

# Rancang Bangun Reaktor Plasma dan Studi Pengaruh Laju Alir Gas Oksigen Terhadap Laju Ashing Karbon pada Baja K110

Antonius Prisma Jalu P.<sup>1)\*</sup>, Bernardus Crisanto Putra Mbulu<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Karya Malang

Diterima 09 Agustus 2018, direvisi 30 Agustus 2018

## ABSTRAK

Teknologi lapisan tipis merupakan teknologi ramah lingkungan dalam usaha pengurangan sampah industri. Proses *re-coating* lapisan membutuhkan suatu teknik untuk membersihkan lapisan. Telah dilakukan penelitian rancang bangun reaktor plasma menggunakan gas oksigen menggunakan gelombang mikro 2,45GHz. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari proses alternatif pembangkitan plasma menggunakan gelombang frekuensi tinggi sebagai media *cleaning* pada teknologi lapisan tipis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa plasma dapat dibangkitkan pada tekanan maksimum di 3 cmHg atau 30 Torr serta plasma oksigen dapat mengurangi kadar karbon pada permukaan baja K110.

**Kata kunci:** *re-coating*; plasma; gelombang mikro; frekuensi tinggi

## ABSTRACT

Thin film technology is a green technology in order to decrease industrial waste. The need of thin film cleaner in recoating process is a must. Build up of a plasma reactor using oxygen gas and generate with 2.45GHz microwave was studied. The main objective of this research was to determine alternative plasma generation using high frequency microwave 2.45GHz as a thin film cleaning media on thin film technology. The results show that plasma could generate with maximum pressure at 3cmHg or 30 Torr and it could decrease carbon on surface of steel K110.

**Keywords:** re-coating; plasma; microwave; high frequency

## PENDAHULUAN

Faktor sampah industri telah terselesaikan akibat teknologi lapisan tipis yang berkembang di industry [1]. Teknologi lapisan tipis telah memberikan kontribusi di mana mengurangi sampah industri, juga mengurangi *cost* serta meningkatkan faktor kesehatan dan ramah lingkungan [2].

Plasma merupakan fasa mirip gas yang terionisasi saat temperaturnya mendekati atau melebihi energi ionisasi atom. Atom-atom tersebut kemudian terionisasi menjadi ion positif dan ion negatif [3]. Partikel-partikel bermuatan tersebut tidak bisa dinyatakan bergerak bebas, karena terpengaruh oleh medan listrik sesamanya

[4]. Ada tiga parameter mendasar dari plasma, yaitu densitas partikel  $n$  (diukur dalam partikel setiap meter kubik), temperature  $T$  untuk masing-masing spesies (biasa diukur dalam eV, dimana  $1 \text{ eV} = 11605 \text{ K}$ ), dan medan magnet *steady-state* [5,6].

Plasma dibangkitkan dengan cara memberikan energi pada suatu gas netral yang mengakibatkan gas menjadi bermuatan. Elektron dan ion terbentuk ketika elektron atau foton dengan energi yang cukup menabrak atau bertabrakan dengan atom netral dan molekul pada gas tersebut [7]. Atom-atom dan molekul bertabrakan mengakibatkan terjadi proses ionisasi, disosiasi, dan eksitasi [8]. Jarak bebas rata-rata (*mean free path*) merupakan jarak rata-rata yang ditempuh oleh molekul gas pada tumbukan beruntun. Nilai dari jarak bebas rata-rata bergantung pada ukuran dan jumlah molekul, yaitu densitas gas dan tekanan [9].

\*Corresponding author:

E-mail: antonius.prisma@gmail.com

Secara teoritis berdasarkan pada teori kinetik gas, jarak bebas rata-rata dapat dituliskan seperti pada persamaan (1) untuk gas pada skala makro.

$$\lambda = \frac{k_b T}{\sqrt{2} \pi d^2 P} \quad (1)$$

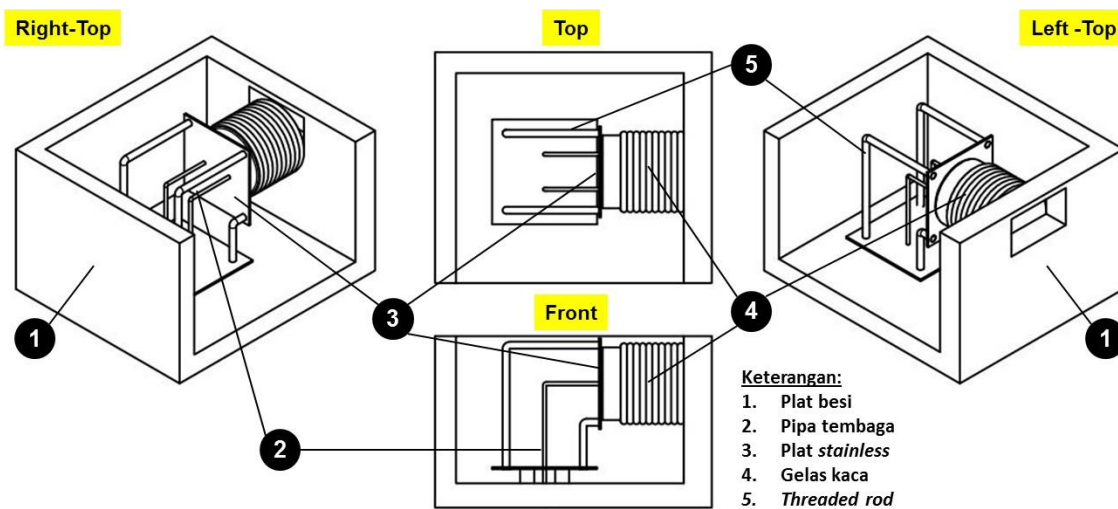
dimana  $d$  (m) merupakan diameter molekul,  $k_b$  adalah konstanta Boltzman,  $T$  (K) adalah temperatur dan  $P$  (Pa) adalah tekanan [10].

Pembangkitan plasma secara umum menggunakan elektroda. Namun terdapat metode baru pada pembangkitan plasma tanpa menggunakan elektroda, yakni menggunakan magnetron. Pembangkitan plasma dengan magnetron yang merupakan gelombang frekuensi tinggi mengakibatkan ion, radikal dan electron sangat aktif [11,12]. Berdasarkan penelitian sebelumnya plasma telah berhasil dibangkitkan pada level *medium vacuum* [13]. Sementara plasma *torch* pada tekanan atmosfer berhasil dibangkitkan menggunakan magnetron [14–17]. Aplikasi plasma magnetron dapat dimanfaatkan untuk proses sterilisasi material [16,18]. Selain itu dengan memanfaatkan microwave plasma dapat diperoleh *plasma flame*

pada proses *combustion* [12]. Penelitian lain menggunakan LF 40kHz, gas  $CH_2FCF_3$  yang mana plasma hanya dapat aktif hingga tekanan 1,995 Torr [19]. Sedangkan pada penelitian ini akan dibangun reaktor *low vacuum* dengan menggunakan prinsip *magnetron plasma* [20]. Sumber yang digunakan adalah gelombang mikro 2,45GHz sebagai sumber pembangkit plasma dan gas oksigen sebagai gas plasma.

### METODE PENELITIAN

Reaktor plasma pada penelitian ini dibangun di dalam sebuah oven microwave. Reaktor berupa toples kaca dengan tebal  $\pm 1$ cm. Pembuatan reaktor diawali dengan menggambar desain rencana seperti pada Gambar 1. Toples kaca diposisikan secara horizontal agar sejajar menghadap ke sumber gelombang. Sebagai dasar reaktor, digunakan plat stainless steel, siku penopang menggunakan *threaded rod* dan untuk pipa vakum, input gas menggunakan pipa tembaga, serta pompa vakum yang digunakan adalah *Rotary Vane Vacuum Pump 2XZ-4*.



Gambar 1. Skema Reaktor Plasma

Perancangan diawali dengan pengukuran dan penentuan posisi dari gelas kaca. Langkah berikutnya dengan merealisasikan reaktor sesuai dengan gambar desain. Pada sambungan-sambungan pipa digunakan nipple kuningan sebagai penyambung, sedangkan pada jalur keluar dan masukan menggunakan selang SHPI. Pengukuran tekanan vakum reaktor menggunakan *Pressure gauge* analog. Setelah reaktor terealisasi sesuai dengan desain,

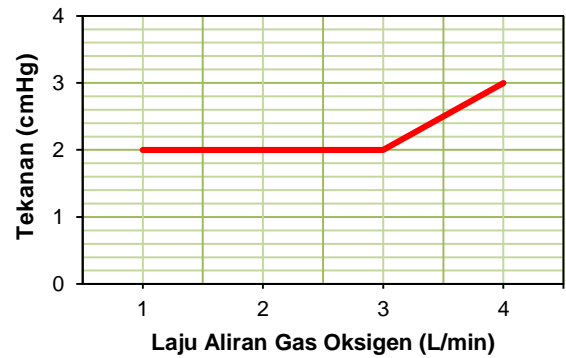
dilakukan pengujian terhadap tingkat vakum dari reaktor. Setelah mendapatkan nilai vakum terendah, langkah selanjutnya yaitu dengan membangkitkan plasma pada reaktor dengan kondisi tanpa masukan gas oksigen. Setelah berhasil diaktifkan, langkah berikutnya adalah mengaktifkan plasma dengan masukan gas oksigen. Varisai laju alir masuk gas oksigen dilakukan mulai dari 1 L/min hingga 4 L/min. Tahap berikutnya, dilakukan pengujian plasma

*ashing* pada baja karbon tinggi K110. Baja K110 merupakan bahan dasar dalam pembuatan pisau. Jika plasma *ashing* dapat berhasil dilakukan maka plasma *ashing* dapat melakukan *ashing* pada lapisan tipis.

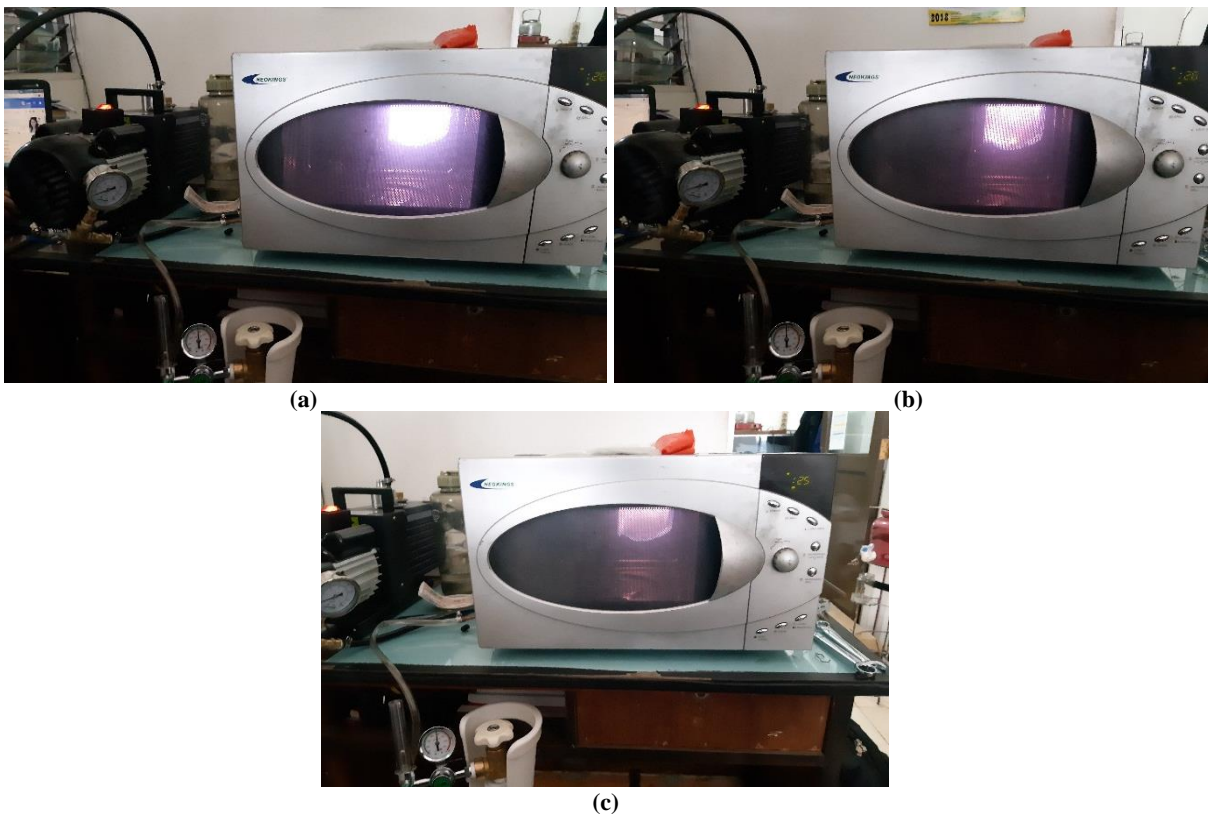
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah reaktor plasma selesai dibangun, dilakukan pengukuran terhadap tekanan vakum maksimum yang dapat dicapai oleh reaktor. Selanjutnya, dilakukan pengukuran perubahan tekanan terhadap perubahan laju alir gas oksigen. Hasil dari pengukuran disajikan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya laju alir maka tekanan di dalam reaktor juga ikut meningkat. Grafik pada Gambar 2 tersebut tidak menunjukkan perubahan tekanan

di dalam reaktor seiring penambahan laju alir gas oksigen. Hal ini dikarenakan peningkatan tekanan untuk laju alir 1 – 3 L/min terukur sangat kecil dan tidak terbaca oleh alat ukur. Sedangkan untuk laju alir 4 L/min plasma sudah tidak dapat diaktifkan.



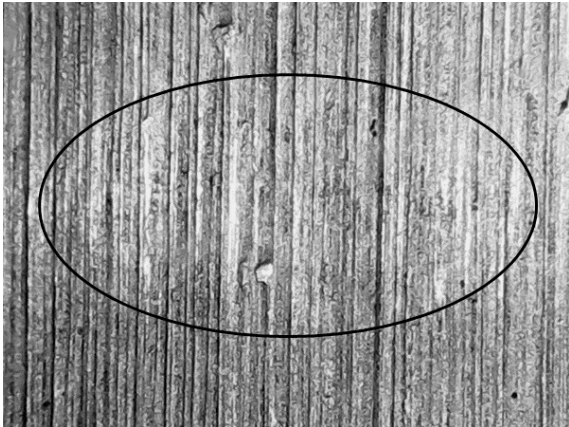
Gambar 2. Perubahan Tekanan di dalam reaktor terhadap laju alir gas oksigen.



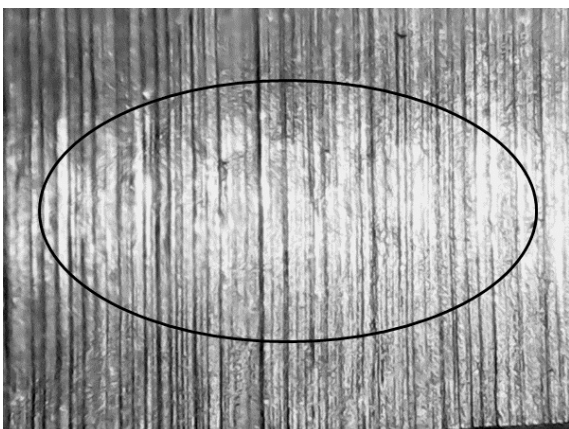
Gambar 3. (a) Nyala plasma dengan laju alir 1 L/min tampak terang dengan warna ungu cerah yang memenuhi seluruh bagian dalam gelas kaca. (b) Nyala plasma dengan laju alir 2 L/min tampak redup, beberapa bagian di dalam bagian gelas kaca terdapat nyala plasma berwarna ungu gelap. (c) Nyala plasma dengan laju alir 3L/min tampak lebih redup dengan warna nyala ungu gelap yang lebih merata di seluruh bagian dalam gelas kaca.

Berbeda dengan keadaan visual nyala plasma dimana terdapat perbedaan dari nyala plasma yang dihasilkan pada laju alir 1 – 3 L/min. Plasma yang dihasilkan pada laju alir 1 L/min tampak lebih terang dan stabil jika dibandingkan

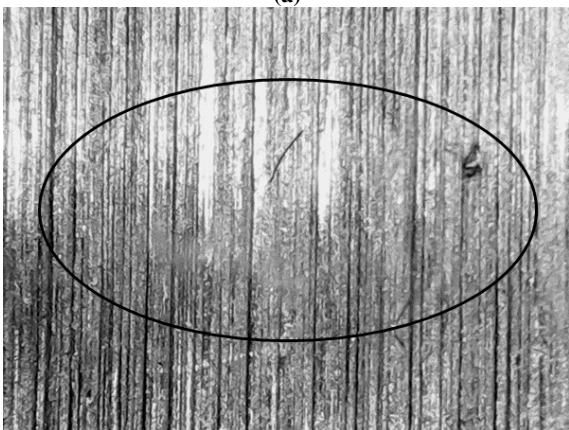
2 variabel lainnya. Hasil pembangkitan plasma dengan perbedaan variabel laju alir dapat dilihat pada Gambar 3a, 3b dan 3c. Hasil plasma pada Gambar 3a memiliki nyala plasma yang lebih terang dibandingkan dengan Gambar 3b dan 3c.



Gambar 4. Foto permukaan baja karbon tinggi K110 sebelum dilakukan proses plasma ashing



(a)



(b)

Gambar 5. Foto permukaan baja karbon tinggi K110 setelah dilakukan proses plasma ashing selama (a) 4 menit dan (b) 6 menit.

Energi EM yang dipancarkan magnetron merupakan sumber energi untuk mengionisasi molekul-molekul gas di dalam reaktor. Tingginya frekuensi yang dihasilkan magnetron mampu menciptakan medan magnetik statik yang mana mengakibatkan transfer energi EM dalam pembangkitan plasma menjadi lebih

efisien. Prinsip ini merupakan prinsip dari ECR (*Electron Cyclotron Resonance*) [3]. Terdapat proses inisiasi saat proses pembangkitan plasma berlangsung, yang mana dibutuhkan energi dan ruang. Ketika molekul-molekul di dalam reaktor menerima energi dari gelombang EM, maka molekul tersebut bergerak aktif sehingga terjadi tumbukan antar molekul-molekul, dalam kasus ini adalah molekul oksigen, yang mengakibatkan terjadi proses ionisasi, eksitasi, dan disosiasi. Agar terjadi proses-proses tersebut maka ruang gerak (*mean free path*) juga berpengaruh.

Berdasarkan persamaan (1) dapat dilihat hubungan antara nilai *mean free path* ( $\lambda$ ) dengan tekanan ( $P$ ) yaitu ketika nilai tekanan meningkat mengakibatkan nilai *mean free path* mengalami penurunan [10]. Akibat dari menurunnya *mean free path* di dalam reaktor maka ruang gerak molekul menjadi sempit sehingga momentum yang dimiliki molekul untuk bertumbukan dengan molekul lainnya menjadi rendah dan plasma yang dihasilkan lebih redup dan berkedip tidak stabil.

Plasma stabil pada laju alir 1 L/min yang mana nyala plasma terang memenuhi gelas kaca dan tidak berkedip. Kemudian pada laju alir tersebut digunakan untuk proses *ashing* pada baja karbon tinggi K110. Permukaan baja K110 sebelum diproses dapat dilihat pada Gambar 4. Jika diperhatikan dari Gambar 5a dan 5b dengan Gambar 4 tampak adanya perbedaan permukaan baja karbon tinggi K110.

Permukaan baja karbon tinggi K110 pada Gambar 5a tampak lebih berkilau jika dibandingkan dengan Gambar 4. Kilau yang timbul pada permukaan baja (Gambar 5a) dikarenakan karbon dipermukaan atas baja mulai menghilang. Permukaan baja karbon tinggi K110 pada Gambar 5b juga menunjukkan permukaan baja yang lebih berkilau tampak adanya rongga-rongga pada permukaan baja. Rongga tersebut muncul akibat plasma mengikis karbon-karbon pada bagian dalam rongga baja. Sehingga yang terlihat adalah permukaan baja itu sendiri. Sementara, permukaan sampel berkilau diakibatkan bercak-bercak kelabu di permukaan baja karbon tinggi K110 (Gambar 4) terangkat oleh paparan plasma. Sehingga, ketika dilakukan proses plasma, bercak tersebut berkurang akibat berikatan dengan unsur O akibat bombardir plasma oksigen. Karbon di permukaan baja K110 terikat dan membentuk unsur CO<sub>x</sub> kemudian lepas dari permukaan.

## KESIMPULAN

Plasma oksigen berhasil diaktifkan dengan menggunakan gelombang mikro 2,45 GHz dengan tekanan maksimal 3 cmHg atau 30 Torr. Proses plasma *ashing* yang dilakukan pada baja K110 berhasil mengurangi karbon pada permukaan baja. Sehingga dengan metode ini, proses *cleaning* pada kesatuan proses *recoating* dapat dilakukan seperti menggunakan reaktor pada umumnya yang juga ramah lingkungan dan *low cost*. Tetapi plasma ini menjadi lebih *low cost* dikarenakan pembangkitan plasma hanya membutuhkan *low vacuum* yang artinya hanya membutuhkan pompa kemampuan sedang hingga kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alsema, E., Baumann, A., Hill, R., dan Patterson, M. (1997) Health, safety and environmental issues in thin film manufacturing.
- [2] Gupta, V.K., Shrivastava, S.B., dan Bhatia, G. (2015) Thin film technology in the field of environment. *International Journal of Research - Granthaalayah*. 3 (9), 1–3.
- [3] Polcawich, R.G. dan Pulskamp, J.S. (2011) MEMS Materials and Processes Handbook. Springer US, Boston, MA.
- [4] Huang, X., Zhao, S., Sun, Q., dan Chen, G. (2012) Research of Magnetron Sputtering Plasma Characteristics and Load Matching Based on Pulse Bias. in: 2012 Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf., IEEE, hal. 1–4.
- [5] Jimenez, F., Ekpe, S.D., dan Dew, S.K. (2007) Modeling of low pressure magnetron plasma discharge. in: COMSOL Conf. 2007, COMSOL, Boston.
- [6] Bellan, P.M. (2008) Fundamentals of Plasma Physics. 1st ed. Cambridge University Press, New York.
- [7] Conrads, H. dan Schmidt, M. (2000) Plasma generation and plasma sources. *Plasma Sources Science and Technology*. 9 (4), 441–454.
- [8] Grigoryev, Y.N. dan Gorobchuk, A.G. (2014) Numerical Modeling Of Plasma-Chemical Etching Technology In Cf<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> Gas Mixture. in: Int. Conf. Methods Aerophysical Res., ICMAR 2014, Novosibirsk, Russia.
- [9] O'Hanlon, J.F. (2003) A User's Guide to Vacuum Technology. 3rd Editio John Wiley & Sons, Inc, New Jersey.
- [10] Liu, Q. dan Cai, Z. (2014) Study on the Characteristics of Gas Molecular Mean Free Pathin Nanopores by Molecular Dynamics Simulations. *International Journal of Molecular Sciences*. 15 (7), 12714–12730.
- [11] Miotk, R., Jasiński, M., dan Mizeraczyk, J. (2018) Electromagnetic optimisation of a 2.45 GHz microwave plasma source operated at atmospheric pressure and designed for hydrogen production. *Plasma Sources Science and Technology*. 27 (3), 035011.
- [12] Truscott, B.S., Kelly, M.W., Potter, K.J., Johnson, M., Ashfold, M.N.R., dan Mankelevich, Y.A. (2015) Microwave Plasma-Activated Chemical Vapor Deposition of Nitrogen-Doped Diamond. I. N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub> Plasmas. *The Journal of Physical Chemistry A*. 119 (52), 12962–12976.
- [13] Gopikishan, S., Banerjee, I., dan Mahapatra, S.K. (2017) Influence of magnetic field on plasma parameters and thin film deposition along axial and radial distances in DC magnetron. 1–8.
- [14] Uhm, H.S., Hong, Y.C., dan Shin, D.H. (2006) A microwave plasma torch and its applications. *Plasma Sources Science and Technology*. 15 (2), S26–S34.
- [15] Kim, J.H., Hong, Y.C., Kim, H.S., dan Uhm, H.S. (2003) Simple microwave plasma source at atmospheric pressure. *Journal of the Korean Physical Society*. 42 (February), 876–879.
- [16] Law, V.J. dan Dowling, D.P. (2018) Converting a Microwave Oven into a Plasma Reactor: A Review. *International Journal of Chemical Engineering*. 2018 1–12.
- [17] Tikhonov, V.N., Aleshin, S.N., Ivanov, I.A., dan Tikhonov, A. V (2017) The low-cost microwave plasma sources for science and industry applications. *Journal of Physics: Conference Series*. 927 012067.
- [18] Itarashiki, T., Hayashi, N., dan Yonesu, A. (2016) Characteristics of plasma sterilizer using microwave torch plasma with AC high-voltage discharge plasma. *Japanese Journal of Applied Physics*. 55 (1S), 01AB03.

- [19] Prisma J. P., A., Santjojo, D.J.D., dan Masruroh (2016) Pengaruh Laju Alir Gas CH<sub>2</sub> FCF<sub>3</sub> Terhadap Laju Plasma Etching. *Natural B.* 3 (4), 271–276.
- [20] Rossnagel, S.M., Cuomo, J.J., dan Westwood, W.D. (1990) *Handbook of Plasma Processing Technology*. 1st Edition Noyes Publication, Prak Ridge, New Jersey, USA.