



Pengaruh Fe_3O_4 terhadap Elektro Optik dan Magneto Elektrik pada PANI/Ag/ Fe_3O_4

Derry Pradhana, Markus Diantoro*, Ahmad Taufiq

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: markus.diantoro.fmipa@um.ac.id

Paper received: 01-08-2021; revised: 15-08-2021; accepted: 31-08-2021

Abstrak

Tujuan penelitian untuk mengetahui (1) pengaruh penambahan Fe_3O_4 terhadap mikrostruktur pada PANI/Ag/ Fe_3O_4 (2) pengaruh Fe_3O_4 terhadap konduktivitas film PANI/Ag- Fe_3O_4 (3) pengaruh Fe_3O_4 terhadap sifat magneto elektrik PANI/Ag/ Fe_3O_4 (4) pengaruh Fe_3O_4 terhadap sifat elektro optik PANI-Ag- Fe_3O_4 . Nanokomposit PANI-Ag- Fe_3O_4 telah diteliti sebagai aplikasi devais elektronik, dimana PANI menjadi pilihan karena ramah lingkungan, stabil dan potensi aplikasi yang menjanjikan. Dalam penelitian ini PANI berperan sebagai matriks, Ag sebagai katalis meningkatkan konduktivitas PANI dan Fe_3O_4 sebagai pengaruh sifat kemagnetan. PANI/Ag/ Fe_3O_4 disintesis menggunakan metode polimerasi kimia untuk menambahkan doping Ag pada PANI dan metode kopresipitasi pada Fe_3O_4 untuk variasi komposit pada PANI. Gugus fungsi dari sampel yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FTIR, kristalinitas dan fase yang terbentuk hasil karakterisasi XRD, mikrostruktur sampel hasil karakterisasi dari SEM. Konduktivitas PANI/Ag/ Fe_3O_4 diketahui dari pengukuran 4 probe sedangkan sifat magneto elektrik dan elektro optik merupakan pengembangan dari konduktivitas sebanding dengan medan magnet dan intensitas cahaya yang diberikan pada sampel. Hasil penelitian menunjukkan terdapat fase Fe_2O_3 akibat Fe_3O_4 teroksidasi saat protonasi AgNO_3 pada perlakuan sonikasi. Doping Ag meningkatkan konduktivitas namun seiring penambahan Fe_3O_4 ditingkatkan dan medan magnet yang diterapkan menyebabkan sifat magneto elektrik menurun dari 20.414–2.42 S/cm. Fe_3O_4 tidak mempengaruhi pembentukan struktur kristal tetapi mempengaruhi mikrostruktur dari sampel PANI/Ag/ Fe_3O_4 . Sifat elektro optik mengalami peningkatan seiring intensitas cahaya yang diberikan berkisar 20.414 S/cm sampai 31.84 S/cm.

Kata kunci: PANI; Ag; Fe_3O_4 ; Magneto elektrik; Elektro optik

1. Pendahuluan

Penelitian mengenai polimer konduktif Polianilin (PANI) beberapa tahun terakhir menjadi topik yang sangat menarik, karena potensi aplikasi yang menjanjikan. Beberapa penelitian PANI terkait aplikasi antara lain sebagai sensor gas (Fratoddi, 2015), komposisi bahan baterai lithium (Wang, 2015), dan superkapasitor (Kim, 2014). Polimer pada dasarnya bersifat insulator. Dengan pengembangan sintesis yang dilakukan, polimer dapat dimodifikasi sehingga dapat memunculkan sifat konduktif. Pada penelitian ini menggunakan metode polimerasi reaksi kimia karena sintesis yang relatif simpel, mudah, tidak mengeluarkan biaya yang mahal dan efisien (Ghaffari, 2014).

Telah dilaporkan upaya peningkatan magneto elektrik pada PANI komposit dengan PMME menghasilkan konduktivitas paling tinggi 73 Scm^{-1} (Angappane, 2000). PANI/ Fe_3O_4 menghasilkan konduktivitas 10^{-9} Scm^{-1} (Anna, 2016), dan PANI/ Fe_2O_3 menghasilkan konduktivitas sebesar $2.5 \cdot 10^{-9}$ S/cm – $5.4 \cdot 10^{-4}$ S/cm (Bober, 2016), sedangkan kajian Sifat elektro optik pada PANI/chlorophyll dapat meningkatkan konduktivitas dari 1S/cm – 8S/cm (Manna, 2012). Magneto-elektrik merupakan kajian yang sangat menarik karena potensi aplikasi pada elektronik dan sensor (Saha, 2016), (Tripathy, 2013) namun dalam sintesis yang dilakukan masih menjadi tantangan untuk mendapatkan bahan yang signifikan dan unggul untuk optimalisasi sifat magneto elektrik (Zhou, 2015). Disamping gagasan sifat

magneto elektrik juga dipertimbangkan mengenai sifat elektro optik dari penelitian ini (Wu, 2016).

Sejauh perkembangan penelitian yang dilakukan, belum ditemukan kajian mengenai PANI doping Ag untuk optimalisasi sifat konduktivitas dan komposit Fe_3O_4 sebagai pengaruh sifat kemagnetan. Perlunya korelasi diantara sifat listrik dan magnetik pada PANI. Sifat kelistrikan dari PANI/Ag sebagai fungsi dari sifat kemagnetan dari Fe_3O_4 . Kedua sifat tersebut antara sifat listrik dan kemagnetan dimungkinkan saling berhubungan apabila salah satu parameter sifat tersebut diganggu. Dengan penelitian yang dilakukan ini diharapkan mendapatkan material yang optimal untuk sifat-sifat tersebut.

2. Metode

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Neraca Digital HF-3000 (0.019), Ultrasonic Bath LUC-405, Spin coater TC100, Furnace Brother XD-1700M, Pemanas dan pengaduk magnetic, Gelas beker dan vessel pyrex (250ml), dan Cawan petri. Sintesis Fe_3O_4 kopresipitasi dan polimerasi reaksi kimia PANI menggunakan bahan dasar seperti pasir besi, anilin (PA 99.9% Merck), HCl (PA 99.9%), NH_4OH (PA 99.9%), diionize water, APS, CSA, aceton (PA 99.9%) dan kloroform (PA 99.9%).

2.2. Prosedur Kerja

2.2.1. Kopresipitasi Fe_3O_4

Pertama pasir besi diekstraksi atau dipurifikasi menggunakan magnet batang permanen untuk mendapatkan serbuk pasir besi. Serbuk pasir direaksikan dengan HCl dengan menggunakan magnetik stirer pada suhu $140\text{ }^\circ\text{C}$ selama 30 menit. Setelah itu larutan disaring menggunakan kertas saring, yang diambil larutan yang lolos dari kertas saring tersebut, karena Fe_3O_4 larut dalam HCl. Selanjutnya larutan ditetesi NH_4OH secara perlahan sambil distirer selama kurang lebih 30 menit sampai terbentuk endapan warna hitam. Endapan yang terbentuk tersebut kemudian dicuci dengan aquades sampai pH 7 (pH normal) agar sampel benar-benar murni terbebas dari impuritas. Endapan yang terbentuk tersebut dikeringkan diatas hotplate dengan suhu 70° .

2.2.2. Polimerasi PANI/ Fe_3O_4

Polimerasi PANI dilakukan dengan metode reaksi kimia. Monomer aniline (1.82 mL) direaksikan dengan HCl (50 mL; 0.2 M). Dilain sisi $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (5.71 g) direaksikan dengan aquades 50 mL. Dari kedua larutan tersebut dicampur kemudian diaduk secara mekanik menggunakan magnetik stirer selama 30 menit. Apabila pengadukan sudah selesai larutan yang tercampur tersebut dibiarkan mengendap selama 24 jam sampai menghasilkan endapan berwarna hijau. Endapan kemudian dicuci dengan deionic water (DI water) berkali-kali sampai berwarna bening. PANI yang didapat dari polimerasi pertama yaitu PANI-ES 1 kemudian ditambahkan NH_4OH (0.5 M; 10 mL) sedikit demi sedikit + Fe_3O_4 tiap variasi massa (0.242; 0.464; 0.696; 0.928; 1.16 gram) dalam keadaan distirer selama 4 jam, proses deprotonasi ini dilakukan dalam keadaan suhu ruang,

kemudian didiamkan selama 24 jam agar terjadi reaksi dan pengendapan. Endapan yang terbentuk yaitu polianilin emeraldine base + Fe₃O₄ (PANI-ES 2) berwarna biru, kemudian dianiling pada suhu 80°C selama 5 jam untuk karakterisasi FTIR.

2.2.3. Protonasi PANI/Ag/Fe₃O₄

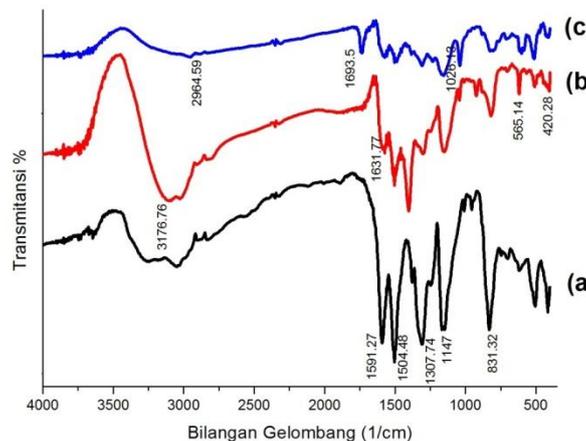
Dalam pemberian doping Ag pertama kali dengan pembuatan larutan dengan penggerusan PANI/Fe₃O₄ 0.5 gram yang sudah jadi kemudian dicampurkan pada CSA 0.5 g. Campuran tersebut digerus selama 15 menit. Dilain sisi, AgNO₃ dilarutkan pada acetone (5 mL; 0.5 M). Dari kegiatan diatas semua bahan dicampurkan menjadi satu kemudian dilarutkan dalam chloroform 10 mL untuk reaksi kimia dalam pemecahan ikatan atom didalamnya. Kemudian dilakukan proses sonifikasi selama 45 menit atau ± 1 jam. Tahap terakhir yaitu larutan setelah sonifikasi diendapkan selama 24 jam untuk proses protonasi. Endapan yang diperoleh kemudian disaring untuk mendapatkan pasta PANI/Ag/Fe₃O₄ yang digunakan untuk karakterisasi menggunakan XRD dan FTIR.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi FT-IR PANI/Ag/Fe₃O₄

Gugus fungsi PANI/Ag/Fe₃O₄ dapat dijelaskan melalui karakterisasi FTIR pada Gambar 3.1.

Gambar 3.1 Hasil FTIR a) PANI-EB, b) PANI/Fe₃O₄; 5 M, c) PANI/Ag/ Fe₃O₄



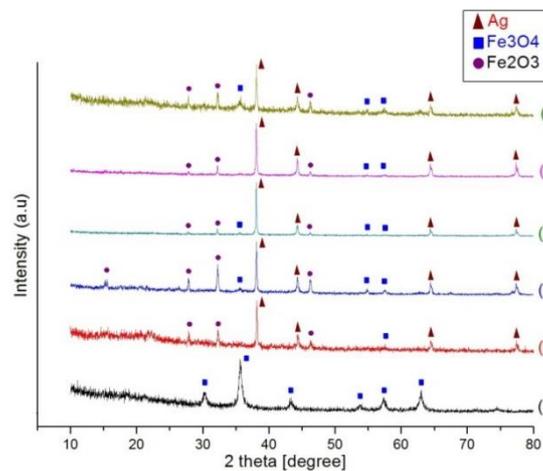
Sintesis PANI-EB menjadi PANI ES II dengan menambahkan variasi massa komposit Fe₃O₄. Penambahan Fe₃O₄ menjadikan matrik pada PANI mengikat dan membungkus Fe₃O₄ saat polimerasi berlangsung. Hasil FT-IR menunjukkan gugus fungsi PANI-EB pada rentang bilangan gelombang 1591,27cm⁻¹, 1504,48 cm⁻¹, 1307,74 cm⁻¹, 1147,65 cm⁻¹, 831,32 cm⁻¹. 1591,27cm⁻¹ terjadi akibat vibrasi regangan ikatan C-N pada cincin quinoin, gelombang pada 1504,48 cm⁻¹ terjadi akibat adanya ikatan C-N cincin benzoid, gelombang pada 1307,74 cm⁻¹ merupakan vibrasi regangan dari struktur bipolar ikatan C-N, gelombang pada 1147,65 cm⁻¹ merupakan hasil bidang

bengkokan ikatan aromatik C-H, dan gelombang pada rentan $831,32\text{ cm}^{-1}$ akibat dari vibrasi ikatan C-H aromatik keluar bidang. Perbedaan serapan IR Fe_3O_4 yang dimasukkan saat polimerasi PANI-Salt menuju ketahap PANI-EB terlihat pada Gambar 3.1 (b), teramati lembah transmitansi pada bilangan gelombang $3176,76\text{ cm}^{-1}$, $1631,77\text{ cm}^{-1}$, $565,14\text{ cm}^{-1}$, dan $420,28\text{ cm}^{-1}$. Serapan IR Fe_3O_4 pada $3176,76\text{ cm}^{-1}$ identifikasi adanya gugus fungsi dari -OH- yang terjadi pada rentan $3000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$, bilangan gelombang $1631,77\text{ cm}^{-1}$ gugus fungsi adanya H_2O , bilangan gelombang $565,14\text{ cm}^{-1}$ terjadi akibat adanya $(\text{Fe}^{3+}\text{-O}^{2+})$ dan pada bilangan gelombang $420,28\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus fungsi dari (Fe-O). Dari pola dan lembah transmitansi yang diperoleh pada Gambar 4.1 (b) mengidentifikasi bahwa Fe_3O_4 terikat oleh matrik PANI saat proses polimerasi. Doping Ag yang ditambahkan pada PANI/ Fe_3O_4 membuat ikatan pada salah satu gugus ikatan PANI tergantikan oleh ion Ag^+ dari AgNO_3 yang terpecah ikatannya. Identifikasi FTIR untuk ion Ag pada spektrum $2965,15\text{ cm}^{-1}$ terjadi karena adanya ikatan C-Ag, bilangan gelombang $1693,5\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus fungsi dari -N-H- memungkinkan atom -H- yang berikatan dengan -N- tergantikan oleh Ag menjadi -N-Ag- dan adapun bilangan gelombang $1026,13\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus fungsi dari -OH-.

3.2. Karakterisasi Struktur dan Fase PANI/Ag/ Fe_3O_4

Pola difraksi XRD untuk melihat kristalinitas dan fase yang terbentuk dari film PANI/Ag/ Fe_3O_4 .

Gambar 3.3 Pola XRD film (a. PANI/ Fe_3O_4 ; 5M, (b. PANI/Ag/(1M; Fe_3O_4), (c. PANI/Ag/(2 M; Fe_3O_4), (d. PANI/Ag/(3M; Fe_3O_4), (e. PANI/Ag/(4M; Fe_3O_4), (f. PANI/Ag/(5M; Fe_3O_4))



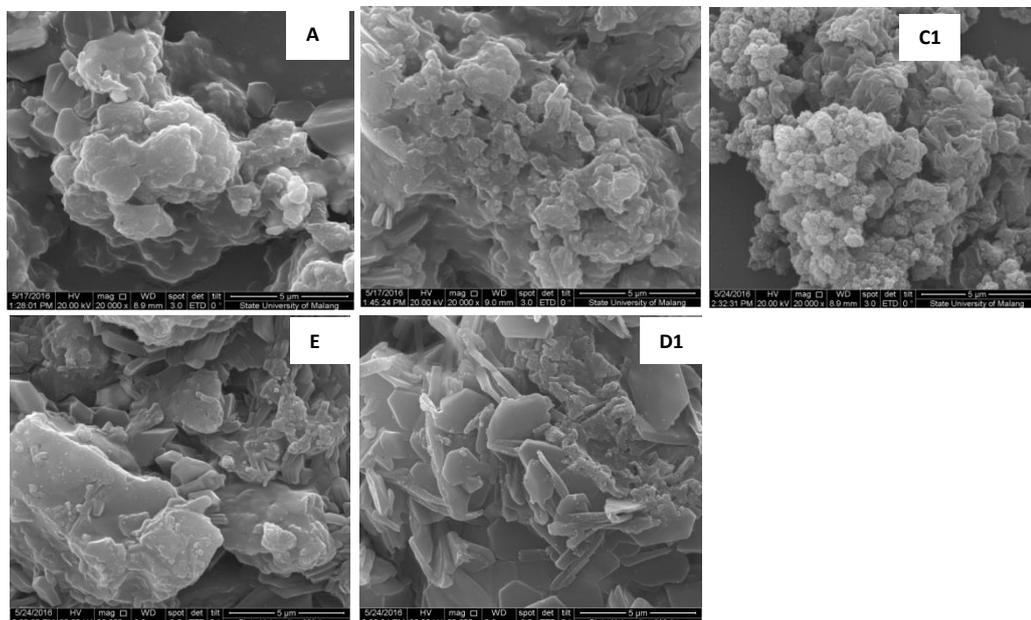
Teramati puncak pada sampel PAF1M pada posisi $2\theta = 57^\circ$ untuk fase Fe_3O_4 , fase Fe_2O_3 terdeteksi pada posisi $2\theta = 28^\circ, 32,25^\circ$ dan 46.11° sisanya adalah puncak dari Ag dan tidak ada puncak lain yang teramati pada fase Fe_3O_4 , pada sampel PAF2M teramati puncak Fe_3O_4 posisi pada $2\theta = 30^\circ, 53^\circ$ dan 57° , fase Fe_2O_3 pada $2\theta = 46.11^\circ$, sampel PAF3M teramati fase Fe_3O_4 pada $2\theta = 30^\circ$, fase Fe_2O_3 pada $2\theta = 46,11$, sampel PAF4M fase Fe_3O_4 berada pada posisi $2\theta = 30^\circ, 53^\circ$, dan 57° , fase Fe_2O_3 terdeteksi pada posisi $2\theta = 46^\circ$, sampel yang terakhir yaitu PAF5M fase Fe_3O_4 berada

pada posisi $2\theta = 35,64^\circ$, fase Fe_2O_3 terdeteksi pada posisi $2\theta = 28^\circ, 32,25^\circ$ dan 46° . Sedangkan fase Ag terbentuk pada posisi $2\theta = 38,2^\circ, 44,3^\circ, 64,5^\circ$ dan $77,4^\circ$ pada setiap variasi massa Fe_3O_4 yang ditambahkan. Partikel Fe_3O_4 yang berubah menjadi Fe_2O_3 saat proses pendopingan Ag memiliki parameter kisi $a = b = c = 8,35 \text{ \AA}$ dengan sistem kubik berada pada grup ruang P-43m. Dari hasil XRD pada film PANI/Ag/ Fe_3O_4 didapati fase pengotor yaitu Fe_2O_3 , terjadinya perubahan Fe_3O_4 menjadi Fe_2O_3 disebabkan karena beberapa faktor, yang pertama yaitu pada proses pemberian doping Ag kedalam PANI/ Fe_3O_4 , proses pemberian doping Ag terjadi tahapan sonifikasi, dimana proses sonifikasi merupakan proses yang memecah ikatan AgNO_3 menjadi Ag^+ dan NO_3^- , Ag^+ yang terpisah dari NO_3^- masuk dalam gugus ikatan PANI $-\text{C}=\text{H}-$ tergantikan menjadi $-\text{C}=\text{Ag}-$ dan gugus ikatan $-\text{N}-\text{H}-$ menjadi $-\text{N}-\text{Ag}-$. Proses pemisahan ikatan pada sonifikasi menjadikan pula Fe_3O_4 yang terdapat pada PANI/ Fe_3O_4 sebagian lepas menjadi Fe^+ dan O^- sehingga muncul sebagian fase Fe_2O_3 pada sampel PANI/Ag/ Fe_3O_4 . Faktor yang kedua muncul fase Fe_2O_3 pada PANI/Ag/ Fe_3O_4 dikarenakan ion Ag^+ sangat reaktif terhadap oksigen O_2 atau memiliki sifat volatile, sehingga apabila Ag^+ lepas dari NO_3 akan reaktif terhadap partikel Fe_3O_4 sehingga teroksidasi menjadi Fe_2O_3 . Faktor yang ketiga yaitu partikel Fe_3O_4 yang bersifat reaktif apabila dalam ukuran nano, memungkinkan keadaan tersebut pada proses pemberian doping Ag yang dilakukan sebagian dari Fe_3O_4 teroksidasi menjadi fase Fe_2O_3 .

3.3. Karakterisasi Mikrostruktur PANI/Ag/ Fe_3O_4

Pengaruh Fe_3O_4 pada sampel PANI/Ag/ Fe_3O_4 terhadap mikrostruktur dapat ditinjau berdasarkan permukaan topografi dengan pengujian SEM.

Gambar 3.4. Hasil Uji Mikrostruktur sampel (a1) PAF1M, (b1) PAF2M, (c1) PAF3M, (d1) PAF4M, (e1) PAF5M

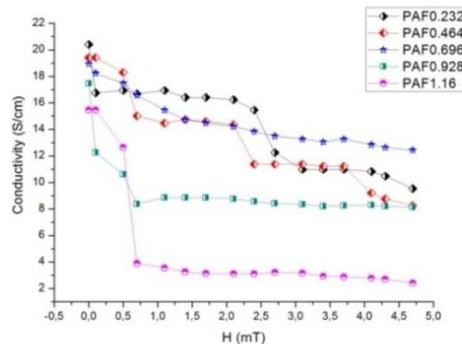


Teramati bentuk morfologi dari sampel PANI/Ag/Fe₃O₄ (PAF) setiap variasi berbentuk granular, karena metode sintesis PANI menggunakan polimerasi reaksi kimia. Pada Gambar 4.7 (A1). Kandungan unsur Fe₃O₄ lebih sedikit dari sampel yang lainnya sehingga granular mikrostruktur dari permukaan PANI/Ag/Fe₃O₄ tetap terlihat datar dan halus. Ukuran PANI yang terbentuk berkisar 0,3-0,5 μm. Pada Gambar 4.7 (B1) terlihat muncul Fe yang mengidentifikasi adanya Fe₃O₄ atau Fe₂O₃. Pengaruh dari Fe₃O₄ membuat mikrostruktur dari PANI/Ag/Fe₃O₄ semakin kasar dan tertutupi rongga dari granular PANI. Partikel Fe₃O₄ yang terbentuk pada PANI/Ag/Fe₃O₄ terlihat berbentuk spinel kubik, bahkan Fe₂O₃ yang terbentuk dari oksidasi Fe₃O₄ memiliki spinel kubik sesuai dengan AMCSD 0020515. Pada Gambar 4.5 (C1, D1, dan E1) menunjukkan bahwa pengaruh Fe₃O₄ pada mikrostruktur PANI menjadikan permukaan yang terbentuk semakin kasar seiring penambahan Fe₃O₄ semakin banyak.

3.4. Karakterisasi Magneto Elektrik PANI/Ag/Fe₃O₄ menggunakan 4 probe

Sifat magneto elektrik pada sampel PANI/Ag/Fe₃O₄ merupakan kajian sifat komplementer yang sangat menarik, dimana Fe₃O₄ memiliki sifat kemagnetan seiring dengan PANI yang ditingkatkan konduktivitasnya melalui pemberian doping logam Ag.

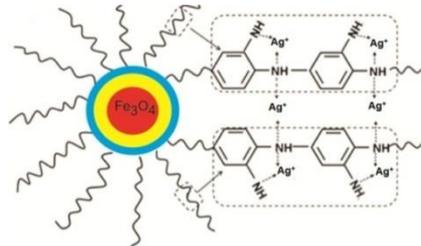
Gambar 3.5 Hubungan Konduktivitas Terhadap Medan Magnet sampel PANI/Ag/Fe₃O₄



Semakin banyak pemberian komposit Fe₃O₄ pada PANI/Ag/Fe₃O₄ konduktivitas semakin menurun seiring dengan medan magnet yang diberikan pada bahan PANI/Ag/Fe₃O₄. Konduktivitas tidak hanya ditentukan oleh massa doping yang diberikan, namun dapat juga ditentukan dari sifat fisis yang lebih kompleks. Medan magnet yang diberikan pada bahan PANI/Ag/Fe₃O₄ akan menjadikan dipol-dipol magnet pada Fe₃O₄ yang tidak aktif menjadi termagnetisasi oleh adanya medan luar magnet (H) yang diterapkan pada sampel. Dipol magnet yang terpengaruh oleh medan magnet menjadikan disipasi elektron yang membawa muatan pada rantai ikatan PANI. Disipasi yang terjadi mengganggu jalannya elektron dalam rantai ikatan

PANI, sehingga elektron tidak dapat bergerak menghantarkan muatan listrik dikarenakan terkuantisasi (tertahan) oleh adanya dipol magnet dari Fe_3O_4 . Ilustrasi lebih kompleks pengaruh Fe_3O_4 pada rantai ikatan PANI doping Ag ditunjukkan pada gambar 3.6.

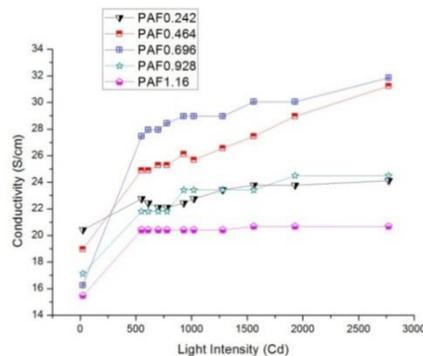
Gambar 3.6 Terganggunya elektron pembawa muatan pada rantai ikatan PANI doping Ag oleh dipol magnet Fe_3O_4



3.5. Karakterisasi Elektro Optik XRD PANI/Ag/ Fe_3O_4 menggunakan 4 probe

Sifat Optik elektrik pada sampel PANI/Ag/ Fe_3O_4 merupakan pengaruh intensitas cahaya terhadap konduktivitas.

Gambar 3.7 Grafik hubungan antara Intensitas Cahaya terhadap konduktivitas bahan PAF0.242; PAF0.464; .PAF0.696; PAF0.928; dan PAF1.16



Pemberian doping pada PANI akan meningkatkan konduktivitas bahan seiring dengan intensitas cahaya yang diberikan. Intensitas cahaya yang diterapkan pada sampel PANI/Ag/ Fe_3O_4 menjadikan konduktivitas bahan meningkat dikarenakan intensitas yang masuk menimbulkan energi termal yang mengakibatkan energi elektron meningkat pada rantai ikatan PANI yang berada dalam pita valensi. Keadaan tersebut menjadikan elektron dapat dengan mudah berpindah kedalam pita konduksi dengan asumsi band gap dari sampel bahan PANI/Ag/ Fe_3O_4 mengecil. Energi band dari sampel dapat diturunkan dengan memberikan thermal (Intensitas cahaya) pada rentan dimana $h\nu$ haruslah melebihi dari energi band tersebut, apabila tidak demikian maka tidak ada efek yang ditimbulkan. Intensitas cahaya yang diterapkan pada sampel PANI/Ag/ Fe_3O_4 berkisar 550 sampai 2770 Lux, efek dari intensitas cahaya dibawah 550 Lux tidak memberikan dampak pada konduktivitas PANI/Ag/ Fe_3O_4 .

4. Simpulan

Berdasarkan karakterisasi mikrostruktur menggunakan SEM, variasi massa Fe_3O_4 yang diberikan semakin bertambah maka mikrostruktur pada PANI/Ag/ Fe_3O_4 menjadi lebih

kasardan rapat permukaan semakin mengecil. Berdasarkan difraksi sinar-X terdapat fase Fe_2O_3 karena Fe_3O_4 mengalami oksidasi saat proses protonasi pada perlakuan sonikasi. Semakin besar massa Fe_3O_4 yang ditambahkan pada PANI/Ag/ Fe_3O_4 konduktivitas dari sampel mengalami penurunan. Peningkatan medan magnet sejajar bidang permukaan menurunkan konduktivitas bahan PANI/Ag/ Fe_3O_4 . Peningkatan intensitas cahaya yang diterapkan tegak lurus permukaan sampel meningkatkan konduktivitas sampel PANI/Ag/ Fe_3O_4 .

Daftar Rujukan

- Angappane, S., Srinivasan, D., Rangarajan, G., Prasad, V., Subramanyam, S. V., & Wessling, B. (2000). Transport and magneto-transport study on some conducting polyanilines. *Physica B: Condensed Matter*, 284, 1982-1983.
- Anna, Z. B., Patrycja, B., Petr, J., Petrovský, E., Pavel, B., & Daniel, H. (2016). Magnetoconductive maghemite core/polyaniline shell nanoparticles: Physico-chemical and biological assessment. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 141, 382-389.
- Bober, P., Zasonska, B. A., Humpolíček, P., Kuceková, Z., Varga, M., Horák, D., ... & Stejskal, J. (2016). Polyaniline-maghemite based dispersion: electrical, magnetic properties and their cytotoxicity. *Synthetic Metals*, 214, 23-29.
- Fratoddi, I., Venditti, I., Cametti, C., & Russo, M. V. (2015). Chemiresistive polyaniline-based gas sensors: A mini review. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 220, 534-548.
- Ghaffari-Moghaddam, M., & Eslahi, H. (2014). Synthesis, characterization and antibacterial properties of a novel nanocomposite based on polyaniline/polyvinyl alcohol/Ag. *Arabian journal of chemistry*, 7(5), 846-855.
- Kim, J., Ju, H., Inamdar, A. I., Jo, Y., Han, J., Kim, H., & Im, H. (2014). Synthesis and enhanced electrochemical supercapacitor properties of Ag-MnO₂-polyaniline nanocomposite electrodes. *Energy*, 70, 473-477.
- Manna, J. S., Basu, S., Mitra, M. K., Mukherjee, S., & Das, G. C. (2012). Evolution of chlorophyll/polyaniline nanorod network with enhanced electro-optic property. *Materials Letters*, 76, 147-150.
- Saha, J., Sharma, G., Kaushik, S. D., Rani, V., Siruguri, V., & Patnaik, S. (2016). Magneto-electric coupling in Ca₃CoMnO₆ thin films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 400, 282-285.
- Tripathy, S. N., Mishra, B. G., Shirolkar, M. M., Sen, S., Das, S. R., Janes, D. B., & Pradhan, D. K. (2013). Structural, microstructural and magneto-electric properties of single-phase BiFeO₃ nanoceramics prepared by auto-combustion method. *Materials Chemistry and Physics*, 141(1), 423-431.
- Wang, D., Wang, X., Yang, X., Yu, R., Ge, L., & Shu, H. (2015). Polyaniline modification and performance enhancement of lithium-rich cathode material based on layered-spinel hybrid structure. *Journal of Power Sources*, 293, 89-94.
- Wu, J., Wang, W., Wang, L., Liu, J., Chen, K., & Bo, S. (2016). Introduction of fluorine to change the dielectric environment of nonlinear optical chromophores for improved electro-optic activities. *Materials Letters*, 164, 636-639.
- Zhou, L., Fu, Q., Zhou, D., Xue, F., Tian, Y., & Hao, L. (2015). Magneto-electric coupling study in multiferroic La_{0.7}Ba_{0.3}MnO₃-BaTiO₃ composite ceramic at room temperature. *Ceramics International*, 41(2), 2367-2372.