

Perancangan reaktor plasma CVD untuk deposisi lapisan karbon

Mira Setiana^{1*}, D J Djoko H Santjojo²

¹ Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta
Jl. IKIP PGRI I No.117, Kab. Bantul –D.I Yogyakarta

² Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang –Jawa Timur

*email : mirasetiana@upy.ac.id

Abstrak - Penggunaan plasma untuk “mengaktifkan” prekursor uap kimia (Plasma Chemical Vapor Deposition (CVD)) memungkinkan proses deposisi berlangsung pada suhu yang lebih rendah daripada proses deposisi menggunakan teknik CVD konvensional. Sistem plasma CVD telah dirancang untuk deposisi lapisan karbon di atas substrat kaca. Bagian utama dari reaktor plasma CVD ini meliputi tutup reaktor, chamber reaktor dan konfigurasi elektroda Capacitively Coupled Discharge (CCD). Chamber reaktor dibuat dari desikator, sementara elektroda dibuat dari stainless steel tipe SS 304. Tingkat vakum pada sistem ini adalah medium vakum (3,090295 Torr). Heater Cartridge digunakan sebagai pemanas elektroda bagian bawah (meja sampel). Gas yang digunakan terdiri dari gas Argon sebagai carrier gas, Blue Gaz sebagai sumber karbon yang akan dideposisikan. Parameter reaktor yang dapat dikontrol adalah laju aliran gas. Perbandingan laju alir gas Argon: Blue Gaz optimal yang digunakan adalah (25: 24,2) mL/min. Plasma yang dihasilkan dari sistem ini adalah *plasma glow discharge*.

Kata Kunci: Plasma CVD, *Capacitively Coupled Discharge* (CCD), *plasma glow discharge*

Abstract – The use of plasma to “activate” chemical vapor precursors (Plasma CVD) allows the deposition process to take place at a lower temperature than the deposition process without the use of plasma (CVD). The Chemical Vapor Deposition (CVD) plasma system has been designed for the deposition of a carbon layer on a glass substrate. The main part of this CVD plasma reactor includes the reactor cover, the reactor chamber and the Capacitively Coupled Discharge (CCD) electrode configuration. The reactor chamber is made of a desiccator, while the electrode is made of SS 304 stainless steel. The vacuum level in this system is a medium vacuum (3.090295 Torr). The Heater Cartridge is used as a heater for the lower electrode (sampling table). The gas used consists of argon gas as a carrier gas, blue gas as a carbon source to be deposited. The reactor parameter that can be controlled is the gas flow rate. The plasma produced by this system is glowing discharge plasma.

Key words: Plasma CVD, *Capacitively Coupled Discharge* (CCD), *plasma glow discharge*

PENDAHULUAN

Saat ini, teknologi lapisan tipis semakin menjadi perhatian. Hal tersebut dikarenakan teknologi ini menawarkan efisiensi yang lebih besar jika dibandingkan teknologi pemrosesan bahan menggunakan *bulk*. Salah satu teknik pelapisan yang saat ini tengah menarik perhatian para peneliti adalah teknik pelapisan menggunakan plasma. Plasma dapat didefinisikan sebagai gas yang terionisasi, yang mana merupakan fase ke empat dari materi, selain materi cair, padat, dan gas[1,2]. Teknik deposisi menggunakan plasma dapat dilakukan dalam ruang vakum maupun non-vakum[3,4]. Dari kedua teknik tersebut, teknik deposisi menggunakan ruang vakum lebih diminati, karena lebih mudah untuk mengontrol spesies yang ada di dalam ruang.

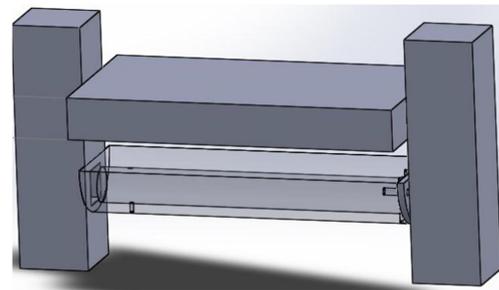
Teknik pelapisan menggunakan ruang vakum dapat dilakukan dengan menguapkan padatan atau cairan dalam ruang vakum sehingga uap mengendap sebagai atom atau molekul di permukaan sampel. Teknik deposisi menggunakan ruang vakum dibagi menjadi dua, yaitu Plasma Chemical Vapor Deposition dan Physical Vapor Deposition[5–7]. Kedua teknik ini sama-sama melibatkan gas dalam prosesnya. Namun, pada Plasma Physical Vapor Deposition, gas yang digunakan berperan sebagai materi yang akan menembaki bahan target, sementara pada plasma CVD, gas yang digunakan berperan sebagai carrier gas dan sumber bahan yang akan dideposisikan. Dari kedua teknik tersebut, teknik Plasma CVD lebih banyak diminati. Hal ini karena teknik Plasma CVD memanfaatkan spesies reaktif untuk

deposisi lapisan, sehingga memungkinkan penggunaan temperatur rendah [8–11] dari temperatur yang digunakan pada proses PVD dan CVD standar [12, 13]. Selain itu, teknik ini juga memerlukan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan PVD, serta dapat digunakan untuk produksi skala industri atau skala besar [14, 15]. Proses deposisi menggunakan teknik Plasma CVD dapat dilakukan pada ruang vakum. Selama proses deposisi berlangsung, *carrier gas* dan gas utama yang unsurnya akan dideposisikan, mengalami berbagai reaksi. Reaksi-reaksi tersebut meliputi disosiasi, ionisasi, rekombinasi, eksitasi, deeksitasi, radiasi, dan reaksi kimia ion [16].

METODE PENELITIAN

Desain Reaktor

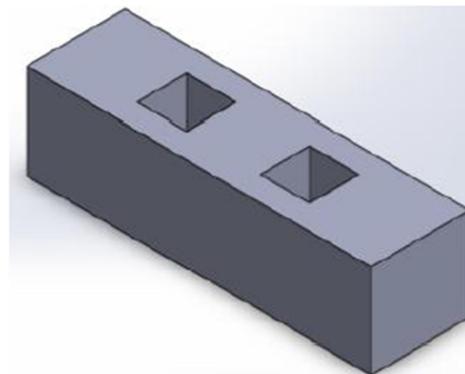
Desain reaktor plasma dilakukan dengan menggunakan bantuan software Solid Works 2013. Desain utama dari reaktor plasma CVD ini meliputi tutup reaktor, *chamber* reaktor, dan konfigurasi elektroda *Capacitively Coupled Discharge* (CCD). Tutup reaktor dibuat dari bahan teflon, sementara *chamber* reaktor dibuat dari desikator, dan elektroda sistem dibuat dari bahan stainless. *Chamber* reaktor yang digunakan memiliki diameter 13,3 cm. Penyangga elektroda yang digunakan berasal dari bahan keramik. Lubang yang dibuat pada penyangga elektroda ini berukuran 1 cm x 1 cm dengan kedalaman 1 cm. Ukuran penyangga elektroda yang digunakan adalah 7 cm x 2 cm dengan tebal sebesar 1,9 cm. Elektroda sistem dibuat dari bahan stainless steel tipe SS 304, dengan bentuk elektroda bagian atas adalah balok, sementara elektroda bagian bawah berbentuk setengah silinder (**Gambar 1**). Ukuran permukaan masing-masing elektroda adalah 9,5 cm x 3 cm. Agar dinding *chamber* tidak terkena panas dari elektroda, pemasangan elektroda dikaitkan pada penyangga elektroda (**Gambar 2**). *Heater cartridge* ditanam di dalam elektroda setengah silinder, sebagai pemanas meja substrat. Untuk jalur perpipaan (**Gambar 4**), selang gas yang digunakan adalah berbahan teflon, dengan ukuran diameter dalam selang gas masuk sebesar 3 mm, sedangkan untuk gas keluar adalah sebesar 6 mm. Gas yang digunakan adalah Gas Argon (*carrier gas*) dan Blue Gaz (sumber karbon).



Gambar 1. Elektroda Sistem Plasma CVD

Perakitan Sistem Plasma CVD

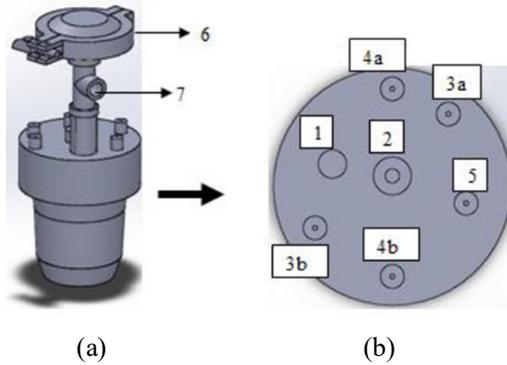
Perakitan sistem plasma CVD diawali dengan mempersiapkan alat-alat yang akan dirangkai. Kemudian dilanjutkan dengan perakitan reaktor plasma, yang terdiri dari tutup reaktor (**Gambar 3**), sepasang elektroda, selang kecil untuk gas masuk, dan selang besar untuk gas keluar. Cabang aliran gas masuk terdiri dari cabang Blue Gaz dan gas Argon. Selang besar dihubungkan ke pompa vakum untuk gas keluaran dan gas masukan ke *flowmeter*. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan generator plasma. Jarak antar elektroda pada sistem reaktor plasma diatur sebesar 1,5 cm. Tujuan pembuatan jarak 1,5 cm ini adalah memaksimalkan plasma yang akan terbentuk, dengan mempertimbangkan juga kemungkinan terjadinya loncatan elektron antar plat elektroda, yang biasa disebut dengan *arc discharge*.



Gambar 2. Desain Penyangga Elektroda

Pada tutup reaktor, arus yang dihantarkan oleh generator cukup besar karena generator yang digunakan adalah generator *Low Frequency* (LF). Oleh karena itu, untuk meminimalisasi terjadinya hubung singkat, tutup atas reaktor dibuat dari bahan teflon. Selain itu, upaya untuk meminimalisasi hubung singkat arus dari generator dilakukan dengan

menempatkan masing masing kabel generator dengan jarak yang sejauh mungkin, agar elektron tidak loncat dan menyebabkan hubung singkat arus.

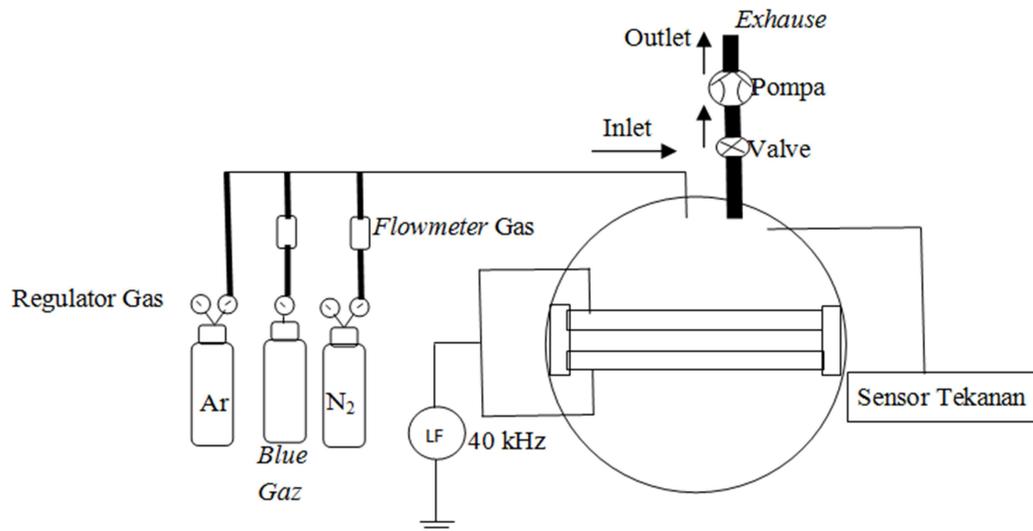


Keterangan:
 1. Selang gas masuk.
 2. Selang gas keluar.
 3. Terminal pemanas.
 4. Terminal power plasma.
 5. Termokopel.
 6. Sensor tekanan.
 7. Pompa vakum.

Gambar 3. Tampilan tutup reaktor: (a) Tampilan tutup secara keseluruhan, (b) tampilan tutup dari sisi atas

Untuk menghindari kebocoran reaktor, antara tutup asli reaktor dengan tutup teflon diberi O-ring, sedangkan lubang-lubang keluaran gas dan terminal-terminal ditutup dengan lem epoxy. Selanjutnya, di antara tutup reaktor dengan tutup badan reaktor diberi karet silikon dan grease untuk meminimalisasi terjadinya kebocoran melalui daerah tersebut.

Meja substrat dihubungkan dengan termokopel untuk menganalisa suhu katoda. Pada tutup reaktor plasma dipasang sensor tekanan untuk menganalisa tekanan dalam *chamber*. Setelah proses perakitan selesai, pengaturan laju alir gas dapat dilakukan. Pengaturan laju alir dapat dilakukan dengan memvariasikan laju gas pada *flowmeter*. Rancangan lengkap sistem plasma CVD dapat dilihat dari **Gambar 4**.



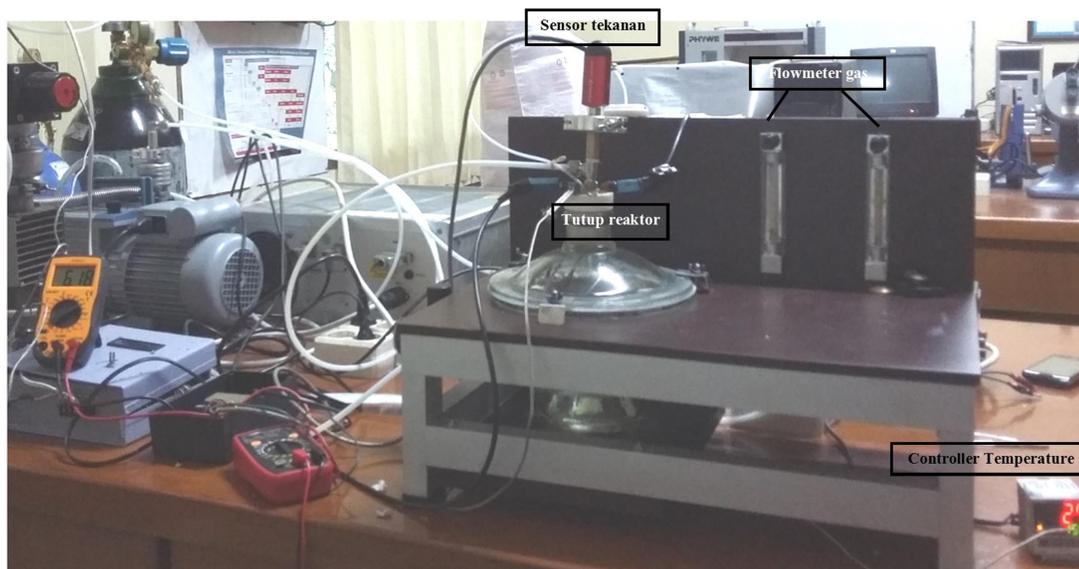
Gambar 4. Rancang bangun sistem plasma CVD

Pada penelitian ini flowmeter yang digunakan memiliki tekanan maksimum 0,1 Mpa, tekanan keluaran Gas Argon diatur sebesar 0,1 bar. Sumber energi yang digunakan pada sistem ini adalah Generator Low Frequency (LF).

HASIL DAN PEMBAHASAN

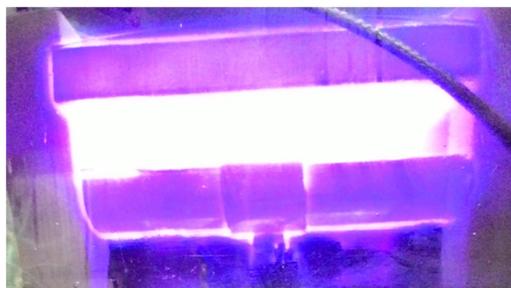
Pengujian pertama pada sistem reaktor ini adalah uji tingkat vakum chamber (**Gambar 5**). Pada pengujian ini, pemvakuman chamber

dilakukan selama 30 menit. Tekanan maksimum chamber setelah pemvakuman adalah sebesar 3,090295 Torr. Berdasarkan tekanan chamber setelah pemvakuman ini dapat diasumsikan bahwa di dalam chamber masih terjadi kebocoran. Jika chamber tidak mengalami kebocoran, maka tekanan di dalam chamber akan bernilai mendekati tekanan maksimum yang mampu dicapai pompa, yaitu sebesar 4×10^{-4} mbar atau $3,000255 \times 10^{-7}$ Torr.



Gambar 5. Proses Pengujian Tekanan Chamber

Pengujian kedua adalah uji pembangkitan dan kestabilan plasma. Selama proses vakum, pemanas yang ada di dalam elektroda mulai dinyalakan. Setelah 30 menit, gas mulai dialirkan, dan generator dinyalakan. Setelah proses tersebut, plasma mulai dapat dibangkitkan (**Gambar 6**). Elektron pertama dari plasma dihasilkan dari polarisasi molekul gas karena adanya medan listrik. Perlu diperhatikan bahwa, diameter selang untuk gas masuk dan gas keluar tidak boleh sama. Diameter selang untuk gas masuk harus lebih kecil dari diameter selang gas keluar. Hal ini dikarenakan selang yang kecil menghasilkan tekanan yang lebih besar. Selain itu, ukuran diameter selang yang kecil juga dapat menghambat aliran gas, sehingga aliran gas ke dalam ruang/chamber dapat lebih terkontrol.



Gambar 6. Plasma pada laju alir argon, Blue Gaz (25: 24,2) mL/min.

Pengujian ketiga adalah uji intensitas dan kestabilan plasma. Pengujian intensitas plasma dilakukan dengan memvariasikan laju alir Gas Argon dan Blue Gaz yang dialirkan ke dalam chamber, sementara pengujian kestabilan plasma dilakukan dengan cara pembangkitan plasma selama 4 jam. Pada pengujian ini, Gas Argon dan Blue Gaz dialirkan ke dalam ruang/chamber, dengan memvariasikan laju alir

Blue Gaz. Semakin besar flowrate gas, maka semakin banyak pula gas yang dialirkan ke dalam chamber. Hal ini menyebabkan semakin banyak tumbukan antar spesies plasma, sehingga intensitas plasma yang dihasilkan akan semakin besar (**Gambar 6**). Pada penelitian ini, intensitas plasma yang dibangkitkan adalah stabil selama waktu pembangkitan empat jam. Gambar 6 menunjukkan plasma yang berhasil dibangkitkan dari sistem plasma CVD ini. Pada gambar tersebut terlihat plasma yang dihasilkan berwarna ungu. Warna ungu ini menunjukkan warna plasma dari Gas Argon. Dikarenakan tekanan ruang/chamber hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tekanan ruang/chamber setelah divakum masih jauh dari nilai tekanan maksimum yang dapat dicapai pompa, maka dapat dikatakan bahwa plasma yang dihasilkan pada sistem ini tidak murni campuran dari Gas Argon dan Blue Gaz. Hal ini dikarenakan masih terdapat banyak pengotor atau senyawa lain dari udara luar yang terjebak di dalam ruang/chamber.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut. Reaktor plasma *Chemical Vapor Deposition* (CVD) berhasil dibuat dari desikator, dengan bahan teflon untuk tutup atas reaktor, bahan keramik sebagai penyangga elektroda, dan bahan isolator setrika sebagai resistansi listrik antara elektroda dengan termokopel. Plasma yang dihasilkan dari penelitian ini adalah plasma *glow discharge*. Plasma yang dihasilkan dari penelitian ini stabil, namun tidak murni plasma campuran antara Gas Argon dan Blue Gaz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua anggota Laboratorium Research Center for Advanced System and Material Technology, Universitas Brawijaya dan Tim yang telah membantu mengimplementasikan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. T. A. L. Burm, "Plasma: The Fourth State of Matter", pp. 401–407, 2012, doi: 10.1007/s11090-012-9356-1.

- [2] N. Nandkumar, "Plasma: The fourth state of matter," *Br. Plast. Rubber* 3(FEB) (2007) 6, doi: 10.1119/1.2351410.
- [3] Quintino, *Overview of coating technologies*, Woodhead Publishing Limited, 2014.
- [4] T. Neubert, "Organic optical coatings," (2013), doi: 10.1533/9780857097316.3.427.
- [5] D. M. Mattox, *The Foundations of Vacuum Coating Technology*, 2003.
- [6] T. Dunn, "Overprint Varnishes and Coatings," *Flex. Packag.* (2015). 227–232, doi: 10.1016/b978-0-323-26436-5.00027-8.
- [7] A. Guglya and E. Lyubchenko, *Ion-beam-assisted deposition of thin films*, Elsevier Inc., 2018.
- [8] S. Shahidi, J. Wiener, and M. Ghoranneviss, *Plasma-Enhanced Vapor Deposition Process for the Modification of Textile Materials*.
- [9] D. K. W. Lam, "Low temperature plasma chemical vapor deposition of silicon oxynitride thin-film waveguides," *Appl. Opt.*, 23(16) (1984) 2744, doi: 10.1364/ao.23.002744.
- [10] S. Peter, M. Günther, D. Hauschild, and F. Richter, "Low temperature plasma enhanced chemical vapor deposition of thin films combining mechanical stiffness, electrical insulation, and homogeneity in microcavities," *J. Appl. Phys.*, 108(4) (2010), doi: 10.1063/1.3474989.
- [11] J. H. Warner, F. Schäffel, A. Bachmatiuk, and M. H. Rummeli, *Methods for Obtaining Graphene*, 2013.
- [12] K. Gupta, N. K. Jain, and R. Laubscher, "Surface Property Enhancement of Gears," *Adv. Gear Manuf. Finish.* (2019) 167–196, doi: 10.1016/b978-0-12-804460-5.00006-7.
- [13] P. H. Li, P. K. Chu, and H. Kong, *Thin film deposition technologies and processing of biomaterials*, 2016, doi: 10.1016/B978-1-78242-453-6.00001-8.
- [14] Y. Hamedani, P. Macha, T. J. Bunning, R. R. Naik, and M. C. Vasudev, *Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition: Where we are and the Outlook for the Future*.

- [15] Y. Liu and Y. Chen, "Synthesis of large scale graphene oxide using plasma enhanced chemical vapor deposition method and its application in humidity sensing," *J. Appl. Phys.* 119(10) (2016) 1–7, doi: 10.1063/1.4942999.
- [16] Y. A. Mankelevich, M. N. R. Ashfold, and J. Ma, "Plasma-chemical processes in microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition reactors operating with C/H/Ar gas mixtures," *J. Appl. Phys.*, 104(11) (2008), doi: 10.1063/1.3035850.