

## ANALISIS PENGARUH MEDAN MAGNET TOROID TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API (*FLAME*) DENGAN BAHAN BAKAR BUTAN

I Made Kartika Dhiputra<sup>1</sup>, dan Nely Toding Bunga<sup>2</sup>

<sup>12</sup>Flame and Combustion Research Group of Thermodynamics Laboratory Faculty of Engineering  
Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat. 16424

<sup>a</sup>dhiputra\_made@yahoo.com, <sup>b</sup>todingbunganz@yahoo.com

### Abstrak

Pengaruh medan magnet pada nyala api dalam pembakaran bahan bakar gas butane merupakan hal yang penting untuk mengatur plasma flame pada proses pembakaran. Medan magnet yang tidak seragam dihasilkan pada celah udara elektromagnetik. Dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa struktur flame pada proses pembakaran difusi dapat dipengaruhi oleh gradient medan magnet. Dengan penggunaan medan magnet toroid diperoleh panjang nyala api dan temperatur berkurang seiring dengan bertambahnya kuat medan magnet. Demikian pula dengan tingkat kecerahan nyala api yang cenderung menurun seiring dengan bertambahnya intensitas medan magnet.

**Kata kunci :** Karakteristik nyala api, Magnet toroid, Difusi, Medan Magnet.

### Pendahuluan

Penggunaan medan magnet untuk meningkatkan efisiensi dan pengendalian bahan bakar menjadi bahan yang menarik perhatian ilmuwan dan peneliti di bidang flame dan pembakaran.

Penelitian yang mengkorelasikan antara *flame* dan medan magnet pertama kali dilakukan oleh Faraday [1]. Faraday menemukan bahwa nyala api akan mengalami peningkatan tingkat kecerahan dan mengalami perubahan bentuk. Faraday juga menyimpulkan bahwa hal tersebut terjadi karena adanya interaksi muatan-muatan yang terdapat pada nyala api dengan magnet. Von Engel dan Cozen selanjutnya mengungkapkan bahwa flame dapat dipengaruhi oleh medan magnet karena gas paramagnetik yang terpengaruh oleh medan magnet [2]. Dari beberapa penelitian tersebutlah mengilhami para peneliti seperti: Ueno, Wakayama, Yamada, Mitzuni dsb., untuk mempelajari lebih mendalam tentang pengaruh medan magnet pada pembakaran, agar hasilnya dapat diaplikasikan pada industri dan komersial.

Dari hasil beberapa teori terbaru yang diperoleh dari penelitian mengenai efek medan magnet terhadap pembakaran dan karakteristik nyala api dengan aliran gas yang berubah akibat pengaruh medan magnet yang tidak seragam [4-9]. Untuk itu lebih lanjut dalam penelitian ini akan lebih dikaji tentang

karakteristik nyala api tanpa aliran gas tambahan.

Seperti kita ketahui proses pembakaran terjadi dari reaksi bahan bakar dan oksider yang mana dari reaksi tersebut akan menghasilkan produk pembakaran dan energy panas, zat-zat yang terlibat pada proses pembakaran dapat bersifat paramagnetic dan diamagnetic, zat yang bersifat paramagnetic seperti O<sub>2</sub> dan diamagnetic diantaranya hidrokarbon bahan bakar CO, CO<sub>2</sub>, dan N<sub>2</sub>. Sifat paramagnetic zat diakibatkan oleh electron yang tidak berpasangan pada zat tersebut menghasilkan dipole magnetic jika dikenai medan magnetic jika dikenai medan magnet dari luar dan zat paramagnetic akan ditarik pada arah kenaikan kuat medan magnet. Sebaliknya untuk zat diamagnetic dihasilkan oleh pasangan electron, akibatnya atom tersebut menghambat pembentukan dipol dan hambatan ini menyebabkan atom bergerak pada arah penurunan kuat medan magnet. Dari hasil penelitian tersebut tidak menyinggung pengaruhnya medan magnet terhadap plasma flame. Analisa ditujukan pada pembakaran dan dinamika fluida semata.

Dalam setiap material terdapat elektron-elektron yang berputar mengelilingi inti atom. Gerak dari atom mengelilingi inti ini merupakan simpul rangkaian yang sangat kecil. Keberadaan simpul-simpul rangkaian berarus ini di setiap material jika diberikan sebuah medan magnet eksternal, membuat

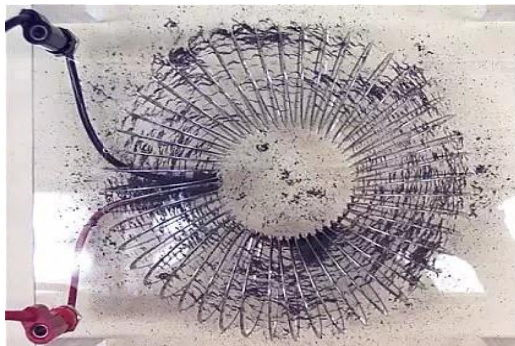
material akan bereaksi berbeda-beda sesuai dengan struktur mikroskopis yang ada di dalamnya.

Material bisa diklasifikasikan menjadi empat jenis. Material diamagnetis: sifat dari material secara intern saling mengimbangi sehingga tak terlihat efek makroskopisnya. Jika ke dalam medan magnet dimasukkan material diamagnetis, maka tak tampak perubahan yang besar. Misalnya: tembaga, emas, perak, air, dll.

Material paramagnetis: adanya perubahan pada medan magnet jika material paramagnetis kita celupkan ke dalamnya. Misalnya: aluminium, platina, titan, magnesium, dll.

Material feromagnetis: adanya perubahan yang sangat besar bila material feromagnetis dikenai medan magnet. Adanya hubungan tidak linear antara medan magnet (H) dan induksi medan magnet (B). Misalnya: besi, nikel, kobalt, dll.

Material ferimagnetis: setiap molekul yang berdampingan saling mengimbangi. Contoh penting dari jenis material magnetis ini adalah ferit yang sering dipakai pada aplikasi gelombang radio.



Gambar 1. Medan Magnet Toroid

Magnet merupakan benda yang memiliki medan magnet. Medan magnet memiliki dua kutub yaitu utara dan selatan. Magnet dapat menarik benda logam dan kutub magnet yang berlawanan dan menolak kutub yang sama. Terdapat dua jenis magnet yaitu magnet alami dan magnet buatan. Magnet alami merupakan magnet yang ditemukan dengan kondisi memiliki medan magnet. Sedangkan magnet buatan adalah magnet yang dibuat dengan berbagai cara. Salah satu cara membuat electromagnet, yaitu dengan menggunakan

arus listrik kemudian mengalirkannya melalui lilita tembaga pada bahan feromagnetik seperti baja. Satuan intensitas medan magnet adalah Tesla. Persamaan berikut menunjukkan hubungan intensitas medan magnet terhadap parameter yang mempengaruhi. Intensitas medan magnet dapat divariasikan dengan besaran arus listrik pada jumlah lilitan yang tetap.

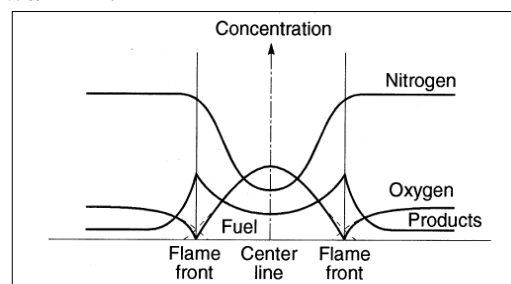
$$\left( \frac{B_{0g}}{\mu_0} \right) + \left( \frac{B_{li}}{\mu_0 \mu_r} \right) = iN \quad (1)$$

Nyala Api adalah penyebaran sendiri secara terus menerus yang dibatasi oleh daerah pembakaran dengan kecepatan subsonic (di bawah kecepatan suara), atau dengan kata lain nyala api (*flame*) merupakan gelombang panas yang terjadi akibat reaksi kimia eksotermis yang cepat.

Ada dua klasifikasi utama dari nyala api, yaitu nyala api premix (*premixed flame*) dan nyala api difusi (*diffusion flame*). Nyala api premix adalah jenis dimana bahan bakar dan udara bercampur sebelum terjadinya proses pembakaran. Nyala api difusi timbul sewaktu udara berdifusi ke bahan bakar di dalam nyala api.

Definisi nyala api adalah suatu penyebaran nyala api secara terus menerus yang dibatasi oleh daerah pembakaran dengan kecepatan subsonic (di bawah kecepatan suara), atau kecepatan rambat nyala api (*flame*) merupakan gelombang panas yang terjadi akibat reaksi kimia eksotermis yang cepat.

*Diffusion flame* adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan biasanya dipengaruhi oleh energy yang dimiliki oleh bahan bakar. Nyala api *Diffusion Flame (Non-Premixed)*, seperti terlihat pada gambar dibawah ini :

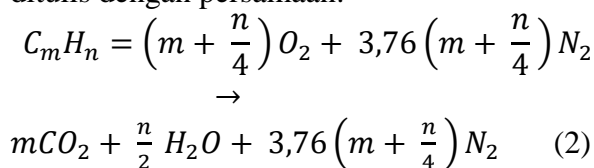


Gambar 2. Diffusion Flame Structure

Gambar 2. (sumber: Roger A. Strehlow) menjelaskan bahwa pembakaran *Diffusion flame* terjadi pada struktur permukaan api antara bahan bakar gas (*fuel*) dan gas oksidan, pembakaran difusi lebih tergantung pada reaktan proses pelepasan ikatan unsur kimia yang terlibat. Dalam Penelitian pembakaran *Diffusion flame* banyak digunakan dalam Penelitian dasar api dan Penelitian aplikasi (peralatan kompor gas rumah tangga). Perhatian utama dalam desain adalah geometri api. parameter utama yang mengontrol bentuk nyala api, laju aliran bahan bakar, jenis bahan bakar, dan faktor-faktor lain.

Pembakaran adalah proses atau reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidator yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsure-unsur karbon (C), hydrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sedangkan oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar. Proses pembakaran dapat terjadi jika terdapat tiga komponen yang bereaksi yaitu bahan bakar, oksidan (oksigen), dan sumber nyala (tekanan, panas dan lainnya).

Reaksi pembakaran menghasilkan energi panas yang diambil oleh lingkungan sehingga disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara kering. Udara kering terdiri dari 21% oksigen dan 78% nitrogen, sehingga reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon murni  $C_mH_n$  dapat ditulis dengan persamaan:

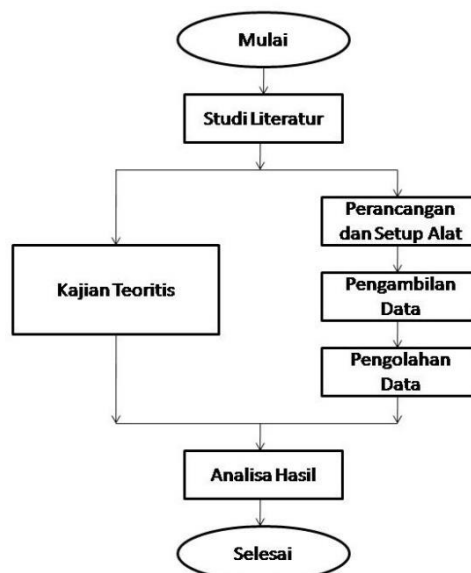


### Metodologi

Dalam penelitian ini beberapa tahapan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini. Tahapan yang pertama adalah tahap studi literature dari beberapa referensi buku, jurnal,

diskusi, dan lain-lain. Tahapan berikutnya adalah perancangan dan persiapan alat penelitian dari pencarian bahan dan ukuran inti magnet (*core*) dan lilitan tembaga, hingga besaran arus serta tegangan untuk menghasilkan medan magnet yang paling maksimal. Selanjutnya melakukan kalibrasi alat ukur dan pengaturan alat fotografi untuk dokumentasi fenomena pembakaran. Setelah semuanya siap, barulah dilakukan proses pengambilan data dan dokumentasi yang kemudian dianalisis.

Berikut diagram alur penelitan:



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian



Gambar 4. Konfigurasi keseluruhan dari alat eksperimen dalam penelitian ini

Keterangan :

1. Kamera
2. Tripod
3. Power Supply DC

4. Burner
5. Magnet Toroid
6. Thermokopel

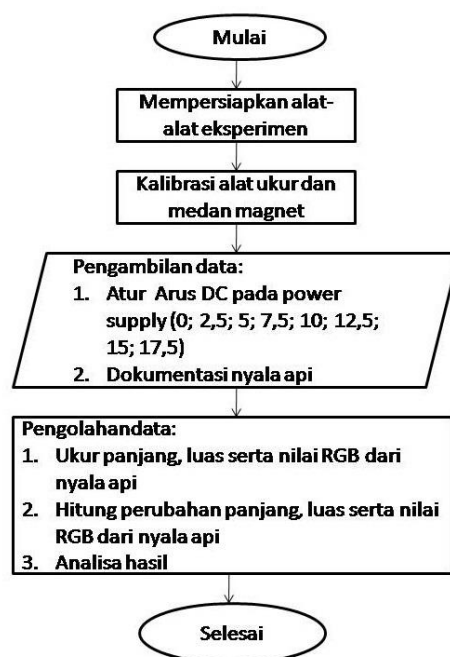
Semua alat disiapkan, termasuk menyalakan aliran listrik pada *power supply* DC. Kemudian mengecek aliran arus yang masuk ke dalam kumparan, dengan menaikkan tegangan pada power supply. Seharusnya dengan kenaikan angka tegangan pada *display* diiringi pula dengan kenaikan arus. Bila angka arus tidak berubah atau tetap menunjukkan angka 00.00, maka terjadi kesalahan sambungan kabel pada power supply dan kumparan magnet toroid.

Bila arus telah mengalir ke magnet toroid, maka perlu memastikan intensitas magnet pada lubang core dengan mengukur magnet dengan menggunakan *Gaussmeter*.

Setelah mendapatkan intensitas magnet yang diharapkan, mulai dengan menyalakan burner dengan mengubah arus yang masuk mulai dari 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, hingga 17.5 Ampere.

Dalam setiap perubahan arus masing-masing dicatat temperatur dan dokumentasi, sehingga dapat diperoleh data perubahan karakteristik nyala api dari burner tersebut. Pengolahan data dokumentasi yang berupa foto diolah dengan menggunakan *software ImageJ*, untuk memudahkan mengukur karakteristik api dan kecerahan api.

Tingkat kecerahan api merupakan parameter yang menunjukkan seberapa terang suatu nyala api. Tingkat kecerahan dapat diketahui dengan mengukur nilai Red Green Blue (RGB) dari data visual nyala api [20]. Nilai RGB berkisar antara 0 hingga 255. Nilai RGB 0,0,0 menunjukkan bahwa tingkat kecerahannya adalah 0 atau hitam. Sedangkan nilai RGB 255, 255, 255 menunjukkan bahwa tingkat kecerahannya menyerupai warna putih.

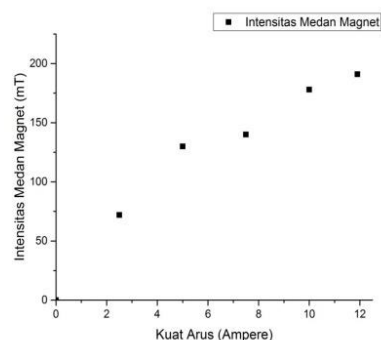


Gambar 5. SOP Eksperimen

## Hasil dan Pembahasan

### Intensitas Medan Magnet

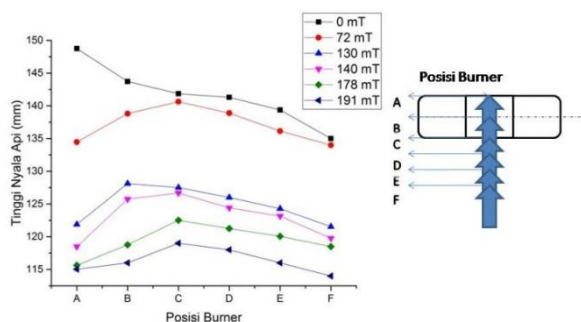
Dari hasil pengambilan data tersebut terlihat bahwa semakin besar arus yang dimasukkan ke dalam magnet toroid, maka Intensitas medan magnetnya semakin besar pula.



Gambar 6. Perubahan Intensitas Medan Magnet seiring bertambahnya Kuat Arus

### Tinggi Nyala Api

Pada saat api burner dinyalakan, maka terlihat perubahan ketinggian nyala api untuk setiap perubahan intensitas magnet yang diberikan pada magnet toroid. Hal ini diperoleh dengan mengukur dan membandingkan hasil dari setiap foto melalui *software ImageJ*.



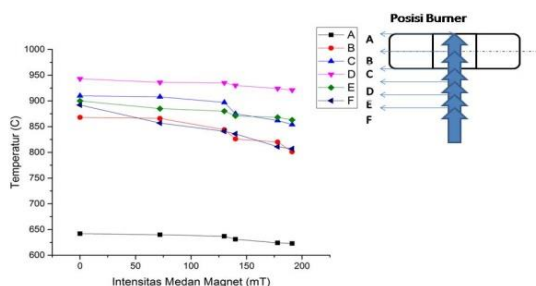
Gambar 7. Perubahan Tinggi Nyala Api seiring bertambahnya Intensitas Medan Magnet

Dari grafik di atas terlihat bahwa tinggi nyala api semakin turun dengan besarnya intensitas medan magnet yang diberikan. Hal tersebut dapat terjadi akibat tarikan medan magnet terhadap plasma api.

Dari posisi burner terlihat bahwa posisi B, C, dan D terdapat kenaikan tinggi nyala api dibanding lainnya karena pada lubang *core* magnet dengan diameter 20mm terjadi penyempitan nyala api sehingga proses pembakaran terdorong naik ke atas.

#### Temperatur

Dari data temperatur yang dicatat termokopel untuk setiap perubahan intensitas medan magnet, maka diperoleh grafik di bawah ini.



Gambar 8. Perubahan Temperatur Api seiring bertambahnya Intensitas Medan Magnet

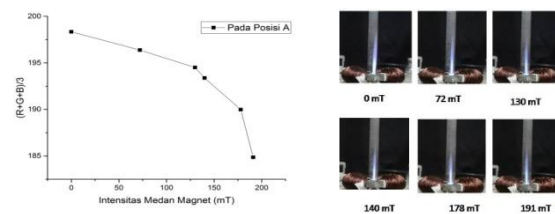
Posisi burner diubah dari atas mulut celah inti besi kemudian bergerak kebawah, posisi nya dapat dilihat pada gambar 8. Kemudian dilakukan pengukuran temperatur dengan menggunakan termokopel tipe K.

Dari grafik terlihat bahwa temperatur relatif menurun dalam setiap kenaikan medan magnet. Dan dalam setiap posisi burner pada posisi D terlihat lebih tinggi dari lainnya. Hal ini terjadi karena nyala api seluruhnya terpapar medan magnet, dibanding posisi burner lainnya.

#### Tingkat Kecerahan (Red Green Blue) dan Luas Nyala Api

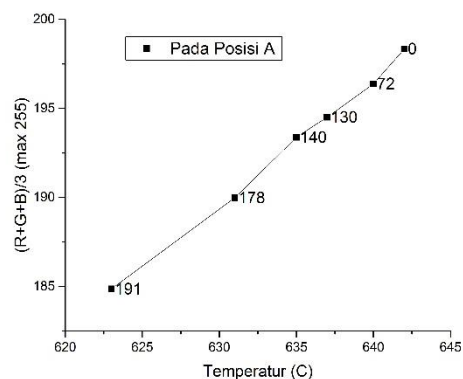
Pada posisi burner dari A sampai F terlihat bahwa nyala api yang dapat terlihat utuh tanpa tertutup sebahagian dari *core* magnet toroid adalah di posisi A. Maka untuk mengukur tingkat kecerahan dapat diperoleh dengan menganalisa foto nyala api pada posisi burner A dengan menggunakan *software ImageJ*.

Hasil pengolahan data RGB pada posisi A dapat terlihat pada grafik berikut ini.



Gambar 9. Perubahan tingkat kecerahan (RGB) *flame* terhadap perubahan Intensitas Medan Magnet

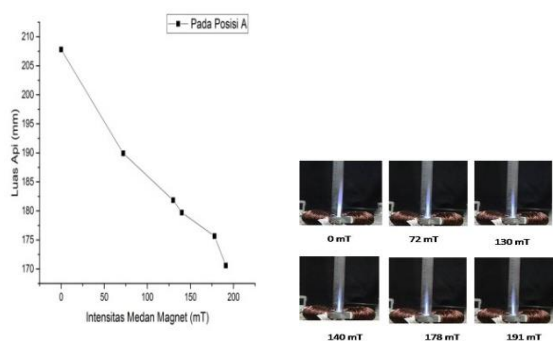
Dari grafik terlihat bahwa tingkat kecerahan medan magnet menurun seiring dengan bertambahnya intensitas medan magnet. Hal ini juga terjadi pada Gambar 9 di mana temperatur menurun seiring dengan bertambahnya intensitas medan magnet.



Gambar 10. Perubahan tingkat kecerahan (RGB) *flame* dan perubahan temperatur pada kenaikan Intensitas medan magnet (mT)

Untuk perubahan tingkat kecerahan warna api, di mana maksimal tingkat kecerahan berdasarkan *software ImageJ* berada pada nilai 255, terlihat bahwa temperatur nyala api dan tingkat kecerahan berkurang seiring kenaikan Intensitas medan magnet.

Demikian pula halnya dengan pengolahan data luas nyala api. Hanya pada posisi burner A nyala api dapat terlihat utuh, oleh karena itu dapat diukur dengan menggunakan *software ImageJ*.



Gambar 11. Perubahan Tinggi Nyala Api pada posisi burner yang berbeda dalam Intensitas Magnet yang sama (posisi burner A)

Dari grafik terlihat bahwa luas nyala api dan tinggi nyala api menurun dalam setiap kenaikan medan magnet. Pada posisi A terlihat lebih tinggi dari lainnya. Hal ini terjadi karena nyala api berada di atas core sehingga nyala api hanya sedikit yang terpapar medan magnet, dibanding posisi burner lainnya.

### Kesimpulan

Dari keseluruhan penelitian mengenai pengaruh medan magnet toroid terhadap nyala api difusi bahan bakar butane diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Temperatur dan tinggi *flame* akan menurun seiring dengan peningkatan intensitas medan magnet.
2. Pengaruh medan magnet terbesar pada nyala api dapat diperoleh di dalam inti magnet (*core*).
3. Luas nyala api dan tingkat kecerahan (RGB) akan menurun seiring dengan meningkatnya intensitas magnet pada nyala api difusi.
4. Temperatur menurun maka RGB pun ikut menurun seiring dengan kenaikan intensitas medan magnet.

Saran untuk penelitian selanjutnya:

- Penggunaan bahan bakar butane sebaiknya berasal dari satu merk saja, karena perbedaan kandungan butane yang berbeda-beda dalam tiap merk.
- Kawat tembaga sebaiknya berasal dari sumber dan komposisi yang jelas, agar hasil medan magnet yang diinginkan dapat segera tercapai.
- Apabila menggunakan tripod dalam mengambil gambar, sebaiknya menggunakan skala yang sama dalam setiap pengolahan gambar.
- Memberi jeda yang cukup dalam setiap kenaikan intensitas medan magnet. Karena berpengaruh pada kualitas kawat tembaga bila menjadi panas.

### Referensi

- [1] M. Faraday, "On the Diamagnetic Conditions of Flame and Gases", The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 3, Vol. 31, No. 210 December 1847, pp.401-421.
- [2] A. V. Engle and J. R. Cozens, 1964, "Flame Plasmas," Advance in Electronics And Electron Physics, Vol. 20, pp. 99-146.
- [3] S. Ueno and K. Harada, September 1986, "Exspermental Difficulties in Observing the Effect of Magnetic Fields on Biological and Chemical Processes", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. MAG-22, No.5, pp. 868-873.
- [4] J. Baker, M.E. Calvert, 2003, "A Study of the Slotted Laminar Jet Diffusion Flames in the Presence of Non-Uniform Magnetic Fields", Combustion and Flame, Vol. 133, pp. 345-357.
- [5] Swaminathan. Effects of Magnetic Field on Micro Flames. Thesis. 2005.
- [6] Subekti. Kajian Eksperimental Pengaruh Gradien Medan Magnet terhadap Laju Perubahan Panjang Nyala Api dan Jarak *Lifted Flame* Difusi Bahan Bakar LPG. Thesis. 2014. Tesis Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [7] Auzani. Analisis Korelatif Pengaruh Medan Magnet Terhadap Karakteristik Nyala Api pada Aliran Bahan Bakar LPG Udara Coaxial. Thesis. 2015. Tesis Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [8] S. Ueno and K. Harada, September 1987, "Effects of Magnetic Fields on Flames and Gas Flow", IEEE

Transaction on Magentics, Vol. MAG-23, No.5, pp. 2752-2754.

[9] T. Aoki, 1989, "Emissions and Butane Diffusion Flame Exposed to Upward Decreasing Magnetic Fields", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 28, pp. 776-785.

[10] O. Fujita K. Ito, T. Chida, S. Nagai, Y. Takeshita 1998, "Determination of Magnetic Field Effects on a Jet Diffusion Flame in Microgravity Environment".

[11] E. J. Long, G.K. Hargrave, S. Jarvis, T. Justham, and N. Halliwell, "Characterisation of the Interaction between Toroidal Vortex Structures and Flame Front Propagation"

[12] Shilpi Agarwal, Manoj Kumar, Chandra Shakher, "Experimental investigation of the effect of magnetic field on temperature and temperature profile of diffusion flame using circular grating Talbot interferometer", Laser and Optic Engineering 08 (2015) 214-221.