

**PENGARUH PELAPISAN GRAPHENE OXIDE TERHADAP SENSITIVITAS DAN
LEBAR DAERAH AKTIF PADA SENSOR KELEMBABAN TANAH BERBASIS
POLYMER FIBER OPTIC**

***THE EFFECT OF GRAPHENE OXIDE COATING ON SENSITIVITY AND ACTIVE
AREA WIDTH ON POLYMER FIBER OPTIC BASED SOIL MOISTURE SENSOR***

Hilmi Ardian Permana*, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Wipzar Sunu Brams Dwandaru, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*email: hilmiardian.2020@student.uny.ac.id (corresponding author)

Abstrak. Penelitian ini meneliti pengaruh pelapisan graphene oxide pada polymer fiber optic terhadap sensitivitas dan penambahan lebar daerah aktif pada sensor kelembaban tanah berbasis polymer fiber optic. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kemampuan polymer fiber optic yang telah dilapisi graphene oxide sebagai sensor untuk mengukur kelembaban tanah dan untuk memahami pengaruh pelapisan tersebut terhadap sensitivitas sensor. Penelitian dimulai dengan fabrikasi graphene oxide menggunakan metode Hummers, yang kemudian dikarakterisasi dengan scanning electron microscope (SEM), fourier transform infrared (FTIR), dan x-ray diffraction (XRD). Selanjutnya, dilakukan perakitan alat dan pelapisan graphene oxide pada polymer fiber optic. Pengukuran sensitivitas sensor dilakukan dengan membandingkan sensor yang tidak dilapisi dan yang dilapisi graphene oxide, dengan mentransmisikan sinar laser dari amplifier OMRON E3X-HD11 melalui kabel polymer fiber optic yang telah dikelupas. Kelembaban tanah diukur dari tanah dalam kotak plastik yang diberi air secara berkala, dan hasil intensitas cahaya pada amplifier dibandingkan dengan hygrometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelapisan graphene oxide dapat meningkatkan efektivitas dan sensitivitas pengukuran, disebabkan oleh gugus oksigen pada graphene oxide yang menyerap air di tanah. Sensor berbasis polymer fiber optic yang dilapisi graphene oxide menunjukkan sensitivitas lebih baik dibandingkan yang tidak dilapisi, dengan kenaikan linearitas dari 0,63 menjadi 0,99.

Kata Kunci: *Polimer fiber optik (POF), graphene oxide (GO), kelembaban tanah, sensor, pelapisan.*

Abstract. *This study examines the effect of graphene oxide coating on polymer fiber optic on the sensitivity and width of the active region in polymer fiber optic based soil moisture sensor. The purpose of the research is to determine the ability of polymer fiber optic that has been coated with graphene oxide as a sensor to measure soil moisture and to understand the effect of the coating on the sensitivity of the sensor. The research started with graphene oxide fabrication using the Hummers method, which was then characterized by scanning electron microscope (SEM), fourier transform infrared (FTIR), and x-ray diffraction (XRD). Next, the device assembly and graphene oxide coating on polymer fiber optic were carried out. Sensor*

sensitivity measurements were made by comparing uncoated and graphene oxide-coated sensors, by transmitting laser light from the OMRON E3X-HD11 amplifier through the polymer fiber optic cable that had been stripped. Soil moisture was measured from the soil in a plastic box that was watered periodically, and the light intensity results at the amplifier were compared with a hygrometer. The results show that graphene oxide coating can improve the measurement effectiveness and sensitivity, due to the oxygen groups on graphene oxide absorbing water in the soil. The polymer fiber optic-based sensor coated with graphene oxide showed better sensitivity than the uncoated one, with an increase in linearity from 0.63 to 0.99.

Keywords: Polymer fiber optic (POF), graphene oxide (GO), soil moisture, sensor, coating

PENDAHULUAN

Kelembaban tanah adalah air yang memenuhi separuh atau semua pori-pori tanah yang berada di atas permukaan air tanah. Pengertian kelembaban tanah yang lain menjelaskan bahwa jumlah air yang tersimpan diantara pori-pori tanah sangat dinamis, hal ini dikarenakan oleh penguapan melalui permukaan tanah (A. Galih Mardika, 2019). Arnold (1999) menyebutkan kelembaban tanah memiliki peranan yang penting bagi pemerintah untuk mengetahui informasi seperti potensi aliran permukaan dan pengendali banjir, kegagalan erosi tanah dan kemiringan lereng, manajemen sumber daya air, geoteknik, dan kualitas air. Faktor-faktor yang menentukan kelembaban tanah adalah curah hujan, jenis tanah, dan laju evapotranspirasi, dimana kelembaban tanah akan menentukan ketersediaan air dalam tanah bagi pertumbuhan tanaman (Djumali & Mulyaningsih, 2014). Pengukuran kelembaban relatif (RH) sangat penting dalam proses pemanasan, ventilasi, mengatur suhu Tanah, dan pendinginan (HVACR), yang bertanggung jawab atas pengendalian kualitas dalam berbagai bagian dari kehidupan sehari-hari (Rao et al., 2021). Berdasarkan pernyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kelembaban tanah merupakan aspek penting dalam berbagai bidang, serta bertanggung jawab atas pengendalian kualitas dalam berbagai bagian dari kehidupan manusia sehari-hari.

Teknologi *fiber optic* (fiber optik) mengubah informasi menjadi sinyal optik (cahaya), yang kemudian ditransmisikan melalui kabel fiber optik dan diterima oleh penerima sebagai sinyal elektrik (Andita & Kuswanto, 2017). Serat optik kaca adalah jenis serat optik yang paling umum digunakan pada jaringan FTTH. Meskipun memiliki faktor redaman yang rendah, serat optik kaca memiliki beberapa kelemahan dalam hal instalasi dan terminasi. *Polymer Optical Fiber* (POF) dapat mengatasi masalah ini (Arumnika & Kuswanto, 2017).

Polymer fiber optic (POF) adalah jenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dengan diameter 120 mikrometer (μm) yang digunakan sebagai media transmisi. Sistem kerjanya menggunakan pembiasan cahaya, yang memungkinkan kabel ini mengirimkan sinyal cahaya dengan kecepatan tinggi dari satu tempat ke tempat lain (Ahmad et al., 2021). Instalasi dan terminasi POF lebih mudah dan efisien karena tidak membutuhkan peralatan mahal dan keterampilan khusus (Arumnika & Kuswanto, 2017). Permasalahan lain yang tidak dapat dicegah pada jaringan serat optik adalah adanya potensi rugi daya yang cukup serius. Berdasarkan pernyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kabel fiber optik adalah jenis kabel halus berserat yang digunakan untuk menyampaikan sinyal. Sedangkan, POF adalah sebuah jenis kabel serat halus yang terbuat dari kaca atau plastik dan digunakan untuk menyampaikan informasi berupa cahaya untuk kemudian diterima sebagai sinyal elektrik. Selain itu, dapat disimpulkan pula bahwa pengukuran kelembaban dengan menggunakan POF masih memiliki beberapa kekurangan, salah satunya ialah potensi adanya rugi daya.

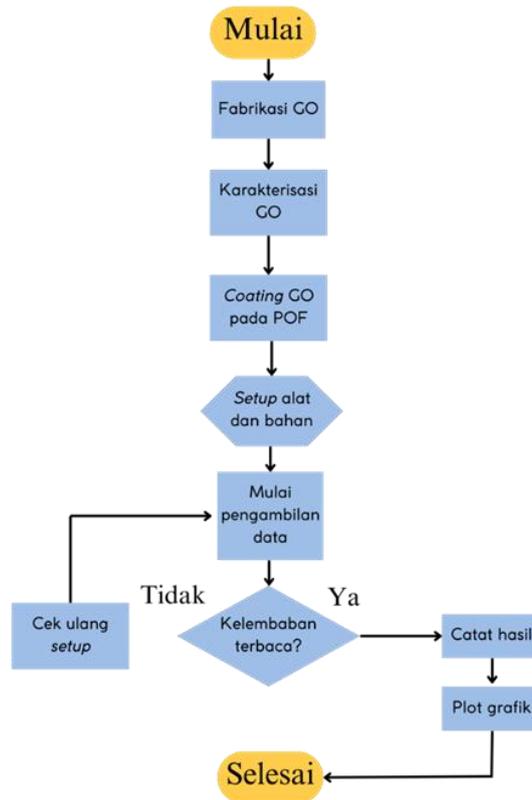
Saat ini, teknologi POF kerap dimanfaatkan sebagai sebuah sensor guna mendeteksi ada atau tidaknya sebuah benda yang bekerja dengan kecepatan tinggi. Sensor adalah alat yang dapat mengubah besaran fisik menjadi besaran listrik dan dapat diamati dengan rangkaian listrik tertentu (Rahmadhani & Widya Arum, 2022). Sensor adalah jenis transduser yang digunakan untuk mengubah variasi mekanik, magnetik, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik (Desmira, 2022). Berdasarkan uraian tersebut, dapat diketahui bahwa sensor adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah berbagai jenis besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat diamati dan diukur. Namun, POF masih memiliki potensi rugi daya yang besar sehingga dapat mempengaruhi efektivitas pengukuran sensor. Oleh karena itu, diperlukan adanya modifikasi untuk dapat menambah efektifitas sensor berbasis POF. Dalam hal ini, *graphene oxide* (GO) dianggap cukup mampu untuk menambah efektifitas sensor kelembaban tanah berbasis POF sebab kandungan gugus oksigen pada GO dapat menyerap uap air.

Graphene ditemukan oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov pada tahun 2004. *Graphene* adalah material dua dimensi monoatomik yang membentuk lapisan grafit (Syakir et al., 2015). Proses pengurangan ketebalan grafit diperlukan karena serbuk grafit komersial memiliki ketebalan partikel sebesar 2,5 μm , yang menurunkan kinerja elektroda karbon secara signifikan. Oksidasi adalah teknik yang digunakan untuk mengurangi ketebalan grafit. Grafena oksida (GO) adalah hasil oksidasi dari grafit tersebut (Syahrial, 2018).

Pengukuran kelembaban tanah menggunakan POF yang dilapisi dengan GO dianggap dapat menambah efisiensi serta efektivitas pengukuran. Hal ini dapat disebabkan GO mengandung gugus oksigen yang dapat menyerap air. Oleh karenanya, pada penelitian ini, peneliti mencoba untuk memanfaatkan teknologi POF dan GO sebagai sensor kelembaban tanah dengan berbagai keunggulan yang dimilikinya. Dalam penelitian ini, akan diteliti pengaruh pelapisan GO sebagai lapisan luar pada fiber optik. Sumber dan penerima cahaya yang digunakan dalam percobaan ini adalah amplifier OMRON E3X-HD11 dengan panjang gelombang sumber cahaya 625 nm. Berbagai karakterisasi juga dilakukan untuk GO yakni *scanning electron microscope-energy dispersive X-ray* (SEM EDX), *Fourier transform infrared* (FTIR), dan *X-ray diffraction* (XRD).

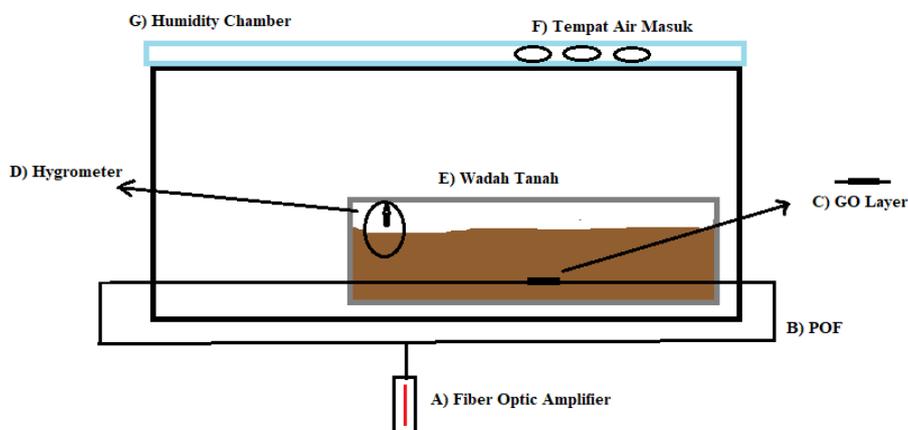
METODE

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dalam 4 langkah (Gambar 1), i) fabrikasi GO, ii) karakterisasi GO, iii) pelapisan GO pada POF dan setup alat bahan, iv) mulai pengambilan data. Tahap pertama yakni sintesis GO dilakukan dengan metode Hummers. Tahap kedua karakterisasi GO dilakukan dengan SEM-EDX, FTIR, dan juga XRD. SEM EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel GO yang telah dibuat. FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari GO, sedangkan XRD dilakukan untuk Kristalo grafi sinar-X adalah metode atau alat yang digunakan untuk menentukan struktur atom dan molekul GO dengan cara mendifraksikan seberkas sinar-X ke segala arah. Tahap ketiga adalah pengaplikasian GO pada sensor kelembaban Tanah berbasis POF. Pada tahap ini, larutan GO kemudian dikeringkan menggunakan *microwave* untuk menjadi pasta untuk kemudian dioleskan pada kepala sensor yakni kabel POF yang telah dikelupas. Setelahnya kemudian dirangkai alat penelitian dengan menyambungkan POF dengan *amplifier* OMRON E3X-HD11. Kepala sensor diletakkan di dalam kotak plastik bersama dengan *hygrometer* analog. Desain alat penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2. Desain alat penelitian. Tahap yang terakhir mulai pengambilan data dengan cara pengulangan hingga mendapatkan data yang baik dan memnuhi syarat.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Desain alat penelitian dapat diamati pada Gambar 2. Desain dalam alat penelitian ini terdiri dari a) *amplifier* OMRON E3X-HD11 sebagai pemancar sekaligus penerima sinyal laser. Selain itu, juga terdapat b) kabel POF, c) POF yang telah dikelupas sebagai kepala sensor, d) *hygrometer* sebagai alat untuk mengukur kelembaban tanah untuk pembandingan dengan *amplifier*, e) wadah untuk menampung tanah yang akan di gunakan untuk percobaan, f) botol bekas dipasang di penutup atas box untuk jalur masuknya air, g) *box* plastik yang digunakan untuk menciptakan iklim ruangan buatan.



Gambar 2. Desain alat penelitian.

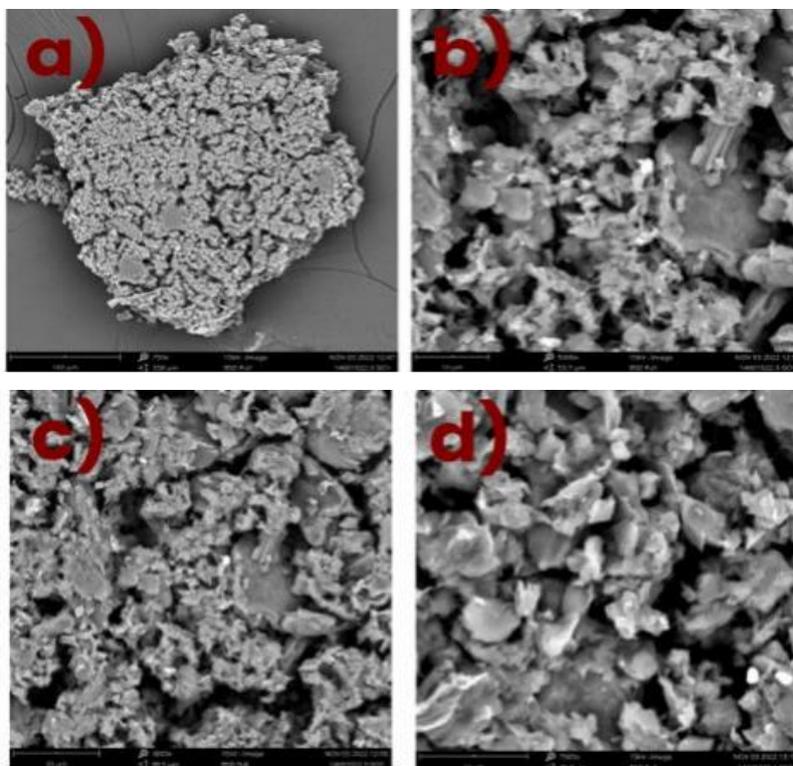
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengambilan data di Lab Spektroskopi maka diperoleh hasil karakterisasi GO dan juga pengukuran kelembaban tanah menggunakan sensor POF tanpa dilapisi GO dan dengan dilapisi GO. Amplifier OMRON E3X-HD11 digunakan untuk memancarkan cahaya laser sekaligus membaca intensitas keluaran. POF yang digunakan pada percobaan ini adalah tipe SH-4001- 1.3. Hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik dan gambar sebagai berikut.

Hasil

1. Hasil Karakterisasi GO dengan SEM-EDX

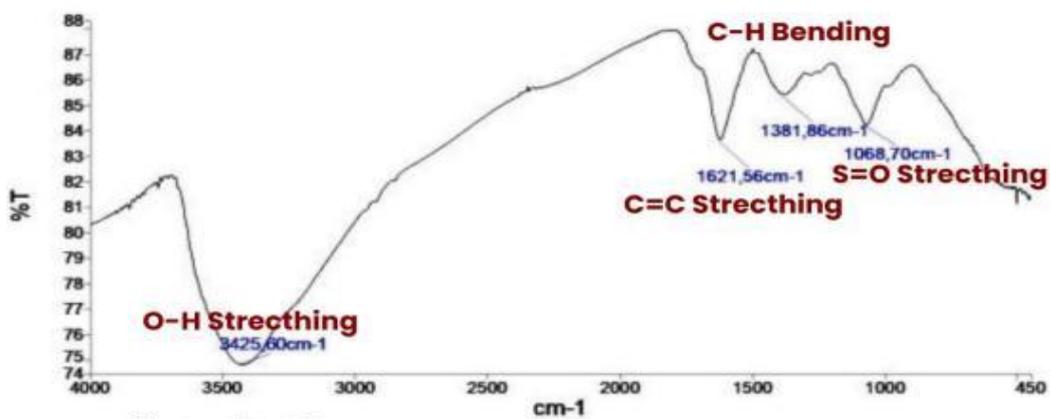
Hasil karakterisasi SEM pada Gambar 3 memperlihatkan morfologi permukaan material GO dengan perbesaran 750x (Gambar 10 a), 3000x (Gambar 10 b), 5000x (Gambar 10 c), 7500x (Gambar 10 d). Dari keempat morfologi permukaan tersebut, dapat diamati bahwa morfologi permukaan GO berbentuk seperti bongkahan. Dapat diamati juga adanya rongga-rongga diantara bongkahan tersebut. Selain itu, dapat dilihat juga bahwa bongkahan GO tersebut berbentuk homogen. Dapat dilihat juga bahwa dalam morfologi GO di atas terdapat lembaran grafit yang telah tereduksi serta teroksidasi sehingga membentuk GO. Hasil morfologi permukaan yang diperoleh ini, cukup sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Siburian, R., et al, 2018). Selain itu, hasil karakterisasi SEM yang telah didapat pada penelitian ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Eluyemi, M. S., et al, 2016).



Gambar 3. Hasil karakterisasi SEM-EDX dengan perbesaran a) 750x, b) 3000x, c) 5000x, d) 7500x.

2. Hasil Karakterisasi GO dengan FTIR

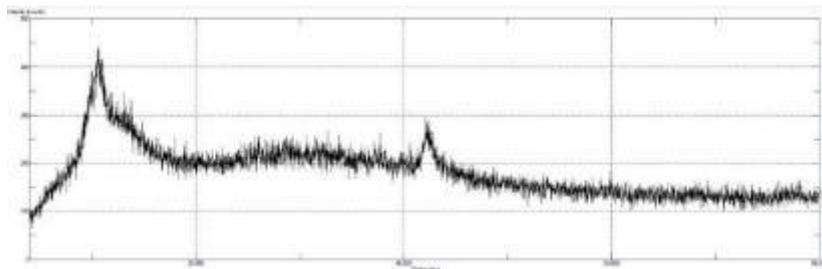
Hasil karakterisasi FTIR pada Gambar 4 menyimpulkan adanya GO berdasarkan adanya O-H stretching, C=C stretching, C-H bending, S=O stretching. Dari adanya O-H stretching dan juga C=C stretching saja juga telah mengindikasikan adanya GO sebab O-H (Hidroksil) yang merupakan kandungan oksida dari GO. Gugus fungsi C=C juga merupakan salah satu ikatan yang terdapat pada lapisan grafit, sebab grafit berbentuk segi enam yang salah satu ikatannya adalah C=C. Dengan adanya gugus fungsi O-H dan juga C=C dapat disimpulkan bahwa pada karakterisasi yang telah dilakukan pada sampel menunjukkan adanya GO. Hasil karakterisasi ini juga telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Nazri, S. R. B., et al, 2018). Selain itu, hasil karakterisasi ini juga telah sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Eluyemi, M. S., et al 2016).



Gambar 4. Hasil karakterisasi GO dengan FTIR.

3. Hasil Karakterisasi GO dengan XRD

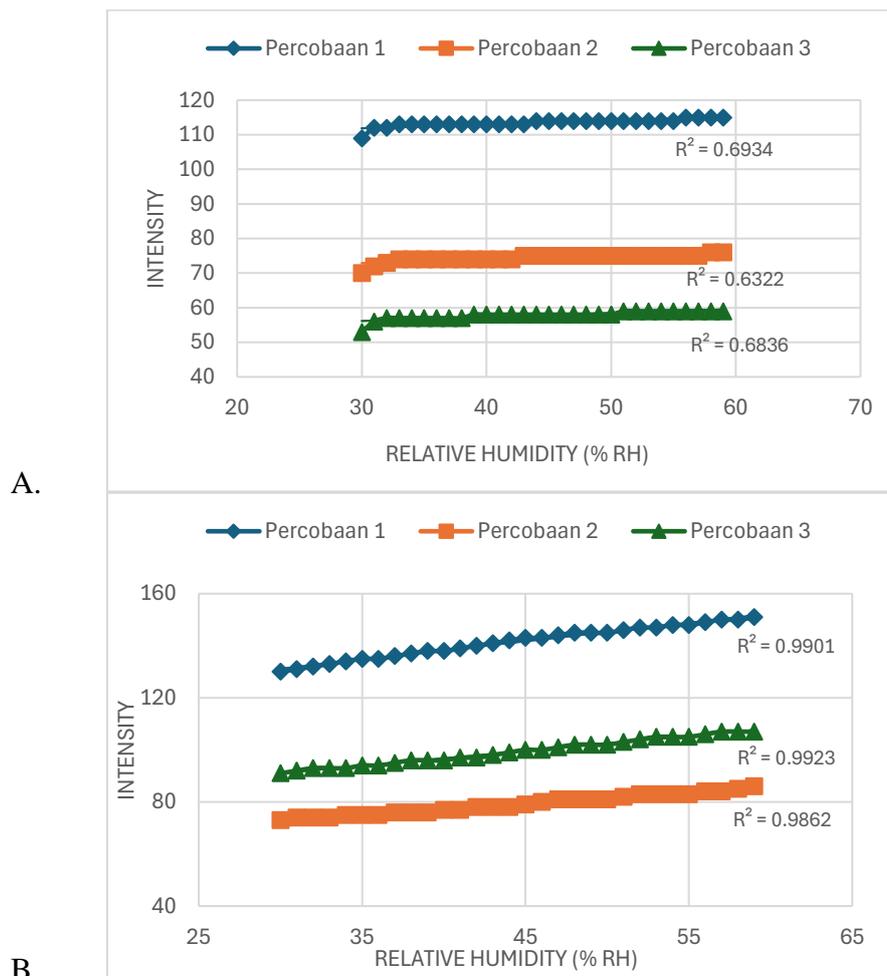
Hasil karakterisasi XRD untuk material GO dapat diamati pada Gambar 5. Dapat diamati dari difraktogram GO terdapat dua puncak yang landai yaitu pada 2θ disekitar 9° dan 42° . Puncak pertama menandakan keberadaan GO karena merupakan puncak karakteristiknya. Puncak ini menunjukkan adanya *d-spacing* sebesar 0,8 nm. Hasil karakterisasi XRD ini sesuai dengan penelitian (Nazri, S. R. B., et al, 2018). Selain itu, hasil karakterisasi ini juga telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sibirian, R., et al, 2018).



Gambar 5. Hasil karakterisasi GO dengan XRD.

4. Hasil Pengukuran Kelembaban Tanah

Berdasarkan (Gambar 6 A), terlihat jelas bahwa data pengukuran yang didapat dari sensor berbasis POF tanpa dilapisi dengan GO sangat cepat mencapai titik jenuhnya. Ketika kelembaban tanah yang terbaca pada *hygrometer* mencapai angka 35, intensitas keluaran yang terbaca pada *amplifier* sudah mencapai nilai jenuhnya. Setelah itu, nilai intensitas pada *amplifier* sudah tidak bertambah dan bertahan pada angka konstan. Sedangkan, pada *hygrometer* kelembaban tanah yang terbaca masih terus bertambah. Hal ini dapat terjadi karena sensor berbasis POF yang tidak dilapisi oleh GO sensitifitasnya sangat rendah sehingga sudah tidak dapat lagi membaca kelembaban tanah yang terlalu tinggi. Sensitifitas yang rendah ini disebabkan oleh banyaknya rugi daya pada POF serta air yang tidak dapat melekat pada kepala sensor. Pada (Gambar 6 B) menunjukkan hasil pengukuran kelembaban tanah dengan sensor POF yang telah dilapisi dengan GO. Pada pengukuran ini didapatkan linearitas yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan GO berfungsi dengan baik untuk dapat meningkatkan efektivitas dan sensitivitas dari sensor POF. Hal ini berarti pelapisan GO pada sensor POF mampu mengurangi adanya rugi daya pada POF serta mampu mengikat air pada kepala sensor karena adanya gugus oksigen pada GO. Hal ini juga dapat dilihat dari nilai R^2 yang selalu mendekati angka 1. Dari garis grafik juga dapat dilihat bahwa nilai pengukuran pada *amplifier* selalu cenderung meningkat sesuai dengan pertambahan nilai yang terbaca pada *hygrometer*.



Gambar 6. Hasil pengukuran kelembaban tanah dengan A) tanpa dilapisi dengan GO, dan B) dilapisi dengan GO.

Pembahasan

Dalam penelitian ini dilakukan terlebih dahulu karakterisasi GO dengan menggunakan SEM, FTIR, dan juga XRD. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui bahwa sampel yang digunakan merupakan sampel GO. Hasil morfologi SEM yang didapat dan telah dianalisis secara deskriptif cukup sesuai dengan morfologi sampel GO yang telah diteliti sebelumnya oleh (Siburian, R., et al, 2018) dan (Eluyemi, M. S., et al, 2016). Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari sampel GO. Didapatkan hasil berupa grafik beserta *datasheet* yang kemudian disesuaikan dengan tabel spektrum IR pada *sigmaaldrich.com*. data yang didapat pun relatif sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Nazri, S. R. B., et al, 2018) dan (Eluyemi, M. S., et al, 2016). Uji XRD dilakukan untuk mengetahui sifat kristalografi dari sebuah material. Data yang didapat dari XRD menunjukkan adanya d-spacing sebesar 0,8 nm yang telah relatif sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Siburian, R., et al, 2018) dan (Nazri, S. R. B., et al, 2018).

Dalam penelitian ini, kisaran pengumpulan data dilakukan dalam kisaran dari 30% hingga 70% RH. Setiap pengukuran baik dengan pelapisan GO maupun tanpa pelapisan GO dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Hasil yang didapat kemudian diplot grafik untuk mengetahui pengaruh dari pelapisan GO terhadap sensitivitas dan juga lebar daerah aktif pada sensor kelembaban tanah berbasis POF.

Grafik untuk mengukur kelembaban tanah menggunakan POF sebelum dilapisi dengan GO memiliki nilai R^2 yang jauh dari 1, yaitu 0,63; 0,68; dan 0,69 (lihat Gambar 6 A). Di sisi lain, dalam mengukur kelembaban tanah menggunakan POF yang telah dilapisi dengan GO, nilai R^2 dekat dengan 1, yaitu 0,98; 0,99; dan 0,99 (lihat Gambar 6 B). Perubahan dalam nilai R^2 ke 0,99 menandakan linearitas grafik data yang meningkat. Linearitas grafik data dapat meningkat karena adanya pelebaran daerah aktif kerja pada sensor. Hal ini dapat disebabkan adanya lebih banyak molekul air yang diserap oleh lapisan GO yang mengandung gugus oksigen dan dapat menarik molekul air sehingga molekul-molekul air terserap mengisi potongan-potongan lapisan GO (Dinata, 2022).

Berdasarkan data yang telah ditampilkan di atas, beserta penjelasan yang telah diberikan, maka belum dapat dikatakan bahwa GO yang dilapisi dengan POF mampu meningkatkan sensitivitas sensor. Namun, adanya pelapisan GO pada POF mampu menambah lebar daerah aktif sensor. Pada (Gambar 6 A) daerah aktif sensor hanya berada pada rentang 30–35% RH. Sedangkan, pada (Gambar 6 B) dapat diketahui bahwa daerah aktif sensor meningkat hingga 70% RH.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sampel yang digunakan merupakan graphene oxide (GO) yang telah terverifikasi melalui analisis SEM, FTIR, dan XRD, dengan hasil yang konsisten terhadap penelitian-penelitian sebelumnya. Pelapisan GO pada optical fiber (POF) dalam sensor kelembaban tanah menunjukkan peningkatan linearitas data (nilai R^2 mendekati 1), yang mengindikasikan perbaikan dalam performa sensor. Meskipun belum dapat diklaim secara pasti bahwa pelapisan GO meningkatkan sensitivitas sensor, namun pelapisan ini terbukti memperluas daerah aktif sensor dari sebelumnya hanya 30–35% RH menjadi hingga 70% RH, yang menunjukkan potensi GO dalam meningkatkan kinerja area tangkap sensor terhadap kelembaban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah membimbing dan

membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Kumar, A., Gupta, G., Bapna, K., Shivagan, D. D. (2023). Semiconductor-metal-oxide-based nano-composites for humidity sensing applications. National Physical Laboratory. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2022.112053>.
- Wang, H., et al. (2014). Graphene oxide as a moisture sensor for soil moisture measurement. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 202, 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.06.053>
- Floris, I., Adam, J. M., Calderon, P. A., Sales, S. (2021). Fiber Optic Shape Sensors: A comprehensive review. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106508>.
- Huang, Y., Wang, Z., & Liu, J. (2020). Applications of Graphene-Based Sensors in Soil Moisture Measurement. *Environmental Science & Technology*, 54(10), 6345-6354.
- Liu, Y., Li, X., Zhang, Y., Zhao, Y. (2021). Fiber-optic sensors based on Vernier effect. College of Information Science and Engineering, Northeastern University. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108451>.
- Cholik, C. A. (2021). PERKEMBANGAN TEKNOLOGI INFORMASI KOMUNIKASI / ICT DALAM BERBAGAI BIDANG. *Jurnal Fakultas Teknik e-ISSN:2746-220X,p-ISSN: 2746- 1209 Vol. 2 No. 2 Mei 2021*.
- Rahmadhani, V., Arum, W. (2022). LITERATURE REVIEW INTERNET OF THINK (IOT): SENSOR, KONEKTIFITAS DAN QR CODE. E-ISSN: 2716-375X, P-ISSN: 2716-3768. <https://doi.org/10.38035/jmpis.v3i2>.
- Desmira, Aribowo, D., Priyogi, G., Islam, S. (2022). APLIKASI SENSOR LDR (LIGHT DEPENDENT RESISTOR) UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM. *Jurnal PROSISKO Vol. 9 No.1. Maret 2022*.
- Arumnika, N., Kuswanto, H. (2017). PENGARUH FORMASI KELENGKUNGAN POLYMER OPTICAL FIBER (POF) YANG DISISIPI GEL TERHADAP KELUARAN UNTUK MENGUKUR KETINGGIAN CAIRAN. 279 *Jurnal Fisika Volume 6 Nomor 4 Tahun 2017*.
- Andita, K., Kuswanto, H. (2017). PENGEMBANGAN SENSOR TEMPERATUR BERBASISPOLYMER OPTICAL FIBER (POF) YANG DISISIPI GEL. 398 *Jurnal Fisika Volume 6, Nomor 5, Tahun 2017*
- Honorisal, M. B. P., Huda, N. Partuti, T., Sholehah, A. (2020). Sintesis dan karakterisasi grafena oksida dari tempurung kelapa dengan metode sonikasi dan hidrotermal. *JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI VOL 16 NO 01 (2020) 1- 11*. <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i1.7519>.
- Ahmad,U. A., Saputra, R. E., Pangestu, P. Y. (2021). PERANCANGAN INFRASTRUKTUR JARINGAN KOMPUTER MENGGUNAKAN FIBER OPTIC DENGAN METODE

- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., Fitrilawati. (2015). Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia* No: 55, Vol XIX, Edisi November 2015 ISSN : 1410-2994.
- Ashari,B. (2022). PENGARUH VARIASI KOMPOSISI GRAFIT DAN GRAFENA OKSIDA PADA PELET KONDUKTOR POLIMER KOMPOSIT.
- Friadi, R., Junadhi. (2019). Sistem Kontrol Intensitas Cahaya, Suhu dan Kelembaban Udara Pada Greenhouse Berbasis Raspberry PI. *JTIS*, Volume 2 Nomor 1, Februari 2019.
- Khambali, I., Endarko. (2014). Rancang Bangun Sensor Polimer SeratOptik Untuk Pendeteksi Konsentrasi Ion Ca²⁺ Dalam Air. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF)* Volume 4 Nomor 2 2014 ISSN : 2089-6158
- Venketeswaran,A., et al. (2022). Recent Advances in Machine Learning for Fiber Optic Sensor Applications. *Adv. Intell. Syst.* 2022, 4, 2100067. DOI: 10.1002/aisy.202100067.
- Cholik, C. A. (2021). PERKEMBANGAN TEKNOLOGI INFORMASI KOMUNIKASI / ICT DALAM BERBAGAI BIDANG.*Jurnal Fakultas Teknik*-ISSN:2746-220X,p-ISSN: 2746- 1209 Vol. 2 No. 2 Mei 2021
- Khan, F., Barrera, D., Sales, S., Misra, S. (2021). Curvature, twist and pose measurements using fiber Bragg gratings in multi-core fiber: A comparative study between helical and straight core fibers. *Sensors and Actuators A* 317 (2021) 112442. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112442>
- Harriguna, T., Wahyuningsih, T. Kemajuan Teknologi Modern Untuk Kemanusiaan dan Menetapkan Desain dengan Memanfaatkan Sumber Tradisional Islam. ejournal.amikompuwoko.ac.id.
- Zafeiropoulou, A., Masoudi, A., Cooper, L., Brambilla, G. (2021). Flat Multi-core Fibre for Twist Elimination in Distributed Curvature Sensing. Published by Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2021.102663>
- Chen, N., Zhou, X., Li, X. (2021). Highly Sensitive Humidity Sensor With LowTemperature Cross-Sensitivity Based on a Polyvinyl Alcohol Coating Tapered Fiber. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, VOL. 70, 2021.
- Razaq, A., et al. (2022). Review on Graphene-, Graphene Oxide-, Reduced Graphene Oxide-Based Flexible Composites: From Fabrication to Applications. www.mdpi.com. <https://doi.org/10.3390/ma15031012>.
- L, Chao., et al. (2019). Recent Advances in Graphene-Based Humidity Sensors. www.mdpi.com. doi:10.3390/nano9030422.

- Vaz, A., et al. (2019). Optical Fiber Humidity Sensor Based on Polyvinylidene Fluoride Fabry-Perot. *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, VOL. 31,NO. 7, APRIL 1, 2019.
- He, R., et al. (2022). Polymer Optical Fiber Liquid Level Sensor: A Review. *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 22,NO. 2, JANUARY 15, 2022.
- Raffi, A. A., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., Bidin, N., & Yahya, N. (2019). Feasibility study of small core diameter polymeric optical fibers (POF) from poly(methyl methacrylate). 15(6).
- Arumnika, N., Kuswanto, H. (2017). Pengaruh Formasi Kelengkungan Polymer Optical Fiber (POF) yang Disisipi Gelterhadap Keluaran untuk Mengukur Ketinggian Cairan. *Jurnal Fisika Volume 6 Nomor 4 Tahun 2017*.
- Syahrial, S. (2018). PREPARASI DAN KARAKTERISASI GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI DARI GRAFIT SERBUK DENGAN PEMBANDING KARBON AKTIF SERBUK MENGGUNAKAN METODE HUMMER.
- Ascorbe, J., Corres, J. M., Arregui, F. J., Matias, I. R. (2017).Recent developmentin humidity optical fiber sensor. *Sensors* 2017, 17, 893; doi:10.3390/s17040893.
- Grattan,K. T. V., Sun,T. (1999). Fiber optic sensor technology: an overview. Elsevier. *Sensors and Actuators* 82 2000 40-61.
- Shrivastav, A. M., Gunawardena, D. S., Liu, Z., Tam, H. Y. (2020). Microstructured optical fiber based Fabry-Pérot interferometer as a humidity sensor utilizing chitosan polymeric matrix for breath monitoring. *Scientificreports.com*.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-62887-y>.
- Cahyani, A. S. (2018). SINTESIS GRAPHENE OXIDE BERBAHAN DASAR GRAPHITE LIMBAH BATERAI ZINC-CARBON DALAM FASE CAIR MENGGUNAKAN FREKUENSI AUDIOSONIK DAN ULTRASONIK.
- Rao, X., et al. (2021). Review of Optical Humidity Sensors. *Sensors* 2021, 21, 8049. <https://doi.org/10.3390/s21238049>.
- Fathia, A. (2018). SINTESIS DAN KARAKTERISASI GRAPHENE OXIDE TERKOMBINASI NANOPARTIKEL PERAK DALAM FASE CAIR.
- Tan, T., et al. (2022). Self-calibration method of optical fiber shape sensor placement angle deviation based on GA. *Measurement* 202 (2022) 111844. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111844>.
- Liang, R., et al. (2020). Research Progress of Graphene-Based Flexible Humidity Sensor. *Sensors* 2020, 20, 5601; doi:10.3390/s20195601.
- Wang, N., et al. (2021). An Easily Fabricated High Performance Fabry-Perot Optical Fiber Humidity Sensor Filled with Graphene Quantum Dots. *Sensors* 2021, 21, 806. <https://doi.org/10.3390/s21030806>.

- He, Y., et al. (2018). Shape monitoring of morphing wing using micro optical sensors with different embedded depth. Elsevier.com.<https://doi.org/10.1016/j.yofte.2018.12.025>
- Bi, H., et al. (2013). Ultrahigh humidity sensitivity of graphene oxide. SCIENTIFIC REPORTS 3 : 2714 DOI: 10.1038/srep02714.
- Issatayeva, A., Amantayeva, A., Blanc, W., Molardi, C., Tosi, D. (2021). Temperature compensation of the fiber-optic based system for the shape reconstruction of a minimally invasive surgical needle. Sensors and Actuators A 329 (2021) 112795. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112795>.
- Chen, X., et al. (2020). Updated shape sensing algorithm for space curves with FBG sensors. Optics and Lasers in Engineering 129 (2020) 106057. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106057>.
- Sibirian, R., et al. (2018). New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets. Oriental Journal of Chemistry. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/340120>.
- Nazri, S. R. B., et al. (2018). Synthesis, Characterization, and Study of Graphene Oxide. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5080846>.
- Sagadevan, S., Pal, K., Koteeswari, P., Subashini, A. (2017). Synthesis and characterization of TiO₂/graphene oxide nanocomposite. Springer Science, Business Media New York. DOI 10.1007/s10854-017-6488-3.
- Eluyemi, M. S., et al. (2016). Synthesis and Characterization of Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis Method. Scientific Research Publishing. <http://dx.doi.org/10.4236/graphene.2016.53012>.