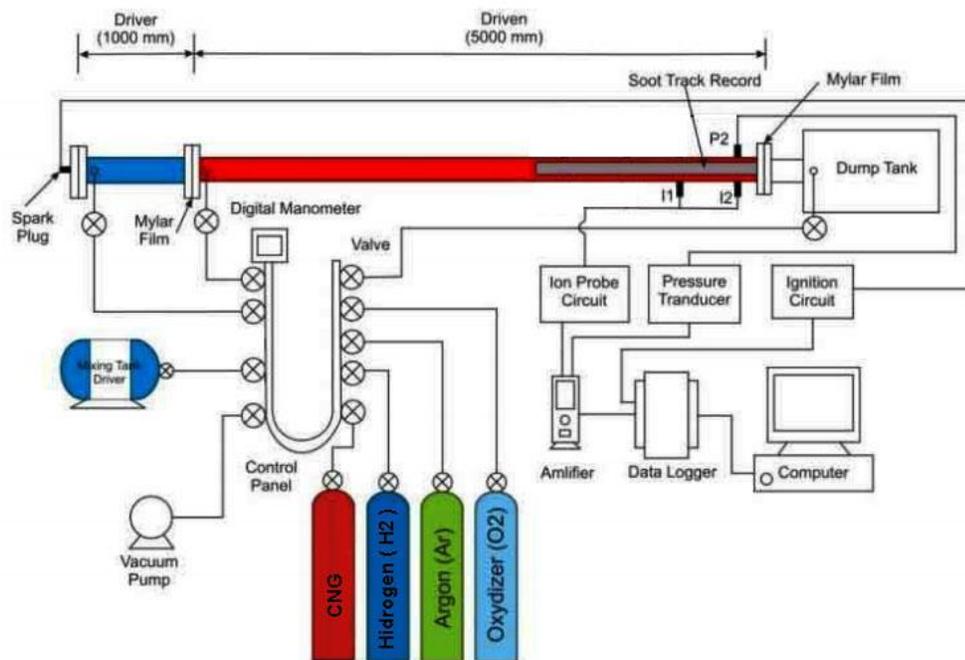
campuran bahan bakar gas CNG-udara dan Argon sebagai diluent. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menginvestigasi pola dan karakteristik Flammability limit dari gas CNG, seperti Liao *et al.* (2003) meneliti juga pengaruh dari *equivalence ratio* pada kecepatan laminar pembakaran. Pada penelitian tersebut digunakan campuran natural gas-udara dengan *equivalence ratio* dari 0.6 hingga 1.4. dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin *equivalence ratio* mendekati satu maka kecepatannya semakin tinggi. Berdasarkan penelitian tersebut campuran natural gas-Udara mencapai kecepatan 39.1 cm/s untuk *equivalence ratio* sama dengan satu. Liao S.Y. *et al.* (2005) melakukan eksperimen flammability limit

## 2. METODE PENELITIAN

Ekspirimen ini menggunakan alat Pipa Uji Detonasi (PUD) dengan panjang total 6 meter dan diameter dalam 50 mm dibagi dalam 2 bagian, bagian pertama disebut *driver tube* dan bagian kedua

*natural gas* dengan Udara, *Lower Flamability Limit* (LFL) didapat 5% dan *Upper Flamability Limit* (UFL) adalah 15,6% . Liao S.Y. *et al.* (2005) melakukan eksperimen dengan menggunakan variasi campuran natural gas dengan oksidiser udara , dengan meneliti efek kenaikan tekanan dan temperatur mempengaruhi peningkatkan daerah flamability limit, dan ternyata daerah flamabilitynya lebih besar dari pada gas Propana (  $C_3H_8$  ). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan konsentrasi dari campuran CNG – oksigen, *equivalence ratio* terhadap flammability limit pada campuran bahan bakar CNG – oksigen serta batas dari flammability limit campuran gas CNG-oksigen.

disebut *test tube*. *Driver tube* berfungsi untuk memberikan energi inisiasi yang besar ke dalam *test tube*. *Detonation wave* akan merambat dari *driver tube* ke arah *dump tank*. (Gambar 1).



Gambar 1. Instalasi Alat Uji

Satu sensor tekanan yang dipasang di sepanjang *test tube* dimana sensor tekanan dipasang di daerah *downstream* ( $P_2$ ) dari model. Untuk mendeteksi proses pembakaran pada suatu posisi, dua buah sensor ionisasi juga dipasang pada *test tube* yang posisinya berlawanan dengan posisi sensor tekanan. Dengan menggunakan sensor-sensor diatas, kecepatan dari *detonation wave* akan dapat dihitung. Sensor tekanan dan sensor ionisasi tersebut dihubungkan dengan *amplifier* dan *digital data recorder* untuk memperoleh data yang dapat diolah dan divisualisasikan di komputer. Busi (*spark plug*) dan unit coil dari kendaraan bermotor digunakan sebagai sumber energi untuk mengawali proses pembakaran dalam *driver tube*. Medan aliran dari proses pembakaran di daerah *downstream* dari model direkam dengan teknik *soot track record* untuk mendapatkan gambaran sel detonasi di sekitar model, sehingga mekanisme dari *flammability limit* dapat dipahami. Gas uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas CNG, Oksigen dan Argon dengan *equivalence ratio* yang bervariasi dan campuran bahan bakar tersebut disimpan selama minimal 12 jam sebelum digunakan untuk eksperimen guna menjamin homogenitas yang baik.

Proses pengisian (*filling*) campuran bahan bakar gas (*premixed gas*) ke dalam *detonation tube* dikontrol dengan *high-precision digital pressure gage* (Festo) sehingga didapatkan keakuratan tekanan awal (*initial pressure*) campuran bahan bakar gas di dalam *detonation tube*. Tekanan awal campuran bahan bakar di dalam *detonation tube* tetap yaitu 100 kPa, tekanan pada *driven tube* tetap 100 kPa dan di *driven tube* divariasikan persentase volume dari CNG, Oksigen dan Argon yang mengacu kondisi yang umum digunakan pada sistem saluran bahan bakar roket cair.

Sedangkan temperatur dimana eksperimen ini dilaksanakan berada pada temperatur ruangan yaitu sekititar 27 – 32 °C.

Tabel 1 *Experimental Condition*

Parameter	Driver	Driven
<i>Fuel</i>	Hidrogen	CNG ( % Vol )
<i>Oxidizer</i>	Oksigen	Oksigen ( % Vol )
<i>Equivalence ratio</i>	1 ( <i>Stoichiometry</i> )	Variasi
<i>Initial Pressure ( kPa)</i>	100	100
<i>Temperature</i>	Suhu ruangan	Suhu ruangan
<i>Diluent</i>	-	Argon ( % Vol )
<i>mixing</i>	<i>Premixed</i>	<i>Direct Mixing</i>

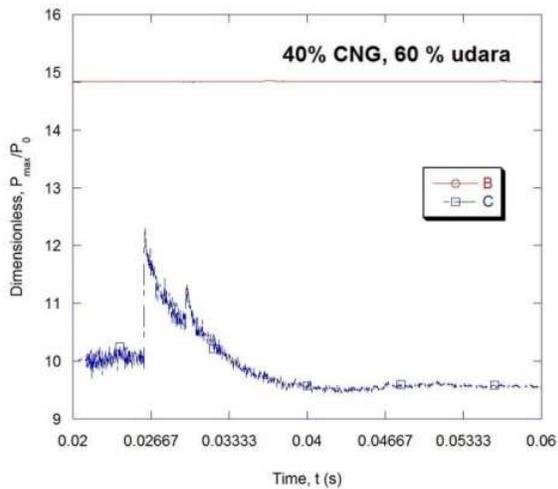
Tekanan awal campuran bahan bakar di dalam *detonation tube* tetap yaitu 100 kPa, tekanan pada *driven tube* tetap 100 kPa dan di *driven tube* divariasikan persentase volume dari CNG, Oksigen dan Argon yang mengacu kondisi yang umum digunakan pada sistem saluran bahan bakar roket cair. Sedangkan temperatur dimana eksperimen ini dilaksanakan berada pada temperatur ruangan yaitu sekititar 27 – 32 °C. Secara detail, bahan bakar dan kondisi eksperimen ditampilkan pada Tabel 1. Dari tahapan Tabel 1 diharapkan parameter-parameter yang mempengaruhi mekanisme *flammability limit* pada campuran bahan bakar CNG, Oksigen, Argon dalam pipa dapat diketahui.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

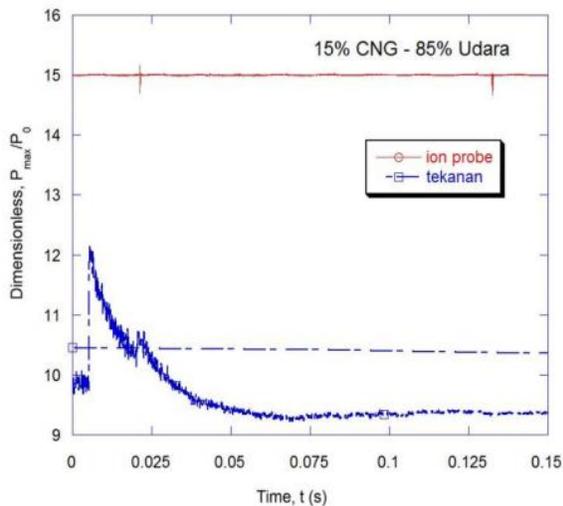
Gambar 2a dan 2b menunjukkan rekaman tekanan shock wave dan reaction front disepanjang bagian *driven*. Gambar 2a menunjukkan kondisi tanpa reaksi

pembakaran dimana sensor ion probe tidak menunjukkan adanya pergerakan sensornya, kondisi ini akan bisa berubah apabila ignition energy lebih besar lagi jika mencapai titik auto ignition pada bahan bakar CNG.

Gambar 2b menunjukkan adanya deflagrasi yang menunjukkan shock wave berada di depan reaction front yang diukur melalui ion probe. Kondisi pada gambar 2b kemungkinan bisa terjadi detonasi apabila tabung pipa uji flammability limit semakin panjang.



(a)



(b)

Gambar 2. Profil tekanan pada (a) tidak terjadi pembakaran pada konsentrasi 40kPa CNG,

60 kPa udara, (b) deflagrasi pada konsentrasi 15 kPa CNG, 85 kPa udara.

Untuk penelitian yang dilakukan oleh Jones et al menunjukkan bahwa lower flammability limit (LFL) adalah 4.5 dan untuk upper flammability Limit (UFL) adalah 14,2 (%Vol), maka jika dibanding dalam penelitian ini yang lower flammability limit (LFL) adalah 5 dan untuk upper flammability limit (UFL) adalah 15 (%Vol) terjadi selisih 0,5 untuk lower flammability limit dan selisih 0,8 untuk yang upper flammability limit. Penyebab dari perbedaan ini adalah alat yang dipakai kurang standar dimana untuk pengisian gas dilakukan manual dengan kran gas dimana kran gas yang terdapat pada alat ini sudah lama digunakan sehingga kurang presisi. Pada control panel U banyak terjadi kebocoran sehingga usaha yang dilakukan untuk mencegah kebocoran yaitu dengan menambal dengan lem silikon sehingga kemungkinan terjadi kebocoran pada saat dilakukan pengambilan data. Pompa vakum yang digunakan tidak baru sehingga kurang presisi, karena pengisian dilakukan manual bukan dengan digital maka grade pengambilan data terlalu besar sekitar 5- 10 kPa, sehingga sulit untuk mendapat data yang kecil dan presisi.

Tabel 2. Tabel flammability limit dari penelitian Jones et al untuk gas alam di dalam udara kering dengan variasi tekanan

**Limits of flammability of natural gas in 20°C dry air versus pressure (% by volume)**

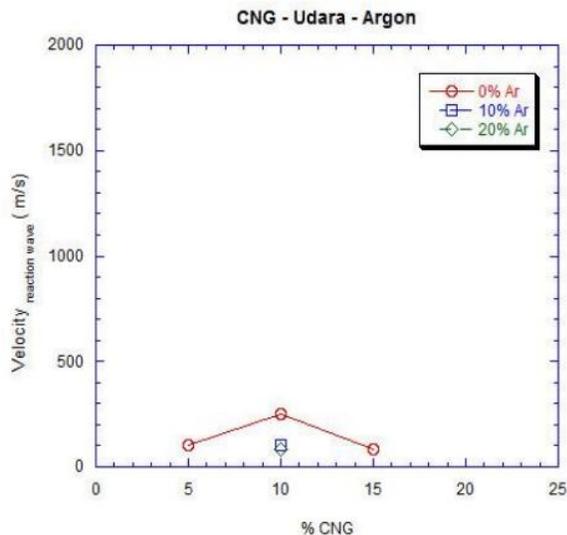
[Jones et al.]

Pressure (atm)	Lean limit	Rich limit
1	4.50	14.2
35	4.45	44.2
69	4.00	52.9
137	3.60	59.0
205	3.15	60 (est)

Dari gambar 3 dibawah terlihat bahwa grafik menunjukkan garis yang naik dari 100 m/s menjadi 250 m/s pada 10% CNG dan kemudian menurun sebesar 83 m/s pada 15% CNG, oleh karena itu di daerah ini

diperkirakan terjadi kondisi yang lebih reaktif, sementara untuk kadar argon 10% kecepatannya di bawah garis

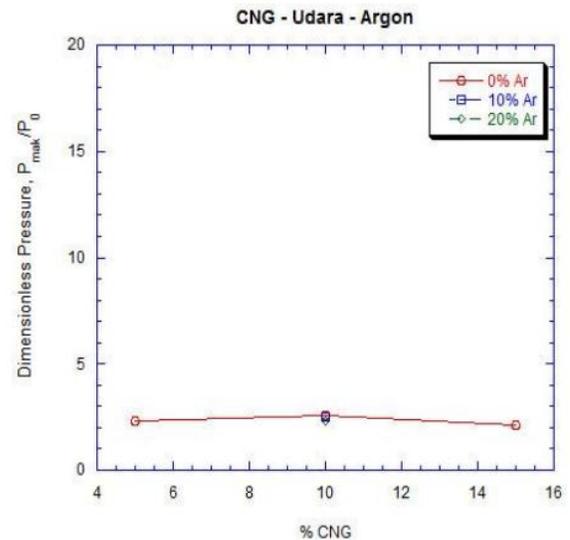
grafik yang tanpa argon, hal ini membuktikan penambahan gas diluents argon akan menurunkan sifat reaksi pembakaran. Dalam penghitungan stoikiometri secara teori di dapat bahwa campurannya 9,29% CNG, sehingga untuk titik pada 10% CNG mendekati stoikiometri, oleh karena itu kecepatannya lebih besar dibanding dengan titik 5% CNG maupun 15% CNG.



Gambar 3. Grafik pengaruh variasi CNG dan variasi argon dengan oksidiser udara terhadap perubahan kecepatan gelombang reaksi .

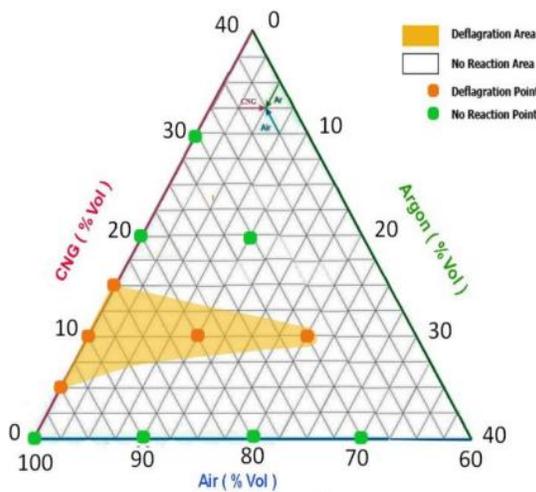
Pada gambar 4.1.5. terlihat grafik variasi % volume CNG dan variasi % Volume argon dengan oksidiser udara terhadap perubahan tekanan shock wave dimana tekanannya hampir sama. Besarnya tekanan di driven ini dipengaruhi juga oleh shock wave dari bagian driver, sementara untuk grafik 10% Ar hanya berupa titik pada 10% Ar, hal ini karena pengambilan data sebagian besar menggunakan range 10 kPa dan pada kondisi tertentu dengan range yang lebih kecil, oleh karena itu pada grafik 10% Ar tidak dilakukan pengujian pada range yang lebih kecil, sehingga pada 10%

CNG- 10% Ar terlihat terjadi deflagrasi sementara pada 5% CNG- 10% Ar tidak terjadi deflagrasi sementara untuk kadar (6- 9)% CNG- 10% Ar tidak dilakukan pengujian sehingga tidak diketahui apakah terjadi deflagrasi atau tidak.



Gambar 4. Grafik variasi CNG dan variasi argon dengan oksidiser udara terhadap perubahan tekanan.

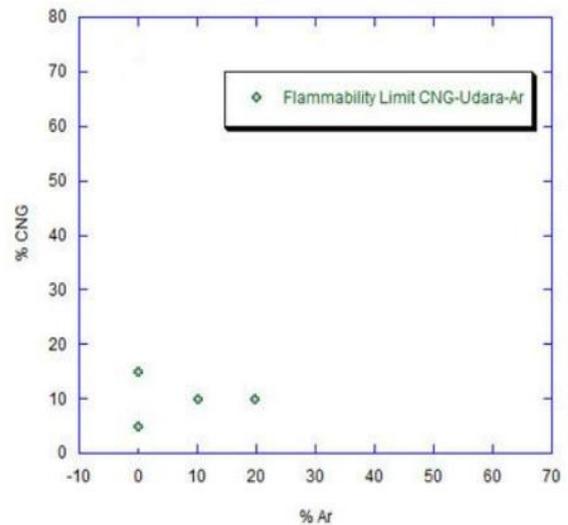
Pada gambar 5. memperlihatkan pemetaan flammability limit pada segitiga api untuk campuran CNG- udara- argon. Warna kuning menunjukkan daerah defragasi kemudian warna putih menunjukkan daerah tanpa reaksi selanjutnya titik warna jingga menunjukkan titik deflagrasi sedang titik hijau menunjukkan titik tanpa reaksi. Luasan deflagrasi diperoleh dengan menghubungkan titik titik sehingga diperoleh luasan deflagrasi. Titik yang berada di daerah kuning berarti titik tersebut mengandung konsentrasi campuran gas yang berada pada kondisi deflagrasi, sedangkan titik yang berada pada daerah putih berarti titik tersebut mengandung konsentrasi campuran gas yang berada dalam kondisi tanpa reaksi. Pada campuran gas CNG dengan oksidiser udara tidak ditemukan detonasi.



Gambar 5. Pemetaan flammability limit pada segitiga api untuk campuran CNG- udara- argon.

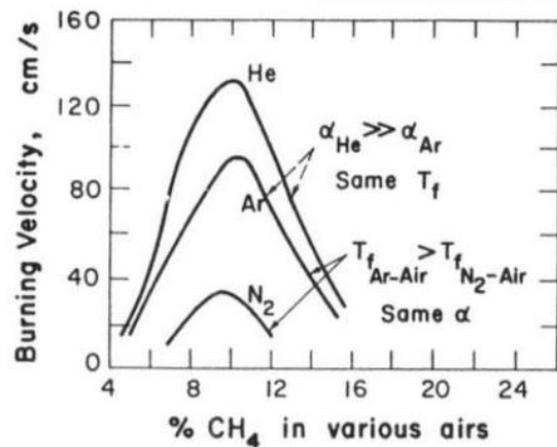
Pada gambar 6 adalah merupakan diagram batas flammability limit campuran CNG- udara dan gas argon sebagai diluents, dimana untuk campuran CNG- udara dengan kadar argon 0% maka lower flammability limit sebesar 5% CNG dan upper flammability limit sebesar 15% CNG, untuk kadar argon 10% maka lower flammability limit sebesar 10% CNG dan upper flammability limit sebesar 10% CNG, untuk kadar argon 20% maka lower flammability limit sebesar 10% CNG dan upper flammability limit sebesar 10% CNG.

Pada campuran CNG- udara dan diluent argon maka semakin kadar argon bertambah maka upper flammability limit semakin menyempit mulai dari kadar argon 0% kemudian penambahan 10% argon sampai 20% argon, selanjutnya pada 30% argon tidak terjadi pembakaran. Dari keterangan diatas bisa kita katakan bahwa gas argon yang merupakan gas mulia merupakan gas diluent yang baik untuk menurunkan flammability limit dari gas CNG khususnya dan bahan bakar gas pada umumnya walaupun masih lebih baik gas nitrogen dibanding argon dalam beberapa kondisi seperti pada difusivitas termal dan kalor jenis.



Gambar 6. Batas flammability limit campuran CNG- udara dan gas argon

Pengaruh difusivitas termal terhadap kecepatan perambatan api dapat dilihat dari penelitian oleh Clingman et al. (diambil dari Kuan-yun Kuo, 1986), grafik berikut merupakan hasil dari penelitian tersebut.



Gambar 7. Pengaruh difusivitas termal terhadap kecepatan perambatan api

Dari gambar 7 tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan perambatan api campuran argon (Ar)-udara lebih rendah dibandingkan campuran helium (He)-udara. Hal ini disebabkan oleh lebih

besarnya nilai difusivitas termal dari dari helium dibandingkan argon karena berat molekul helium lebih ringan. Pada perbandingan nitrogen ( $N_2$ ) dengan argon, argon memiliki kecepatan perambatan yang lebih besar dibandingkan nitrogen. Hal ini terjadi karena argon merupakan gas monoatomik yang memiliki kalor jenis yang lebih rendah dibandingkan gas diatomik, sehingga menyebabkan suhu api yang dihasilkan oleh argon lebih besar pula daripada nitrogen.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dengan menggunakan sensor tekanan, sensor ionisasi dan soot track record, maka pengaruh perubahan konsentrasi dari campuran CNG- udara terhadap flammability limit sehingga diperoleh karakteristik dan pola perambatan api di dalam pipa diklasifikasikan menjadi 3 tingkat reaksi pembakaran, yaitu:

- a. Tanpa reaksi, kondisi tidak terjadi reaksi pembakaran dalam bagian driven dengan ditandai tidak terjadinya perambatan reaction wave.
- b. Deflagrasi, kondisi terjadi proses pembakaran pada bagian driven dimana perambatan shock wave diikuti dengan perambatan reaction wave pada jarak yang relatif jauh.
- c. Detonasi, disini tidak terjadi kondisi gelombang detonasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. **Ciccarelhi Ginsberg T, Boccio JL**, 1997, The Influence of Initial Temperature on the Detonability Characteristics of Hydrogen-Air-Steam Mixture, *Combustion Science and Technology*; 128:181-196
- [2]. Eswanto, J.R.Siahaan, 2018, Analysis of castel type biomass combustion chamber using candlenut shell fuel for patchouli oil purifying, Volume 12, Issue 2, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, pp. 3656-3670.
- [3]. **Gary L. Borman, Kenneth W. Ragland**, 1998, *Combustion Engineering*, McGraw-Hill Book Co-Singapore
- [4]. **Guirao CM, Knystautas R, Lee JH, Benedick W, Berman M**, 1982, Hydrogen-Ai Detonations, *Proceeding of the 19th Combustion Institute*, 583-590
- [5]. **Ishak, M.S.** 2008. Determination of explosion parameters of LPG-air mixtures in the closed vessel. *Universiti Malaysia Pahang*
- [6]. **Kenneth Kuan-yun Kuo**, 1986, *Principle of Combustion*, John Wiley & Sons, New York
- [7]. **Liao S.Y., D.M. Jiang a, Z.H. Huang, Q. Cheng, J. Gao, Y. Hua**, 2005, *Approximation of Flammability Region for Natural Gas-Air-Diluent mixture*, Elsevier
- [8]. **Michael Liberman**, 2003, *Flame, Detonation, Explosion-When, Where and How They Occur*, 3rd Int. Disposal Conf, Karlskoga, Sweden
- [9]. **Mishra D.P., Rahman A.**,2002, *An Experimental Study of Flamability Limits of LPG/AirMixtures*,Elsevier
- [10]. **Qiao L., Y. Gan. Nishiie, W.J.A. Dahm, E.S.Oran**, 2007, *Extinction of premixed methane/air flames in micrografity by diluents : Effects of radiation and Lewis number*, Elsevier.
- [11]. **Sentanuhady .J**, 2008,*Batas Detonasi dari Campuran Hidrogen-Udara dan Argon*, UGM,Indonesia
- [12]. **Stephen R. Turns**,2000, *An Introduction to Combustion*, McGraw-Hill USA.
- [13]. **Schultz E., E. Wintenberger, J. Sphered**, *Investigation of*

- Deflagration to Detonation Transition for Application to Pulse Detonation Engine Ignition System, California Institute of Technology Pasadena, CA 91125 USA
- [14]. **Stamps D.W. and S.R. Tieszen**, 1991, The Influence of Initial Pressure and Temperature on Hydrogen-air-diluent Detonations, *Combust Flame*, 83(3):353-364
- [15]. **Yiguang Ju , Sergey Minaev**, 2002, Dynamics and Flammability Limit of Stretched Premixed Flames Stabilized By A Hot Wall, Volume 29 / pp. 949–956
- [16]. **Yunus A. Cengel, Michael A. Boles**, 1998, *Thermodynamics An Engineering Approach*, McGraw-Hill USA.
- [17]. **Mihalik T.A, Lee J.H.S.**, 2002, The Flammability Limit of Gaseous Mixtures in Porous Media, Department of Mechanical Engineering McGill, University, Montreal, Canada.
- [18]. Iwan gunawan, 2015, Pengaruh Diluent Argon Terhadap Reaksi Pembakaran Gas Alam ( CNG ), Jurnal Ilmiah “MEKANIK” Teknik Mesin ITM, Vol. 1 No. 1, hal 1- 8