

Karakterisasi Sifat Listrik dan Magnetik PANi/HCl/Fe₃O₄ akibat Penambahan Fe₃O₄ pada Komposit PANi/HCl

(*Characterization of Electricity and Magnetic Properties PANi/HCl/Fe₃O₄
Due to Addition of Fe₃O₄ on Composite PANi/HCl*)

Purwanto, Diah Hari Kusumawati*
Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya 60231

ABSTRAK

Fabrikasi PANi/HCl telah dilakukan dengan metode polimerisasi-interfasial, nanopartikel Fe₃O₄ dengan metode kopresipitasi dan komposit dengan metode *compacting*. Pada pembuatan komposit, dilakukan penambahan nanopartikel Fe₃O₄ bertujuan untuk meningkatkan sifat listrik dan karakteristik sifat magnetik pada komposit PANi/HCl/Fe₃O₄. Karakterisasi yang dilakukan meliputi pengukuran konduktivitas listrik, karakterisasi XRD dan VSM. Hasil karakterisasi pada penelitian ini dapat diketahui bahwa dengan ditambahkan Fe₃O₄, maka konduktivitas listrik PANi/HCl/Fe₃O₄ menurun secara signifikan seiring dengan meningkatnya penambahan Fe₃O₄. Konduktivitas listrik maksimum PANi/HCl sebesar 16,667 S/cm menurun dengan penurunan tertinggi pada 40% Fe₃O₄ dengan nilai $21,1 \times 10^{-4}$ S/cm. Dengan ditambahkan nanopartikel Fe₃O₄ maka sifat magnetik PANi/HCl dalam komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ meningkat secara signifikan seiring dengan meningkatnya penambahan nanopartikel Fe₃O₄. Peningkatan sifat magnetik ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai magnetisasi saturasi (Ms) PANi/HCl dalam komposit PANi/HCl/Fe₃O₄. Untuk PANi/HCl dengan nilai Ms = $25,48 \times 10^{-4}$ emu/cm³ mengalami peningkatan tertinggi pada penambahan 40% Fe₃O₄ yaitu dengan nilai Ms = 18,5 emu/cm³.

Kata kunci: PANi/HCl/Fe₃O₄, nanopartikel, konduktivitas listrik, magnetisasi

ABSTRACT

Fabrication PANi/HCl has been carried out by interfacial polymerization method, Fe₃O₄ nanoparticles by coprecipitation method and composite with compacting method. In the manufacture of composites, the addition of Fe₃O₄ nanoparticles aims to improve the electrical properties and characteristics of the magnetic properties of the composite PANi/HCl/Fe₃O₄. Characterization was conducted on the electrical conductivity measurements, characterization of XRD and VSM. Characterization results in this study could be seen that with the addition of Fe₃O₄ in PANi/HCl/Fe₃O₄ the electrical conductivity decreases significantly with increasing addition of Fe₃O₄. The maximum electrical conductivity of PANi/HCl at 16,667 S/cm decreased with the highest reduction at 40% Fe₃O₄ with a value of 21.1×10^{-4} S/cm. With the addition of Fe₃O₄ nanoparticles of the magnetic properties PANi/HCl in PANi/HCl/Fe₃O₄ composites increased significantly with increasing addition of Fe₃O₄ nanoparticles. The enhancement magnetic properties was shown by the increasing value of saturation magnetization (Ms) PANi/HCl in the composite PANi/HCl/Fe₃O₄. For the PANi/HCl with a value of Ms = 25.48×10^{-4} emu/cm³ experienced the highest increase in the addition of 40% Fe₃O₄ that is the value of Ms = 18.5 emu/cm³.

Key words: PANi/HCl/Fe₃O₄, nanoparticles, electrical conductivity, magnetization

* Alamat Korespondensi:
e-mail: diahharikusumawati@yahoo.com

PENDAHULUAN

Komposit organik-inorganik telah menjadi salah satu material yang dipelajari dan diteliti secara luas. Hal ini dikarenakan komposit organik-inorganik memiliki keunggulan yang diperoleh dari material-material penyusunnya, yaitu material organik yang memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas, dielektrisitas, keuletan dan *good processibility* serta material inorganik yang memiliki karakteristik sifat mekanik, listrik, magnet dan stabilitas termal yang baik (Putri, 2009).

Yang *et al.* (2009) melaporkan hasil penelitiannya mengenai sintesis dan mekanisme reaksi komposit polianilin/ Fe_3O_4 . Selain itu, Elsayed *et al.* (2011) juga melaporkan hasil penelitiannya mengenai sintesis dan sifat-sifat komposit polianilin/ferit. Kedua tim peneliti tersebut meneliti hal yang sama, yaitu mengenai sintesis komposit organik-inorganik, dengan polianilin sebagai material organik dan Fe_3O_4 sebagai material inorganik.

Telah diketahui bahwa material komposit PANi/ Fe_3O_4 ini sangat besar manfaatnya. Beberapa manfaat dari material ini adalah untuk *cell separation*, *enzyme immunoassay*, *drug targeting*, perangkat elektromagnetik (Alam, 2007), pelapis interferensi elektromagnetik, *rechargeable battery*, LED, sensor kimia, biosensor, *corrosion devices* dan penyerap gelombang mikro (Elsayed *et al.*, 2011).

Fabrikasi komposit PANi/HCl/ Fe_3O_4 dilakukan dengan cara mekanik, dengan mencampurkan bahan-bahan penyusun komposit, kemudian dilakukan pengepresan (*compacting*) dengan tekanan tertentu menggunakan alat pres *hydraulic*. Sebelum fabrikasi komposit, terlebih dahulu dilakukan fabrikasi PANi/HCl sebagai matriks dengan metode polimerisasi-interfasial dan fabrikasi Fe_3O_4 sebagai *filler* dengan metode kopresipitasi. Fabrikasi matriks dan filler dilakukan dengan mengacu pada penelitian Chomari (2011). Metode-metode ini dipilih karena memiliki kelebihan dibandingkan metode lain, yaitu seperti biaya yang relatif murah, mudah dilakukan, beroperasi pada suhu rendah ($< 100^\circ\text{C}$) dan tingkat keberhasilan tinggi (Maddu, 2008).

Pada dasarnya polianilin merupakan molekul-molekul yang disusun oleh penggabungan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana, yaitu monomer anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$). Penggabungan monomer-monomer anilin tersebut membentuk cincin-cincin benzoid dan quinoid yang saling dihubungkan oleh nitrogen melalui ikatan amin dan imin. Polianilin (PANi) dapat dibedakan setidaknya dalam lima fasa yang meliputi basa leukoemeraldin, garam leukoemeraldin, basa emeraldin (EB), garam emeraldin (ES) dan emeraldin teroksidasi (Asrori & Zainul, 2000). Di antara semua fasa tersebut hanya garam emeraldin yang memiliki sifat konduktif, sedangkan yang lain bersifat isolator. Selain konduktif, garam emeraldin (ES) merupakan fasa yang paling stabil dan juga paling luas diteliti karena konduktivitasnya dapat diatur dari 10-10 S/cm sampai 100 S/cm melalui proses *doping*. Secara umum garam emeraldin (ES) berwarna hijau yang memiliki konduktivitas pada

tingkat setara dengan semikonduktor, yaitu pada orde 100 S/cm, ordenya melebihi polimer secara umum ($< 10^{-9}$ S/cm) tetapi lebih rendah dari pada jenis logam ($> 10^4$ S/cm) (Mihardi, 2008).

Konduktivitas polianilin (setara dengan semikonduktor) sangat terbatas aplikasinya. Untuk memperluas aplikasi dari polianilin, perlu ditambahkan bahan lain sehingga memperbaiki sifat dari polianilin, salah satu bahan yang bisa ditambahkan adalah Fe_3O_4 yang mempunyai sifat magnetik relatif baik. Dengan demikian diharapkan bahan paduan/komposit PANi/HCl/ Fe_3O_4 mempunyai perpaduan sifat listrik dan magnetik yang dibawa dari sifat masing-masing bahan pembentuknya.

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan antara lain adalah neraca digital, gelas kimia, spatula, termometer, gelas ukur 10 ml, pipet, magnet permanen, botol, kertas saring, stopwath, corong dan *magnetic stirrer* untuk sintesis PANi dan nanopartikel Fe_3O_4 . Rangkaian alat *four point probe* untuk mengukur konduktivitas listrik PANi/HCl dan komposit PANi/HCl/ Fe_3O_4 . Spektroskopi XRD untuk mengetahui karakteristik fasa yang terkandung pada pasir sungai (yang diambil dari daerah Bojonegoro), hasil fabrikasi magnetit dan komposit. Alat uji SEM - EDS untuk mengetahui karakteristik morfologi serta kandungan unsur komposit PANi/HCl/ Fe_3O_4 . Alat uji SEM-EDS untuk mengetahui karakteristik morfologi serta kandungan unsur komposit PANi/HCl/ Fe_3O_4 . Alat uji VSM untuk mengetahui karakteristik sifat magnetik PANi/HCl, magnetit dan komposit PANi/HCl/ Fe_3O_4 .

Bahan dasar yang digunakan untuk mensintesis Fe_3O_4 adalah pasir sungai yang diambil dari daerah Bojonegoro. Menurut Chomari (2011) pasir dari daerah tersebut mempunyai kadar Fe yang tinggi dibandingkan pasir dari daerah Lumajang, namun apabila dilihat dari ukuran partikel dari kedua jenis pasir baik yang dari Bojonegoro maupun Lumajang, kurang lebih 25 nm. Bahan lainnya yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah monomer anilin, toluene, HCl, pasir besi, APS, NH_4OH , dan akuades.

Fabrikasi komposit PANi/HCl/ Fe_3O_4 dilakukan dengan cara mekanik, yaitu dengan mencampurkan bahan-bahan penyusun komposit, kemudian dilakukan pengepresan (*compacting*) dengan tekanan tertentu menggunakan alat pres *hydraulic*. Sebelum fabrikasi komposit, terlebih dahulu dilakukan fabrikasi PANi/HCl sebagai matriks dengan metode polimerisasi-interfasial dan fabrikasi Fe_3O_4 sebagai filler dengan metode kopresipitasi. Fabrikasi matriks dan filler dilakukan dengan mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Chomari (2011). Metode-metode ini dipilih karena memiliki kelebihan dibandingkan metode galvanostatik dan potensiostatik yang dilakukan pada penelitian sebelumnya (Putri, 2009). Metode tersebut biayanya relatif murah, mudah dilakukan, beroperasi pada suhu rendah ($< 100^\circ\text{C}$) dan tingkat keberhasilan

tinggi. Variasi komposisi yang digunakan adalah 10, 20, 30, dan 40% massa nanopartikel Fe₃O₄ dengan 60, 70, 80, dan 90% massa PANi/HCl yang masing-masing akan dicampur sehingga mencapai 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran konduktivitas listrik ini dilakukan dengan menggunakan metode four point probe. Pengukuran konduktivitas komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ dilakukan dengan arus masukan 1-5 μA. Hasil pengukuran konduktivitas listrik komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ (Gambar 1) menunjukkan kecenderungan yang sama pada semua variasi komposisi penambahan nanopartikel Fe₃O₄. Nilai konduktivitas listrik terus meningkat dari arus masukan 1 μA hingga mencapai nilai maksimum pada arus masukan 4 μA kemudian menurun pada arus masukan 5 μA. Hal ini dikarenakan pembawa muatan dari komposit tidak mempunyai celah lagi yang bisa dilewati. Gerakan pembawa muatan terhalang oleh rantai panjang (yang kusut) dari polianilin. Nilai konduktivitas listrik maksimum diperoleh dari komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ dengan komposisi 10% Fe₃O₄ pada arus masukan 4 μA, yaitu sebesar 0,0128 S/cm.

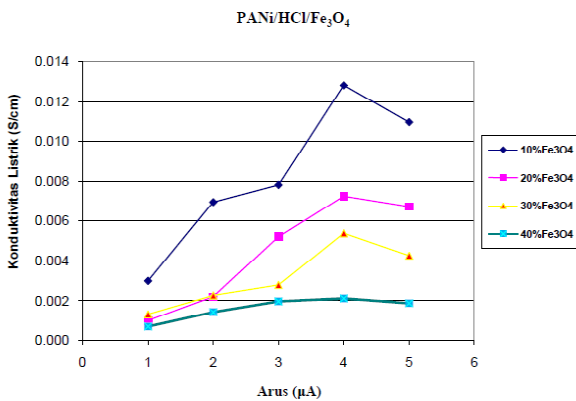
Pengukuran konduktivitas listrik menggunakan arus DC dilakukan dengan metode *four point probe*. Pada pengukuran konduktivitas listrik ini besar arus yang digunakan relatif kecil, yaitu 0,5-5 μA. Setiap sampel memiliki kemampuan yang berbeda dalam mengalirkan listrik. Ini disebabkan struktur PANi yang berbentuk seperti untaian benang kusut tak beraturan (Alam, 2007) dan perbedaan ukuran partikel PANi dengan Fe₃O₄ yang menyebabkan adanya rongga sehingga elektron tidak bisa lancar mengalir. Dengan demikian arus listrik yang digunakan dalam pengukuran konduktivitas listrik juga berbeda disesuaikan dengan kemampuan setiap sampel.

Penurunan nilai konduktivitas listrik PANi/HCl setelah dikompositkan dengan nanopartikel Fe₃O₄ merupakan suatu hal yang logis dikarenakan Fe₃O₄ bukanlah material konduktif, melainkan material

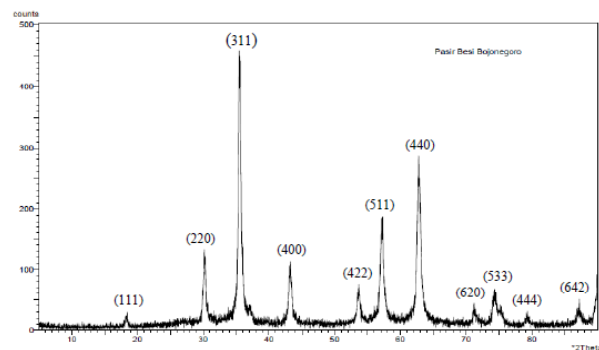
magnetik dengan nilai konduktivitas listrik sebesar 800 μS/cm (Technical Data Sheet-Rockwood Italia, 2010). Dengan demikian maka terbentuklah material dengan sifat baru dan tentunya akan memiliki nilai konduktivitas listrik yang berbeda dengan material penyusunnya.

Untuk mengetahui fasa yang terbentuk, parameter kisi dan ukuran partikel Fe₃O₄ hasil fabrikasi dengan metode kopresipitasi, maka perlu dilakukan karakterisasi XRD. Dari pola XRD dari Fe₃O₄ hasil fabrikasi dengan metode kopresipitasi menunjukkan karakteristik puncak-puncak dari Fe₃O₄ (Gambar 2). Hal ini diperkuat dengan hasil analisis pola XRD menggunakan software High Score Plus yang menyatakan bahwa puncak-puncak dari pola XRD Fe₃O₄ Bojonegoro sesuai dengan pola standar XRD pada ICSD nomer 01-071-6337. Puncak-puncak tersebut adalah puncak dengan hkl (111), (220), (311), (400), (422), (511), (440), (620), (533), (444) dan (642). Berdasarkan hasil analisis menggunakan software Reitica dapat diketahui ukuran partikel Fe₃O₄ Bojonegoro sebesar 25,44 nm.

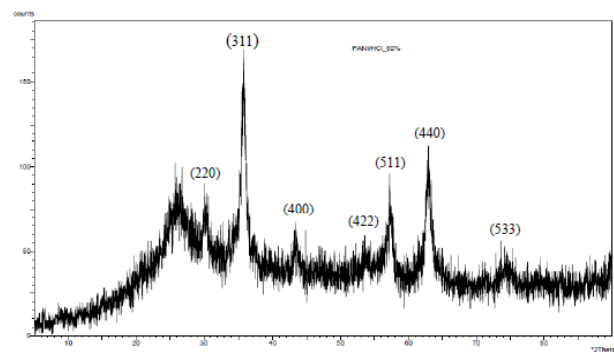
Pada pola XRD komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ terdapat beberapa puncak yang menunjukkan kesesuaian dengan pola XRD Fe₃O₄. Puncak-puncak tersebut adalah puncak dengan hkl (220), (311), (400), (422), (511), (440) dan (533) (Gambar 3), selain itu muncul puncak yang terhambur sepanjang 20-300 2θ. Puncak yang menghambur ini merupakan puncak karakteristik dari PANi. Hasil ini sesuai dengan hasil-hasil kelompok peneliti lain seperti Alam dkk. (2007)



Gambar 1. Konduktivitas listrik komposit PANi/HCl/Fe₃O₄

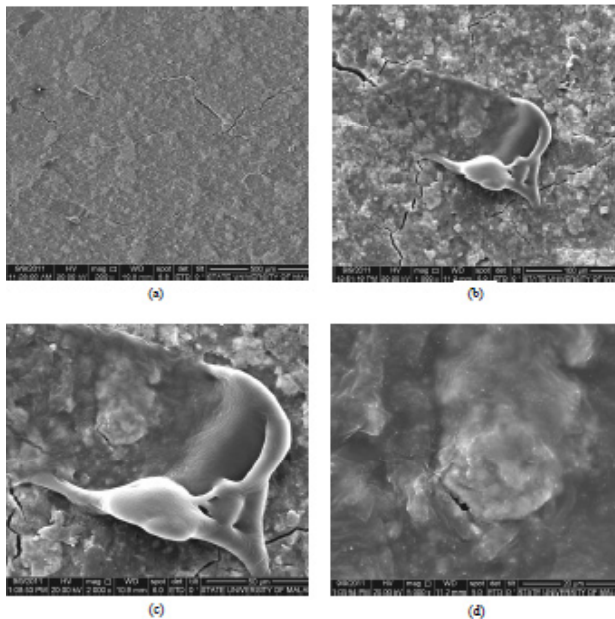


Gambar 2. Pola XRD Fe₃O₄ Pasir Besi Bojonegoro



Gambar 3. Pola XRD komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ 40%Wt Fe₃O₄

Karakterisasi struktur dan morfologi permukaan sampel dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan untuk mengetahui kandungan unsur yang terlihat dari hasil SEM dilakukan menggunakan EDS. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa morfologi komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ berupa permukaan yang tidak rata (Gambar 4). Struktur atom dari masing-masing penyusunnya tidak lagi dapat dibedakan. Perbedaan warna pada gambar tidaklah



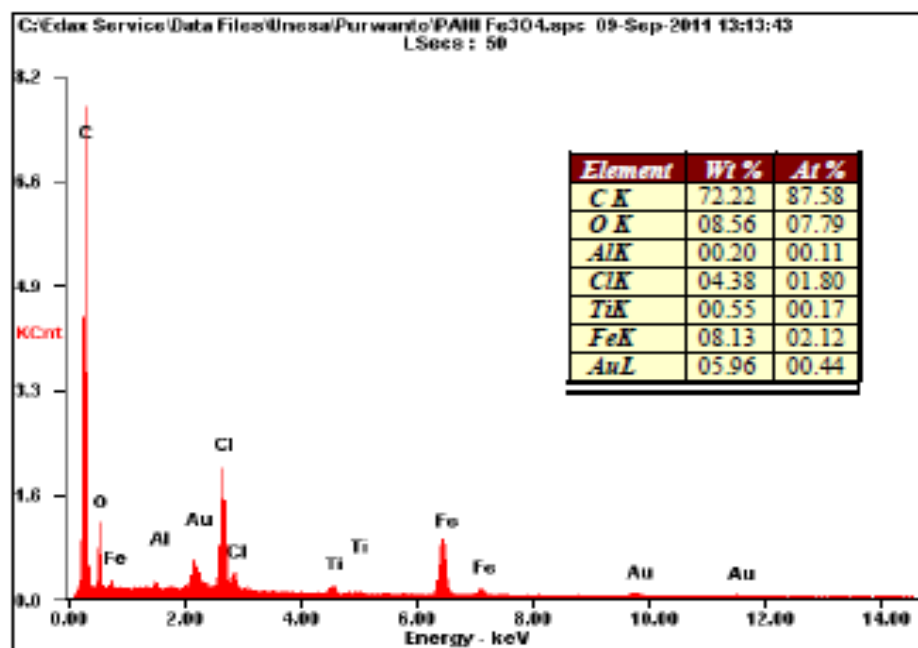
Gambar 4. Morfologi Komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ 40% Wt Fe₃O₄ dengan perbesaran: (a) 200x (b) 1000x (c) 2000x dan (d) 5000x

menggambarkan keragaman unsur pada sampel. Hal ini didukung dengan hasil spektrum EDS yang menyatakan kandungan unsur yang ada pada sampel. Komposit PANi/HCl/Fe₃O₄. Pengujian EDS dilakukan pada hasil SEM dengan perbesaran 2000× (Gambar 5).

Hasil EDS memperlihatkan keberadaan atom C, Fe, Cl, Al, Ti, Au dan O di permukaan sampel (Gambar 5). Atom C dan O yang terdeteksi merupakan atom-atom penyusun PANi, atom Cl merupakan atom dari dopan yang digunakan pada proses polimerisasi yaitu HCl, atom Fe merupakan atom dari filler komposit, yaitu Fe₃O₄, atom H tidak terdeteksi dikarenakan terlalu ringan (Putri, 2009). Adanya atom emas (Au) merupakan akibat dari pelapisan sampel menggunakan emas sebelum uji SEM, sedangkan adanya atom aluminium (Al) dan titanium (Ti) diduga merupakan pengotor dari pasir besi. Berdasarkan hasil SEM-EDS ini, maka belum dapat dikatakan bahwa sampel yang diuji merupakan komposit PANi/HCl/Fe₃O₄.

Karakterisasi *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) adalah karakterisasi yang dilakukan untuk mengetahui sifat magnetik suatu bahan. Informasi yang didapatkan dari karakterisasi ini berupa besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dengan kurva histeresis. Kurva histeresis dapat menunjukkan hubungan antara magnetisasi (M) dengan medan magnet luar (H). Besaran-besaran penting dalam menentukan sifat magnetik berdasarkan kurva histeresis adalah magnetik saturasi (Ms), medan koersivitas (Hc) dan magnetisasi remanen (Mr).

Hasil karakterisasi VSM menunjukkan bahwa PANi/HCl bukanlah material dengan sifat magnetik yang baik (Gambar 6), sedangkan dari bentuk kurva histeresis pada



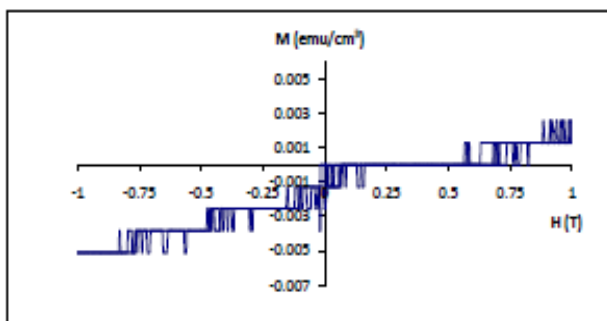
Gambar 5. Spektrum EDS Komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ 40% Wt Fe₃O₄

Gambar 7, nilai $M_s = 25,48 \times 10^{-4} \text{ emu/cm}^3$ dan $\chi_m = 2,5 \times 10^{-3}$ menunjukkan bahwa PANi/HCl merupakan material dengan sifat paramagnetik.

Dari keseluruhan hasil karakterisasi sifat magnetik PANi/HCl/Fe₃O₄ menggunakan VSM dapat dilihat bahwa nilai dari parameter M_s , M_r , H_c dan χ_m PANi/HCl mengalami peningkatan yang signifikan pada semua variasi penambahan nanopartikel Fe₃O₄ dalam komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Parameter Sifat Magnetik Komposit PANi/HCl/Fe₃O₄

% massa Fe ₃ O ₄	M_s (emu/cm ³)	M_r (emu/cm ³)	H_c (T)	χ_m
0	0,00254	-	-	0,0025
10	6,23	1,45	0,0002	6,23
20	10,3	2,69	0,0004	10,3
30	16,9	4,75	0,166	16,9
40	18,5	4,73	0,0095	18,5
100	64,8	1,23	0,001	64,8



Gambar 6. Kurva histeresis PANi/HCl

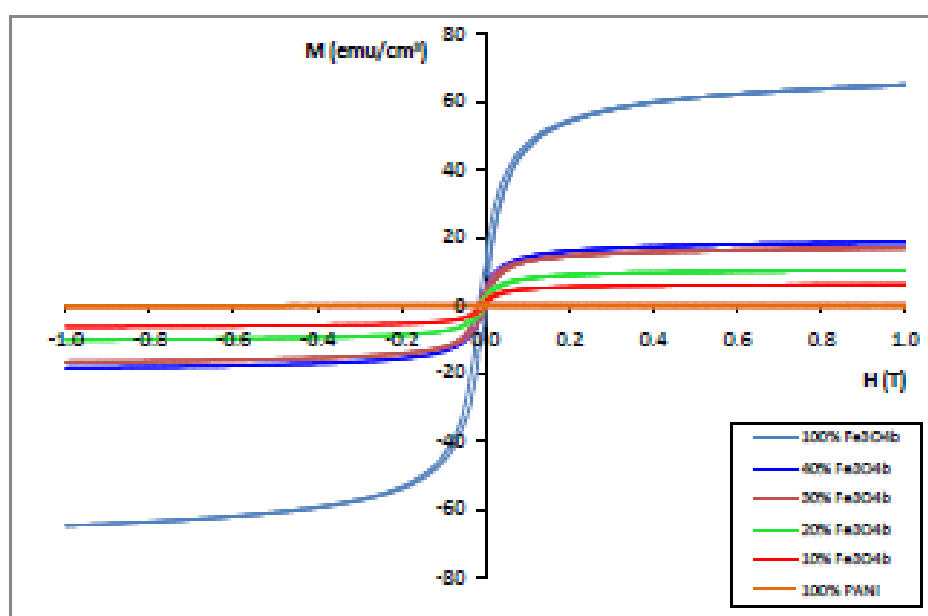
Peningkatan sifat magnetik PANi/HCl pada semua variasi komposisi penambahan nanopartikel Fe₃O₄ sebanding dengan meningkatnya penambahan nanopartikel Fe₃O₄. Hal ini dikarenakan nanopartikel Fe₃O₄ merupakan material ferromagnetik yang memiliki keteraturan pada susunan atom dan momen dipole magnetnya sehingga memungkinkan terjadinya respons magnetik yang baik ketika PANi/HCl dikompositkan dengan nanopartikel Fe₃O₄. Namun, dari semua data dan analisis hasil penelitian ternyata belum cukup bukti untuk menyimpulkan bahwa pada sampel telah terbentuk komposit, maka secara ilmiah sampel dari hasil penelitian ini dapat dikatakan sebagai campuran PANi/HCl/Fe₃O₄.

SIMPULAN

Dari serangkaian eksperimen yang telah dilakukan meliputi proses fabrikasi matriks, *filler*, komposit, pengukuran konduktivitas listrik, karakterisasi XRD, dan VSM serta menganalisis data hasil dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Konduktivitas listrik PANi/HCl dalam komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan penambahan nanopartikel Fe₃O₄. Sifat magnetik PANi/HCl dalam komposit PANi/HCl/Fe₃O₄ meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan penambahan nanopartikel Fe₃O₄.

DAFTAR PUSTAKA

Alam J, 2007. Effect of Ferrofluid Concentration on Electrical and Magnetic Properties of Fe₃O₄/PANI Nanocomposites. Department of chemistry. Jamia Millia Islamia: New Dehli India.



Gambar 7. Kurva histeresis komposit PANi/HCl/Fe₃O₄

- Asrori dan Zainul M, 2000. Fisika Polimer. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya
- Chomari MN, 2011. Sintesis dan Karakterisasi PANI/(HCl;H₂SO₄) dan Nanopartikel Fe₃O₄. *Skripsi*. Universitas Negeri Surabaya: Surabaya.
- Elsayed AH, Mohy Eldin MS, Elsyed AM, Abo Elazm AH, Younes EM, Motaweh A, 2011. Synthesis and Properties of Polyaniline/ Ferrites nano composites, Alexandria University, Eigypt.
- Maddu A, 2008. Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. Institut Pertanian Bogor: Bogor
- Mihardi I, 2008. Karakteristik Optik dan Listrik Polianilin yang di-Doped HCl. Institut Pertanian Bogor: Bogor
- Putri NP, 2009. Morfologi dan Sifat Listrik Film Nanokomposit PANi/HCl/Fe₃O₄. FMIPA. *Tesis*. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- Yang CH, Du Jingjie, Peng Q, Qiao R, Chen W, Xu Chuanlai, Shuai Z, Gao MY, 2009. Polyaniline/Fe₃O₄ Nanoparticle composite: Synthesis and Reaction Mechanisme, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing.