



Pengembangan Material Komposit Magneto-Elastik Ferogel Dengan *Filler* Magnetik Fe_3O_4 Berbasis Batuan Besi

Astuti*, Sri Rahayu Alfitri Usna, Nadya Mayestika
 Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika Universitas Andalas
 Kampus Universitas Andalas Limau Manis Padang
 E-mail: astuti@sci.unand.ac.id

Info Artikel

Sejarah Artikel:
 Diterima: 25 Mei 2021
 Disetujui: 5 Juni 2021
 Dipublikasikan: 30 Juni 2021

Kata kunci:

ferogel, *freezing-thawing*,
 magneto-elastisitas,
 suseptibilitas magnet

Abstrak

Material komposit magnetoelastik ferogel telah dikembangkan menggunakan filler magnetik Fe_3O_4 yang disintesis dari batuan besi menggunakan metode kopresipitasi. Matriks ferogel dibuat dari campuran Polivinil alkohol (PVA), air, dan gliserin. Variasi massa *filler* yang diberikan yaitu 20%, 25%, dan 30%. Ferogel disintesis menggunakan metode *freezing-thawing* (beku-cair). Karakterisasi sifat magneto-elastisitas ferogel dilakukan dengan menguji pemuluran dan simpangannya ketika dipengaruhi medan magnet. Hasil analisis XRD menunjukkan pola difraksi Fe_3O_4 dengan ukuran kristal sekitar 26,68 nm–78,08 nm. Sedangkan SEM menunjukkan distribusi partikel dengan ukuran 33,47 nm–59,09 nm. Pemuluran dan simpangan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi *filler*. Simpangan dan pemuluran terbesar berturut-turut yaitu 4,5 cm dan 1,8 cm yang diperoleh dari ferogel dengan *filler* 30%. Nilai suseptibilitas nanopartikel magnetic dan ketiga sampel ferogel berturut-turut yaitu $(2757,1, 815,2 ; 434,1 ; 970,2) \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Berdasarkan penelitian ini, ferogel yang dihasilkan mempunyai tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap medan magnet, dan dapat dikembangkan sebagai sebagai aplikasi otot buatan.

PENDAHULUAN

Ferogel merupakan material komposit yang terdiri dari polimer dan mineral oksida besi, sehingga ferogel memiliki sifat magnet sekaligus sifat elastis (sifat magneto-elastisitas). Keunikan sifat tersebut memungkinkan ferogel menjadi salah satu kandidat material cerdas dan berpotensi untuk dikembangkan, seperti sebagai otot buatan dan terapi hipertermia (Ramanujan, 2004). Polimer yang biasa digunakan yaitu PVA (*polyvinyl alcohol*) karena memiliki kekuatan tarik dan fleksibilitas tinggi. Selain itu, PVA sebagai bahan perekat tidak berbau, tidak beracun, *biodegradable* dan *biocompatible*, sehingga, secara luas diterapkan dalam aplikasi biomedis (Kenawy dkk., 2014) dan sistem penghantaran obat (James dkk., 2014). Sedangkan sifat magnetic diperoleh dari filler yang disisipkan kedalam matriks polimer, yaitu besi oksida seperti Fe_3O_4 .

Pembuatan ferogel berbasis Fe_3O_4 berukuran nanometer sudah pernah dilakukan oleh Sunaryono dkk. (2013) dengan matriks PVA. Pemuluran terbesar diperoleh ferogel dengan *filler* 25 wt% yaitu sebesar 3 mm dan simpangan 1,5 cm yang dihasilkan oleh kuat medan magnet 200 mT. Selanjutnya, Sunaryono dkk. (2018) membuat ferogel dengan matriks PVA dan CMC (*Carboxyl Methyl Cellulose*). Kombinasi bahan ini menghasilkan ferogel yang sensitif terhadap medan magnet. Semakin tinggi konsentrasi *filler* maka semakin meningkat kesensitifannya terhadap medan magnet.

Kesensitifan ferogel tertinggi diperoleh ferogel dengan *filler* 22 wt%. Hal ini ditunjukkan oleh simpangannya sebesar 7 cm dengan kuat medan magnet yang diberikan 11,1 mT.

Aji dkk. (2017) membuat ferogel berbasis Fe₃O₄ menggunakan matriks dari silikon. Respon sampel maksimum terhadap medan magnet yaitu pada konsentrasi *filler* dan matriks dengan perbandingan (50:50)%. Respon sampel ini dipengaruhi oleh kompetisi antara sifat magnet dan sifat elastis ferogel. Selain itu, respon ferogel juga dipengaruhi oleh nilai suseptibilitas magnetik. Nilai suseptibilitas magnetik merupakan parameter yang menunjukkan tingkat respon sampel terhadap pengaruh medan magnet luar.

Kajian sifat magneto-elastisitas ferogel dilakukan dengan cara mengamati pemuluran dan simpangannya terhadap pengaruh medan magnet luar sudah banyak dilakukan. Dalam penelitian Sunaryono dkk. (2007), Kurniasih (2012), dan Rahmawati dan Handayani (2013), pemuluran dan simpangan ferogel sebanding dengan penambahan konsentrasi *filler*. Ferogel secara mekanik dalam pengaruh medan magnet menunjukkan gerakan menyimpang dan mulur maksimum. Lalu, secara spontan kembali ke posisi semula ketika pengaruh medan magnet dihilangkan. Reaksi yang ditunjukkan ferogel ini identik dengan gerakan otot yang dapat berkontraksi dan berelaksasi.

Pada penelitian ini ferogel dibuat dengan *filler* Fe₃O₄ yang disintesis dari batuan besi menggunakan metode kopresipitasi dan matriks PVA dengan penambahan gliserin sebagai humektan dan *plasticizer agent*. Fe₃O₄ disintesis dengan metode kopresipitasi dari batuan besi yang diperoleh dari tambang batuan besi di Kabupaten Solok Selatan, Sumatera Barat. Sifat magnet ferogel dikarakterisasi menggunakan *Bartington MS2 Magnetic Susceptibility Meter*. Sifat magneto-elastisitasnya menggunakan uji pemuluran dan simpangan terhadap magnet. Sampel yang diuji yaitu ferogel dengan variasi massa *filler* 20%, 25%, dan 30%. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan SEM, untuk melihat morfologi dan ukuran partikel.

Selain itu juga dilakukan karakterisasi kristalinitas Fe₃O₄. Ukuran Kristal diukur menggunakan persamaan Scherrer. Hubungan antara ukuran kristal dengan lebar puncak difraksi sinar-X dapat diaproksimasi dengan persamaan Scherrer, seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan 1:

$$D = \frac{k\lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

dengan D adalah ukuran diameter kristal, λ yaitu panjang gelombang sinar-X yang diinginkan, θ adalah sudut Bragg, B adalah FWHM (*Full Width Half Maximum*).

METODE PENELITIAN

a. Sintesis Fe₃O₄ dari batuan besi

Batuan besi sebagai bahan dasar Fe₃O₄ disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Sintesis Fe₃O₄ dilakukan dengan cara melarutkan 10 g Fe₃O₄ dalam HCl (12 M) sebanyak 20 ml. Larutan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit pada suhu 90°C. Larutan disaring dengan kertas saring untuk menghilangkan residu dan mendapatkan butiran serbuk yang lebih halus. Hasil dari pemisahan ini didapatkan larutan berupa filtrat berwarna merah kehitaman. Selanjutnya, NH₄OH (12 M) sebanyak 25 ml ditambahkan kedalam filtrat dan didiamkan selama 2 menit. Endapan Fe₃O₄ yang berwarna hitam pekat kemudian dicuci menggunakan aquades sebanyak 6 kali sampai bersih, dan dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 400°C selama 2 jam.

b. Pembuatan komposit Ferogel

Tahapan pertama yaitu membuat hidrogel dengan cara mencampur PVA dan aquades dengan perbandingan massa 23:100. Campuran dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 90°C sambil diaduk untuk meningkatkan kelarutan PVA dalam aquades. Lalu hidrogel dibiarkan pada suhu kamar hingga mengembang (*swelling*). Serbuk nanopartikel Fe₃O₄ dengan variasi massa 20%, 25%, dan 30% dicampur dengan hidrogel dan ditambahkan gliserin sebanyak 1 ml atau 1,26 g. Komposit ferogel dibuat menggunakan metode *freezing-thawing* sebanyak 5 siklus. didinginkan menggunakan *freezer* pada suhu -8 °C selama 1 jam lalu dicairkan pada suhu kamar 27 °C selama 1 jam. Setelah itu komposit ferogel dibentuk seperti silinder.

c. Pengujian sifat magneto elastisitas ferogel

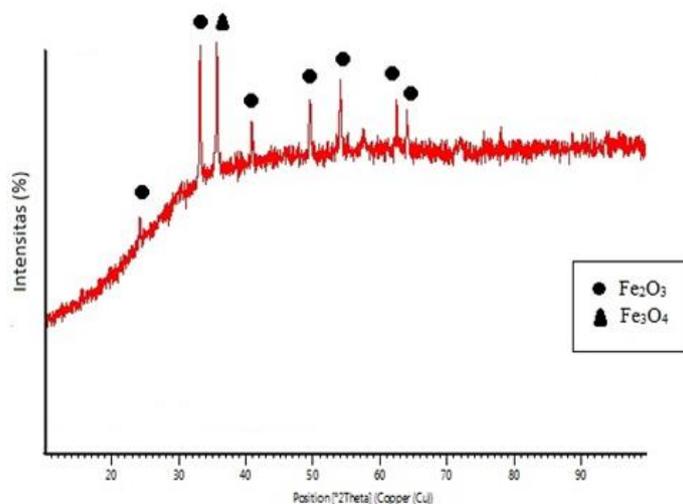
Jenis magnet yang digunakan untuk menguji sifat magneto-elastisitas ferogel pada penelitian ini adalah magnet neodmium. Kuat medan magnetnya adalah 27,5 mT. Pengolahan data pemuluran

dilakukan menggunakan aplikasi pengolah gambar *Image-J* supaya lebih teliti dan meminimalisir kesalahan pembacaan skala. Gambar 2 menunjukkan simpangan pada jarak terjauh atau jarak maksimum dari magnet yang masih direspon ferogel. Apabila magnet berada pada posisi lebih jauh dari jarak maksimum maka ferogel tidak merespon atau tidak menyimpang sehingga simpangan bernilai nol. Jarak respon pemuluran dan simpangan maksimum masing-masing ferogel yang diperoleh berbeda-beda. Hal ini tergantung pada kesensitifan masing-masing sampel terhadap medan magnet yang diberikan. Semakin jauh jarak respon menandakan semakin sensitif ferogel tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakterisasi struktur dan ukuran kristal Fe_3O_4

Pengujian sampel dengan *X-Ray Diffractometer* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa, ukuran kristal, serta mengetahui kandungan Fe_3O_4 . Pola difraksi Fe_3O_4 dapat dilihat pada Gambar 1.

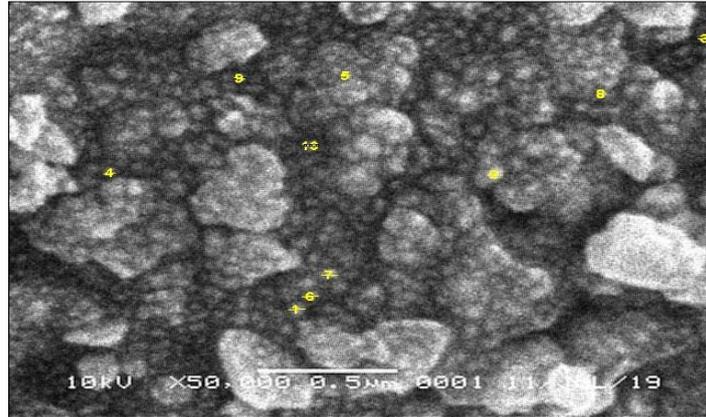


Gambar 1. Pola difraksi sinar-X serbuk batuan besi hasil sintesis

Pola difraksi dari Fe_3O_4 dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan data standar ICDD 00-001-1111 untuk fasa Fe_3O_4 dan ICDD 01-073-3825 untuk fasa Fe_2O_3 , pada sampel, puncak tertinggi dengan intensitas 100 % merupakan puncak dari Fe_2O_3 yang berada pada posisi $2\theta = 33,1589^\circ$ dengan indeks Miller (104). Sementara untuk puncak tertinggi dari Fe_3O_4 terdapat pada posisi $2\theta = 35,6390^\circ$ dengan intensitas 97,16 % yang indeks Millernya (103). Sistem kristal yang dihasilkan adalah *cubic* dengan parameter kisi $a = b = c = 8,3740 \text{ \AA}$ dengan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer yang ditunjukkan pada (Pers. 1). Dengan memasukkan data-data dari puncak Fe_3O_4 , didapatkan ukuran kristal untuk sampel A tanpa penambahan asam laurat sebesar 54,4 nm. Untuk menentukan kemagnetannya, maka sampel serbuk besi tersebut dikarakterisasi menggunakan susceptibility meter, dimana diperoleh nilai susceptibilitas magnet sebesar $2757,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$.

b. Karakterisasi morfologi dan ukuran partikel Fe_3O_4

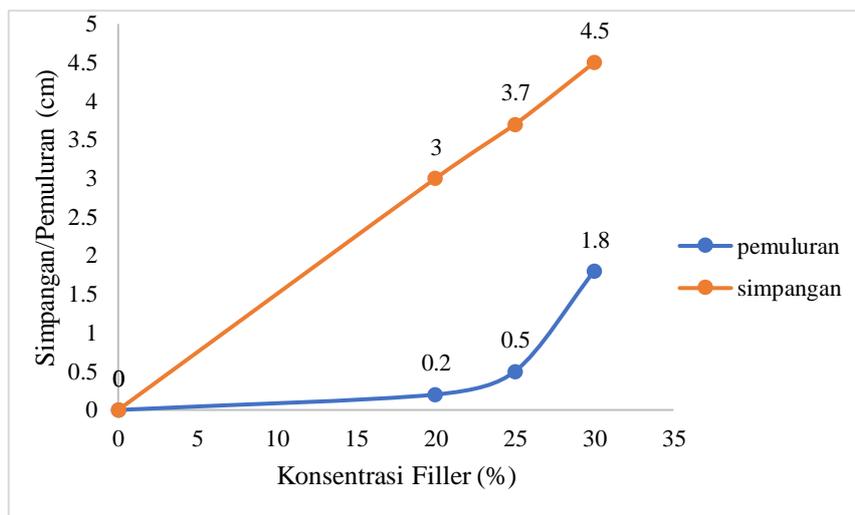
Pengujian sampel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) bertujuan untuk melihat morfologi permukaan dan menentukan ukuran partikel dari serbuk batuan besi hasil sintesis. Penentuan ukuran partikel Fe_3O_4 dilakukan menggunakan aplikasi pengolah gambar *Image-J*. Ukuran partikel ditentukan dengan cara mengambil 100 partikel secara acak. Berdasarkan foto SEM bentuk partikel cenderung berbentuk bulat, dengan ukuran diameter partikel berkisar 50-56 nm. Sehingga, dapat dikatakan bahwa sintesis Fe_3O_4 dengan metode kopresipitasi menghasilkan Fe_3O_4 berukuran di bawah 100 nm (nanopartikel). SEM serbuk Fe_3O_4 ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi permukaan serbuk batuan besi hasil sintesis

c. Analisis Sifat Magneto-Elastisitas Ferogel

Karakterisasi terhadap sifat magneto-elastisitas ferogel yaitu karakterisasi pemuluran dan simpangan ferogel oleh pengaruh medan magnet luar. Karakterisasi ini bertujuan untuk melihat seberapa besar pemuluran dan simpangan ferogel ketika dipengaruhi medan magnet luar. Hal ini berkaitan dengan tingkat kesensitifan dan keelastisan ferogel untuk menghasilkan gerak otomatis yang menyerupai gerak pada otot. Pengaruh kenaikan konsentrasi *filler* terhadap pemuluran dan simpangan ferogel ditunjukkan oleh Gambar 3.

Gambar 3. Grafik hubungan konsentrasi *filler* dengan pemuluran dan simpangan

Gambar 3. menunjukkan semakin tinggi konsentrasi *filler* maka semakin bertambah besar simpangan dan pemulurannya. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa ferogel ini sensitif terhadap medan magnet. Simpangan dan pemuluran yang diperoleh lebih besar dari penelitian Sunaryono dkk. (2013). Pada penelitian ini, kuat medan magnet 27,5 mT mampu menghasilkan simpangan dan pemuluran terbesar berturut-turut yaitu 4,5 cm dan 1,8 cm oleh ferogel dengan *filler* 30%.

d. Analisis Nilai Suseptibilitas Magnetik Ferogel

Nilai suseptibilitas magnetik masing-masing sampel ditampilkan pada Tabel 1. Uji sampel dalam 15 arah dilakukan pada frekuensi 4,65 kHz.

Tabel 1. Nilai suseptibilitas magnetik ferogel

Sampel	Nilai Suseptibilitas Magnetik (χ_m)($\times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)
20%	799,9
25%	427,7
30%	957,5
100%	2757,1

Tabel 1. menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik tertinggi yaitu pada ferogel dengan *filler* 30%. Mengacu pada Gambar 3, ferogel dengan *filler* 30% juga memiliki pemuluran dan penyimpangan tertinggi. Sebab, semakin tinggi nilai suseptibilitas magnetik suatu bahan maka semakin sensitif terhadap pengaruh medan magnet. Namun, hal ini tidak berlaku pada ferogel dengan *filler* 25%. Sehingga, tidak liniernya nilai suseptibilitas magnetik ketiga sampel disebabkan oleh ketidakseragaman filler dalam ferogel. Selain itu, berdasarkan nilai suseptibilitasnya dapat ditentukan sifat magnet untuk masing-masing sampel. Nilai suseptibilitas ferogel berada dalam rentang hematit (α -Fe₂O₃).

PENUTUP

Sintesis Fe₃O₄ dari batuan besi menggunakan metode kopresipitasi telah berhasil dilakukan. Ukuran partikel Fe₃O₄ hasil sintesis menggunakan metode kopresipitasi berkisar 50 nm – 56 nm, sedangkan ukuran kristal 54,4 nm. Semakin tinggi konsentrasi *filler* ferogel maka semakin besar pemuluran dan simpangannya. Ferogel yang dibuat sensitif terhadap medan magnet.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, A.P., Rafitasari, Y., Silalahi, H.M., Purwita, T.D., Laksono, F.D., dan Nugroho, F., 2017, Material Magnetoelastik sebagai Alternatif Pengganti Otot Buatan, *Jurnal Fisika Indonesia*, Vol. 21, No. 1, hal. 1-8.
- Hunt, C.P., Moskowitz, B. M., dan Barnerje, S.K., 1995, *Magnetic Properties of Rocks and Mineral*, London.
- James, P.H., John, R., Alex A., dan Anoop, K.R., 2014, Smart Polymers for the Controlled Delivery of Drugs a Concise Overview, *Acta Pharm. Sin. B*, Vol. 4, No. 2, hal. 120–127.
- Kenawy, E.R., Kamoun, E. A., Mohy, E.M.S., dan El-Meligy, M. A., 2014, Physically Crosslinked Poly(vinyl alcohol)-hydroxyethyl Starch Blend Hydrogel Membranes: Synthesis and Characterization for Biomedical Applications, *Arab. J. Chem*, Vol. 7, No. 3, hal. 372–380.
- Kurniasih, L., 2012, Pengaruh Penambahan Filler Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) pada Sifat Magneto Elastisitas Ferogel, *Skripsi*, Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Ramanujan, R.V., 2004, Clinical Application of Magnetic Nanomaterials, *Proceeding First International Bioengineering Conference*, Singapore.
- Sunaryono, Kholifah M.N., Yudyanto, Taufiq, A., Mufti, N., Wulandari, R., Munasir, Diantoro, M., 2018, Deformation of Ferogel Based on Carboxyl Methyl Cellulose (CMC)/Polyvinyl Alcohol (PVA) Hydrogel, *Materials Science and Engineering*, Vol. 367, hal 1-10.
- Sunaryono, Munaji, Ediati, R., Triwikantoro dan Darminto, 2007, Fabrikasi Hidrogel Magnetik Berbasis Fe₃O₄, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 8, No. 3, hal. 174-177.
- Sunaryono, Taufiq, A., Nurdin, dan Darminto, 2013, Kontribusi Filler Magnetik Fe₃O₄ pada Efek Histerisis Magneto-Elastisitas Komposit Ferogel, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 9, No. 1, hal. 37-41.