

Fabrikasi Komposit PANi/MgO Sebagai Bahan Dasar Sensor Gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG)

Silvi Rahmawati Wibowo, Nugrahani Primary Putri*
Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
Jln. Ketintang, Surabaya 60231

ABSTRAK

PANi sebagai polimer konduktif memiliki performa yang belum optimal sebagai bahan aktif sensor LPG, sehingga perlu di doping dengan bahan material oksida logam seperti MgO. Penambahan MgO akan menghasilkan material baru yang mampu mendeteksi keberadaan gas dengan konsentrasi yang lebih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk memfabrikasi komposit PANi/MgO sebagai bahan dasar sensor gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Pembuatan komposit PANi/MgO dilakukan menggunakan metode polimerisasi *in-situ* dengan variasi komposit PANi/MgO (30%, 40%, dan 50%). Setelah itu sampel komposit hasil fabrikasi diuji menggunakan karakterisasi FTIR, XRD, dan SEM-EDX. Hasil FTIR menunjukkan unsur MgO muncul pada sampel komposit PANi/MgO di bilangan gelombang 3697cm^{-1} dengan ikatan H-O-H *stretching*, 544cm^{-1} dengan ikatan *frequency vibrations* Mg-O, dan 473cm^{-1} dengan ikatan Mg-O *stretching vibrations*. Hasil XRD menunjukkan PANi memiliki sifat amorf dengan struktur kristal parsial dan MgO menunjukkan struktur *face centered cubic* (FCC) yang menghasilkan komposit memiliki puncak difraksi yang tajam pada sudut 42.36° dan 62.79° . Hasil SEM-EDX menunjukkan bahwa komposit berbentuk *spherical* dengan ukuran pori-pori 326nm yang menunjukkan morfologi permukaan bahan memiliki porositas yang baik senilai 60% untuk respons penginderaan gas.

Kata Kunci: Gas, Komposit PANi/MgO, Polimer

ABSTRACT

PANi as a conductive polymer has not yet optimal performance as an active ingredient for LPG sensors, so it needs to be doped with metal oxides such as MgO. The addition of MgO will produce new materials that can detect the presence of gases with lower concentrations. This study aims to determine the effectiveness of the PANi/MgO composite as the base material for the *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) gas sensor. PANi/MgO composites were manufactured using the *in-situ* polymerization method with variations of PANi/MgO composites (30%, 40%, and 50%). After the composite fabricated samples were tested using FTIR, XRD, and SEM-EDX characterization. The FTIR results show that MgO appears in the PANi/MgO composite sample at wave number 3697cm^{-1} with H-O-H strain, 544cm^{-1} with Mg-O vibrational frequency, and 473cm^{-1} with Mg-O stretching vibration. XRD results show that PANi has an amorphous nature with a partial crystal structure, and MgO shows a face centred cubic (FCC) structure which results in the composite having sharp diffraction peaks at 42.36° and 62.79° . The SEM-EDX results showed that the spherical composite with a pore size of 326nm, which indicates the surface morphology of the material, has a good porosity of 60% for gas sensing response.

Key Words: Gas, PANi/MgO Composite, Polymer

PENDAHULUAN

Polimer konduktif merupakan polimer organik dengan struktur terkonjugasi dari ikatan tunggal dan ganda yang berselang-seling sehingga memiliki sifat optik, sifat elektrik, dan sifat magnet yang baik sehingga dapat diaplikasikan pada pembuatan perangkat baru (Limbitot et al., 2018). Diantara polimer konduktif polianilin (PANi) memiliki banyak keunggulan untuk dikaji dan diteliti lebih dalam karena kemudahan sintesisnya, biaya rendah, dan konduktivitas listrik yang tinggi (Manjunatha et al., 2020). Disisi lain PANi dapat digunakan dalam banyak aplikasi seperti pelindung interferensi elektromagnetik (EMI), dioda pemancar cahaya (LED), sensor kimia, biosensor, dan perangkat penyerap gelombang mikro (Bai et al., 2015). PANi

memiliki berbagai tingkat oksidasi yang tergantung pada penambahan jenis doping dan proses polimerisasinya. Tingkatan oksidasi tersebut yaitu *leucomeraldine base* (LB) yang tereduksi penuh, *emeraldine base* (EB) yang teroksidasi setengah, dan *pernigranilin base* (PB) yang teroksidasi penuh (Bagherzadeh et al., 2017). Dari ketiga tingkatan tersebut, hanya fasa EB yang nilai konduktivitasnya dapat ditingkatkan melalui proses doping asam kuat (Aspi et al., 2013). Molekul asam kuat akan menyebar pada rantai PANi sehingga dapat meningkatkan konduktivitas polimer (Dong et al., 2016). Dalam penelitian sebelumnya Zakaria et al., (2015) menyebutkan bahwa konduktivitas terbaik PANi dengan dopan asam klorida (HCl) sebesar $1,4\text{ S cm}^{-1}$.

*Alamat korespondensi:
nugrahaniprimary@unesa.ac.id

Bahaya kebocoran gas LPG dapat dideteksi dengan indera penciuman hal ini karena bau gas etil mercaptan sangat menyengat, namun bau tersebut akan tersamarkan ketika kebocoran gas terjadi pada ruangan yang memiliki AC (*Air Conditioner*), pemasangan selang tabung yang kurang rapat, dan karet pengaman yang rusak (Maulana et al., 2013.). Di zaman serba modern ini berbagai macam alat deteksi kebocoran gas sudah banyak bermunculan, salah satunya ialah sensor gas. Sensor gas ialah perangkat deteksi elektronik yang menghasilkan sinyal listrik sebagai respons adanya interaksi kimia dengan gas (Widodo, 2019). Kualifikasi pembuatan sensor gas LPG berbasis bahan polimer konduktif harus memiliki persyaratan tertentu misalnya kemampuan sensitivitas, waktu respon, konduktivitas yang tinggi, stabilitas yang baik, dan penyimpanan jangka panjang (Comini, 2016). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Machappa, (2021) menyebutkan bahwa PANi mampu mendeteksi keberadaan gas LPG dengan konsentrasi sangat tinggi yaitu 5000 ppm - 25000 ppm, hal ini menunjukkan bahwa komparabilitas yang dimiliki PANi kurang sensitif untuk diaplikasikan sebagai bahan aktif sensor gas LPG. Oleh karena itu alternatif yang menjanjikan untuk meningkatkan komparabilitas PANi dan meningkatkan kinerja sensor gas LPG adalah dengan menggabungkannya pada material oksida logam.

Material oksida logam dapat dikembangkan sebagai material aktif sensor kimia *conductometric* yang memiliki sifat lebih stabil dibanding sensor dari bahan kimia organik (Zappa et al., 2017). Bahan oksida logam tersebut diantaranya ZnO (Patil et al., 2015), CuO (Ashokan et al., 2015), dan MgO (Husain et al., 2020). MgO banyak digunakan sebagai filler pada komposit sebagai bahan penguat yang dapat memperbaiki sifat mekanik dan fisis dari suatu material. Hal ini karena MgO mempunyai titik lebur yang tinggi yaitu sekitar 3073° K, sehingga MgO menjadi salah satu material tahan panas. Dengan penggabungan bahan polimer dan doping oksida logam maka dapat meningkatkan sensitivitas, selektivitas, dan konduktivitas sensor (Iatsunskyi, 2019). Berdasarkan penelitian sebelumnya Manjunatha et al., (2020) komposit PANi/MgO yang telah dibuat secara kimia oksidasi menggunakan anilin sebagai monomer menunjukkan bahwa komposit PANi/MgO memiliki susunan rantai polimer yang teratur dan terdapat interaksi kimia antara MgO dan PANi yang mendukung perubahan struktural PANi setelah di doping. Dengan adanya penambahan MgO berpengaruh terhadap morfologi PANi sehingga komposit menunjukkan transformasi morfologi granular menjadi berpori yang khas dan terbukti bermanfaat untuk

diaplikasikan pada sensor gas LPG karena dapat mendeteksi keberadaan gas dengan konsentrasi yang lebih rendah yaitu 500 ppm - 2000 ppm.

Pada artikel ini peneliti melaporkan hasil fabrikasi komposit PANi/MgO sebagai bahan dasar sensor gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Untuk mensintesis komposit PANi/MgO dilakukan dengan metode polimerisasi *in-situ*.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah anilin sebagai monomer, amonium peroksidisulfat (APS) sebagai oksidan, MgO sebagai dopan, HCl, aseton, dan akuades. Alat yang digunakan terdiri dari magnetic stirrer, oven, dan mortar. Selanjutnya untuk mengetahui jenis ikatan, struktur dan kristanilitas, serta morfologi, komposit PANi/MgO kemudian dianalisa menggunakan instrumen karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM)-*Energy Dispersive X-Ray* (EDX). Berikut tahapan dalam penelitian ini:

a. Sintesis PANi

PANI disintesis dengan metode polimerisasi oksidatif anilin pada suhu ruang. 1M HCl dilarutkan dalam 0.1 M anilin diaduk menggunakan magnetik stirrer selama 15 menit hingga mendapatkan larutan yang homogen. Setelah itu, larutan 0.1 M amonium peroksidisulfat (APS) ditambahkan setetes demi setetes kedalam larutan tersebut dengan pengadukan konstan selama 4 jam. Selanjutnya larutan dibiarkan selama sekitar 12 jam agar polimerisasi berlangsung. Tercapainya endapan berwarna hijau tua menandakan selesainya polimerisasi. Endapan ditampung, disaring, dan dicuci dengan akuades dan aseton sebanyak 3-4 kali kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 80°C selama 16 jam. Terakhir endapan dihancurkan menggunakan mortar untuk membentuk polianilin (PANi).

b. Sintesis komposit PANi/MgO

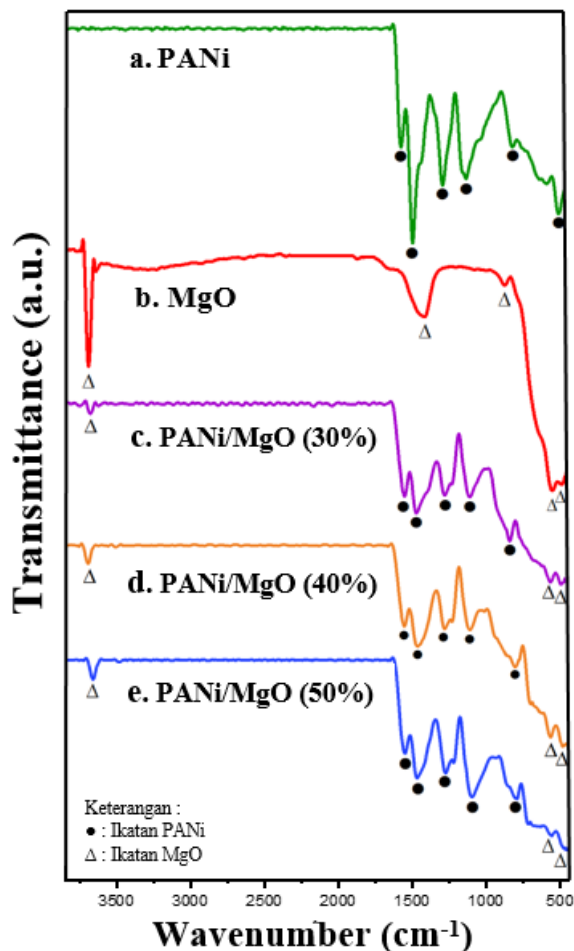
Metode polimerisasi *in-situ* digunakan untuk sintesis komposit PANi/MgO 0.1 M monomer anilin ditambahkan dalam 1M HCl kemudian diaduk selama 15 menit. Setelah itu variasi MgO (30%, 40%, 50%) ditambahkan ke dalam larutan diatas dengan pengadukan konstan serta ditambahkan pula 0.1 M amonium peroksidisulfat (APS) dengan bantuan pipet. Kemudian larutan yang diperoleh diaduk selama 4 jam. Setelah itu larutan dibiarkan selama 12 jam. Selanjutnya diperoleh endapan berwarna hijau tua yang menandakan selesainya polimerisasi. Endapan ditampung, disaring, dan dicuci dengan akuades dan aseton sebanyak 3-4 kali kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 80°C selama 24

jam. Terakhir endapan dihancurkan menggunakan mortar untuk membentuk komposit PANi/MgO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik pita serapan dari sampel PANi, MgO, dan komposit PANi/MgO perlu ditentukan

untuk mengetahui jenis ikatan yang terbentuk dan mengidentifikasi senyawa yang diharapkan melalui karakterisasi FTIR yang diolah menggunakan software Origin.



Gambar 1. Hasil karakterisasi spectrum FTIR a) PANi, b) MgO, c) komposit PANi/MgO (30%), komposit PANi/MgO (40%), dan komposit PANi/MgO (50%)

Pada gambar 1 merupakan hasil karakterisasi spektrum FTIR pada masing-masing sampel. Terlihat adanya ikatan PANi dan MgO pada sampel komposit mengindikasikan bahwa MgO telah terdistribusi secara merata dan dengan penambahan semakin banyak konsentrasi MgO pada komposit mengakibatkan semakin tajam dan menjoroknya gelombang yang dihasilkan serta pergeseran puncak lebih besar. Masing-masing bilangan gelombang dan jenis ikatan yang terbentuk ditunjukkan pada **Tabel 1**. Dari hasil perbandingan sintesis komposit PANi/MgO dengan referensi, memiliki banyak kesesuaian, sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel komposit PANi/MgO yang disintesis menggunakan polimerisasi *in-situ* telah berhasil dilakukan dan membentuk molekul komposit PANi/MgO.

Pada jenis ikatan C-C dari bilangan gelombang 1554cm^{-1} , 1552cm^{-1} , dan 1550cm^{-1} di sampel komposit PANi/MgO mengalami pergeseran puncak, hal ini karena adanya getaran regangan dari cincin benzenoid dan cincin quinoid yang mengkonfirmasi pembentukan PANi dalam bahan yang disintesis (Babu et al., 2013). Selanjutnya pada puncak spektrum di ikatan C-H dari PANi menunjukkan pelebaran dan asimetri ketika MgO ditambahkan ke dalamnya. Asimetri ini disebabkan munculnya pita baru pada bilangan gelombang 1108cm^{-1} , 1105cm^{-1} , dan 1102cm^{-1} di PANi/MgO (30%), PANi/MgO (40%), PANi/MgO (50%) yang disebabkan oleh pembengkokan ikatan C-H pada cincin benzenoid yang berdekatan dengan gugus N-H yang terikat pada oksigen MgO (Singh et al., 2019).

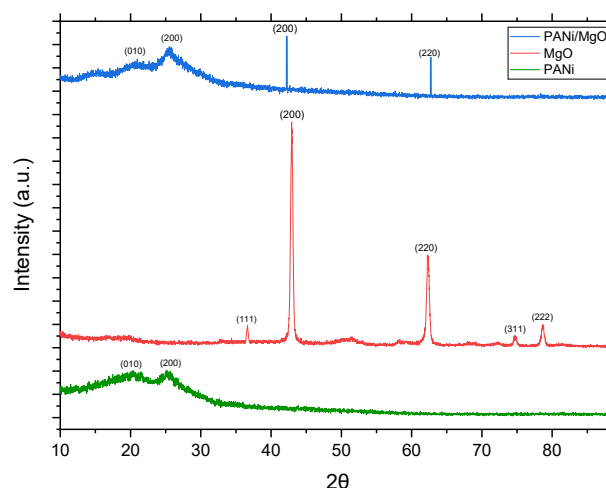
Tabel 1. Bilangan gelombang dan jenis ikatan PANi, MgO, komposit PANi/MgO (30%), komposit PANi/MgO (40%), dan komposit PANi/MgO (50%).

Bilangan gelombang (cm) ⁻¹					Jenis Ikatan		
A	B	C	D	E	A	B	Komposit C/D/E
-	3697	3694	3691	3687	-	H-O-H stretching	H-O-H stretching
1569	-	1554	1552	1550	C-C stretching vibrations	-	C-C stretching vibrations
1487	1417	1475	1466	1463	C-C stretching vibrations	O-C=O stretching vibrations	C-C stretching vibrations
1287	-	1284	1281	1277	N-H bending mode in plane	-	N-H bending mode in plane
1127	-	1108	1105	1102	C-H bending mode out of plane	-	C-H bending mode out of plane
817	857	810	809	803	C-H bending mode	characteristic of cubic Mg-O frequency vibrations	C-H bending mode frequency vibrations
500	544	575	573	569	C-N-C bonding mode	Mg-O stretching vibrations	Mg-O stretching vibrations
-	473	487	484	480	-	-	-

Keterangan: Sampel A. PANi, B. MgO, C. komposit PANi/MgO (30%), D. komposit PANi/MgO (40%), dan E. komposit PANi/MgO (50%).

Identifikasi struktur dan kristalinitas PANi, MgO, dan komposit PANi/MgO dilakukan dengan karakterisasi XRD yang hasilnya dianalisis menggunakan software QualX. Hasil pola difraksi ini menunjukkan karakteristik partikel memiliki kemurnian yang tinggi. Puncak pada pola difraksi XRD PANi yang telah berhasil disintesis menggunakan metode polimerisasi oksidatif menunjukkan sifat amorf dengan struktur kristal parsial atau semikristalin dari polianilin (Bijwe et al., 2021). Terlihat pada gambar 2a pola difraksi dari

PANi yang melebar mengindikasikan struktur polianilin (PANi) nanokristal. Terdapat 2 puncak difraksi PANi, puncak tersebut muncul karena adanya periodisitas yang sejajar dengan cincin polimer PANi yakni pada sudut 20.37°(010) dan periodisitas yang tegak lurus terhadap cincin polimer PANi yakni pada sudut 25.18°(200) (Maddu et al., 2008). Nilai puncak difraksi XRD PANi tersebut telah sesuai dengan penelitian sebelumnya (Mostafaei & Zolriasatein, 2012).



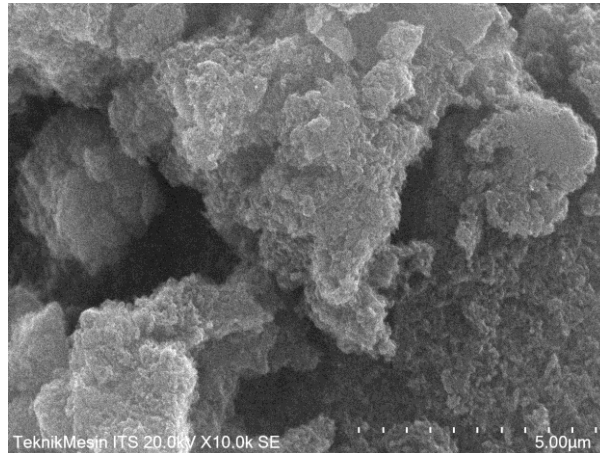
Gambar 2. Hasil karakterisasi XRD a) PANi, b) MgO, c) PANi/MgO (50%).

Adapun MgO yang digunakan merupakan MgO komersial yang menunjukkan puncak difraksi pada sudut 2θ yaitu 36.64°(111), 42.95°(200), 62.29°(220), 74.74°(311), dan 78.56°(222). Dari analisis

yang diperoleh MgO menunjukkan sifat kristal yang baik dengan struktur *face centered cubic* (FCC) (Kaur et al., 2018). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilaporkan oleh Ansari et al., (2018). Gambar 2c

merupakan pola XRD komposit PANi/MgO (50%). Terdapat 2 puncak difraksi yang cukup luas pada sudut yang lebih rendah $2\theta = 20.86^\circ$ dan $2\theta = 25.51^\circ$ hal ini menunjukkan adanya PANi dalam bahan yang disintesis. Selain itu dua puncak juga diamati

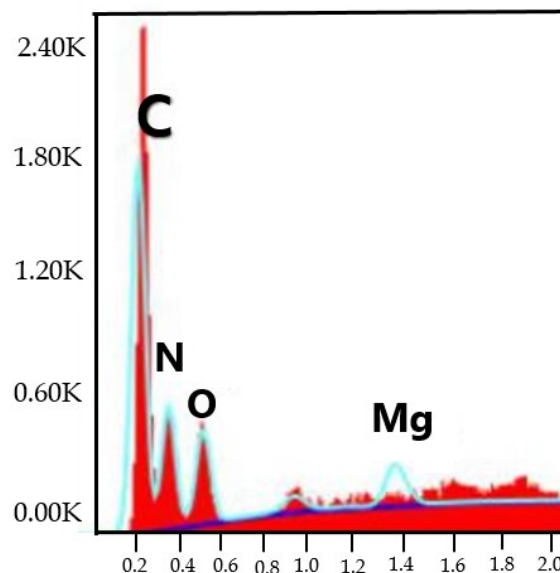
yang muncul pada hkl dan sudut $(200) 2\theta = 42.36^\circ$ dan $(220) 2\theta = 62.79^\circ$ yang menunjukkan adanya MgO pada PANi. Hasil uji XRD ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya (Singh et al., 2019).



Gambar 3. Hasil karakterisasi SEM morfologi komposit PANi/MgO (50%)

Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi atau struktur permukaan dari suatu sampel komposit dan menganalisis unsur dari material komposit PANi/MgO. Dapat dilihat pada gambar 3 yakni hasil uji SEM PANi/MgO (50%) dengan perbesaran 10000X menunjukkan morfologi permukaan bahan yang disintesis memiliki porositas sebesar 60% dan berbentuk *spherical*. Porositas yang baik ini tentunya mengarah ke pengaplikasian sensor gas LPG karena gas akan teradsorpsi ke permukaan aktif komposit

PANi/MgO. Semakin besar porositas, maka semakin banyak adsorpsi gas di permukaan dan semakin baik pula respons penginderaan material PANi/MgO. Oleh karena itu ukuran permukaan pori komposit dihitung dengan bantuan gambar SEM dan aplikasi ImageJ sehingga ditemukan ukuran pori sekitar 326 nm. Pada penelitian (Singh et al., 2019) hasil SEM memiliki ukuran pori sebesar 360 nm. Bila dilihat dari ukuran pori sampel PANi/MgO (50%) hasil ini tidak jauh berbeda.



Gambar 4. Hasil karakterisasi EDX komposit PANi/MgO (50%)

Gambar 4 menunjukkan pola EDX untuk komposit PANi/MgO (50%). Adapun tujuan dari uji EDX adalah untuk mengetahui unsur yang terkandung pada sampel komposit, dimana pada

gambar tersebut muncul keberadaan MgO yang terlihat jelas di PANi. Puncak dari tiap unsur tersebut yakni C, N, O, dan Mg. Hasil EDX menunjukkan unsur pada ikatan antara PANi dan

MgO telah terdistribusi secara merata sehingga membentuk komposit PANi/MgO yang homogen.

Dari uji karakterisasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa komposit PANi/MgO (50%) merupakan komposit yang paling efektif untuk dijadikan bahan aktif sensor LPG. Hal ini disebabkan karena terdapat ikatan PANi dan MgO pada sampel komposit yang mengindikasikan bahwa MgO telah terdistribusi secara merata. Karakteristik PANi membentuk struktur kristal parsial (Bijwe et al., 2021) dan MgO membentuk struktur *face centered cubic* (FCC) (Kaur et al., 2018) sehingga menghasilkan pola difraksi pada sudut $(200) 2\theta = 42.36^\circ$ dan $(220) 2\theta = 62.79^\circ$ yang menunjukkan terdapat MgO pada komposit. Morfologi komposit PANi/MgO berbentuk *spherical* dengan ukuran pori sekitar 326nm dan memiliki porositas yang tinggi sebesar 60%.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan MgO pada PANi dapat menghasilkan material baru yang dapat di aplikasikan sebagai bahan aktif sensor gas LPG. Komposit PANi/MgO (50%) merupakan komposisi paling efektif karena memiliki porositas yang baik sebesar 60%. Tingginya nilai ini mengarah ke pengaplikasian sensor gas LPG karena semakin besar porositas maka akan semakin banyak adsorpsi gas di permukaan dan semakin baik pula respons penginderaan material komposit PANi/MgO sebagai bahan dasar sensor gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Material jurusan Fisika Universitas Negeri Surabaya, Laboratorium Material dan Metarulugi Institut Teknologi Sepuluh November, Laboratorium SEM Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November, Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang yang telah memberi fasilitas dan kemudahan dalam proses karakterisasi pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansari, A., Ali, A., Asif, M., & Shamsuzzaman. (2018). Microwave-assisted MgO NP catalyzed one-pot multicomponent synthesis of polysubstituted steroidal pyridines. *New Journal of Chemistry*, 42(1), 184-197. <https://doi.org/10.1039/c7nj03742b>
- Ashokan, S., Ponnuswamy, V., & Jayamurugan, P. (2015). Fabrication and characterization PANi/CuO hybrid films by nebulizer spray pyrolysis technique for diode applications. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.06.031>
- Aspi., Malino, M.B., Lapanporo, B.P. (2013). Analisis Data Spektrum Spektroskopi FT-IR untuk Menentukan Tingkat Oksidasi Polianilin. *Prisma Fisika. Vol. 1 No. 2*. ISSN : 2337-8204
- Babu, V. J., Vempati, S., & Ramakrishna, S. (2013). Conducting Polyaniline-Electrical Charge Transportation. *Materials Sciences and Applications*. <https://doi.org/10.4236/msa.2013.41001>
- Bagherzadeh, R., Gorji, M., & Bafgi, M. S. S. (2017). Electrospun conductive nanofibers for electronics. In *Electrospun Nanofibers*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100907-9.00018-0>
- Bai, D. S., Padma, R., & Kumar, V. R. (2015). SYNTHESIS , CHARACTERIZATION AND AC CONDUCTIVITY STUDIES OF MgO DOPED POLYMER NANO COMPOSITES. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0412037>
- Bijwe, D. R., Rajgure, A. V., Yawale, S. S., Yawale, S. P., Deole, P. S., Thakare, P. A., & Dhole, B. D. (2021). Synthesis and Characteristics of MgO Doped Polyaniline Nano Composites. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 8(1), 16-18.
- Comini, E. (2016). Metal oxide nanowire chemical sensors : innovation and quality of life. *Biochemical Pharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.matmod.2016.05.016>
- Dong, X., Zhang, X., Wu, X., Cui, H., & Chen, D. (2016). Investigation of gas-sensing property of acid-deposited polyaniline thin-film sensors for detecting H₂S and SO₂. *Sensors (Switzerland)*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/s16111889>
- Husain, J., Reddy, N., Begum, A., Farheen, S., Nayak, S. M., Shivaraj, G., Mathad, G., & Pathar, D. (2020). Conductivity and LPG sensing behavior of PANI / MgO nano composites thin films. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.338>
- Iatsunskyi, I., Viter, R. (2019). Metal Oxide Nanostructures in Sensing. In *Nanomaterials Design for Sensing Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814505-0.00002-3>
- Kaur, S., Singh, J., Rawat, R., Kumar, S., Kaur, H., & Rao, K. V. (2018). A smart LPG sensor based on chemobio synthesized MgO nanostructure. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-9266-y>
- Limbitot, M., Kalyane, S., Sharanappa, N., & Malipatil, B. D. (2018). Electrical & dielectric studies of magnesium oxide doped Polyaniline nanocomposites influenced by ammonium dichromate. *JETIR*. 5(6), 758-765. ISSN : 2349-5162.
- Machappa, T., Badrunnisa, S. (2021). Sodium metavanadate dispersed in Polyaniline composite matrix film for sensing application. *Journal of Polymer Research*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10965-021-02734-4>
- Maddu, A., Wahyudi, S.T., & Kurniati, M. (2008). Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi. Vol. 1 No. 2*. ISSN : 1979-0880
- Manjunatha, B., Vinayak, G. K., & Jabnoor, R. (2020).

- Structural, Morphological, Electrical and Sensing Properties of Magnesium Oxide (MgO) Doped Polyaniline Nanocomposites. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 10(3), 166–174. <https://doi.org/10.24214/jcbps.c.10.3.16675>
- Maulana, O. P., Ramdan, R. A. (2013). Alat Pendeteksi Gas LPG dengan Sensor TGS 2610 Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. *Jakarta: FT Universitas Negeri Jakarta*.
- Mostafaei, A., & Zolriasatein, A. (2012). Synthesis and characterization of conducting polyaniline nanocomposites containing ZnO nanorods. *Progress in Natural Science: Materials International*, 22(4), 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2012.07.002>
- Patil, P. T., Anwane, R. S., & Kondawar, S. B. (2015). Development of electrospun polyaniline/ZnO composite nanofibers for LPG sensing. *Procedia Materials Science*, 10(Cnt 2014), 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.041>
- Singh, N., Singh, P. K., Singh, M., Tandon, P., Singh, S. K., & Singh, S. (2019). Fabrication and characterization of polyaniline , polyaniline / MgO (30 %) and polyaniline / MgO (40 %) nanocomposites for their employment in LPG sensing at room temperature. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-00737-y>
- Widodo, S. (2019). Review Sensor Gas Berbasis Metal Oksida Semikonduktor Untuk Mendeteksi Gas Polutan Yang Selektif Dan Sensitif. *Jurnal Techno-Socio Ekonomika*. Vol. 12 No. 2. ISSN : 1979-4835
- Zakaria, Z., Halim, N. F. A., Schleusingen, M. H. V, Islam, A. K. M. S., Hashim, U., & Ahmad, M. N. (2015). Effect of Hydrochloric Acid Concentration on Morphology of Polyaniline Nanofibers Synthesized by Rapid Mixing Polymerization. *Journal of Nanomaterials*. <http://dx.doi.org/10.1115/2015/218204>
- Zappa, D., Bertuna, A., Comini, E., Kaur, N., Poli, N., Sberveglieri, V., & Sberveglieri, G. (2017). Metal oxide nanostructures : preparation , characterization and functional applications as chemical sensors. *Beilstein Journal Of Nanotechnology*. 1205-1217. <https://doi.org/10.3762/bjnano.8.122>