

Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANi/ZnO sebagai Sensor Gas Metanol

Isaac Salman Al-Faris Prasya, Nugrahani Primary Putri*

Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan:
Direvisi:
Diterima:

Kata kunci:

Gas Metanol
Polianilin
Sensor
Zinc Oxide

Keywords:

Methanol Gas
Polyaniline
Sensor
Zinc Oxide

Penulis Korespondensi:

Nugrahani Primary Putri
Email:
nugrahaniprimary@unesa.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis dan karakterisasi komposit PANi/ZnO untuk mengetahui karakteristik komposit PANi/ZnO serta membandingkan nilai sensitivitas sensor terhadap gas metanol pada variasi konsentrasi gas metanol yang berbeda. Metode yang digunakan dalam sintesis komposit PANi/ZnO adalah polimerisasi in-situ dengan variasi komposisi ZnO yang digunakan yaitu 10%, 20% dan 30%. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya beberapa jenis ikatan karakteristik PANi/ZnO dari semua sampel hasil sintesis. Pola XRD menunjukkan puncak tertinggi karakteristik ZnO terletak pada $36,19^\circ$, sedangkan pola difraksi karakteristik PANi terletak pada $31,74^\circ$ dengan struktur kristal ortorombik. Morfologi sampel diamati menggunakan SEM hasilnya menunjukkan bahwa sampel PANi/ZnO 30% memiliki struktur *ovoidal-shaped* dan berpori dengan diameter 378 nm. Hasil pengukuran konduktivitas listrik menunjukkan nilai konduktivitas listrik dari sampel PANi murni memiliki nilai tertinggi yaitu $3,58 \times 10^{-6}$ S/cm, akan tetapi nilai konduktivitas listrik mengalami penurunan seiring dengan penambahan komposisi ZnO. Penggunaan komposit PANi/ZnO 30% sebagai bahan sensor gas metanol mampu menghasilkan nilai sensitivitas yang relatif tinggi, semakin tinggi konsentrasi gas metanol maka sensitivitas sensor semakin meningkat. Dengan demikian disimpulkan bahwa sampel komposit PANi/ZnO 30% merupakan sampel terbaik sebagai bahan sensor dalam mendeteksi gas metanol.

*In this study, the synthesis and characterization of the PANi/ZnO composite was carried out to determine the characteristics of the PANi/ZnO composite and to compare the sensitivity of the sensor to methanol gas at different concentrations of methanol gas. The method used in the synthesis of PANi/ZnO composites was in-situ polymerization with variations in the composition of ZnO used, namely 10%, 20% and 30%. The results of FTIR characterization showed the presence of several types of characteristic PANi/ZnO bonds from all synthesized samples. The XRD pattern shows the highest peak characteristic of ZnO is located at 36.19° , while the characteristic diffraction pattern of PANi is located at 31.74° with an orthorhombic crystal structure. The morphology of the sample was observed using SEM. The results showed that the 30% PANi/ZnO sample had an *ovoidal-shaped* structure and was porous with a diameter of 378 nm. The electrical conductivity measurement results show that the electrical conductivity value of the pure PANi sample has the highest value, namely 3.58×10^{-6} S/cm, but the electrical conductivity value decreases with the addition of ZnO composition. The use of 30% PANi/ZnO composite as a sensor material for methanol gas is able to produce a relatively high sensitivity value, the higher the concentration of methanol gas, the sensitivity of the sensor will increase. Thus it was concluded that the 30% PANi/ZnO composite sample was the best sample as a sensor material in detecting methanol gas.*

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Gas metanol telah digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti, sebagai bahan dasar cat, cairan pembersih kaca dan masih banyak lagi. Gas metanol sangat mudah terbakar, cepat menguap, dan sangat beracun bila terhirup oleh makhluk hidup. Efek dari menghirup gas tersebut dengan konsentrasi rendah dapat menyebabkan sakit kepala (vertigo), mual, dan muntah. Bila dihirup secara berlebihan dapat menyebabkan kematian karena gas tersebut mempengaruhi sistem saraf pusat (Paulraj *et al.*, 2017). Dari kondisi ini, sangat penting untuk membuat sensor pendeteksi gas metanol, agar dapat cepat teratasi jika terjadi kebocoran gas.

Senyawa oksida logam memiliki kompatibilitas yang lebih baik dibanding senyawa lainnya jika diaplikasikan sebagai sensor gas. Hal ini dikarenakan senyawa oksida logam sangat sensitif terhadap gas dan merupakan perangkat yang sederhana, portabel, dan hemat biaya (Sen *et al.*, 2018). Selain itu, oksida logam dapat diintegrasikan dengan sangat baik menggunakan teknologi baru seperti *Internet of Things (IoT)* untuk pemantauan kebocoran metanol secara mobile (Paulraj *et al.*, 2017) sehingga kecelakaan besar dapat dihindari dalam waktu singkat

Di antara oksida logam, ZnO telah menjadi salah satu pesaing terkuat sebagai bahan dasar sensor gas. ZnO yang berstruktur nano memiliki sifat unik seperti titik isoelektrik yang tinggi, dan menjadi bahan semikonduktor tipe-n yang transparan dengan celah pita lebar sebesar (3,37 eV) (Sparrevik & Breedveld, 2020) yang tidak beracun (Patil *et al.*, 2012). Bahan semikonduktor anorganik ZnO memiliki keunggulan mereka sendiri karena dapat diterapkan pada aplikasi yang luas, misalnya, sensor gas, sensor kimia, bio-sensor, perangkat optik dan listrik, dan sel surya (Mostafaei & Zolriasatein, 2012). Pada penelitian sebelumnya, berbagai struktur nano ZnO telah digunakan untuk membuat sensor sebagai pendeteksi alkohol, aldehida, keton, banyak gas/uap pengoksidasi dan pereduksi lainnya (Paulraj *et al.*, 2017). Peneliti sebelumnya juga telah menemukan nilai sensitivitas dari ZnO terhadap salah satu gas yang berbahaya yaitu gas hidrogen, dengan nilai sensitivitas yaitu 6,67% (Riwanda and Elvaswer, 2017). Kekurangan dari senyawa oksida logam jika diaplikasikan sebagai sensor gas adalah senyawa tersebut membutuhkan suhu aktivasi yang tinggi. Untuk menanggulangi kekurangan itu, perlu dibuat komposit antara senyawa oksida logam dengan senyawa lain yang mempunyai suhu aktivasi yang lebih rendah, semisal dengan polimer konduktif.

Polianilin (PANI) adalah salah satu bahan yang paling menonjol di antara polimer konduktif karena memiliki sifat kelistrikan yang unik, stabilitas lingkungan yang baik, proses fabrikasi yang mudah (Alam *et al.*, 2013). Selain dapat digunakan untuk sensor gas PANi dapat diaplikasikan sebagai kapasitor, baterai, *organic light emitting diodes*, dan *organic photovoltaic cells* (Akbar Ali, 2017), (Djelad and Benyoucef, 2021). PANi dapat menurunkan suhu aktivasi sensor gas berbasis oksida logam. Oleh karena itu para peneliti banyak yang tertarik untuk meneliti nanokomposit PANi/oksida logam sebagai *device* sensor gas (Saaedi, Shabani and Yousefi, 2019).

Hibridisasi oksida logam dan polimer konduktor dapat meningkatkan sifat oksida logam murni atau polimer konduktor yang berbasis sensor gas dan bahan sintesis baru menunjukkan efek sinergis dari kedua bahan tersebut. Nanokomposit dari bahan polimer memiliki rasio aspek besar, area permukaan besar untuk rasio volume dan porositas besar, bahan-bahan tersebut yang terbaik untuk penginderaan gas yang berbeda karena daya serap yang lebih besar untuk analit gas (Paulraj *et al.*, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanokomposit PANi/ZnO dan mengaplikasikannya sebagai sensor gas metanol. Sintesis nanokomposit PANi/ZnO dilakukan dengan metode pencampuran dengan variasi komposisi ZnO. Karakteristik nanokomposit PANi/ZnO yang diteliti adalah gugus fungsi, nilai konduktivitas listrik, morfologi, dan sensitivitas terhadap gas metanol.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu micropipet, pipet tetes, spatula kaca, neraca analitik digital, gelas ukur, gelas beaker, *erlenmeyer*, *ultrasonification*, *magnetic stirrer*, mortal, kaca arloji, oven laboratorium, aluminium foil, kertas saring, *vacuum pump*, corong gelas. Kemudian untuk bahan-bahan yang digunakan adalah ZnO, HCl, APS, Metanol, PVA, Aquades, dan anilin.

2.2 Sintesis PANI

Sintesis PANi dilakukan dengan metode oksidasi. Langkah pertama, campur anilin sebanyak 1,87 ml dengan larutan HCl 1M, kemudian dibiarkan selama 1 jam tanpa diganggu. Kemudian mencampurkan APS sebanyak 5,7 gram dengan 50 ml aquades dan dibiarkan selama 1 jam. Langkah selanjutnya mencampurkan kedua larutan dan di aduk menggunakan magnetik stirer selama 1 jam. Endapan akan muncul setelah larutan didiamkan selama 24 jam. Endapan dicuci menggunakan aseton dan aquades sampai bening lalu dipanaskan pada suhu 60° selama 24 jam. Setelah kering, serbuk PANi dihaluskan lalu diayak (Wulandari and Putri, 2021).

2.3 Sintesis PANi/ZnO

Pada sintesis ini digunakan metode polimerisasi in-situ, Pada proses fabrikasi komposit PANi/ZnO, serbuk PANi hasil sintesis dicampurkan dengan serbuk ZnO dan di larutkan dengan larutan NmP (N-methyl-Pyrrolidone) sebanyak 10 ml, dengan variasi komposisi massa sebesar yaitu 10%, 20% dan 30%. dengan PANi yang lebih dominan. Proses pencampuran menggunakan metode *ultrasonic* dengan alat *ultrasonic cleaner* selama 1 jam, lalu disaring dan di keringkan dengan suhu 60° selama 24 jam. Setelah sampel kering biarkan sampai mencapai suhu ruangan, tumbuk sampel sampai menjadi bubuk, ayak sampel agar menjadi halus. Untuk mengukur konduktivitas listrik, komposit PANi/ZnO harus dibentuk menjadi pelet. Proses pembuatan pelet dengan cara memasukkan serbuk PANi/ZnO kedalam alat press (kompaksi) kemudian alat tersebut ditekan selama 3 – 5 menit dengan campuran PVA 1 gr pada masing-masing sampel agar pelet melekat secara kuat dan tidak mudah hancur saat dilakukan uji sensitivitas.

2.4 Karakterisasi

Uji yang dilakukan adalah FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi nanokomposit PANi/ZnO, uji XRD untuk mempelajari struktur nanokomposit. Uji lain yang digunakan adalah pengukuran konduktivitas listrik menggunakan 4 point probe (FPP) dan pengamatan morfologi permukaan menggunakan SEM EDX.

2.5 Pengambilan Data Sensor

Untuk pengambilan data sensitivitas terhadap gas metanol, pelet yang sudah jadi dijepit dengan penjepit yang sudah terhubung ke sirkuit arus dc dan diletakkan ke dalam box sensor, kemudian alkohol di teteskan kedalam box dengan konsentrasi tertentu secara terus menerus selama proses pengambilan data berlangsung. Konsentrasi gas metanol dapat dihitung dengan persamaan (Han and Zhao, 2020).

$$C = \frac{(22,4 \times V_L \times \rho_L \times \phi \times 1000)}{(M \times V)} \quad (1)$$

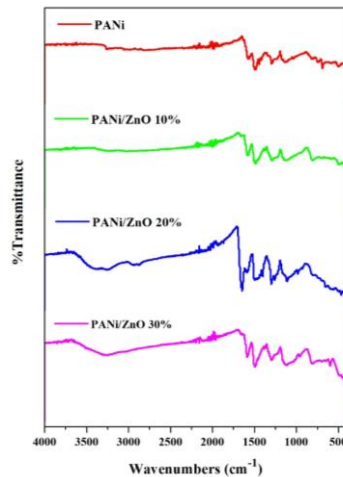
Dengan diketahui C: konsentrasi metanol (ppm), V_L : volume methanol, ρ_L : massa jenis methanol, ϕ : fraksi volume metanol yang dibutuhkan, M: berat molekul metanol target, dan V: volume ruangan. Respon sampel ketika mendeteksi gas metanol dapat diamati dengan waktu respon, dan sensitivitas sensor. Paparan gas metanol dalam ruang uji dengan resistansi dari sampel dapat dihitung dengan persamaan (Han and Zhao, 2020).

$$S = \frac{\Delta R}{R_0} \times 100\% \quad (2)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Uji FTIR

Setelah komposit dari PANi/ZnO diuji FT-IR, komposit kemudian di analisis untuk mengetahui gugus fungsi dari komposit PANi ZnO dengan komposisi ZnO yang berbeda-beda. Sampel yang diujikan adalah sampel berupa serbuk.



Gambar 1 Spektrum FT-IR komposit PANi/ZnO 10%, 20%, 30%

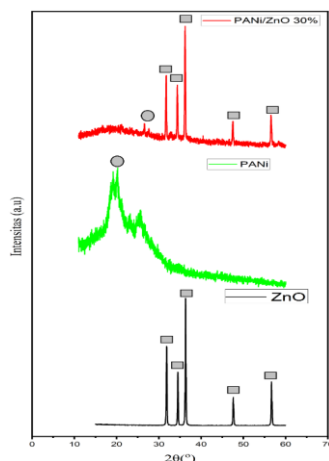
Tabel 1 Rangkuman Pengamatan Spektrum FTIR komposit Pani/ZnO

| Data Sheet | Referensi PANi/ZnO | Eksperimen 10% ZnO | Eksperimen 20% ZnO | Eksperimen 30% ZnO | Jenis ikatan |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 1650-1560 | 1583 | 1583.06 | 1651.62 | 1585.36 | C=C stretching of quinoid |
| 1500-1400 | 1488 | 1488.50 | 1495.69 | 1494.58 | C=C stretching of benzenoid chain |
| 1335-1250 | 1300 | 1288.49 | 1299.40 | 1296.25 | C-N stretching |
| 1250-1020 | 1121 | 1138.88 | 1112.22 | 1119.06 | stretching of N=Q=N |
| 850-550 | 813 | 807.01 | 806 | 805.09 | N-H Bonding |

Gambar 1 menunjukkan spektrum PANi dan komposit PANi/ZnO dengan variasi massa ZnO berbeda. Adapun ringkasan pengamatan spektrum FTIR dari komposit PANi/ZnO ditunjukkan pada Tabel 1. Dari grafik yang dihasilkan bahwa betuk dari gelombang Polyaniline dengan komposit PANi/ZnO tidak berbeda jauh, lalu pada puncak tajam 599 cm^{-1} menunjukkan keberadaan partikel ZnO, dan pada gelombang 1585, 1494, 1378, 1119, dan 805 cm^{-1} menunjukkan karakteristik PANi, yang sesuai dengan C=C stretching of quinoid, C=C stretching of benzenoid chain, C-N stretching, stretching of N=Q=N, N-H Bonding. Dari data seluruh sampel yang telah diambil telah mirip dengan jurnal yang di dijadikan referensi (Paulraj *et al.*, 2017).

3.2 Hasil Uji XRD

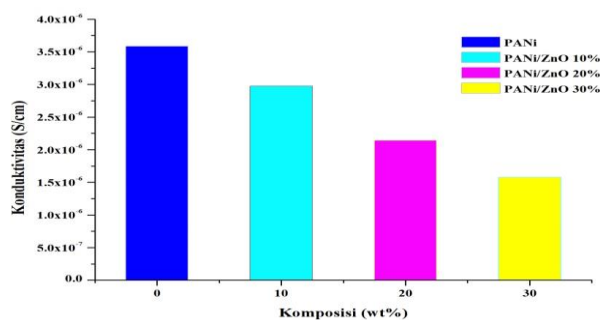
Hasil dari uji XRD terhadap sampel serbuk PANi/ZnO dianalisis untuk mengetahui struktur dari komposit PANi/ZnO dan hasil di bandingkan dengan penelitian (Paulraj *et al.*, 2017). Hasil uji XRD ditunjukkan pada Gambar 2. merupakan pola XRD PANi dan PANi/ZnO 30%. Puncak tertinggi (101) derajat ZnO pada 36.19° Pola XRD PANi menunjukkan adanya pola difraksi karakteristik polianilin dengan struktur kristal ortorombik. Pola yang terletak pada $31,74^\circ$ adalah bahan PANi, dari difraksi yang telah ditampilkan oleh XRD bahwa hasil hampir sama dari referensi yang di acu (Paulraj *et al.*, 2017). Dengan konsentrasi ZnO 30%, pola difraksi menunjukkan lebih banyak puncak ZnO.



Gambar 2 Pola XRD dari komposit PANi/ZnO 30%, PANi dan ZnO

3.3 Hasil Uji Konduktivitas Listrik

Hasil pengukuran konduktivitas listrik menggunakan instrumen *four-point-probe* dari PANi murni dan nanokomposit PANi/ZnO ditunjukkan pada Gambar 6. Telihat bahwa nilai konduktivitas listrik dari sampel PANi murni memiliki nilai tertinggi yaitu $3,58 \times 10^{-6}$ S/cm. Akan tetapi nilai konduktivitas listrik mengalami penurunan seiring dengan penambahan komposisi ZnO. Penurunan konduktivitas listrik ini dapat disebabkan oleh perilaku ZnO dalam nanokomposit atau pengurangan derajat doping. Selain itu, penurunan konduktivitas listrik dapat dikaitkan dengan adanya pembentukan ikatan dalam struktur nanokomposit, terjadi proses adsorpsi $-NH$ dari PANi pada permukaan ZnO. Telah diketahui juga bahwa nilai konduktivitas suatu material tergantung pada sifat dopan dan komposisi bahan anorganik, semakin sedikit komposisi bahan anorganik yang digunakan dalam pembentukan material komposit maka nilai konduktivitas listrik semakin tinggi (Mostafaei and Zolriasatein, 2012b).



Gambar 3 Grafik konduktivitas listrik nanokomposit PANi/ZnO dengan variasi komposisi berbeda

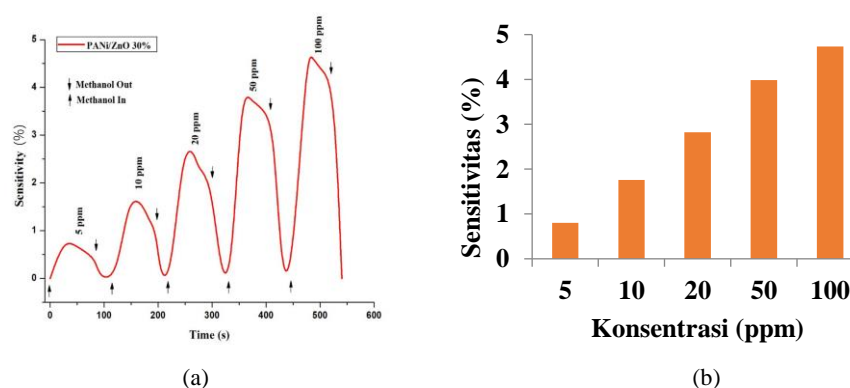
Data konduktivitas listrik nanokomposit PANi/ZnO hasil pengukuran menunjukkan bahwa sampel PANi memiliki nilai konduktivitas tertinggi yaitu $3,58 \times 10^{-6}$ S/cm dan diantara 3 sampel PANi/ZnO, PANi/ZnO 10 % memiliki nilai konduktivitas tertinggi yaitu sebesar $2,98 \times 10^{-6}$ S/cm, dan mengalami penurunan ketika ditambahkan ZnO 20 % dan ZnO 30% dengan nilai konduktivitas listrik masing-masing $2,14 \times 10^{-6}$ S/cm dan $1,58 \times 10^{-6}$ S/cm. Sesuai dengan penelitian oleh Hariansyah (2017) penggunaan ZnO dapat mempengaruhi nilai konduktivitas listrik, semakin banyak komposisi ZnO yang digunakan maka nilai konduktivitas listrik semakin kecil. Hal ini dimungkinkan karena komposisi PANi sebagai bahan konduktif pada material komposit semakin berkurang, sehingga dapat mengurangi nilai konduktivitas listrik. Dengan melihat nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan dari pengukuran ini, maka diharapkan sampel nanokomposit PANi/ZnO dapat dijadikan sebagai material sensor gas metanol.

3.4 Hasil Uji Sensitivitas Sensor

Sampel nanokomposit PANi/ZnO dijadikan sebagai material sensor dalam pengujian sensor untuk mendeteksi gas metanol dengan variasi konsentrasi berbeda. Sampel yang digunakan yaitu sampel

PANi/ZnO 30 %, hal ini dikarenakan sesuai dengan hasil uji FTIR dan XRD dihasilkan karakterisasi sampel yang paling baik, meskipun hasil pengujian konduktivitas memiliki nilai konduktivitas relatif kecil. Hariansyah (2017) melaporkan bahwa penggunaan komposit PANi/ZnO 30 % dalam mendeteksi gas metanol menghasilkan nilai sensitivitas tertinggi. Dengan demikian sampel PANi/ZnO 30 % pada penelitian ini diharapkan memiliki sensitivitas yang baik. Adapun pengujian sensor dimulai dengan menghubungkan sensor alkohol yang disegel dalam *chamber* pengujian dengan udara stabil ke sirkuit DC yang dilengkapi dengan kipas sirkulasi agar dapat menguap dengan sempurna. Kemudian cairan gas metanol disuntikkan ke *chamber* pengujian dan cepat berubah menjadi uap metanol karena bercampur dengan udara. Ketika nilai V_{out} stabil pengukuran dihentikan selanjutnya *chamber* dibuka dalam beberapa detik untuk mengeluarkan sisa uap metanol. Pengujian sensor kembali dilanjutkan dengan menutup kembali *chamber* agar sensor metanol dapat mengekspos kembali udara yang stabil. Hasil pengukuran penginderaan sensor dalam mendeteksi uap metanol diperoleh dari nilai rasio perubahan resistansi sampel ketika terpapar uap metanol dalam ruang uji dengan resistansi sampel di udara. Adapun hasil pengujian sensor dari komposit PANi/ZnO dalam mendeteksi uap metanol dengan konsentrasi berbeda ditunjukkan pada Gambar 7(a) dan (b).

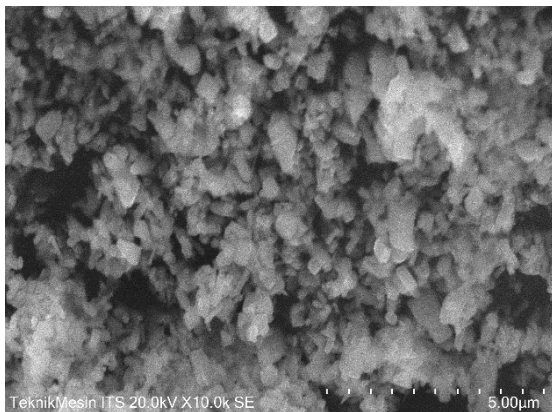
Berdasarkan Gambar 4 (a), sampel komposit PANi/ZnO 30 % dapat mendeteksi uap metanol hingga konsentrasi rendah yaitu 5 ppm. Waktu respon sensor terhadap sensitivitas uap metanol sekitar 92 sekon, sementara waktu pemulihan sensor dilakukan sekitar ~ 20 sekon setelah uap metanol dikeluarkan dari *chamber* pengujian. Semakin tinggi konsentrasi alkohol yang disuntikkan maka semakin lama waktu respon sensor dalam mendeteksi uap metanol. Selain itu, adanya ZnO dalam rantai PANi juga dapat meningkatkan waktu respon sensor (Das and Sarkar, 2017). Sementara pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap peningkatan nilai sensitivitas sensor ditunjukkan pada Gambar 7(b). Tampak bahwa semakin tinggi konsentrasi metanol maka sensitivitas sensor semakin tinggi, dengan nilai sensitivitas tertinggi pada konsentrasi 100 ppm yaitu sebesar 4,73 %. Peningkatan nilai sensitivitas sensor ini dikarenakan pada konsentrasi rendah, jumlah molekul metanol yang tersedia untuk berinteraksi dengan material sensor sangat sedikit. Sedangkan pada konsentrasi tinggi jumlah molekul metanol yang tersedia lebih banyak. Berdasarkan hasil percobaan ini, PANi/ZnO mengalami penurunan aktivasi pada suhu ruang (36°C). Hal tersebut sesuai dengan penelitian (Franco *et al.*, 2022) yang menunjukkan bahwa ZnO mengalami penurunan aktivasi pada rentan suhu 100°-200°. Dari hasil pola XRD, peningkatan kristalinitas dari PANi dimungkinkan juga mampu meningkatkan *interchain transfer*, yang berdampak pada peningkatan nilai sensitivitas sensor dan waktu pemulihan sensor (Saaedi, Shabani and Yousefi, 2019). Dengan demikian, sampel komposit PANi/ZnO 30 % dapat dijadikan sebagai material sensor dalam mendeteksi uap metanol hingga konsentrasi rendah dengan nilai sensitivitas relatif tinggi.



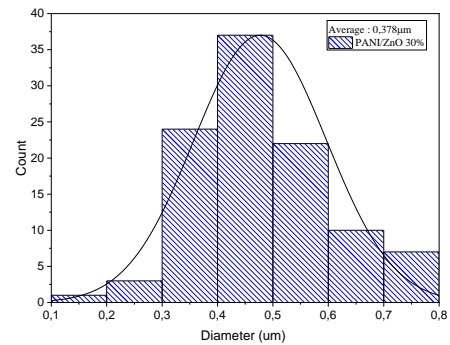
Gambar 4 (a) Grafik hubungan waktu respon sensor dengan variasi konsentrasi berbeda terhadap nilai sensitivitas sensor, dan (b) Grafik pengaruh variasi konsentrasi alkohol terhadap nilai sensitivitas sensor

3.5 Hasil Uji SEM EDX

Gambar 3a. menunjukkan SEM dari komposit PANi/ZnO 30% dengan grafik dari rata-rata ukuran partikel nm dengan menggunakan perbesaran 10.000 kali dengan tegangan 20 k.V, bentuk SEM dari komposit PANi/ZnO dengan komposisi massa 30% yaitu memiliki struktur *ovoidal-shaped* dan berpori. Pada komposit PANi/ZnO 30% didapatkan rerata diameter dari partikel menggunakan imageJ dengan ukuran 378 nm (Gambar 3).



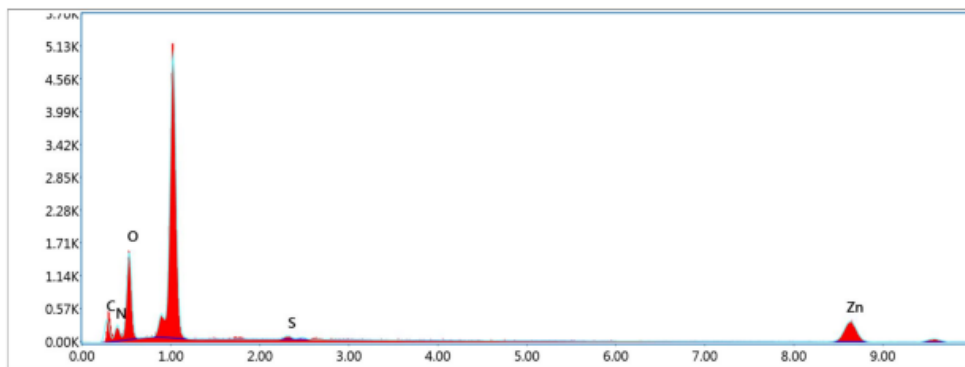
(a)



(b)

Gambar 5 (a) Hasil SEM PANi/ZnO 30%, 10.000× perbesaran, dengan tegangan sebesar 20.0 kV
(b) Grafik rata-rata bentuk partikel PANi/ZnO 30%

Hasil dari EDX nanofiber PANi-ZnO, ditunjukkan pada gambar 6, menunjukkan adanya unsur N dan Zn. Unsur N menunjukkan adanya material polianilin dan unsur Zn menunjukkan adanya material Zinc Oxide.



Gambar 6 EDX Nanofiber PANi/ZnO (skala 5 μm)

IV. KESIMPULAN

Dengan berhasilnya sintesis polianilin dan komposit PANi/ZnO dengan variasi komposisi massa sebanyak 10%, 20%, 30%, telah dilakukan berbagai uji untuk menganalisisnya kemudian digunakan untuk uji sensor gas metanol. Dari hasil yang telah diujikan dibandingkan dengan jurnal yang dijadikan acuan bahwa penggunaan ZnO dapat mempengaruhi nilai konduktivitas listrik, semakin banyak komposisi ZnO yang digunakan maka nilai konduktivitas listrik semakin kecil, akan tetapi nilai sensitivitas dari kandungan ZnO yang paling banyak memiliki sensitivitas yang terbaik di antara ketiga masa sampel dengan nilai sensitivitas sebesar 4,73 % pada konsentrasi 100 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. *et al.* (2013) 'Optical and electrical studies of polyaniline/ZnO nanocomposite', *Journal of Nanomaterials*, 2013, pp. 1–6. doi:10.1155/2013/157810.
- Akbar, Ali. (2017) 'Doping Asam Kuat Menggunakan Metoda Elektrodeposisi', 1, pp. 557–559.
- Das, M. and Sarkar, D. (2017) 'One-pot synthesis of zinc oxide-polyaniline nanocomposite for fabrication of efficient room temperature ammonia gas sensor', *Ceramics International*, 43(14), pp. 11123–11131.
- Djelad, I.T.H. and Benyoucef, F.C.A. (2021) 'Synthesis of PANI @ ZnO Hybrid Material and Evaluations in Adsorption of Congo Red and Methylene Blue Dyes : Structural Characterization

- and Adsorption Performance’, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials* [Preprint], (0123456789). doi:10.1007/s10904-021-02084-0.
- Han, D. and Zhao, M. (2020) ‘Facile and simple synthesis of novel iron oxide foam and used as acetone gas sensor with sub-ppm level’, *Journal of Alloys and Compounds*, 815. doi:10.1016/j.jallcom.2019.152406.
- Hariansyah, A.P. (2017) ‘sintesis dan karakterisasi komposit PANi/ZnO sebagai aplikasi sensor gas etanol’. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mostafaei, A. and Zolriasatein, A. (2012a) ‘Synthesis and characterization of conducting polyaniline nanocomposites containing ZnO nanorods’, *Progress in Natural Science: Materials International*, 22(4), pp. 273–280. doi:10.1016/j.pnsc.2012.07.002.
- Mostafaei, A. and Zolriasatein, A. (2012b) ‘Synthesis and characterization of conducting polyaniline nanocomposites containing ZnO nanorods’, *Progress in Natural Science: Materials International*, 22(4), pp. 273–280.
- Patil, S.L. *et al.* (2012) ‘International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials Structural, Morphological, Optical, and Electrical Properties of PANi-ZnO Nanocomposites’, (December 2014), pp. 37–41. doi:10.1080/00914037.2011.610051.
- Paulraj, R. *et al.* (2017) ‘Fabrication of PANi-ZnO nanocomposite thin film for room temperature methanol sensor’, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(15), pp. 10799–10805. doi:10.1007/s10854-017-6857-y.
- Riwanda, R. and Elvaswer, E. (2017) ‘Karakteristik Arus-Tegangan Komposit dari Bahan Semikonduktor ZnO-TiO₂ Sebagai Sensor Gas Hidrogen’, *Jurnal Fisika Unand*, 6(3), pp. 211–216. doi:10.25077/jfu.6.3.211-216.2017.
- Saaedi, A., Shabani, P. and Yousefi, R. (2019) ‘High performance of methanol gas sensing of ZnO/PAni nanocomposites synthesized under different magnetic field’, *Journal of Alloys and Compounds*, 802, pp. 335–344.
- Sen, T. *et al.* (2018) ‘Polyaniline/zinc oxide nanocomposite as room-temperature sensing layer for methane’, *Polymer Engineering and Science*, 58(8), pp. 1438–1445. doi:10.1002/pen.24740.
- Sparrevik, M. and Breedveld, G.D. (2000) ‘The impact of in situ biosparging on a creosote-contaminated site’, *Land Contamination and Reclamation*, 8(4), pp. 367–374.
- Warembra, R.S. and Betaubun, P. (2018) ‘Analysis of Electrical Properties Using the four point Probe Method’, 9, pp. 1–4.
- Wulandari, R.F. and Putri, N.P. (2021) ‘Sintesis Soluble Polianilin dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Dopan’, *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 9(2), p. 211. doi:10.23960/jtaf.v9i2.2809.