

# **PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN *BLUE GAS* TERHADAP PROPERTY KIMIA LAPISAN TIPIS KARBON YANG DIDEPOSISIKAN MENGGUNAKAN TEKNIK PLASMA CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (CVD) UNTUK APLIKASI BIOSENSOR**

***Mira Setiana dan Bangkit Ina Ferawati***

*Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta, Jl. PGRI I Sonosewu No. 117  
Daerah Istimewa Yogyakarta 55182 Indonesia  
E-mail: mirasetiana@upy.ac.id*

## **Abstrak**

*Biosensor merupakan perangkat penting dalam bidang diagnostic medis. Biaya yang mahal karena penggunaannya yang sekali pakai, menjadi tantangan tersendiri yang harus diatasi. Solusi yang dapat dilakukan adalah modifikasi permukaan elektroda biosensor. Modifikasi permukaan elektroda sangat penting dalam peningkatan selektivitas dan sensitivitas sensor. Modifikasi permukaan elektroda biosensor dapat dilakukan, salah satunya dengan deposisi lapisan tipis karbon. Properti permukaan lapisan hasil modifikasi, menentukan performa dari biosensor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju aliran blue gas terhadap komposisi ikatan kimia dari lapisan hasil deposisi untuk aplikasi biosensor. Teknik deposisi yang digunakan adalah Teknik Plasma Chemical Vapor Deposition (CVD). Substrat yang digunakan adalah substrat kaca. Gas utama yang digunakan adalah Blue Gas dan Gas Argon. Peran Blue Gas sebagai sumber karbon, sementara Gas Argon sebagai gas pembawa (Carrier gas). Laju alir gas Argon dibuat tetap (25 mL/menit), sementara laju alir Blue Gas divariasikan: 9,6 mL/menit, 24,1 mL/menit, dan 48,2 mL/menit. Karakterisasi lapisan hasil deposisi dilakukan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR). Ikatan kimia utama yang diamati adalah C=O, dan C=C pada lapisan tipis karbon yang dihasilkan. Intensitas absorbansi ikatan kimia C=C cenderung naik pada laju alir Blue Gas 24,1 mL/menit dan turun pada laju alir Blue Gas 48,2 mL/menit. Sementara ikatan kimia C=O cenderung turun seiring bertambahnya laju alir Blue Gas ke dalam chamber.*

**Kata kunci:** *optimasi laju alir; properti lapisan tipis; material berbasis karbon*

## **Abstract**

*[Effect of Variation of Blue Gas Flow Rate on Chemical Properties of Carbon Thin Films Deposited Using Plasma Chemical Vapor Deposition (CVD) Technique for Biosensor Applications] Biosensors are important devices in the field of medical diagnostics. The high cost due to their single-use is a challenge that must be overcome. The solution that can be done is modifying the surface of the biosensor electrode. Modifying the electrode surface is very important in increasing the selectivity and sensitivity of the sensor. Modification of the biosensor electrode surface can be done by depositing a thin layer of carbon. The surface properties of the modified layer determine the performance of the biosensor. This study aims to analyze the effect of the blue gas flow rate on the chemical bond composition of the deposited layer for biosensor applications. The deposition technique used is the Plasma Chemical Vapor Deposition (CVD) Technique. The substrate used is a glass substrate. The main gases used are Blue Gas and Argon Gas. The role of Blue Gas is a carbon source, while Argon Gas is a carrier gas. The Argon gas flow rate is kept constant (25 mL/minute), while the Blue Gas flow rate is varied: 9.6 mL/minute, 24.1 mL/minute, and 48.2 mL/minute. Characterization of the deposited layer is carried out using Fourier Transform Infra-Red (FTIR). The main chemical bonds observed were C=O, and C=C in the resulting carbon thin film. The absorbance intensity of the C=C chemical bond tended to increase at a Blue Gas flow rate of 24.1 mL/min and decreased at a Blue Gas flow rate of 48.2 mL/min. While the C=O chemical bond tended to decrease as the Blue Gas flow rate increased into the chamber.*

**Keywords:** *flow rate optimization; thin film properties; carbon-based materials*

## PENDAHULUAN

Biosensor adalah perangkat yang terdiri dari elemen biologis dan detektor fisikokimia yang digunakan untuk mendeteksi suatu analit [1]. Kemampuan biosensor untuk mendeteksi berbagai macam molekul secara cepat dan spesifik membuatnya sangat relevan dengan berbagai aplikasi, salah satunya bidang medis. Permukaan material elektroda biosensor yang sensitive terhadap berbagai macam analit, menjadi salah satu kendala untuk pengaplikasian biosensor secara spesifik. Oleh karena itu diperlukan modifikasi permukaan material ini agar sensitivitas dan selektivitasnya meningkat [2,3]. Lapisan tipis karbon memiliki peran penting untuk meningkatkan performa biosensor [4,5]. Properti kimia maupun fisika dari lapisan tipis ini, akan memberikan performa berbeda pada biosensor [6].

Properti kimia maupun fisika dari lapisan tipis karbon dipengaruhi oleh teknik pelapisan yang digunakan [7]. Terdapat berbagai teknik pelapisan yang dapat digunakan untuk modifikasi permukaan elektroda biosensor, salah satunya adalah teknik pelapisan berbasis plasma. Plasma merupakan fasa ke empat dari materi. Teknik pelapisan menggunakan plasma, dibagi menjadi dua kategori, yaitu plasma thermal dan plasma non thermal [8]. Teknik pelapisan yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik pelapisan menggunakan plasma CVD, karena teknik ini dapat digunakan untuk menghasilkan lapisan tipis pada suhu rendah dan dengan efisiensi tinggi [9]. Plasma CVD merupakan teknik modifikasi permukaan dengan memanfaatkan interaksi ion-ion dari gas reaktan dengan permukaan bahan yang akan dimodifikasi [10]. Teknik ini menggunakan dua macam gas, yaitu gas reaktan yang merupakan sumber yang akan dideposisikan di permukaan material, dan gas pembawa (carrier gas) sebagai pemberi energi ion dari gas reaktan serta penstabil plasma yang terbentuk [11]. Laju alir gas reaktan berperan penting pada proses deposisi lapisan tipis menggunakan teknik Plasma CVD. Variasi laju alir gas reaktan dapat digunakan untuk mengontrol densitas plasma yang terbentuk, sehingga dapat menghasilkan property permukaan seperti yang diinginkan [12].

Berbagai penelitian tentang modifikasi permukaan material menggunakan plasma CVD, telah banyak dilakukan [13,14]. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih menggunakan sumber gas reaktan murni, yang harganya relative mahal. Penelitian ini menggunakan sumber gas reaktan dari *Blue Gas*, yang merupakan gas rumah tangga yang banyak digunakan di Indonesia. Penggunaan *Blue Gas* sebagai sumber karbon yang akan dideposisikan adalah selain karena harganya yang terjangkau, system keamanannya juga lebih baik jika dibandingkan dengan gas rumah tangga lain.

## METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat plasma CVD, ultrasonic cleaner, slide glass, *Blue Gas*, gas argon, gas nitrogen, dan etanol P.A.

### Persiapan Substrat

Proses persiapan substrat diawali dengan mencuci slide glass menggunakan sabun, kemudian dibilas dengan air. Setelah itu, slide glass dicuci dengan akuades dan dilanjutkan dengan pencucian menggunakan etanol P.A. Pencucian dengan etanol P.A dilakukan sebanyak tiga kali dengan menggunakan ultrasonic cleaner. Setelah proses pencucian selesai, substrat dikeringkan agar tidak terbentuk bercak air.

### Pelapisan Substrat

Proses pelapisan permukaan substrat dilakukan dengan meletakkan substrat kaca di atas meja substrat. Setelah itu, reaktor ditutup dan pompa dihidupkan selama beberapa menit untuk memvakum reaktor hingga tekanan di dalam ruang mendekati tekanan maksimum yang dimiliki pompa. Selanjutnya, regulator gas argon diputar dan diatur tekanannya. Tekanan gas keluar tidak boleh melebihi tekanan maksimum yang dimiliki flowmeter, yaitu 0,1 MPa. Setelah regulator gas argon dibuka, flowmeter gas argon diatur pada laju alir 25 mL/menit. Kemudian regulator *Blue Gas* dibuka, dan flowmeter *Blue Gas* diatur sebesar 9.6 mL/menit, 24.1 mL/menit, dan 48.2 mL/menit. Kemudian daya generator dinyalakan dan diatur besar dayanya sebesar watt. Setelah semua tahapan tersebut dilakukan, maka dilakukan proses pelapisan

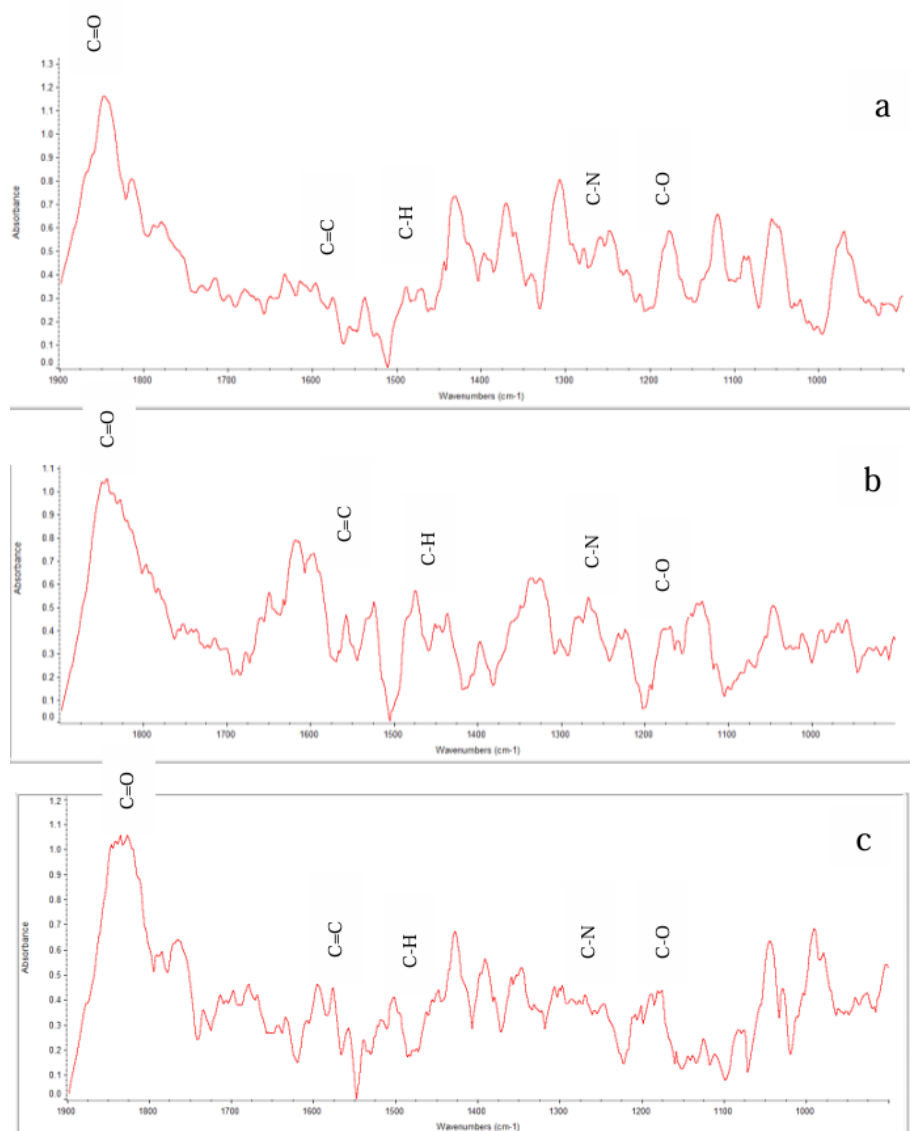
substrat dapat dilakukan. Proses pelapisan dilakukan selama 4 jam.

### Analisis dan Interpretasi

Substrat kaca yang telah dilapisi oleh karbon dari *Blue Gas* dengan variasi laju alir *Blue Gas*, kemudian dianalisis komposisi ikatan kimianya menggunakan FTIR. Hal ini bertujuan untuk membandingkan komposisi ikatan kimia yang terbentuk pada permukaan sampel dengan laju alir *Blue Gas* yang berbeda. Hasil uji FTIR diolah menggunakan software EZ OMNIC. Setelah semua pengamatan dan analisis perbandingan dilakukan, maka dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembentukan lapisan tipis pada penelitian ini melibatkan reaksi fisika dan kimia. Reaksi fisika meliputi interaksi antara atom dari sumber yang digunakan dengan atom pada permukaan substrat. Pada penelitian ini, reaksi kimia merupakan reaksi yang dominan selama proses deposisi lapisan tipis, karena sumber karbon yang digunakan merupakan gas reaktif. Komposisi ikatan kimia pada lapisan tipis dianalisis melalui spektrum yang dihasilkan oleh FTIR. Spektrum substrat sebelum dan sesudah pelapisan diolah menggunakan software EZ OMNIC untuk memperoleh spektrum lapisan tipis. Spektrum lapisan tipis untuk setiap variasi laju alir *Blue Gas* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik spektrum FTIR lapisan tipis dengan perbandingan laju alir gas argon: *Blue Gas*, a. (25:9,6) mL/menit, b. (25:24,2) mL/menit, c. (25:48,2) mL/menit.

Intensitas absorpsi dipengaruhi oleh parameter seperti absorptivitas material ( $\epsilon$ ), konsentrasi ( $c$ ), dan ketebalan lapisan ( $l$ ), sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Hukum Lambert-Beer. Absorptivitas material dalam penelitian ini dipengaruhi oleh kondisi plasma saat proses deposisi. Karena nilai absorptivitas material dan ketebalan lapisan

belum diketahui, maka tidak dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi intensitas absorpsi pada grafik yang dihasilkan berarti semakin tinggi pula konsentrasi gugus fungsi yang terbentuk. Berdasarkan Gambar 2 di atas, maka jenis ikatan kimia pada permukaan substrat dapat dianalisis sebagai berikut.

Tabel 1. Ikatan kimia lapisan tipis yang dihasilkan oleh proses deposisi menggunakan variasi laju alir Gas Argon: *Blue Gas*

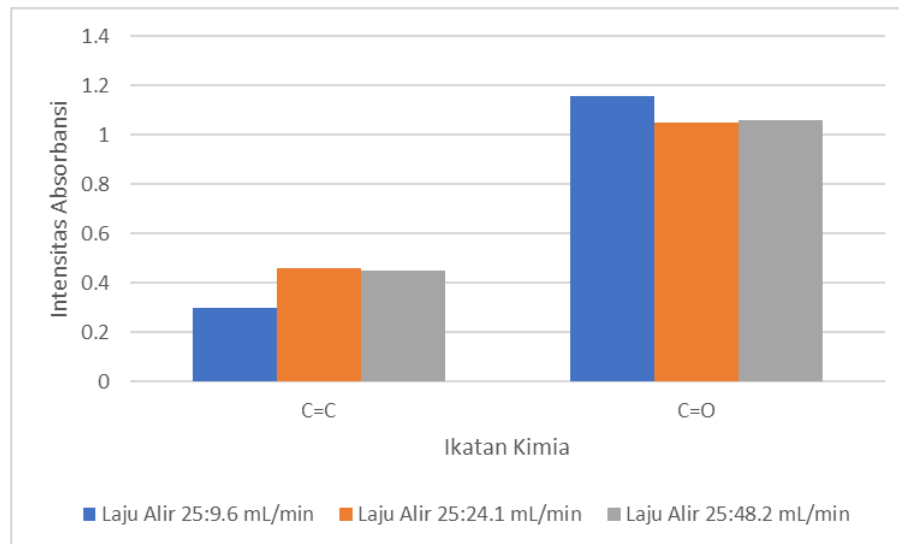
Laju Alir Gas Argon: <i>Blue Gas</i> (mL/menit)	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Intensitas Absorbansi	Ikatan Kimia
25:9.6	1577.19	0.30	C=C
	1848.23	1.16	C=O
25:24.1	1558.11	0.46	C=C
	1845.00	1.05	C=O
25:48.2	1577.36	0.45	C=C
	1836.16	1.06	C=O

Keberadaan hidrogen, nitrogen, dan oksigen pada lapisan hasil deposisi dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor utamanya adalah sistem vakum yang digunakan pada penelitian ini merupakan sistem vakum tingkat medium, sehingga masih terdapat unsur-unsur lain di dalam chamber yang dapat bereaksi dengan spesi plasma atau atom-atom pada permukaan substrat. Faktor lainnya adalah pengujian sampel menggunakan FTIR tidak dilakukan segera setelah proses deposisi. Ketika sampel dikeluarkan dari chamber reaktor, terjadi reaksi kimia antara sampel dengan spesi di udara bebas. Hal inilah yang menyebabkan munculnya hidrogen, nitrogen, dan oksigen pada lapisan hasil deposisi.

Variasi laju alir *Blue Gas* sebagai sumber karbon yang akan diendapkan sangat mempengaruhi kandungan lapisan hasil

deposisi. Hal ini terkait dengan kemampuan spesi plasma dari campuran plasma argon dan *Blue Gas* untuk bereaksi dengan atom-atom pada permukaan substrat. Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa variasi laju alir *Blue Gas* yang berbeda-beda menghasilkan intensitas absorpsi jenis ikatan kimia yang berbeda. Pada penelitian ini, jenis ikatan kimia yang menjadi parameter keberhasilan penumbuhan lapisan tipis karbon adalah ikatan C=C. Akan tetapi, intensitas absorpsi ikatan C=O yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan intensitas absorpsi ikatan C=C. Oleh karena itu, analisis pengaruh laju alir *Blue Gas* terhadap jenis ikatan kimia pada lapisan pengendapan difokuskan pada intensitas absorpsi ikatan C=C dan C=O.

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara jenis ikatan kimia pada lapisan pengendapan dengan intensitas absorpsi masing-masing lapisan.

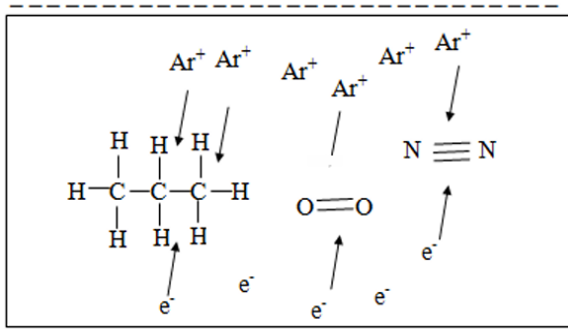


Gambar 2. Grafik jenis ikatan kimia terhadap intensitas absorbansi lapisan hasil deposisi pada perbandingan laju Gas Argon: *Blue Gas* (25:9,6) mL/menit, (25:24,1) mL/menit, (25:48,2) mL/menit

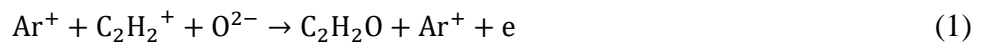
Berdasarkan Gambar 2 di atas, dapat diketahui bahwa laju alir *Blue Gas* optimal yang menghasilkan intensitas absorbansi ikatan C=C tertinggi adalah laju alir *Blue Gas* sebesar 24,1 mL/menit dengan laju alir gas argon sebesar 25 mL/menit. Terbentuknya ikatan C=C dan C=O pada lapisan pengendapan berkaitan dengan reaksi kimia selama proses pengendapan. Reaksi kimia ini melibatkan senyawa *Blue Gas* dengan ion-ion dari gas argon atau senyawa *Blue Gas* dengan unsur udara yang tertinggal di dalam ruang plasma. Reaksi kimia di dalam ruang plasma juga dipengaruhi oleh mean free path partikel di dalam ruang plasma.

Berdasarkan gambar 2 di atas diperoleh intensitas absorbansi ikatan C=O yang jauh lebih tinggi dibandingkan jenis ikatan C=C. Hal ini dikarenakan, pembentukan ikatan C=C hanya terjadi selama proses deposisi, sedangkan pembentukan ikatan C=O terjadi selama proses deposisi, ditambah lagi reaksi dengan udara bebas ketika sampel dikeluarkan dari chamber untuk disimpan. Dikarenakan sistem plasma CVD yang digunakan tidak dilengkapi dengan rangkaian pendingin otomatis, maka diperlukan waktu beberapa menit untuk pengambilan sampel dari meja sampel. Selama proses inilah terjadi reaksi oksidasi dengan kandungan udara bebas. Berdasarkan grafik 4.6 intensitas absorbansi ikatan C=C semakin meningkat sedangkan intensitas absorbansi ikatan C=O semakin menurun seiring dengan bertambahnya laju alir

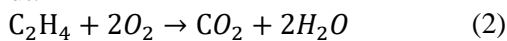
*Blue Gas* yang dialirkan ke dalam chamber. Hal ini disebabkan oleh pengaruh mean free path partikel dalam chamber terhadap reaksi kimia yang terjadi. Misalkan saja pada laju alir mL/menit, senyawa *Blue Gas* yang dialirkan ke dalam chamber relatif sedikit, sehingga kandungan C=C yang terbentuk pada lapisan hasil deposisi juga relatif sedikit. Oleh karena itu intensitas absorbansi yang dihasilkan juga relatif kecil. Pada laju alir mL/menit, mean free path partikel dalam chamber relatif panjang. Oleh karena itu, selain memutus ikatan dari senyawa *Blue Gas*, ion-ion dari gas argon dapat melepaskan ikatan rangkap dua pada molekul O<sub>2</sub>. Akan tetapi, tidak semua atom O dapat dilepaskan dari ikatannya oleh ion argon. Elektron-elektron bebas hasil polarisasi molekul gas argon hanya dapat memutus ikatan tunggal dalam senyawa *Blue Gas*, karena massa elektron lebih kecil daripada massa ion. Sehingga energi kinetik yang dimiliki juga relatif kecil. Semakin kuat ikatan yang dimiliki suatu molekul, maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk melepaskan ikatan tersebut. Hasil tumbukan antara ion gas argon dengan senyawa *Blue Gas* berupa ion, molekul netral, atau elektron. Ion-ion dari gas argon lebih mudah memutus ikatan yang ada dalam senyawa *Blue Gas* karena ikatan yang dimiliki dalam senyawa tersebut adalah ikatan tunggal. Sehingga untuk memutus ikatan tersebut tidak membutuhkan energi yang terlalu besar (Gambar 3).



Gambar 3. Gambaran reaksi tumbukan antara ion gas argon dengan elektron bebas dari



Berdasarkan reaksi pada persamaan (1), dapat dijelaskan sebagai berikut. Ion dari molekul  $\text{O}_2$  melakukan reaksi berupa pertukaran muatan dengan ion dari senyawa *Blue Gas*. Ion dari molekul  $\text{O}_2$  mentransferkan satu elektron bebas kepada ion  $\text{C}_2\text{H}_2^+$ , kemudian kelebihan satu elektron yang dimiliki oleh ion dari molekul  $\text{O}_2$  tersebut dilepaskan oleh tumbukan ion argon. Sehingga reaksi tersebut menghasilkan suatu molekul yang mengandung ikatan  $\text{C}=\text{O}$  dan  $\text{C}=\text{C}$  berupa  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}$ . Selain ion-ion, molekul netral dari senyawa *Blue Gas* pun dapat bereaksi dengan molekul  $\text{O}_2$ , Sebagaimana telah dijelaskan tadi bahwa tidak semua molekul  $\text{O}_2$  dapat terdissosiasi. Reaksi molekul netral dari senyawa *Blue Gas* dengan molekul  $\text{O}_2$  dapat dilihat dari persamaan (2) berikut.



Reaksi 2 di atas tidak hanya terjadi ketika proses deposisi berlangsung, tetapi juga terjadi ketika sampel dikeluarkan dari chamber. Oleh karena itu ketika dikarakterisasi menggunakan FTIR, ikatan  $\text{C}=\text{O}$  menghasilkan intensitas absorbansi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas absorbansi yang dihasilkan oleh ikatan  $\text{C}=\text{C}$ . Semakin pendek mean free path partikel dalam chamber, maka ion-ion argon cenderung bereaksi dengan senyawa yang memiliki rantai ikatan tunggal daripada senyawa yang memiliki ikatan rangkap. Oleh karena itu, intensitas absorbansi ikatan  $\text{C}=\text{O}$  cenderung turun, sedangkan intensitas absorbansi ikatan  $\text{C}=\text{C}$  cenderung naik seiring dengan meningkatnya laju *Blue Gas* yang

senyawa *Blue Gas*, molekul  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$  berasal dari udara di dalam *chamber*.

Ion-ion hasil pelepasan ikatan molekul  $\text{O}_2$  bertumbukan dengan ion-ion atau molekul netral hasil dari senyawa *Blue Gas*. Hasil reaksi inilah yang nantinya menghasilkan suatu senyawa yang mengandung ikatan  $\text{C}=\text{O}$ . Reaksi antara ion argon dengan ion dari senyawa *Blue Gas*, juga ion dari molekul  $\text{O}_2$  dapat dilihat dari persamaan (1) berikut:

dialirkan. Intensitas absorbansi ikatan  $\text{C}=\text{C}$  pada laju alir (25:48,2) cenderung turun, karena plasma yang terbentuk tidak hanya fokus pada medan di antara elektroda, tetapi juga terpengaruh oleh medan di sekitar termokopel. Hal ini diakibatkan karena penempatan kabel termokopel yang terlalu dekat dengan elektroda.

#### SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menemukan bahwa variasi laju alir *Blue Gas* berpengaruh nyata terhadap intensitas absorbansi jenis ikatan kimia pada lapisan karbon yang dideposisikan. Laju alir optimal yang menghasilkan intensitas absorbansi ikatan  $\text{C}=\text{C}$  tertinggi adalah pada rasio laju alir Gas Argon : *Blue Gas* (25:24,1) mL/menit. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi pengendapan yang dioptimalkan dapat menghasilkan ikatan kimia tertentu yang meningkatkan kinerja lapisan karbon. Intensitas ikatan  $\text{C}=\text{O}$  yang lebih tinggi dibandingkan dengan  $\text{C}=\text{C}$  menunjukkan reaktivitas spesies plasma dalam kondisi pengendapan yang berbeda. Temuan ini memberikan wawasan penting untuk pengoptimalan proses deposisi lapisan karbon dalam aplikasi biosensor. Dengan memahami pengaruh laju aliran *Blue Gas* pada jenis ikatan kimia, proses deposisi dapat disesuaikan untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas biosensor. Studi ini dibatasi oleh penggunaan sistem vakum tingkat medium dan analisis FTIR tidak dilakukan segera setelah proses deposisi. Penelitian lebih lanjut direkomendasikan untuk mengeksplorasi pengaruh sistem vakum yang lebih tinggi dan analisis langsung setelah pengendapan untuk

meminimalkan pengaruh udara bebas. Selain itu, studi tentang pengaruh variasi gas lain dalam campuran plasma juga dapat memberikan wawasan tambahan yang berguna untuk pengoptimalan lebih lanjut.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf Laboratorium Pusat Penelitian Sistem dan Teknologi Material Maju (ASMAT) Universitas Brawijaya dan LPPM Universitas PGRI Yogyakarta atas dukungan dan bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1 Abuzeid HR, Abdelaal AF, Elsharkawy S, Ali GAM. Basic Principles and Applications of Biological Sensors Technology. Springer Nature Switzerland AG 2024, Singapore. 2024.
- 2 Russo MJ et al. 2021. Antifouling Strategies for Electrochemical Biosensing: Mechanisms and Performance toward Point of Care Based Diagnostic Applications. *ACS sensors*. **6**(4): 1482.
- 3 Cho Y, Lee M, Park S, Kim Y, Lee E, Im S. 2021. A Versatile Surface Modification Method via Vapor-phase Deposited Functional Polymer Films for Biomedical Device Applications. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* **26**(2): 165.
- 4 Jafarov MA, Nasirov EF, Kazimzade AH, Jahangirova SA. 2021. Synthesis and characterization of nanoscale material ZnS in porous silicon by chemical method. *NPG Asia Mater.* **18**(12): 1.
- 5 Chin G, Guo K, Vasani R, Voelcker N, Prieto-Simón B. 2024. Carbon-stabilized porous silicon biosensor for the ultrasensitive label-free electrochemical detection of bacterial RNA gene fragments. *Biosens. Bioelectron. X.* **16**(10): 100438.
- 6 Dai B, Zhou R, Ping J, Ying Y, Xie L. 2022. Recent advances in carbon nanotube-based biosensors for biomolecular detection. *TrAC Trends Anal. Chem.* **154**: 116658.
- 7 Oke JA, Jen TC. 2022. Atomic layer deposition and other thin film deposition techniques: From principles to film properties. *J. Mater. Res. Technol.* **21**: 2481.
- 8 Khan SUD, Khan R, Hussain S. 2022. Suitability of thermal plasma for solid waste treatment and non-thermal plasma for nano-scale high-tech plasmonic materials: a concise review. *Appl. Nanosci.* **12**(11): 3111.
- 9 ILIESCU C. 2021. a Comprehensive Review on Thin Film Depositions on Pecvd Reactors. *Ann. Acad. Rom. Sci. Ser. Sci. Technol. Inf.* **14**(1–2): 12.
- 10 Saba T, Saad KSK, Rashid A Bin. 2024. Precise surface engineering: Leveraging chemical vapor deposition for enhanced biocompatibility and durability in biomedical implants. *Heliyon.* **10**(18): 1.
- 11 Cho Y, Choi Y, Kim S-G, Jun Y, Hyunchang K. 2019. Influence of hydrogen supply on Mo(C,N) films synthesized by plasma-enhanced chemical vapor deposition using bis(tert-butylimido) bis(dimethylamido) molybdenum. *Thin Solid Films.* **692**: 137607.
- 12 Ma H, Wang L, Li N, Li J, Zhang L. 2024. Effect of Gas Flow Rate and Ratio on Structure and Properties of Nitrogen-Doped Diamond-like Carbon Films. *Appl. Sci.* **14**(5): 1.
- 13 Huber C, Stein B, Kalt H. 2017. Plasma-enhanced chemical vapor deposition of amorphous silicon carbonitride: Deposition temperature dependence of bonding structure, refractive index, mechanical stress and their aging under ambient air. *Thin Solid Films.* **634**: 66.
- 14 Musheghyan-Avetisyan A, Güell F, Martínez-Alanis PR, Amade R, Martí-González J, Bertran-Serra E. 2020. Photoluminescence from carbon structures grown by inductively coupled plasma chemical vapor deposition. *J. Vac. Sci. Technol. A Vacuum, Surfaces, Film.* **38**(2): 1.