

ANALISIS AKURASI DAN SENSITIVITAS SENSOR BERBASIS GRAFENA OKSIDA DALAM DETEKSI PERNAPASAN**Nur Hadziqoh¹, Aulia Fatimahtuz Zahra¹, Ramdhani Syahputra¹**¹*Fakultas Teknologi Kesehatan, Institut Kesehatan dan Teknologi Al Insyirah, Pekanbaru, Riau, 28289, Indonesia.***Info Artikel**

Riwayat Artikel:
Tanggal Dikirim: 11 Desember 2025
Tanggal Diterima: 19 Januari 2026
Tanggal DiPublish: 20 Januari 2026

Kata kunci: Grafena Oksida;
Pernapasan; Akurasi

Penulis Korespondensi:

Aulia Fatimahtuz Zahra
Email: auliafatimahtuz.zhr@gmail.com

Abstrak

Latar belakang: Pernapasan merupakan proses fisiologis yang esensial bagi kelangsungan hidup manusia. Penyakit pernapasan masih umum terjadi, sementara spirometer kurang praktis dan tidak selalu tersedia. Grafena oksida (GO) memiliki kepekaan tinggi terhadap kelembaban napas sehingga berpotensi menjadi sensor pernapasan yang lebih sederhana dan sensitif. Karena penelitian sensor GO masih terbatas di Indonesia, studi ini dilakukan untuk menilai kinerja sensor GO dalam mendeteksi pola pernapasan.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor berbasis grafena oksida dalam mendeteksi pernapasan manusia dengan menilai akurasi, sensitivitas, dan stabilitas sinyalnya, serta membandingkannya dengan sensor non-GO dan alat pembandingnya.

Metode: Studi ini menggunakan desain eksperimental dengan membandingkan sensor GO dan non-GO melalui pengujian napas manusia dan humidifier. Data sinyal diukur menggunakan osiloskop, lalu dianalisis untuk menentukan akurasi dan sensitivitas sensor.

Hasil: Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kelembaban melalui perbedaan amplitudo sinyal (V_{pp}) yang terekam pada osiloskop. Sensor menunjukkan akurasi sebesar 96,8% dan sensitivitas sebesar 4,2 mV/%RH, jauh lebih tinggi dibandingkan sensor non-GO yang hanya mencapai akurasi 38,8% dan sensitivitas 0,2 mV/%RH. Sensor GO juga menghasilkan respons sinyal yang lebih stabil untuk semua jenis pernapasan, sehingga terbukti efektif dalam mendeteksi perubahan kelembaban napas.

Kesimpulan: Sensor berbasis grafena oksida menunjukkan akurasi dan sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan sensor non-GO, sehingga lebih efektif dan responsif dalam mendeteksi pola pernapasan.

Jurnal Mutiara Elektromedik

e-ISSN: 2614-7963

Vol. 9 No. 2 Desember, 2025 (Hal 113-121)

Homepage: <https://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/Elektromedik>

DOI: <https://doi.org/10.51544/elektromedik.v9i2.6673>

How To Cite: Hadziqoh, Nur, Aulia Fatimahtuz Zahra, and Ramdhani Syahputra. 2025. "Analisis Akurasi Dan Sensitivitas Sensor Berbasis Grafena Oksida Dalam Deteksi Pernapasan." *Jurnal Mutiara Elektromedik* 9 (2): 113–121. <https://doi.org/10.51544/elektromedik.v9i2.6673>.



Copyright © 2025 by the Authors, Published by Program Studi: Teknologi Elektromedik Fakultas Pendidikan Vokasi Universitas Sari Mutiara Indonesia. This is an open access article under the CC BY-SA Licence ([Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)).

1. Pendahuluan

Pada masa sekarang ini, tercatat 17,21% penduduk Indonesia mengalami gangguan kesehatan. Salah satu jenis gangguan kesehatan yang cukup signifikan adalah penyakit pernapasan. Pernapasan merupakan salah satu penanda keadaan fisik seseorang, serta pemantauan pernapasan. secara langsung telah menjadi kebutuhan yang krusial dalam dunia kesehatan. Sistem pernapasan terdiri dari beberapa organ seperti paru-paru, trakea, bronkus, dan hidung yang berfungsi menghirup oksigen dan mengeluarkan karbon dioksida [1]. Alat pemantau pernapasan yang biasa digunakan di rumah sakit yaitu spirometer. Spirometer merupakan alat medis yang berfungsi untuk mengukur kapasitas volume udara pada paru-paru [2]. Spirometer kurang fleksibel digunakan karena hanya dapat digunakan di rumah sakit tetapi tidak semua rumah sakit ataupun klinik memiliki fasilitas spirometer [3]. Maka dari itu, perlu adanya pengembangan alat deteksi pernapasan sebagai alternatif yang portable dan sensitif untuk memantau pernapasan.

Beberapa tahun terakhir, material yang berbasis nanokarbon seperti grafena oksida (GO) telah menarik perhatian yang besar dalam dunia teknologi sensor karena memiliki karakteristik fisik dan kimia yang baik, seperti permukaan yang luas, kemampuan fleksibel, respon cepat dan adanya gugus fungsional aktif, sehingga menjadikan GO bahan potensial dalam sensor pernapasan [4]. Karakteristik itulah yang menjadikan GO sangat peka terhadap perubahan kelembaban yang dihasilkan oleh sinyal listrik akibat aktivitas bernapas manusia, sehingga menjadikan GO bahan yang ideal dalam sensor pernapasan. Beberapa pemanfaatan GO pada pernapasan yaitu sebuah masker berbasis grafena yang digunakan untuk pemantauan pernapasan manusia secara real-time yang dilakukan oleh Cheraghi Bidsorkhi et al., (2023). Berhasil membuat sensor piezoresistif yang di tempelkan pada masker untuk mendeteksi resistansi napas dalam 42 ms, serta membedakan pernapasan normal dan tidak normal [5]. Penelitian yang dilakukan oleh Ammar Al-Hamry et al., mengembangkan sensor pernapasan fleksibel berbasis grafena oksida yang sensitif terhadap kelembaban napas. Sensor menunjukkan respon <1 detik, akurasi tinggi, dan dapat dipantau secara realtime melalui IOT [6]. Penelitian oleh Jinfeng Feng et al., (2016), mengembangkan sensor kelembaban kapasitif berbasis grafena oksida yang kompetibel dengan CMOS. Sensor menunjukkan sensitivitas tinggi, respon <3 detik [7].

Beberapa penelitian internasional telah mengembangkan sensor berbasis grafena oksida (GO) untuk pemantauan pernapasan manusia. Namun, hingga saat ini, belum ditemukan penelitian serupa di Indonesia yang mengkaji pemanfaatan grafena oksida sebagai material utama dalam sensor pernapasan. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan kombinasi material atau teknologi khusus seperti integrasi CMOS atau sistem IoT, sedangkan dalam penelitian ini digunakan material grafena oksida murni yang diaplikasikan pada elektroda karbon sederhana dan dihubungkan ke sistem pemantauan berbasis osiloskop. Perbedaan ini menunjukkan bahwa penelitian memberikan kontribusi baru dalam konteks lokal dengan metode yang lebih terjangkau dan aplikatif.

Pada penelitian ini untuk memastikan keandalan sensor yang berbasis grafena oksida, maka perlu dilakukannya perbandingan sensor GO dengan sensor tanpa GO (non-GO) untuk melihat seberapa besar sensor dalam mendeteksi perubahan sinyal listrik akibat hembusan napas manusia. Sebagai nilai referensi, sensor juga dilakukan pengujian pada titik kelembaban 81%, 85%, dan 89%. Melakukan pengembangan lebih, dari

sensor berbasis grafena oksida tersebut diperlukan untuk melakukan pengukuran yang lebih tepat, dengan berbagai macam keadaan pernapasan yaitu pada pernapasan normal, pernapasan dalam dan pernapasan cepat. Dengan melakukan pengujian dalam berbagai kondisi tersebut, dapat diperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kinerja sensor dalam mendeteksi pola pernapasan yang berbeda. Selain itu, melakukan perhitungan akurasi, sensitivitas dan waktu respon dari sensor perlu dilakukan untuk mengevaluasi performa sensor secara lebih menyeluruh. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada penilaian keandalan dan kinerja sensor untuk mendukung pengembangan sensor menjadi alat monitoring pernapasan yang lebih efektif dan mudah digunakan pada masa akan datang.

2. Metode

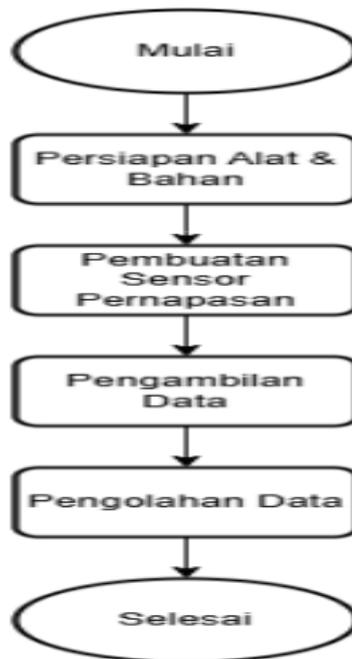
Metode harus disusun sebagai berikut:

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimental laboratorium. Penelitian eksperimental ditandai dengan adanya perlakuan langsung terhadap variabel serta pengujian kondisi yang dikendalikan, dan hal ini terlihat jelas pada prosedur penelitian yang menggunakan dua jenis sensor, yaitu sensor berbasis GO dan sensor non-GO untuk dibandingkan performanya. Penelitian ini memanipulasi variabel, yaitu jenis material sensor dan variasi kondisi pernapasan (normal, cepat, dalam), lalu mengamati respons sensor dalam bentuk sinyal listrik. Selain itu, penelitian menggunakan humidifier sebagai kontrol kelembaban pada titik tertentu (81%, 85%, dan 89%) sebagai nilai referensi untuk menilai akurasi dan sensitivitas sensor. Seluruh pengumpulan data dilakukan di lingkungan laboratorium dengan instrumen terstandar seperti osiloskop dan multimeter. Dengan adanya pengendalian variabel, pemberian perlakuan langsung pada objek penelitian, serta perbandingan terstruktur antara dua jenis sensor, penelitian ini menggunakan desain eksperimental dalam konteks uji performa perangkat berbasis material sensor.

2.2 Pengaturan dan Sampel

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari hingga Juni 2025 di salah satu laboratorium institusi dengan kondisi lingkungan yang terkontrol. Sampel terdiri dari enam partisipan yaitu tiga laki-laki dan tiga perempuan. Dipilih melalui jenis sampelnya yaitu purposive sampling, dimana pemilihan sampel didasarkan pada ciri-ciri tertentu pada suatu populasi. Satu partisipan tambahan digunakan untuk pengujian sensor non-GO. Partisipan dipilih berdasarkan kriteria inklusi yaitu, berusia 20-25 tahun, memiliki kondisi pernapasan normal, tidak memiliki riwayat penyakit kronis, serta bersedia mengikuti seluruh prosedur penelitian yang telah dijelaskan. Adapun kriteria eksklusi mencakup individu yang memiliki gangguan pernapasan seperti asma, sedang mengalami batuk, merupakan perokok aktif.



Gambar 2.1 Flowchart Desain Penelitian.

2.3 Intervensi (berlaku untuk studi eksperimental)

Intervensi penelitian ini berupa pengujian langsung terhadap dua jenis sensor, yaitu sensor berbasis grafena oksida (GO) sebagai kelompok perlakuan dan sensor non-GO sebagai kelompok kontrol. Intervensi dilakukan dengan mengekspos kedua sensor pada tiga pola pernapasan partisipan, yaitu pernapasan normal, napas cepat, dan napas dalam, untuk menilai kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kelembaban napas. Selain itu, sensor juga diuji menggunakan humidifier dengan tingkat kelembaban terkontrol sebesar 81%, 85%, dan 89% sebagai pembanding akurasi dan stabilitas sinyal. Setiap pengujian dilakukan dengan jarak sensor yang konsisten dari sumber napas atau humidifier, sehingga kondisi pengukuran tetap terstandarisasi. Pelaksanaan intervensi dilakukan di laboratorium institut penelitian dengan lingkungan yang terkendali agar hasil tetap akurat dan tidak dipengaruhi. Proses pengujian dilakukan oleh peneliti, yang bertanggung jawab memastikan prosedur dan penggunaan instrumen berjalan sesuai protokol.

2.4 Pengukuran dan pengumpulan data

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat yang dikembangkan langsung oleh peneliti dan instrumen laboratorium standar yang di adopsi dari perangkat komersial. Sensor berbasis grafena oksida (GO) dan sensor non-GO sebagai kelompok kontrol merupakan instrumen yang dikembangkan peneliti dengan menggunakan elektroda karbon berpola interdigital sebagai dasar penghantar, kemudian dilapisi grafena oksida melalui teknik drop casting dan distabilkan melalui proses annealing. Instrumen pendukung berupa osiloskop dengan merk Siglent SDS 1102DL dan multimeter digital diambil dari peralatan laboratorium yang telah umum digunakan dalam pengukuran tegangan, arus, dan resistansi, sehingga validitas alat dapat diterima berdasarkan standar pabrikan. Selain itu, humidifier digunakan sebagai instrumen referensi untuk menyediakan nilai kelembaban terkontrol, yang berfungsi sebagai pembanding dalam penilaian akurasi sensor. Validitas sensor dinilai berdasarkan kecocokan antara nilai

pembacaan sensor dengan nilai kelembaban standar dari humidifier, sementara reliabilitas diperoleh melalui pengulangan pengukuran pada tiga pola pernapasan dan tiga tingkat kelembaban yang berbeda. Skala pengukuran yang digunakan meliputi tegangan dalam satuan mV, sensitivitas dalam mV/%RH, akurasi dalam persen (%), serta resistansi dalam satuan ohm, dengan interpretasi masing-masing disesuaikan untuk menilai repons terhadap perubahan kelembaban napas. Proses administrasi pengumpulan data dilakukan sepenuhnya di laboratorium oleh peneliti, mulai dari penempatan sensor, pengoperasian instrumen pengukur, hingga pencatatan data keluaran. Penelitian ini tidak menggunakan instrumen berbasis bahasa, sehingga proses penerjemahan maupun uji kesetaraan bahasa tidak diperlukan. Seluruh prosedur dilakukan oleh peneliti utama untuk menjaga ke konsistenan kualitas dan keandalan hasil pengukuran.

2.5 Analisis data

Penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif deskriptif karena seluruh data bersifat numerik, berupa tegangan, resistansi, arus, akurasi, dan sensitivitas. Data diambil dari osiloskop Siglent SDS 1102DL, multimeter digital, dan pembacaan kelembaban dari humidifier. Perangkat lunak yang digunakan yaitu Microsoft Excel untuk perhitungan, pembuatan tabel, serta pengolahan angka. Adapun langkah analisis data yaitu:

- a. Menghitung nilai rata-rata tegangan puncak ke puncak (Vpp) dari setiap pola pernapasan.
- b. Menghitung akurasi berdasarkan selisih nilai sensor dengan nilai referensi yang dihasilkan oleh humidifier. Nilai error dan akurasi dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Error (\%) = \left| \frac{\bar{x}_{referensi} - \bar{x}_{sensor}}{\bar{x}_{referensi}} \right| \times 100\% \quad [8]$$

Rumus Analisis Error

$$Akurasi (\%) = 100\% - error \quad [9]$$

Rumus Analisis Akurasi

- c. Menghitung sensitivitas sensor menggunakan rumus berikut:

$$Sensitivitas = \frac{\Delta V_{pp}}{\Delta RH} \quad [10]$$

Rumus Analisis Sensitivitas

2.6 Pertimbangan etika

Penelitian ini melibatkan partisipan manusia sehingga seluruh prosedurnya mengikuti prinsip-prinsip etika penelitian kesehatan, termasuk menjaga kerahasiaan identitas peserta, meminimalkan risiko, serta memastikan setiap partisipan terlibat secara sukarela. Sebelum pengambilan data dilakukan, seluruh partisipan diberikan penjelasan lengkap mengenai persetujuan penelitian, prosedur pengujian sensor, serta hak mereka untuk menghentikan partisipasi kapan saja tanpa konsekuensi.

3. Hasil

Pada penelitian ini, didapatkan hasil pengukuran berupa nilai rata-rata untuk setiap sampel sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Setiap Pola Pernapasan Sensor GO

Sampel	Normal	Cepat	Dalam
P1	172	88	267
P2	178	90	268
P3	176	89	268
L1	188	97	279
L2	186	97	280
L3	187	96	280
Rata-Rata	181	93	274

Sumber: Data Penulis

Tabel di atas menunjukkan bahwa sensor GO menghasilkan nilai Vpp yang konsisten pada setiap pola pernapasan. Pada pernapasan normal, nilai Vpp berada pada rentang 172-188 mV, menurun pada pernapasan cepat menjadi 88-97 mV, dan meningkatkan signifikan pada pernapasan dalam hingga 267-280 mV. Pola ini menunjukkan bahwa sensor mampu merespons perubahan intensitas pernapasan dengan baik, dimana hembusan napas yang lebih kuat menghasilkan amplitudo sinyal yang lebih besar.

Tabel 2. Nilai Rata-Rata Setiap Pola Pernapasan Sensor non-GO

Sampel	Normal	Cepat	Dalam
P1	58	58	61,4

a. Akurasi

Tabel 3. Nilai Rata-Rata Error Setiap Pola Pernapasan Sensor GO

Sampel	Error (%) Pernapasan Normal	Error (%) Pernapasan Cepat	Error (%) Pernapasan Dalam
P1	5.1	5.2	2.4
P2	1.7	3.1	2.1
P3	2.9	4.1	2.1
L1	3.8	4.5	1.9
L2	2.7	4.5	2.3
L3	3.2	3.4	2.3
Rata-Rata	3.2	4.1	2.2

Tabel di atas menampilkan persentase error pengukuran sensor GO terhadap nilai referensi. Error pada pernapasan normal rata-rata 3.2%, meningkat sedikit pada pernapasan cepat menjadi 4.1%, dan menjadi yang paling rendah pada pernapasan dalam dengan rata-rata 2.2%. Nilai error yang relatif kecil di semua pola menunjukkan bahwa sensor GO memiliki akurasi tinggi dan menghasilkan pengukuran yang stabil.

Nilai error setiap sampel yang didapatkan, dihitung nilai akurasi menggunakan rumus di atas untuk pernapasan normal sebesar 96,8%, pernapasan cepat sebesar 95,9%, dan pernapasan dalam sebesar 97,8%. Nilai rata-rata akurasi sensor berbasis grafena oksida yaitu sebesar 96,8%.

Tabel 4. Nilai Rata-Rata Error Setiap Pola Pernapasan Sensor non-GO

Sampel	Error (%) Pernapasan Normal	Error (%) Pernapasan Cepat	Error (%) Pernapasan Dalam
P1	68	38,3	77,2

Tabel di atas menampilkan nilai error pengukuran sensor non-GO yaitu sebesar 68% pada pernapasan normal, 38,3% pada pernapasan cepat, dan 77,2% pada pernapasan dalam. Nilai akurasi yang didapatkan pada pernapasan normal yaitu 32%, pernapasan cepat sebesar 61,7%, dan 22,8% nilai pernapasan dalam.

b. Sensitivitas

Tabel 5. Sensitivitas Setiap Pola Pernapasan

Kelembaban	Jenis Pernapasan	ΔV_{pp} (mV)	ΔRH (%)	Sensitivitas (mV/%RH)
81%	Cepat	8	9	0,9
85%	Normal	8	5	1,6
89%	Dalam	10	1	10
Rata-Rata				4,2

Tabel 6. Sensitivitas Setiap Pola Pernapasan

Kelembaban	Jenis Pernapasan	ΔV_{pp} (mV)	ΔRH (%)	Sensitivitas (mV/%RH)
81%	Cepat	2	9	0,2
85%	Normal	2	5	0,4
89%	Dalam	2	1	2
Rata-Rata				0,86



Gambar 1. Foto Penempatan Sensor pada Masker

Sumber: Dokumentasi Penulis

Sensor berbasis GO yang dibuat dengan pola interdigital ditempatkan pada sebuah masker yang digunakan untuk mendeteksi pernapasan manusia. Sensor dipasang pada bagian tengah dalam masker dan diposisikan dekat dengan area hidung atau mulut agar dapat menangkap perubahan kelembaban yang dihasilkan saat proses inspirasi dan ekspirasi.

4. Pembahasan

Pada penelitian ini telah dikembangkannya sebuah sensor berbasis grafena oksida dan telah dilakukan evaluasi pada sensor tersebut dengan memonitoring pernapasan manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor grafena oksida (GO) memiliki kinerja yang sangat baik. Sensor memberikan respons yang berbeda pada pernapasan cepat, normal, dan dalam. Respons tertinggi sensor terdapat pada pernapasan dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor memiliki kinerja yang sangat baik, ditunjukkan oleh nilai rata-rata akurasi sebesar 96,8% pada tiga jenis pernapasan (normal, cepat, dalam). Tingginya akurasi menandakan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan pola pernapasan secara konsisten meskipun terdapat perbedaan laju dan volume udara. Selain itu, nilai rata-rata sensitivitas sensor sebesar 4,2 mV/%RH menunjukkan kemampuan sensor yang baik dalam merespons perubahan kecil kelembaban akibat hembusan napas, yang dipengaruhi sifat hidrofilik grafena oksida dan keberadaan gugus fungsi oksigen yang meningkatkan adsorpsi uap air serta memengaruhi karakteristik listrik sensor.

Temuan ini tidak hanya bersifat empiris, tetapi juga konsisten dengan teori material dan hasil penelitian sebelumnya yang melaporkan kinerja unggul GO sebagai sensor kelembaban. Temuan ini menegaskan bahwa sensor berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai sistem monitoring pernapasan yang sederhana, real-time dan non-invasif untuk aplikasi kesehatan. Dengan optimasi desain sensor dan sistem pengolahan sinyal, teknologi ini diharapkan dapat menjadi alternatif yang efektif dalam pemantauan kondisi pernapasan manusia dimasa mendatang.

Strategi perbaikan dimasa mendatang yang direkomendasikan difokuskan pada peningkatan kinerja dan keandalan sensor berbasis grafena oksida dalam mendeteksi pernapasan. Sistem pengolahan sinyal perlu ditingkatkan dengan penambahan rangkaian filter dan kalibrasi yang lebih komprehensif pada rentang yang lebih luas. Optimalkan komposisi dan ketebalan lapisan grafena oksida agar sensitivitas dan stabilitas sensor semakin baik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian, dapat disimpulkan bahwa sensor yang terbuat dari bahan material grafena oksida (GO) menghasilkan data dan amplitudo sinyal yang berbeda-beda untuk setiap pernapasan seperti pernapasan normal, pernapasan dalam, dan pernapasan cepat. Nilai sensor berbasis grafena oksida memiliki keunggulan signifikan dibandingkan sensor tanpa GO, baik dari akurasi maupun sensitivitas. Sensor GO mencapai akurasi 96,8%, jauh lebih tinggi dari sensor nonGO yang mencapai 38,8%. Hal ini disebabkan karena sensor non-GO tidak memiliki bahan aktif, sehingga menghasilkan sinyal yang lemah dan tidak akurat. Dari segi sensitivitas, sensor GO menunjukkan nilai 4,2 mV/%RH, sementara sensor non-GO hanya mencatat 0,86 mV/%RH, yang mengindikasikan respons rendah dari elektroda karbon biasa terhadap kelembaban. Meski sensor nonGO memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik berkat elektroda karbon murni yang memiliki jalur konduksi optimal, sensor GO tetap lebih efektif dalam mendeteksi pernapasan manusia. Ini disebabkan oleh adanya gugus fungsional di grafena oksida yang dapat berinteraksi dengan molekul air, menjadikannya lebih responsif terhadap kelembaban. Secara keseluruhan, sensor GO menunjukkan performa yang stabil, presisi, dan sensitif dalam mendeteksi berbagai pola pernapasan, sehingga menjadi pilihan yang menarik untuk aplikasi pemantauan pernapasan di masa mendatang.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada sponsor atas dukungan finansial yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Bantuan data tersebut sangat membantu dalam pemenuhan kebutuhan material dan peralatan penelitian. Peneliti juga berterima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan fasilitas dan dukungan selama proses penelitian berlangsung.

7. Referensi

- [1] L. A. Pujana, I. Dwijayanti, and J. Siswanto, "BAHAN AJAR SISTEM PERNAPASAN BERBASIS MODEL PEMBELAJARAN CLIS SERI AKM UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN LITERASI SAINS SISWA SD".
- [2] M. S. Purwanto, Y. Hernawan, and L. Nahroni, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebugaran Paru-Paru Pada Personil TNI (Spirometer) Berbasis Arduino Uno," *J. Tek. Elektro Dan Komput. TRIAC*, vol. 6, no. 1, May 2019, doi: 10.21107/triac.v6i1.5208.
- [3] L. A. S. Lapono, "PERANCANGAN SPIROMETER MENGGUNAKAN SENSOR TEKANAN MPX2010DP," Universitas Gadjah Mada, 2011. Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/52570>
- [4] X. Huang *et al.*, "Graphene-Based Materials: Synthesis, Characterization, Properties, and Applications," *Small*, vol. 7, no. 14, pp. 1876–1902, Jul. 2011, doi: 10.1002/sml.201002009.
- [5] H. Cheraghi Bidsorkhi *et al.*, "Wearable Graphene-based smart face mask for Real-Time human respiration monitoring," *Mater. Des.*, vol. 230, p. 111970, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2023.111970.
- [6] A. Al-Hamry, E. Panzardi, M. Mugnaini, and O. Kanoun, "Human Breathing Monitoring by Graphene Oxide Based Sensors," in *Advanced Sensors for Biomedical Applications*, O. Kanoun and N. Derbel, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 97–107. doi: 10.1007/978-3-030-71225-9_6.
- [7] "Fabrication and Evaluation of a Graphene Oxide-Based Capacitive Humidity Sensor." Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/3/314>
- [8] M. Asrori, W. Y. Rezika, A. T. A. Salim, B. Indarto, and R. T. Nudiansyah, "Kalibrasi Alat Ukur Temperatur dan Kelembapan Kereta Rel Diesel Elektrik," *J. Tek. Terap.*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Oct. 2022, doi: 10.25047/jteta.v1i2.14.
- [9] Universitas Jember and B. E. Cahyono, "Karakterisasi Sensor LDR dan Aplikasinya pada Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Air Berbasis Arduino UNO," *J. Teori Dan Apl. Fis.*, vol. 7, no. 2, pp. 179–186, Jul. 2019, doi: 10.23960/jtaf.v7i2.2247.
- [10] W. Xuan *et al.*, "High sensitivity flexible Lamb-wave humidity sensors with a graphene oxide sensing layer," *Nanoscale*, vol. 7, no. 16, pp. 7430–7436, 2015, doi: 10.1039/C5NR00040H.