



Studi Awal Sintesis Dan Karakterisasi Tinta Konduktif Berbasis Grafit Pensil Untuk Aplikasi Sensor Suhu

Siti Aisyah, Romi Fadli Syahputra^{1*}, Delovita Ginting

Departemen Fisika, Universitas Muhammadiyah Riau, Jl. Tuanku Tambusai Ujung, Pekanbaru 28284

* Corresponding author. E-mail: romifadli@umri.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi tinta konduktif berbasis grafit pensil untuk aplikasi sensor suhu. Tinta dibuat dengan menambahkan polimer Polyvinyl Alcohol (PVA) dan Sodium Carboxymethyl Cellulose (NaCMC) ke dalam serbuk grafit yang dilarutkan dalam air deionisasi, lalu diaplikasikan pada kertas glossy dengan variasi komposisi. Karakterisasi dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Ultraviolet-Visible Spectroscopy (UV-Vis), resistivitas sheet, dan Vector Network Analyzer (VNA). Hasil FTIR menunjukkan interaksi gugus fungsi antara grafit dan polimer, sedangkan hasil UV-Vis memperlihatkan penurunan band gap hingga 2,02 eV pada sampel GP3. Uji resistivitas sheet menunjukkan sampel GP3 memiliki resistansi terendah 4,9667 k Ω /cm² dengan konduktivitas tertinggi 484,2 S/cm. Pengukuran VNA mengonfirmasi bahwa sensor bekerja stabil pada frekuensi tertentu dan responsif terhadap perubahan suhu. Berdasarkan hasil tersebut, tinta konduktif berbasis grafit pensil dengan PVA dan NaCMC berpotensi digunakan sebagai sensor suhu fleksibel dan berbiaya rendah.

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diserahkan Agustus 2025

Diterima Desember 2025

Tersedia online Desember 2025

Tanggal Publikasi 8 Des 2025

Kata Kunci:

tinta konduktif; grafit pensil; PVA; NaCMC; sensor suhu.

ABSTRACT

This preliminary study aims to synthesize and characterize pencil graphite-based conductive ink for temperature sensor applications. The ink was prepared by adding Polyvinyl Alcohol (PVA) and Sodium Carboxymethyl Cellulose (NaCMC) polymers into graphite powder dispersed in deionized water, and then applied onto glossy paper with varied compositions. Characterization was carried out using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Ultraviolet–Visible Spectroscopy (UV-Vis), sheet resistance measurements, and a Vector Network Analyzer (VNA). FTIR results indicated functional group interactions between graphite and the polymers, while UV-Vis analysis showed a decrease in the band gap to 2.02 eV in the GP3 sample. The sheet resistance test revealed that GP3 had the lowest resistance of 4.97 kΩ/cm² and the highest conductivity of 484.2 S/cm. VNA measurements confirmed that the sensor operated stably at specific frequencies and was responsive to temperature changes. Based on these results, pencil graphite-based conductive ink with PVA and NaCMC demonstrates potential for use as a flexible and low-cost temperature sensor candidate.

ARTICLE INFO**Article History:***Submitted August 2025**Accepted December 2025**Available online December 2025**Publication Date Dec 8, 2025*

Keyword:*conductive ink; pencil graphite; PVA; NaCMC; temperature sensor*

1. Pendahuluan

Teknologi tinta konduktif untuk sensor suhu saat ini terus berkembang menuju perangkat yang fleksibel, ringan, dan berbiaya rendah. Grafit menjadi salah satu material berbasis karbon yang potensial karena harganya murah, mudah digunakan, dan dapat dicetak pada substrat fleksibel ^[1]. Selain itu, penelitian juga banyak mengembangkan sensor suhu dengan menggunakan nanopartikel perak untuk meningkatkan fleksibilitas ^[2], serta *graphene* nanoribbon untuk menghasilkan sensor suhu ekonomis berbasis tinta ^[3].

Kualitas Grafit pensil merupakan salah satu material karbon yang mudah diperoleh, murah, dan memiliki sifat konduktivitas listrik yang cukup baik sehingga potensial dimanfaatkan sebagai bahan dasar tinta konduktif ^[1]. Kandungan grafit pada pensil tipe B yang lebih tinggi dibandingkan tipe H menjadikannya lebih lunak dan lebih konduktif, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi berbasis sensor suhu. Penggunaan grafit pensil sebagai tinta konduktif masih menghadapi beberapa kendala, seperti distribusi partikel yang kurang merata dan daya rekat yang belum optimal. Oleh karena itu, perlu adanya bahan tambahan berupa polimer pengikat agar tinta yang dihasilkan lebih homogen dan stabil ^[4].

Polyvinyl Alcohol (PVA) dan *Sodium Carboxymethyl Cellulose* (NaCMC) merupakan polimer yang dapat digunakan sebagai binder. *Polyvinyl Alcohol* (PVA) berperan membentuk lapisan film yang fleksibel, sedangkan (NaCMC) meningkatkan stabilitas dispersi partikel dalam pelarut ^[5] ^[5]. Penggunaan air deionisasi (diwater) sebagai pelarut utama dalam pembuatan tinta konduktif berbasis grafit telah terbukti efektif dalam menghasilkan tinta yang stabil dan memiliki konduktivitas yang sesuai untuk aplikasi sensor suhu ^[6].

Tinta konduktif berbasis grafit menunjukkan potensi sebagai sensor suhu fleksibel karena resistansi listriknya sensitif terhadap perubahan temperatur, sehingga cocok diaplikasikan pada substrat sederhana seperti kertas ^[7].

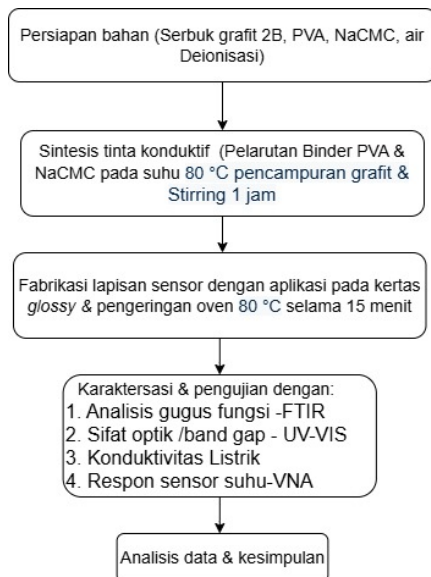
Penelitian ini berfokus pada sintesis dan karakterisasi tinta konduktif berbasis grafit dengan memvariasikan rasio komposisi *binder* (PVA) dan *Sodium Carboxymethyl Cellulose* (CMC). Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh rasio *binder* terhadap interaksi molekuler antar komponen melalui analisis FTIR dan dampaknya terhadap konduktivitas listrik tinta yang diaplikasikan pada substrat kertas *glossy*.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk grafit komersial (2B), *Polyvinyl Alcohol* (PVA), dan *Sodium Carboxymethyl Cellulose* (NaCMC). Pelarut yang digunakan adalah akuades. Substrat untuk aplikasi tinta adalah kertas *glossy*. Peralatan yang digunakan meliputi neraca analitik, *hot plate magnetic stirrer*, gelas kimia, batang pengaduk, spektrometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Shimadzu, IRPrestige-21), dan perangkat uji *sheet resistan* metode *two-point probe*.

Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian.

2.2 Sintesis Tinta Konduktif

Proses sintesis dimulai dengan pembuatan larutan *binder*. Sejumlah PVA dan NaCMC, sesuai dengan komposisi pada Tabel 1, dilarutkan secara terpisah dalam 90 mL deionisasi (diwater). Pelarutan dibantu dengan pemanasan pada suhu 80°C dan pengadukan konstan menggunakan *magnetic stirrer* hingga kedua larutan menjadi homogen.

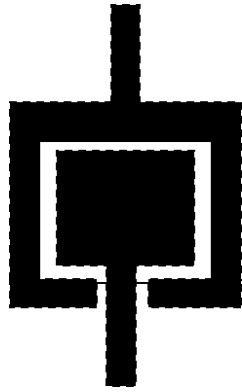
Selanjutnya, kedua larutan *binder* dicampurkan. Ke dalam campuran tersebut, serbuk grafit ditambahkan secara bertahap sambil terus diaduk. Proses pengadukan dilanjutkan selama 1 jam untuk memastikan partikel grafit terdispersi secara merata dalam matriks *binder*, sehingga membentuk pasta tinta yang homogen.

Tabel 1. Komposisi Sampel Tinta Konduktif

Nama Sampel	Grafit (g)	PVA (g)	NaCMC (g)
GP 1	1,5	0,15	0,15
GP 2	1,5	0,23	0,23
GP 3	1,5	0,075	0,075

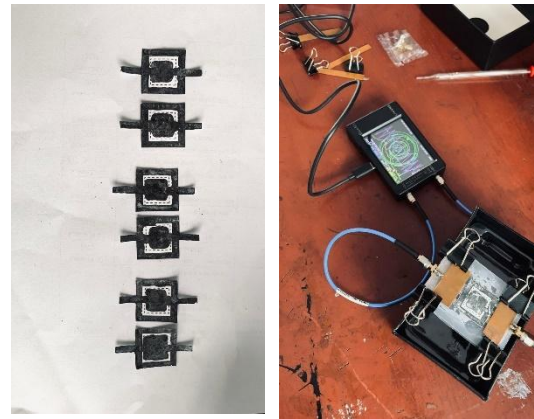
2.3 Pencetakan Sensor Suhu

Desain pencetakan sensor glukosa ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain sensor suhu berbasis tinta grafit.

Tahap pengujian sensor suhu dilakukan dengan beberapa langkah terstruktur. Pertama, sensor hasil cetakan elektroda pada substrat kertas *glossy* dipanaskan menggunakan pemanas hingga mencapai suhu tertentu. Setelah proses pemanasan, sensor dibiarkan selama ± 10 menit agar suhu stabil dan merata pada permukaan elektroda. Tahap berikutnya adalah melakukan pengukuran awal (cek kosong) untuk memperoleh baseline respon sensor dalam kondisi tanpa beban termal yang signifikan. Setelah baseline diperoleh, sensor kemudian dihubungkan dengan perangkat Vector Network Analyzer (VNA) melalui konektor uji yang sesuai. Pengukuran respon sensor terhadap suhu dilakukan menggunakan aplikasi VNA untuk mencatat perubahan parameter frekuensi atau reflektansi yang dihasilkan akibat perbedaan suhu. dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)

(b)

Gambar 3. Pengujian sensor suhu berbasis tinta konduktif grafit–PVA–NaCMC. a) hasil pencetakan pola sensor pada kertas glossy, dan b) set-up pengukuran respon sensor menggunakan VNA.

Pengukuran resistansi sheet dilakukan menggunakan metode *two-point probe*. Setiap sampel tinta diaplikasikan pada substrat kertas *glossy* membentuk lapisan tipis dengan dimensi yang seragam, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 15 menit. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik untuk mendapatkan nilai resistansi rata-rata, yang kemudian dihitung menjadi nilai konduktivitas listrik ^[8].

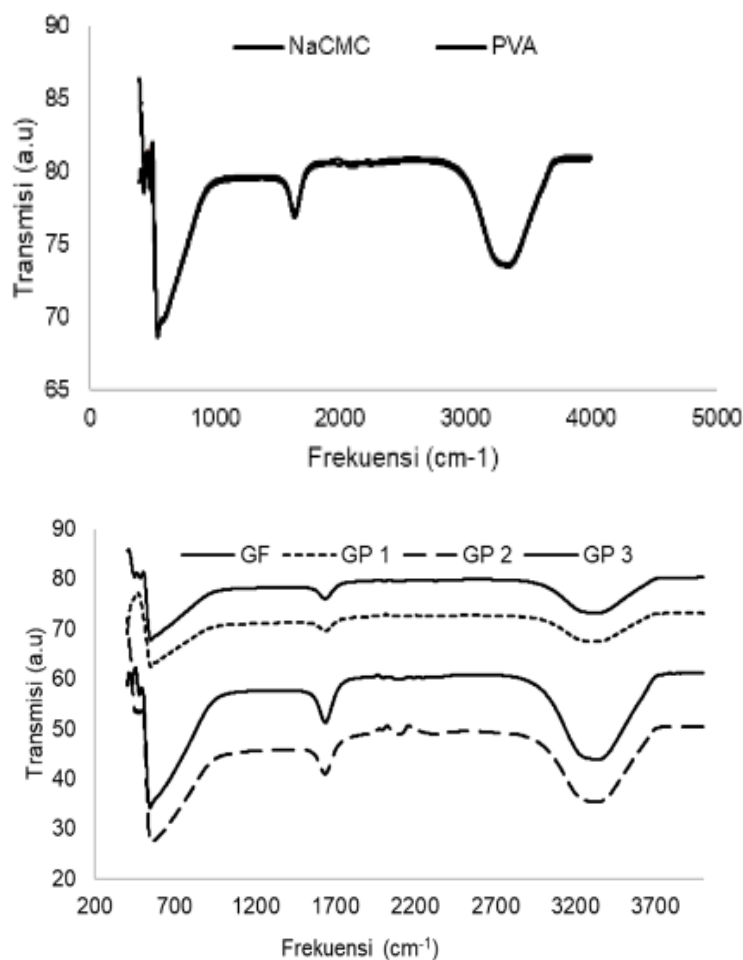
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam tinta konduktif berbasis

grafit pensil. Spektrum FTIR memberikan informasi mengenai getaran ikatan molekul, sehingga dapat mengidentifikasi interaksi antara grafit dengan PVA dan NaCMC. Analisis ini penting untuk

memastikan terbentuknya ikatan fisik maupun kimia yang mendukung kestabilan tinta dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum FTIR

Pada Gambar 4 spektrum FTIR menunjukkan bahwa semua sampel (GF, GP1, GP2, dan GP3) memiliki pola serapan pada daerah yang hampir sama, yang mengindikasikan adanya gugus fungsi khas grafit seperti ikatan C–C, C=C, serta kemungkinan gugus O–H dan C=O akibat oksidasi. Sampel GF

memperlihatkan transmisi paling tinggi sehingga dapat dikatakan lebih murni dengan kandungan oksigen yang rendah, sedangkan GP1 memiliki transmisi terendah dan puncak serapan lebih jelas yang menandakan keberadaan gugus oksigenasi atau cacat struktur lebih banyak. Sementara itu, GP2 dan GP3

menunjukkan nilai transmisi di antara GF dan GP1, menandakan adanya penurunan

jumlah gugus oksidasi meskipun belum mencapai kemurnian GF.

Tabel 2. Tabulasi dekonvolusi FTIR

Sampel	Parameter	P1	P2	P3	P4	P5
GF	f_0 (cm ⁻¹)	3103.706	3217.394	3246.361	3404.707	3550.179
	f_0 (cm ⁻¹)	0.107866	0.132175	0.624316	0.524081	0.194149
	f_0 (cm ⁻¹)	744.46	138.825	315.862	218.132	144.729
GP1	f_0 (cm ⁻¹)	2803.677	3199.647	3218.434	3395.372	3572.965
	f_0 (cm ⁻¹)	0.089008	0.45537	0.275558	0.730436	0.175578
	f_0 (cm ⁻¹)	583.125	336.836	174.32	244.638	150.886
GP2	f_0 (cm ⁻¹)	2898.916	3212.17	3250.853	3414.598	3579.897
	f_0 (cm ⁻¹)	0.086504	0.113104	0.695506	0.51235	0.14746
	f_0 (cm ⁻¹)	610.026	128.596	334.271	246.333	145.306
GP3	f_0 (cm ⁻¹)	3153.016	3208.671	3264.464	3427.181	3585.942
	f_0 (cm ⁻¹)	0.093487	0.088471	0.715803	0.444145	0.140519
	f_0 (cm ⁻¹)	608.57	121.909	322.592	240.399	142.598
PVA	f_0 (cm ⁻¹)	3148.435	3208.718	3264.929	3428.355	3586.793
	f_0 (cm ⁻¹)	0.083671	0.086187	0.729612	0.43936	0.138361
	f_0 (cm ⁻¹)	610.531	119.552	324.721	241.401	141.267
NaCMC	f_0 (cm ⁻¹)	3172.602	3209.514	3264.536	3425.142	3585.589
	f_0 (cm ⁻¹)	0.073118	0.08411	0.627308	0.382171	0.120834
	f_0 (cm ⁻¹)	658.613	124.738	329.243	242.076	141.013

Dapat dilihat pada tabel hasil tabulasi dekonvolusi FTIR memperlihatkan adanya beberapa puncak serapan pada rentang bilangan gelombang 2800–3600 cm⁻¹. Puncak di sekitar 3103–3217 cm⁻¹ menunjukkan adanya getaran ulur O–H dari PVA dan NaCMC, sedangkan puncak pada 3246–3404 cm⁻¹ berkaitan dengan interaksi ikatan hidrogen. Pergeseran posisi puncak

pada sampel GP1 hingga GP3 dibandingkan dengan PVA dan NaCMC murni menandakan adanya interaksi grafit dengan polimer, sehingga dapat dikatakan bahwa sintesis tinta konduktif berhasil dilakukan. Selain itu, intensitas puncak yang relatif stabil menunjukkan bahwa distribusi gugus fungsi pada tinta cukup merata.

3.2. Ultraviolet–Visible Spectroscopy (UV-Vis)

Karakterisasi *Ultraviolet–Visible Spectroscopy* (UV-Vis), mempelajari sifat optik tinta konduktif melalui spektrum absorbansi terhadap panjang gelombang. Data absorbansi kemudian diolah menggunakan metode *Tauc Plot* untuk menentukan nilai band gap optik material. Hasil ini memberikan gambaran mengenai kemampuan elektron dalam menyerap energi cahaya dan transisi elektronik pada tinta. Spektroskopi UV-Vis digunakan untuk menganalisis sifat optikal tinta konduktif yang telah diencerkan dengan aquades atau pelarut sesuai, dalam rentang panjang gelombang 200–800 nm, untuk mengamati interaksi antar komponen dan perubahan band gap grafit menggunakan metode *Tauc plot* ^[9]

$$(ah\nu)=A(h\nu-E_g)^r \quad (1).$$

Keterangan:

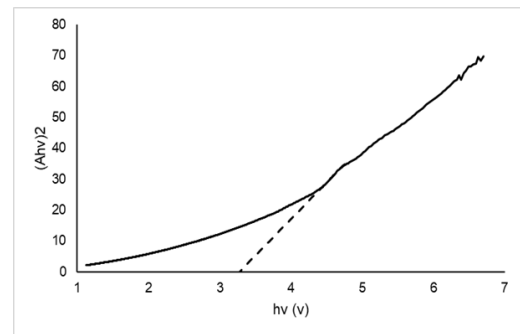
α (alpha) = koefisien serapan optik (cm^{-1})

$h\nu$ = energi foton (eV), dihitung dari $h \cdot c / \lambda$

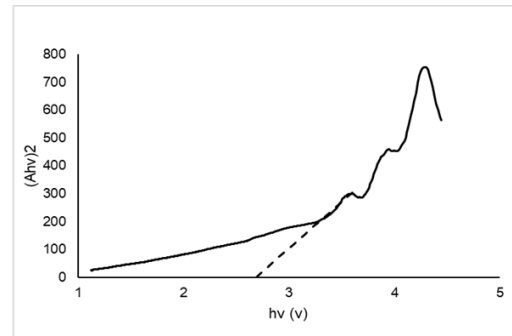
A = konstanta proporsionalitas

E_g (band gap) = energi celah pita (eV).

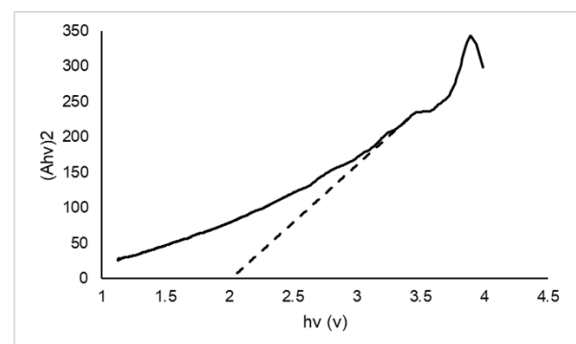
r = faktor yang menunjukkan jenis transisi elektronik



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Grafik *Tauc plot* dari spektrum absorpsi UV-vis sampel. Sampel (a) GP1, (b) GP2, dan (c) GP3

Berdasarkan Gambar 5. Grafik (a) menunjukkan band gap tertinggi sekitar 3,8–4,0 eV sehingga bersifat paling insulatif, grafik (b) memiliki band gap lebih rendah sekitar 3,0–3,2 eV sehingga lebih konduktif, sedangkan grafik (c) memiliki band gap terendah sekitar 2,3–2,5

eV yang memungkinkan penyerapan cahaya tampak lebih baik.

Tabel 4. Tabulasi resistivitas sheet

Sampel	R_s ($k\Omega/cm^2$)
GP1	12.041
GP2	13.148
GP3	4.9667

3.3 Resistivitas Sheet

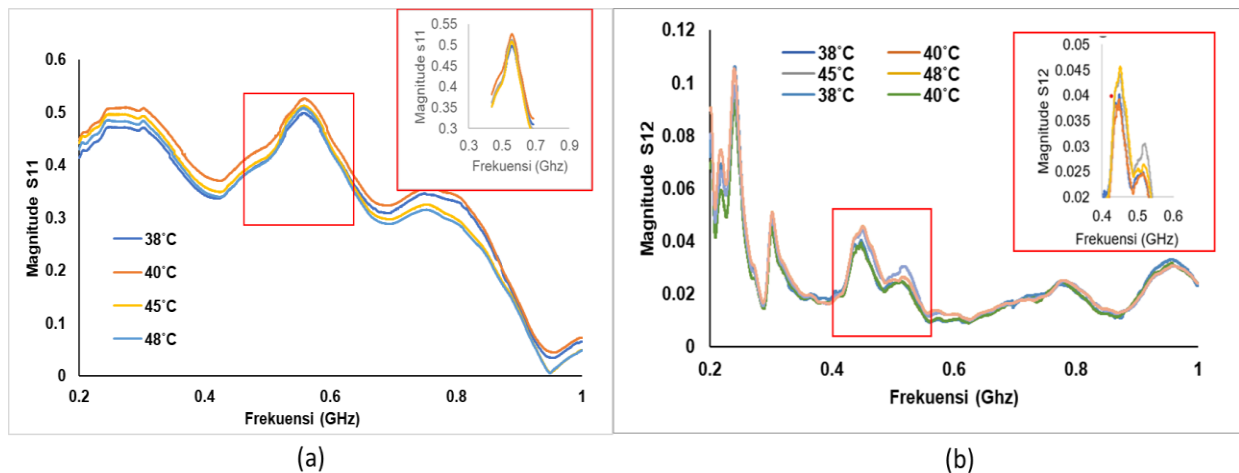
Pengujian Sheet Resistivity (Resistansi Lembaran) merupakan metode kunci dalam karakterisasi sifat listrik material tipis, terutama tinta konduktif atau lapisan elektroda cetak. Pada pengujian ini, nilai sheet resistance (R_s) diukur menggunakan teknik empat titik (four-point probe) atau variasi seperti metode van der Pauw, yang mampu menentukan resistansi per satuan luas (Ω/m) tanpa terpengaruh oleh resistansi kontak^[10].

Hasil pengukuran resistivitas sheet (R_s) menunjukkan bahwa setiap sampel memiliki nilai yang berbeda. Sampel GP1 menunjukkan nilai R_s sebesar 12,041 $k\Omega/cm^2$, sampel GP2 menunjukkan nilai R_s sebesar 13,148 $k\Omega/cm^2$, sedangkan sampel GP3 menunjukkan nilai R_s sebesar 4,9667 $k\Omega/cm^2$. Nilai R_s yang kecil menunjukkan bahwa material memiliki hambatan lebih rendah dan mampu menghantarkan arus listrik dengan lebih baik. Oleh karena itu, sampel GP3 memiliki konduktivitas terbaik dibandingkan dengan GP1 dan GP2 karena

nilai resistivitas sheet yang dimilikinya paling kecil. Dapat dilihat pada Tabel 4.1.3.

3.4 Uji Vector Network Analyzer (PVNA)

Pengujian menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) merupakan metode yang dapat diandalkan untuk mengevaluasi sifat elektromagnetik suatu material melalui pengukuran parameter hamburan (S-parameters) seperti S_{11} dan S_{21} . Pada proses ini, sampel berupa pelat elektroda cetak atau material komposit tinta konduktif ditempatkan pada jalur transmisi atau resonator, kemudian VNA memancarkan sinyal gelombang mikro dalam rentang frekuensi tertentu, biasanya pada domain GHz. Hasil pengukuran berupa respons refleksi (S_{11}) dan transmisi (S_{21}) yang memberikan informasi terkait resonansi, impedansi, serta konduktivitas material. Pergeseran frekuensi resonansi atau perubahan amplitudo pada spektrum S-parameter menunjukkan adanya interaksi antara sampel dengan medan elektromagnetik serta respon material terhadap perubahan lingkungan atau variasi komposisi. Dengan demikian, VNA berperan penting dalam karakterisasi tinta konduktif yang digunakan pada antena fleksibel, sensor resonansi, maupun perangkat elektronik cetak karena hasil pengukurannya dapat mencerminkan performa RF sekaligus sifat kelistrikan material tersebut.



Gambar 6. Perubahan profil S11 dan S12 sensor suhu tinta konduktif grafit untuk variasi suhu 38 – 48 °C.

Dari grafik, terlihat bahwa sensor suhu ini memiliki frekuensi kerja paling optimal (frekuensi resonansi) di beberapa titik, di mana kurva menunjukkan nilai terendah, seperti di sekitar 0.4 GHz, 0.6 GHz, dan 0.8 GHz. Pada frekuensi-frekuensi inilah sensor bekerja paling efisien. Pengujian pada kondisi suhu yang berbeda (ditandai sebagai 38, 40, 45, dan 48) menunjukkan bahwa perubahan suhu sedikit mempengaruhi kinerja dan frekuensi optimal sensor. Dengan demikian, hasil uji ini mengonfirmasi bahwa sensor suhu berfungsi dengan baik pada frekuensi-frekuensi tertentu dan kinerjanya relatif stabil terhadap perubahan suhu dalam rentang yang diuji.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sintesis tinta konduktif berbasis grafit pensil dengan

penambahan polimer PVA dan NaCMC telah berhasil dilakukan. Sampel GP3, dengan komposisi grafit 50%, PVA 40%, dan CMC 10%, menunjukkan performa paling optimal karena memiliki nilai resistivitas *sheet* terendah sebesar 4,9667 kΩ/cm² dan nilai konduktivitas tertinggi mencapai 484,2 S/cm. Penurunan nilai celah pita energi hingga 2,02 eV pada sampel GP3 juga mengindikasikan material menjadi lebih konduktif, sehingga sangat berpotensi untuk diaplikasikan sebagai sensor suhu.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) yang sudah memberi izin untuk mengolah data yang dimiliki PPPGL dan kepada seluruh staf yang telah membantu dalam pengolahan data. Terima kasih juga

kepada Departemen Pendidikan Fisika tempat penulis menimba ilmu selama ini.

6. Referensi

- [1] Camargo, J. R., Orzari, L. O., Araújo, D. A. G., de Oliveira, P. R., Kalinke, C., Rocha, D. P., Luiz dos Santos, A., Takeuchi, R. M., Munoz, R. A. A., Bonacin, J. A., & Janegitz, B. C. (2021). Development of conductive inks for electrochemical sensors and biosensors. *Microchemical Journal*, 164(February). <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.105998>
- [2] Liew, Q. J., Aziz, A. S. A., Lee, H. W., Lee, M. W., Hawari, H. F., & Md Khir, M. H. (2020). Inkjet-Printed Flexible Temperature Sensor Based on Silver Nanoparticles Ink †. *Engineering Proceedings*, 2(1), 2–7. <https://doi.org/10.3390/ecsa-7-08216>
- [3] Gong, X., Zhang, L., Huang, Y., Wang, S., Pan, G., & Li, L. (2020). Directly writing flexible temperature sensor with graphene nanoribbons for disposable healthcare devices. *RSC Advances*, 10(37), 22222–22229. <https://doi.org/10.1039/d0ra02815k>
- [4] Nathani, A., Vishnu, N., & Sharma, C. S. (2020). Review—Pencil Graphite Electrodes as Platform for Enzyme and Enzyme-Like Protein Immobilization for Electrochemical Detection. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(3), 037520. <https://doi.org/10.1149/2.0202003JES>
- [5] Sekertekin, Y., Bozyel, I., & Gokcen, D. (2020). A Flexible and Low-Cost Tactile Sensor Produced by Screen Printing of Carbon Black/PVA Composite on Cellulose Paper. *Sensors*, 20(10), 2908. <https://doi.org/10.3390/s20102908>
- [6] Dey, A., Kalita, A. J., Khatun, H., & Sarma, U. (2025). *The Development of an Affordable Graphite-Based Conductive Ink for Printed Electronics ‡*.
- [7] Xu, Y., Zhao, G., Zhu, L., Fei, Q., Zhang, Z., Chen, Z., An, F., Chen, Y., Ling, Y., Guo, P., Ding, S., Huang, G., Chen, P.-Y., Cao, Q., & Yan, Z. (2020). Pencil–paper on-skin electronics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(31), 18292–18301. <https://doi.org/10.1073/pnas.2008422117>
- [8] Xie, Z., Ventura, H., & Ardanuy, M. (2024). A Review of the Electrical Conductivity Test Methods for

- Conductive Fabrics. *Textiles*, 4(3), 284–308.
<https://doi.org/10.3390/textiles4030017>
- [9] Jubu, P. R., Danladi, E., Ndeze, U. I., Adedokun, O., Landi, S., Haider, A. J., Adepoju, A. T., Yusof, Y., Obaseki, O. S., & Yam, F. K. (2024). Comment about the use of unconventional Tauc plots for bandgap energy determination of semiconductors using UV–Vis spectroscopy. *Results in Optics*, 14(1), 100606.
<https://doi.org/10.1016/j.rio.2024.100606>
- [10] Zikulnig, J., Roshanghias, A., Rauter, L., & Hirschl, C. (2020). Evaluation of the Sheet Resistance of Inkjet-Printed Ag-Layers on Flexible, Uncoated Paper Substrates Using Van-der-Pauw’s Method. *Sensors*, 20(8), 2398.
<https://doi.org/10.3390/s20082398>