

Synthesis and Characterization of PANI/ZnO Composites: Structure and Conductivity Analysis Supervised

Fitri Khairani Nasution*, Lela Mukmilah Yuningsih, Devi Indah Anwar

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi, Indonesia;

Article History

Received : July 20th, 2026

Revised : July 27th, 2026

Accepted : July 31th, 2026

*Corresponding Author: **Fitri Khairani Nasution**, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi, Indonesia; Email:

fkhairani783@ummi.ac.id

Abstract: Technological advances have accelerated the development of functional materials for sensing applications. Polyaniline (PANI) is a conductive polymer with attractive electrical properties, but its gas-sensing performance remains limited. This study aimed to synthesize a PANI/ZnO composite and evaluate its structural and electrical characteristics as a potential gas-sensing material. The composite was prepared by interfacial polymerization and characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-ray Diffraction (XRD), and electrical conductivity measurements. FTIR and XRD analyses confirmed the successful formation of the PANI/ZnO composite through the presence of characteristic functional groups and crystalline phases of both PANI and ZnO, indicating effective interaction between the two materials. The composite exhibited an electrical conductivity of 1.038×10^{-5} S/cm, demonstrating semiconducting behavior suitable for sensing applications. The incorporation of ZnO into the PANI matrix is considered to improve the structural characteristics of the composite while maintaining its electrical conductivity. These findings confirm the successful synthesis of the PANI/ZnO composite and indicate its potential as an active material for gas sensor development. Nevertheless, further studies are required to evaluate its gas-sensing performance, including sensitivity, selectivity, response time, and long-term stability under various operating conditions.

Keywords: Conductivity; Polyaniline; ZnO; PANI/ZnO composite.

Pendahuluan

Zaman yang semakin berkembang, dengan banyaknya teknologi yang semakin canggih menjadi sebab meningkatnya pengembangan terhadap material di berbagai bidang ilmu. Adapun material yang saat ini banyak dikembangkan oleh para ilmuwan seperti Polianilin (PANI) yang merupakan salah satu bahan polimer konduktif yang paling banyak diminati untuk dikaji karena selain memiliki sifat yang stabil, PANI juga merupakan zat yang memiliki sifat listrik yang unik dan terdapat perluasan ikatan secara parsial dengan proses fabrikasi yang dinilai mudah (Prasya dan putri 2021). PANI telah banyak dikembangkan sebagai polimer konduktif yang dapat diaplikasikan terhadap sensor gas,

superkapasitor, baterai, dan sel surya (Akbar *et al.*, 2017) elektromagnetik, terapi fototermal, lapisan anti korosi, penyerapan gelombang mikro dan sebagainya ((Beygisangchin *et al.*, 2021). Di samping keunggulan yang dimiliki oleh polimer tersebut, PANI juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya kapasitas pemrosesan yang rendah menyebabkan aplikasi biologis PANI terbatas, kelarutannya yang cenderung tidak homogen (Maulida dan Putri, 2020).

PANI memerlukan material lain yang bisa menangani kekurangan dari PANI tersebut yang akan digunakan untuk bahan dasar sensor gas amonia (Aras dan Irwan, 2024). PANI digunakan sebagai anoda pada sistem baterai asam sulfat (Roida dan Putri, 2020). Penggunaan PANI sebagai bahan aktif dari pendeteksi alkohol (Roida, 2020). PANI juga dapat

digunakan sebagai elektroda superkapasitor yang dikompositkan dengan material GO (Ahsan *et al.*, 2024). Penelitian (Dirgantari dan Putri, 2023) pengujian lapisan tipis PANI yang dikarakterisasi secara elektrokimia pada elektroda ITO dengan variasi *scan rate* elektrodposisi.

ZnO atau Seng Oksida merupakan salah satu material semikonduktor yang berwujud bubuk serta sukar larut dalam air, ZnO juga merupakan material yang memiliki energi celah pita dengan lebar 3,37 eV serta energi ikatannya sebesar 60 MeV (Saputra *et al.* 2020). Adapun keunggulan yang dimiliki oleh material ZnO ini diantaranya celah energi pita yang cukup besar, stabilitas termal yang cukup baik, transparan terhadap cahaya tampak, dantidak beracun (Lestari dan Wahyudin, 2019). Keunggulan ZnO dapat digunakan sebagai bahan dasar sensor gas, karena cenderung lebih baik dibanding dengan bahan oksida logam lainnya, karena penggunaan ZnO sebagai komposit dapat meningkatkan luas permukaan aktif yang digunakan untuk reaksi penginderaan (Maulida dan Putri, 2020). Selain itu, ZnO juga memiliki manfaat lain seperti dalam penelitian (Zulkarnain, 2024)) dapat digunakan sebagai adsorben dan fotokatalis zat warna.

Penelitian Romadhan (2019) menyatakan hasil sintesis ZnO dapat digunakan sebagai *edible coating*. Penelitian (Andari *et al.*, 2022) menyatakan ZnO bisa dimanfaatkan sebagai komposit terhadap PANI yang akan menghasilkan suatu material dengan dengan berbagai manfaat, misalnya sebagai adsorben gelombang mikro, fotodegradasi zat warna, serta sebagai pelapis anti korosi. Selain itu juga bermanfaat untuk pengindraan gas seperti gas etanol (Hariansyah, 2017) gas metanol (Prasya dan Putri. 2021), gas amonia (Ullah *et al.* 2020).

Berdasarkan uraian diatas untuk mencari alternatif material lain sebagai komposit PANI dalam peningkatan kelemahan PANI, maka dari itu, peneliti akan menggunakan material oksida logam berupa *Zink Okside* (ZnO) dalam upaya peningkatan konduktivitas pada material komposit PANI/ZnO. Dimana, hasil sintesis dari PANI/ZnO akan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, sedangkan nilai konduktivitas akan dilakukan pengukuran menggunakan LCR-Meter.

Bahan dan Metode

Objek, Waktu dan Tempat

Objek penelitiannya adalah PANI/ZnO. Penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan di laboratorium kimia Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Laboratorium FMIPA ITB, FMIPA IPB, dan BSIP TRI.

Alat dan Bahan

Alat penelitian diantara lain yaitu micropipet, pipet tetes, spatula kaca, neraca analitik digital, gelas ukur, gelas beaker, eerlenmeyer, ultrasonification, magnetic stirrer, mortal, kaca arloji, oven laboratorium, alumunium foil, vacuum pump, corong gelas, XRD, FTIR, dan LCR Meter

Bahan-bahan yang digunakan yaitu APS, H₂O₂, Anilin p.a (C₆H₅NH₂) dengan kadar 99,9% (brand Merck), Ammonium peroksidisulfat (NH₄)₂S₂O₈, HCl 37%, toluen (C₇H₈) teknis, Etanol (C₂H₅OH) teknis, Kalium Bromida (KBr), kertas saring Whattman 42, Akuades (H₂O), NmP (N-methyl-Pirrolidone) dan PVA (Polyvinyl Alcohol).

Prosedur Penelitian

Sintesis PANI (Aras *et al.*, 2024)

Sintesis PANI dengan metode polimerisasi. 0,46 mL anilin 2M dilarutkan dalam 1 mL toluen (fasa organik). Kemudian dilarutkan APS sebanyak 1,14 gram di dalam 100 ml larutan HCl dengan konsentrasi 3M (fasa air). Kemudian selama kurang lebih 24 jam fasa organik diteteskan ke dalam fasa air hingga terbentuk endapan biru, kemudian endapan tersebut dicuci dengan HCl 0,1 M, dan akuades secara bertahap. Setelah dicuci, dihasilkan endapan berwarna hijau. Hasil filtrasi tersebut dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60°C. lalu dihasilkan serbuk dengan bentuk dan warna yang khas polianilin dalam bentuk *saltemeraldinee* (ES) berwarna hijau.

Sintesis Komposit PANI/ZnO (Prasya *et al.* 2021)

Sintesis komposit PANI/ZnO menggunakan metode polimerisasi *in-situ* dengan perlakuan pada saat proses fabrikasi komposit PANI/ZnO, serbuk hasil sintesis PANI dicampurkan dengan serbuk ZnO 30% wt dengan PANI lebih dominan kemudian dilarutkan dalam

larutan NmP (N-methyl-Pirrolidone) sebanyak 10 mL, pada proses pencampuran membutuhkan waktu selama 1 jam menggunakan metode *ultrasonic* dengan alat *ultrasonic cleaner*. Yang kemudian disaring serta dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60°C. Setelah kering, sampel dibiarkan sampai suhu ruangan, lalu sampel ditumbuk sampai bubuk dan diayak dengan mesh 80-100 mesh hingga halus. Pada proses pengukuran konduktivitas listrik, komposit PANI/ZnO dibuat menjadi pelet yang prosesnya menggunakan alat press (kompaksi) dengan cara serbuk komposit PANI/ZnO dimasukkan ke kompaksi lalu ditekan selama 3-5 menit dengan adanya campuran PVA 9% pada sampel yang bertujuan untuk melekatkan sampel secara kuat sehingga pada saat karakterisasi dan pengukuran konduktivitas tidak mudah hancur.

Karakterisasi sampel

Hasil sintesis komposit PANI/ZnO dikarakterisasi XRD untuk mengetahui fasa kristalin yang terbentuk, dan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pada komposit PANI/ZnO, serta pengukuran konduktivitas dengan alat LCR Meter untuk mengetahui seberapa besar kemampuan komposit PANI/ZnO dalam menghantarkan arus listrik

Hasil dan Pembahasan

Sintesis polianilin (PANI) pada penelitian ini dibuat dengan bahan baku monomer anilin yang kemudian dikompositkan dengan *Zinc Oxide*, serta karakterisasi komposit menggunakan instrumen yang meliputi FTIR, XRD, dan LCR meter yang bertujuan untuk mengidentifikasi struktur kimia, permukaan, serta sifat kristal yang dihasilkan dari komposit PANI/ZnO. Selain itu, dibahas juga hasil uji konduktivitas. Dimana, data yang sudah diperoleh kemudian dianalisis serta dilakukan perbandingan dengan literatur maupun riset-riset terdahulu dalam upaya memperoleh pemahaman yang lebih mendalam serta komprehensif yang berkaitan dengan komposit PANI/ZnO.

Sintesis Polianilin (PANI)

Sintesis polianilin (PANI) pada penelitian ini berhasil dilakukan melalui metode polimerisasi interfasiyal menggunakan monomer anilin, ammonium peroksidisulfat (APS) sebagai

oksidator, dan HCl sebagai media asam sekaligus dopan (Aras & Irwan, 2024). Metode ini dipilih karena mampu menghasilkan PANI dalam bentuk **emeraldine salt (ES)**, yaitu fase yang memiliki konduktivitas listrik paling tinggi dibandingkan bentuk oksidasi polianilin lainnya. Keberhasilan sintesis ditunjukkan oleh terbentuknya endapan berwarna hijau tua, yang merupakan karakteristik khas emeraldine salt. Warna tersebut mengindikasikan bahwa proses oksidasi dan protonasi berlangsung dengan baik sehingga terbentuk rantai polimer konduktif.

Selama proses polimerisasi, campuran anilin dalam fase organik ditambahkan secara bertahap ke dalam fase air yang mengandung APS dan HCl untuk mempertahankan kestabilan antarmuka reaksi (Beygisangchin *et al.*, 2024; Kaushik *et al.*, 2024; Rahayu *et al.*, 2015). Perubahan warna dari cokelat, biru, ungu, hingga hijau tua mencerminkan perubahan tingkat oksidasi polianilin, mulai dari pembentukan oligomer hingga terbentuknya emeraldine salt sebagai bentuk konduktif yang stabil. Fenomena ini sesuai dengan mekanisme polimerisasi oksidatif, yaitu pembentukan radikal kation anilin yang diikuti propagasi rantai polimer dan protonasi oleh HCl (Rahayu *et al.*, 2015; Kaushik *et al.*, 2024).

Terbentuknya endapan hijau tua menunjukkan bahwa kondisi sintesis yang digunakan mampu menghasilkan PANI terdoping dengan baik. Peran HCl tidak hanya sebagai media reaksi, tetapi juga meningkatkan jumlah pembawa muatan (*charge carrier*) melalui proses protonasi sehingga berkontribusi terhadap peningkatan konduktivitas material (Aras & Irwan, 2024). Setelah sintesis, polimer dicuci menggunakan HCl, etanol, dan akuades untuk menghilangkan residu oksidator, oligomer, serta pengotor anorganik sehingga diperoleh PANI dengan tingkat kemurnian yang lebih baik sebelum proses karakterisasi.

Hasil sintesis berupa serbuk hijau tua (Gambar 1) menunjukkan bahwa PANI berhasil diperoleh dan siap digunakan sebagai matriks pada pembentukan komposit PANI/ZnO. Keberhasilan sintesis ini selanjutnya dikonfirmasi melalui karakterisasi FTIR dan XRD yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi serta struktur kristal khas polianilin pada material komposit. Dengan demikian, pembahasan sintesis tidak hanya didasarkan pada

perubahan warna selama reaksi, tetapi juga didukung oleh hasil karakterisasi yang mengonfirmasi terbentuknya struktur PANI konduktif.



Gambar 1. Serbuk Hasil Sintesis PANI

Sintesis dilakukan selama 24 jam sehingga memungkinkan terbentuknya rantai polimer yang lebih stabil. Tahap pencucian menggunakan HCl, etanol, dan akuades bertujuan menghilangkan sisa oksidator, oligomer, dan pengotor tanpa menghilangkan dopan, sedangkan pengeringan pada suhu 60°C mempertahankan struktur emeraldine salt (Rahayu *et al.*, 2015). Prosedur tersebut menghasilkan serbuk PANI berwarna hijau tua yang mengindikasikan keberhasilan sintesis dan siap digunakan sebagai matriks pada pembentukan komposit PANI/ZnO. Penelitian-penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa PANI hasil interfacial polymerization memiliki stabilitas struktural dan performa yang lebih baik untuk aplikasi sensor, terutama setelah dikompositkan dengan oksida logam semikonduktor seperti ZnO.

Sintesis Komposit PANI/ZnO

Pembentukan komposit PANI/ZnO bertujuan mengombinasikan konduktivitas intrinsik polianilin (PANI) dengan sifat semikonduktor ZnO sehingga diperoleh material dengan karakter listrik dan luas permukaan aktif yang lebih baik dibandingkan masing-masing komponen tunggal. Pada penelitian ini digunakan komposisi ZnO sebesar 30 wt%, yang masih mampu mempertahankan jaringan konduktif PANI sekaligus menyediakan situs aktif ZnO untuk meningkatkan interaksi antarmuka (Hariansyah, 2017). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penambahan ZnO

pada kisaran 20–40 wt% mampu menghasilkan keseimbangan antara konduktivitas dan sensitivitas permukaan, sehingga banyak digunakan sebagai komposisi optimum untuk material sensor berbasis komposit PANI/ZnO (Lee *et al.*, 2022; Foronda *et al.*, 2023; Kaushik *et al.*, 2024).

Proses ultrasonikasi menghasilkan dispersi partikel ZnO yang lebih homogen dalam matriks PANI sehingga mengurangi aglomerasi partikel dan meningkatkan luas kontak antarfase. Dispersi yang homogen penting karena membentuk antarmuka PANI–ZnO yang lebih efektif untuk proses transfer muatan, sedangkan distribusi ZnO yang tidak merata dapat meningkatkan hambatan listrik akibat terputusnya jalur konduksi elektron (Prasya & Putri, 2021). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Zegebre *et al.*, (2023) dan Foronda *et al.*, (2023) yang melaporkan bahwa homogenitas dispersi nanopartikel ZnO merupakan faktor utama yang menentukan performa listrik dan stabilitas komposit PANI/ZnO.

Selain itu, interaksi antara gugus amina pada PANI dengan permukaan ZnO selama proses pencampuran diduga membentuk antarmuka heterojunction organik–anorganik. Antarmuka tersebut berperan sebagai jalur perpindahan muatan (charge transfer pathway) yang memfasilitasi transport elektron melalui mekanisme electron hopping, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan sifat semikonduktif komposit. Mekanisme ini telah banyak dilaporkan pada komposit PANI/ZnO untuk aplikasi sensor gas, meskipun pada penelitian ini belum dilakukan pengujian sensor secara langsung (Wuloh & Agorku, 2023; Singh *et al.*, 2024). Oleh karena itu, komposit yang dihasilkan berpotensi dikembangkan sebagai material aktif sensor gas, namun potensi tersebut masih memerlukan verifikasi melalui pengujian sensitivitas, selektivitas, dan stabilitas sensor.

Hasil Karakterisasi dan pengukuran konduktivitas Komposit PANI/ZnO

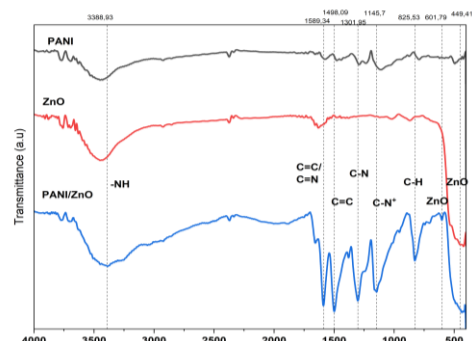
Hasil Karakterisasi FTIR

Karakterisasi Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi serta mengevaluasi interaksi kimia antara polianilin (PANI) dan ZnO setelah pembentukan komposit. Spektrum FTIR (Gambar 2) menunjukkan bahwa pita serapan khas PANI

tetap dipertahankan setelah penambahan ZnO, disertai munculnya pita khas Zn–O pada bilangan gelombang rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa struktur utama PANI tetap stabil selama proses sintesis, sementara ZnO berhasil terintegrasi ke dalam matriks polimer.

Spektrum PANI murni memperlihatkan pita karakteristik pada 1571 cm^{-1} (regangan cincin quinoid), 1477 cm^{-1} (cincin benzenoid), 1290 cm^{-1} (regangan C–N), 1111 cm^{-1} (C–N⁺ pada bentuk terdoping), dan 3450 cm^{-1} (regangan N–H). Sementara itu, ZnO menunjukkan pita khas ikatan Zn–O pada $449,41\text{ cm}^{-1}$, yang merupakan karakteristik struktur kristal wurtzite. Hasil tersebut sesuai dengan karakteristik FTIR PANI dan ZnO yang telah dilaporkan oleh Prasaya

dan Putri (2021). Detail bilangan yang dihasilkan dari karakterisasi FTIR telah disajikan dalam tabel 6.



Gambar 2. Hasil karakterisasi FTIR PANI, ZnO, dan PANI/ZnO

Tabel 1. Hasil karakterisasi FTIR komposit PANI/ZnO

Hasil Analisis FT-IR Polianilin		
Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Golongan
3450.65	<i>Stretching</i> -OH, -NH	Hidroksil dan amina sekunder
2924	<i>Stretching</i> C-H alifatik	Alkana
1571	<i>Stretching</i> C=C	Aromatik quinoid
1477	<i>Stretching</i> C=C	Aromatik Benzoid
1290	<i>Bending</i> C-N	Regangan rantai polimer
1236	<i>Bending</i> C-H	Alkana
1111	<i>Stretching</i> C-N ⁺	Regangan terprotonasi
495	<i>Bending</i> C-H	Out-of-plane cincin aromatik
Hasil Analisis FT-IR ZnO (Zink Oxide)		
3448,72	O-H hidroksil	Hidroksil
2926.01	<i>Stretching</i> C-H (alkil)	Alkana
2856.58	<i>Stretching</i> C-H (metilen)	Alkana
1631.78	<i>Stretching</i> C=O	Karbonil
1020.34	<i>Stretching</i> C-O	Alkohol/eter
869.90	<i>Bending</i> C-H	Aromatik
449.41	<i>Stretching</i> Zn-O	Logam-oksida khas ZnO
422.41	<i>Stretching</i> Zn-O	Logam-oksida khas ZnO
Hasil Analisis FT-IR Komposit PANI/ZnO		
3388.93	<i>Stretching</i> O-H/ gugus N-H	ikatan hydrogen/amina
3035.96	<i>Stretching</i> C-H	Aromatik
2924.09	<i>Stretching</i> C-H Alifatik	Alifatik PANI
1656.85	<i>Bending</i> C=C	Cincin Aromatik PANI
1589.34	<i>Bending</i> C=N/ C=C	PANI struktur quinoid
1498.69	<i>Stretching</i> C=C benzoid	Cincin Aromatik
1379.10	<i>Stretching</i> C-N	Benzoid
1301.95	<i>Bending</i> C-N/C-H	quinoid
1145.7	<i>Stretching</i> C-N ⁺	Bentuk doped PANI
956.69-705.95	<i>Bending</i> C-H	Out-of-plane cincin aromatik
601,79	Gugus Zn-O	Logam-oksida khas ZnO
435.91	Gugus Zn-O	Logam-oksida khas ZnO

Komposit PANI/ZnO, pita-pita khas PANI masih terdeteksi pada $1589,34\text{ cm}^{-1}$, $1498,69\text{ cm}^{-1}$, $1301,95\text{ cm}^{-1}$, dan $1145,70\text{ cm}^{-1}$, sedangkan pita Zn–O muncul pada $601,79\text{ cm}^{-1}$ dan $435,91\text{ cm}^{-1}$. Dibandingkan PANI murni, terjadi pergeseran bilangan gelombang (peak shifting) pada pita quinoid dan benzenoid serta perubahan intensitas beberapa pita. Pergeseran tersebut menunjukkan adanya interaksi antara gugus amina ($-\text{NH}$) dan imina ($=\text{N}-$) PANI dengan permukaan ZnO melalui ikatan hidrogen maupun interaksi elektrostatik. Dengan demikian, ZnO tidak hanya bercampur secara fisik, tetapi membentuk antarmuka (interfacial interaction) dengan matriks polianilin. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Kaushik *et al.*, (2024) dan Lee *et al.*, (2022) yang menyatakan bahwa pergeseran pita FTIR merupakan indikator terbentuknya interaksi antarfasa pada komposit PANI/ZnO.

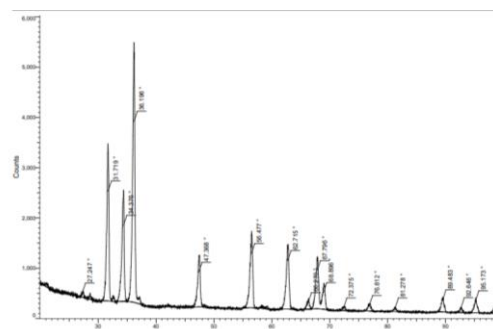
Selain itu, perubahan intensitas pita $\text{C}-\text{N}^+$ di sekitar 1145 cm^{-1} menunjukkan bahwa proses doping pada PANI tetap dipertahankan setelah penambahan ZnO. Keberadaan pita tersebut penting karena berkaitan dengan delokalisasi elektron yang berkontribusi terhadap sifat konduktif material. Oleh karena itu, hasil FTIR tidak hanya mengonfirmasi keberhasilan pembentukan komposit, tetapi juga menunjukkan bahwa struktur kimia PANI masih mampu mempertahankan jalur penghantaran muatan meskipun telah dikombinasikan dengan ZnO.

Hasil Karakterisasi XRD

Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengevaluasi struktur kristal komposit PANI/ZnO. Difraktogram (Gambar 3) menunjukkan puncak difraksi utama ZnO pada $2\theta = 36,20^\circ$ dengan d-spacing $2,47972\text{ \AA}$, yang sesuai dengan struktur kristal heksagonal wurtzite. Sementara itu, puncak khas PANI muncul pada $2\theta = 27,247^\circ$ dengan d-spacing $3,27039\text{ \AA}$. Keberadaan kedua puncak tersebut menunjukkan bahwa fase kristalin ZnO dan fase semi-kristalin PANI tetap dipertahankan setelah pembentukan komposit.

Dibandingkan penelitian Prasya dan Putri (2021), puncak ZnO pada penelitian ini berada pada posisi yang hampir sama ($36,20^\circ$ vs $36,19^\circ$), sedangkan puncak PANI mengalami sedikit pergeseran dari $31,74^\circ$ menjadi $27,247^\circ$. Pergeseran tersebut mengindikasikan adanya

interaksi antarfasa akibat penambahan ZnO yang memengaruhi keteraturan rantai polimer. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Zegebreah *et al.*, (2023) dan Wuloh & Agorku (2023), yang menyatakan bahwa perubahan posisi puncak difraksi merupakan indikasi terbentuknya heterojunction antara polimer konduktif dan oksida logam.



dalam menghantarkan arus listrik setelah proses pembentukan komposit. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa komposit PANI/ZnO memiliki resistansi sebesar $764,57 \, \Omega$ dengan nilai konduktivitas $1,038 \times 10^{-5} \, \text{S/cm}$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa material masih berada dalam kategori semikonduktif, sehingga berpotensi digunakan sebagai material aktif pada sensor berbasis polimer konduktif. Namun demikian, potensi tersebut masih memerlukan verifikasi melalui pengujian sensitivitas, selektivitas, dan stabilitas terhadap gas target karena penelitian ini belum melakukan pengujian sensor secara langsung.

Nilai konduktivitas yang diperoleh berkaitan erat dengan karakteristik struktur material yang telah dikonfirmasi melalui analisis FTIR dan XRD. Hasil FTIR menunjukkan adanya pergeseran pita quinoid, benzenoid, dan C–N setelah penambahan ZnO, yang mengindikasikan terbentuknya interaksi antarmuka antara gugus amina PANI dan permukaan ZnO. Sementara itu, analisis XRD menunjukkan keberadaan kedua fase kristal dengan ukuran kristal rata-rata $41,80 \, \text{nm}$ dan kristalinitas $89,9\%$, yang mengindikasikan bahwa struktur kristalin ZnO tetap dipertahankan tanpa menghilangkan karakter semi-kristalin PANI. Kombinasi kedua hasil tersebut menunjukkan terbentuknya heterojunction PANI/ZnO yang berperan dalam memfasilitasi perpindahan muatan pada antarmuka material (Zegebreah *et al.*, 2023; Kaushik *et al.*, 2024).

Mekanisme penghantaran listrik pada komposit diduga berlangsung melalui *electron hopping* pada rantai polianilin yang dipadukan dengan transfer elektron pada antarmuka PANI–ZnO. Kehadiran ZnO sebagai semikonduktor oksida logam tidak hanya menyediakan situs aktif permukaan, tetapi juga membentuk daerah heterojunction yang dapat memengaruhi distribusi pembawa muatan. Meskipun penambahan ZnO cenderung menurunkan kontinuitas jalur konduksi pada matriks PANI karena sifat intrinsik ZnO yang kurang konduktif dibandingkan PANI terdoping, interaksi antarfasa tersebut diduga meningkatkan stabilitas listrik dan memperbaiki respons material terhadap adsorpsi molekul gas (Lee *et al.*, 2022; Wuloh & Agorku, 2023). Dengan demikian, sifat listrik komposit merupakan hasil keseimbangan

antara penurunan jalur konduksi polimer dan peningkatan kualitas antarmuka PANI–ZnO.

Nilai konduktivitas $1,038 \times 10^{-5} \, \text{S/cm}$ pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Hariansyah (2017) yang melaporkan konduktivitas $5,45 \times 10^{-6} \, \text{S/cm}$ pada komposit PANI/ZnO, serta lebih tinggi dibandingkan hasil Prasya dan Putri (2021) sebesar $2,98 \times 10^{-6} \, \text{S/cm}$ (PANI/ZnO 10%), $2,14 \times 10^{-6} \, \text{S/cm}$ (20%), dan $1,58 \times 10^{-6} \, \text{S/cm}$ (30%). Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh variasi metode sintesis, tingkat protonasi PANI, homogenitas dispersi ZnO, ukuran kristal, serta kualitas pembentukan antarmuka komposit. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa proses *interfacial polymerization* dan dispersi nanopartikel yang homogen berkontribusi terhadap peningkatan jalur transport elektron dan performa listrik komposit PANI/ZnO (Zhang *et al.*, 2023; Luo *et al.*, 2023; Sui *et al.*, 2023).

Secara keseluruhan, hasil FTIR, XRD, dan pengukuran konduktivitas menunjukkan hubungan struktur–sifat (*structure–property relationship*) yang konsisten. Interaksi kimia yang teridentifikasi melalui FTIR, pembentukan fase kristalin yang dikonfirmasi oleh XRD, serta nilai konduktivitas yang masih berada pada rentang semikonduktor mengindikasikan bahwa komposit PANI/ZnO berhasil disintesis dan memiliki karakteristik yang berpotensi mendukung pengembangan material aktif untuk sensor gas maupun perangkat elektronik berbasis polimer konduktif. Namun, diperlukan karakterisasi lanjutan seperti SEM/TEM, EDX, BET, serta pengujian performa sensor secara langsung untuk mengonfirmasi potensi aplikasinya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa komposit PANI/ZnO telah disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi *In-situ* dan terkonfirmasi melalui hasil karakterisasi FTIR dan XRD. Spektrum FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi khas PANI pada puncak $3388,93 \, \text{cm}^{-1}$ dan puncak $1498,69 \, \text{cm}^{-1}$. Sedangkan puncak khas ZnO ada pada $601,79 \, \text{cm}^{-1}$. Difraktogram XRD menunjukkan adanya puncak difraksi ZnO yaitu $2\theta = 36,20^\circ$ dengan *d-spacing* $2,47972 \, \text{\AA}$ dan difraksi khas PANI yaitu $2\theta = 27,247^\circ$ dengan *d-*

spacing 3.27039 Å dengan kristalinitas sebesar 89,9% serta berdasarkan perhitungan *full width half maximum* (FWHM) ukuran kristal rata-rata pada komposit PANI/ZnO sebesar 41,8012 nm. Kemudian, nilai konduktivitas komposit PANI/ZnO dihasilkan sebesar $1,038 \times 10^{-5}$ S/cm

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan artikel ini.

Referensi

- Ahsan, Q. A., Kusumawati, D. H., & Fitriana. (2024). Karakteristik komposit PANI/GO sebagai elektroda superkapasitor. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 13(3), 74–81. <https://doi.org/10.26740/ifi.v13n3.p74-81>
- Akbar, S. A., Ainun, M., Nurdin, S., & Lelifajri. (2017). Sintesis dan karakterisasi polianilina (PANI) dengan variasi doping asam kuat menggunakan metoda elektrodeposisi. *Sintesis*, 1, 557–559.
- Andari, D., & Adfa, M. (2022). Komposit polianilin/logam oksida: Sintesis, karakterisasi, dan aplikasi: Sebuah telaah pustaka. *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(1), 128–134.
- Aras, N. R. M., & Irwan, M. (2024). Sintesis polianilin (PANI) dengan metode polimerisasi interfisial sebagai bahan dasar pembuatan sensor gas amonia (NH₃). *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 19(1), 33–41.
- Beygisangchin, M., Abdul Rashid, S., Shafie, S., Sadrolhosseini, A. R., & Lim, H. N. (2021). Preparations, properties, and applications of polyaniline and polyaniline thin films—A review. *Polymers*, 13(12), 2003. <https://doi.org/10.3390/polym13122003>
- Dirgantari, F., & Putri, N. P. (2023). Karakteristik elektrokimia lapisan tipis PANI dengan variasi *scan rate* elektrodeposisi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2), 103–108. (DOI tidak ditemukan).
- Foronda, J. R. F., Aryaswara, L. G., Santos, G. N. C., Raghu, S. N. V., & Muflikhun, A. (2023). Broad-class volatile organic compounds (VOCs) detection via polyaniline/zinc oxide (PANI/ZnO) composite materials as gas sensor application. *Heliyon*, 9(2), e13544. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13544>
- Hariansyah, A. P. (2017). *Sintesis dan karakterisasi komposit PANI/ZnO sebagai aplikasi sensor gas etanol* [Skripsi sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Kaushik, P., Bharti, R., Sharma, R., Verma, M., Olsson, R. T., & Pandey, A. (2024). Progress in synthesis and applications of Polyaniline-Coated Nanocomposites: A comprehensive review. *European Polymer Journal*, 221, 113574. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113574>
- Lee, C.-H., Lin, H.-N., et al. (2022). Interlinked polyaniline/ZnO nanorod composite for selective NO₂ gas sensing at room temperature. *ACS Applied Nano Materials*, 5(4), 5055–5065. <https://doi.org/10.1021/acsanm.1c04519>
- Lestari, V. P., Abrar, A., & Fathonah, I. W. (2019). Sintesis nanostruktur ZnO dengan metode hidrotermal untuk aplikasi sensor gas butana. *eProceedings of Engineering*, 6(2), 5376–5382.
- Luo, Y., Zhang, Z., Li, X., Wang, C., & Huang, Y. (2023). Unraveling bilayer interfacial features and their effects in polar polymer nanocomposites. *Nature Communications*, 14, Article 41479. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41479-0>
- Maulida, L. N., & Putri, N. P. (2022). Karakteristik komposit PANI/ZnO sebagai bahan dasar sensor gas. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 11(2), 38–43.
- Prasya, I. S. A. F., & Putri, N. P. (2021). Sintesis dan karakterisasi komposit PANI/ZnO sebagai sensor gas metanol. *Jurnal Fisika Unand*, 10(3), 317–323.
- Rahayu, I., Wijayati, A., & Hidayat, S. (2015). Sintesis dan karakterisasi polianilina doping asam klorida dengan metode interfisial. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1),

- 74–79.
<https://doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3143>
- Roida, E. D., & Putri, N. P. (2020). Aplikasi polianilin sebagai bahan aktif pendeteksi alkohol. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 152–162.
- Saputra, I. S., Siti, S., Yoki, Y., & Sudirman. (2020). Green synthesis nanopartikel ZnO menggunakan media ekstrak daun tin (*Ficus carica* Linn.). *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 42(1), 1–6.
[10.24817/jkk.v42i1.5501](https://doi.org/10.24817/jkk.v42i1.5501)
- Sui, X., Zhao, Y., Wang, L., & Zhang, H. (2023). Interfacial polymer architecture can control nanoparticle dispersion and rheological behavior of nanocomposites. *European Polymer Journal*, 196, 112320.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112320>
- Ullah, N., Jan, F. A., Ansir, R., & Muhammad, W. (2020). Application of modified PANI–ZnO composites for NH₃ gas sensor at ambient temperature. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 42(6), 390–398.
- Wuloh, J., & Agorku, E. S. (2023). Modification of metal oxide semiconductor gas sensors using conducting polymer materials. *Journal of Sensors*, 2023, 7427986.
<https://doi.org/10.1155/2023/7427986>
- Yuningsih, L. M., Mulyadi, D., & Fauziyah, Y. M. (2018). Sintesis komposit polianilin-karbon aktif dari tongkol jagung sebagai elektrolit padat pada baterai. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 4(2), 119–123.
- Zegebreal, L. T., Tegegne, N. A., & Hone, F. G. (2023). Recent progress in hybrid conducting polymers and metal oxide nanocomposite for room-temperature gas sensor applications: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 359, 114472.
<https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114472>
- Zhang, X., Li, Y., Wang, J., & Chen, H. (2023). Electrochemically engineered hybrid nanoarchitectures of polymers and nanoparticles. *Giant*, 13, 100137.
<https://doi.org/10.1016/j.giant.2022.100137>