

Sintesis Nanokomposit Kitosan/Ag/Fe₃O₄ Sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue

Geby P. Senolinggi, Henry F. Aritonang, Dewa G. Katja

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sam Ratulangi

Email: henryaritonang@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ dengan variasi volume larutan AgNO₃ serta aplikasinya sebagai fotokatalis untuk mendegradasi *methylene blue*. Nanokomposit yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil karakterisasi tersebut membuktikan terbentuknya nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄. Analisis aktivitas fotodegradasi dilakukan melalui penentuan konsentrasi *methylene blue* yang tersisa setelah interaksi dengan nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ yang disinari lampu pijar selama 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan fotodegradasi dengan menggunakan nanokomposit lebih baik dibandingkan tanpa penambahan nanokomposit.

Kata kunci: Nanopartikel, Ag, Fe₃O₄, kitosan, *methylene blue*

ABSTRACT

Research has been carried out on the synthesis of chitosan/Ag/Fe₃O₄ nanocomposites with varying volumes of AgNO₃ solutions and their application as a photocatalyst to degrade methylene blue. The resulting nanocomposites were characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The characterization results proved the presence of chitosan/Ag/Fe₃O₄ nanocomposites. Analysis of photodegradation activity was carried out by determining the concentration of methylene blue remaining after interaction with the chitosan/Ag/Fe₃O₄ nanocomposite which was irradiated with an incandescent lamp. The results showed that the ability to photodegrade using nanocomposites was better than without the addition of nanocomposites.

Keywords: nanoparticle, Ag, Fe₃O₄, chitosan, methylene blue

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, bidang industri dan bidang pendidikan semakin banyak mengembangkan berbagai teknologi, diantaranya adalah nanoteknologi. Nanoteknologi adalah bidang sains dan teknik yang berfokus pada desain dan manipulasi material pada skala nano yang melibatkan studi dan kontrol materi pada skala atom, molekul, dan supramolekul (Awan dkk., 2016). Nanoteknologi melibatkan prekursor sebagai sumber material nano, dimana material yang dihasilkan memiliki sifat berbeda dari material sebelumnya sehingga memiliki banyak fungsi. Oleh karena itu, nanoteknologi banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti biomedis, *nanodevices*, fotokatalis/fotodegradasi, dan lain-lain (Weiwei dkk., 2008).

Nanopartikel adalah salah satu dari nanoteknologi yang banyak diteliti karena memiliki ukuran partikel < 100 nm, dimana pada skala ini sebagian kecil dari atom-atom partikel pada permukaan memberikan sifat yang unik (Sun dan Xia, 2002). Nanopartikel perak (Ag) memiliki sifat toksisitas yang jauh lebih baik dibandingkan bila ukurannya lebih besar karena dengan ukuran demikian nanopartikel Ag dapat bekerja lebih efektif (Siddiqi dkk., 2018). Selain itu, Bere dkk. (2019) juga melaporkan bahwa Ag berukuran nano mampu mendegradasi zat warna *methylene blue* (MB).

Selain nanopartikel Ag, Fe₃O₄ berukuran nano menunjukkan kemampuannya dalam menjerap logam berat (Kalantari dkk., 2014). Demikian pula, material ini menunjukkan kemampuannya dalam

membunuh bakteri (Prabhu dkk., 2015), sebagai biosensor elektrokimia (Sanaeifar dkk., 2017) dan katalis (Arefi dkk., 2015). Fe_3O_4 memiliki sifat magnetik dan biokompatibilitas sehingga dapat digunakan dalam sistem penghantaran obat (Huong dkk., 2016).

Melihat keunggulan nanopartikel Ag dan Fe_3O_4 maka sangat dimungkinkan kedua material ini digabung dalam suatu material nanokomposit. Untuk itu, Saeed dkk. (2020) mensintesis nanokomposit Ag/ Fe_3O_4 dan digunakan sebagai fotokatalis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efek fotokatalis jauh lebih baik dibandingkan tanpa ada nanopartikel Ag di dalam nanokomposit tersebut. Namun demikian, untuk menghasilkan nanokomposit diperlukan bahan penstabil agar material-material tersebut terdistribusi merata. Nguyen dkk. (2015), menggunakan kitosan sebagai penstabil dalam mensintesis nanokomposit Ag/ Fe_3O_4 . Fe_3O_4 yang digunakan diperoleh dari hasil sintesis FeCl_3 dan FeCl_2 . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kedua material tersebut terdistribusi merata dan menunjukkan aktivitasnya sebagai antibakteri. Menurut Dinira (2022), kitosan memiliki kemampuan berikatan dengan ion logam karena adanya gugus amina dan hidroksil dalam rantai kitosan. Gugus amina memiliki andil utama dalam pembentukan khelat dengan ion logam karena adanya pasangan elektron bebas pada atom nitrogen.

Penelitian mengenai sintesis nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 berbasis pasir besi yang berasal dari Sulawesi Utara sebagai fotokatalis MB belum ada yang melaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mensintesis nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 yang bersumber dari pasir besi pantai Hais, Minahasa Tenggara menggunakan metode kopresipitasi sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna MB. Nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 yang dihasilkan dikarakterisasi dengan XRD, SEM-EDX, FTIR dan diuji kemampuannya sebagai fotokatalis dalam mendegradasi zat warna MB.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan adalah pasir besi yang diperoleh dari pantai Hais Kecamatan Belang Kabupaten Minahasa Tenggara. Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah kitosan, asam klorida, ammonia, asam asetat glasial, glutaraldehida, perak nitrat, natrium hidroksida dan *methylene blue* diperoleh dari E. Merck (Darmstadt, Germany).

Preparasi dan pembuatan serbuk pasir besi

Pasir besi diambil dari pantai Hais, dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan. Pasir besi yang telah kering digerus hingga menjadi halus dan diayak dengan menggunakan ayakan 200 mesh. Serbuk pasir yang telah diayak selanjutnya ditarik dengan magnet permanen. Serbuk yang ditarik oleh magnet permanen digunakan untuk mensintesis Fe_3O_4 .

Sintesis nanopartikel Fe_3O_4

Sintesis nanopartikel Fe_3O_4 dari pasir besi dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi, mengikuti prosedur Nurjanah (2018), dengan beberapa modifikasi. Sebanyak 100 mL HCl 37% dimasukkan ke dalam gelas kimia dan dipanaskan pada suhu 70 °C. Selanjutnya, dimasukkan ke dalamnya 20 g serbuk pasir besi dan diaduk selama 1 jam menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 400 rpm. Selanjutnya, larutan ini disaring dan filtratnya ditambahkan 36,5 mL larutan NH_4OH 25% dan diaduk kembali selama 1 jam menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 400 rpm, kemudian disaring untuk diambil endapannya. Endapan yang diperoleh selanjutnya dicuci menggunakan akuades hingga pH endapan menjadi 7, kemudian dikalsinasi di dalam tanur pada suhu 200 °C selama 2 jam. Setelah itu, sampel digerus dan digunakan untuk sintesis nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 .

Sintesis nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4

Sebanyak 1 g serbuk kitosan ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan ditambahkan 60 mL asam asetat 2% dan diaduk selama 2 jam menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 700 rpm. Selanjutnya, larutan kitosan ini ditambahkan 3 mL glutaraldehida dan diaduk selama 2 jam menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 700 rpm. Setelah itu, ditambahkan 0,5 g Fe_3O_4 dan 15 mL 0,1 M AgNO_3 dan diaduk lagi selama 2 jam dengan kecepatan 700 rpm.

Campuran yang diperoleh ditetesi dengan 3 M NaOH hingga mencapai pH 14 dan terbentuk endapan. Endapan yang diperoleh disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH 7, dikeringkan di dalam oven selama 2x24 jam pada suhu 40 °C. Hasil sintesis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ selanjutnya dikarakterisasi dengan SEM-EDX, FTIR dan XRD, serta dilakukan uji sebagai fotokatalis untuk mendegradasi *Methylene Blue*.

Pengujian aktivitas fotokatalis

Aktivitas fotokatalis yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti prosedur Labhane dkk. (2015) dengan modifikasi. Ke dalam 7 tabung kaca, masing-masing dimasukkan sebanyak 10 mL larutan MB kemudian untuk 5 tabung kaca ditambahkan sebanyak 0,01 g nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ dan ke dalam 1 tabung kaca yang lain sebanyak 0,01 gram kitosan sebagai pembanding. Satu tabung kaca lainnya hanya diisi oleh larutan MB. Tujuh tabung kaca tersebut selanjutnya diletakkan dalam reaktor dan disinari dengan lampu pijar selama selang waktu 30, 60, 90, dan 120 menit. Konsentrasi zat warna yang tersisa diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum MB yaitu 664,5 nm. Persentase (%) degradasi MB dapat dihitung menggunakan persamaan 4:

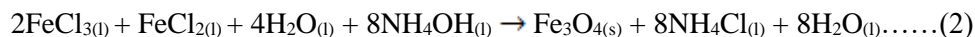
$$\% \text{ Degradasi} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana C₀ adalah konsentrasi awal dan C_t adalah konsentrasi setelah penyinaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis nanopartikel Fe₃O₄

Serbuk pasir yang digunakan dalam proses sintesis nanopartikel Fe₃O₄ adalah serbuk yang dapat ditarik dengan magnet. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan senyawa FeCl₂ dan FeCl₃ yang selanjutnya akan digunakan dalam tahap kopresipitasi. Pada tahap kopresipitasi digunakan NH₄OH sebagai agen pengendap. Adapun reaksi yang terjadi seperti yang tersaji pada Persamaan 2 berikut (Sholihah, 2010):



Endapan yang dihasilkan selanjutnya dicuci dengan akuades untuk memisahkannya dari zat pengotor. Setelah melalui proses pengeringan, produk hasil sintesis nanopartikel Fe₃O₄ berupa serbuk berwarna hitam kecoklatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa produk nanopartikel Fe₃O₄ adalah 9,08 g. Hasil sintesis nanopartikel Fe₃O₄ selanjutnya digunakan untuk sintesis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄.

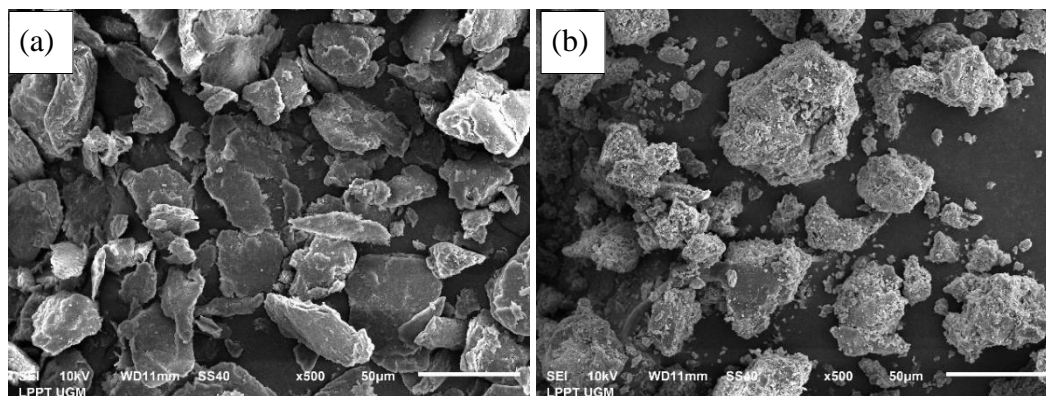
Sintesis nanokomposit kitosan/Ag/ Fe₃O₄

Sintesis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ diawali dengan pembuatan larutan kitosan kemudian ditambahkan glutaraldehida. Glutaraldehida berfungsi sebagai agen pengikat silang atau *cross-linking* untuk meningkatkan stabilitas serta porositas area permukaan dari kitosan (Yeamsuksawat, 2021). Setelah itu ditambahkan Fe₃O₄ dan Ag, larutan kitosan-glutaraldehida-Fe₃O₄-Ag ditetesi dengan NaOH 3 M sebagai agen pengendap agar proses kopresipitasi terjadi sehingga partikel-partikel Ag terdeposisi dalam kitosan. Setelah terbentuk endapan, kemudian dicuci berulang-ulang hingga pH dari filtrat kembali netral (pH 7). Proses pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor dari endapan yang terbentuk serta mengembalikan pH yang awalnya basa, kembali menjadi netral agar proses absorpsi dari kitosan dapat berjalan dengan optimal (Sugita & Wukirsari, 2019). Produk serbuk kering nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ yang dihasilkan berwarna coklat hingga coklat kehitaman dengan massa 1,98 g.

Analisis scanning electron microscope (SEM)

Untuk hasil pengamatan kitosan menunjukkan permukaan yang rata, sedangkan nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ berbentuk gumpalan dengan partikel-partikel putih yang tersebar pada area permukaan (Gambar 1). Menurut Li dkk. (2013), perubahan bentuk terjadi karena penambahan glutaraldehida yang berfungsi sebagai agen *cross-linking* dalam pembentukan

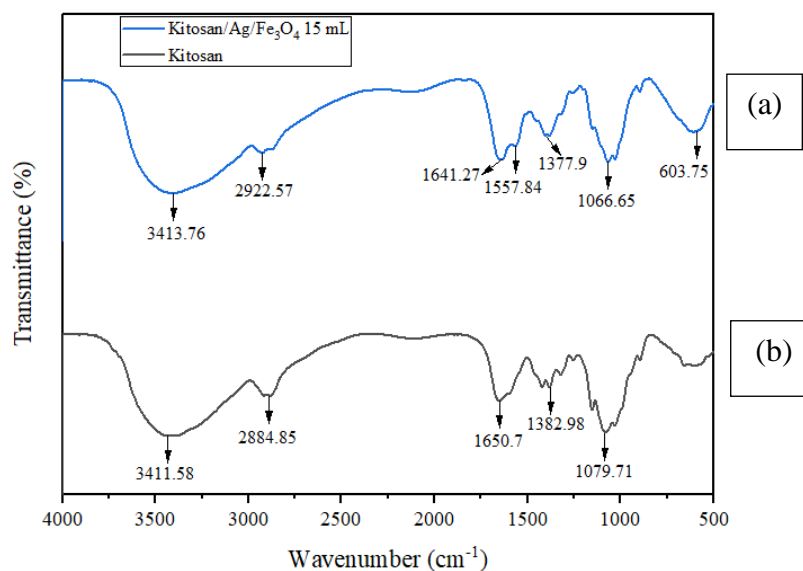
nanokomposit sehingga ion-ion Ag lebih mudah berinteraksi dengan kitosan dan ketika ion-ion ini tereduksi maka mudah menempel pada permukaan kitosan. Menurut Hartati dkk. (2022), titik-titik putih pada nanokomposit menunjukkan adanya partikel Ag di permukaan. Morfologi permukaan yang berpori menunjukkan kemungkinan interaksi antara kitosan dan nanopartikel Fe_3O_4 (Baghayeri dkk., 2018).



Gambar 1. Citra SEM dari (a) kitosan, (b) nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4

Analisis *fourier transform infra red* (FTIR)

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 yang dibandingkan dengan kitosan.



Gambar 2. Profil spektra FTIR kitosan dan nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4

Pada spektrum FTIR, kitosan menunjukkan adanya puncak serapan pada daerah bilangan gelombang $3411,58 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya regangan O-H yang tumpang tindih dengan gugus N-H dan ini ditandai dengan adanya pita serapan yang lebar dan tajam. Pada daerah $2884,85 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan C-H alifatik. Serapan pada bilangan gelombang $1650,7 \text{ cm}^{-1}$, menunjukkan ikatan ulur C=O dari gugus asetamida yang terdapat pada rantai utama kitosan. Serapan pada daerah $1382,98 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C-N. Sedangkan serapan pada daerah $1079,71 \text{ cm}^{-1}$ adalah gugus C-O ulur. O-H, N-H, C=O, dan C-O merupakan gugus fungsi khas dari kitosan (Yeamsuksawat dkk., 2021).

Selanjutnya pada spektrum FTIR nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 menunjukkan karakteristik spektrum yang sama dengan spektrum dari kitosan. Namun terdapat pergeseran pada beberapa bilangan gelombang dan muncul puncak baru pada bilangan gelombang $1557,84 \text{ cm}^{-1}$, dan $603,75$

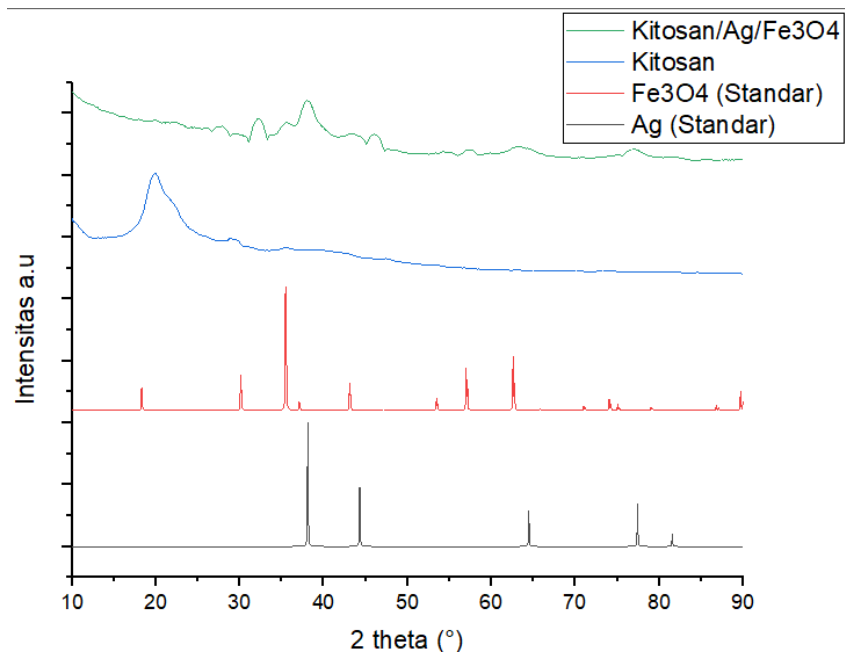
cm^{-1} . Munculnya bilangan gelombang $1557,84 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus NH yang berikatan dengan Ag, dimana terjadi interaksi antara kitosan dengan Ag dan Fe_3O_4 melalui atom N pada gugus NH_2 serta atom O pada gugus OH dan C=O (Hartati *dkk.*, 2022). Selain itu, muncul puncak pada daerah sekitar $603,75 \text{ cm}^{-1}$ yang relatif tajam dibanding kitosan. Menurut Baghayeri *dkk.* (2018), puncak tersebut merupakan interaksi regangan gugus Fe-O yang mengindikasikan bahwa nanopartikel magnetit Fe_3O_4 dilapisi oleh kitosan. Adapun bilangan gelombang dan gugus fungsi yang mendukungnya tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data FTIR kitosan/Ag/ Fe_3O_4

Bilangan gelombang (cm^{-1})		Gugus fungsi
Kitosan	Kitosan/Ag/ Fe_3O_4	
3411,58	3413,76	O-H tumpang tindih dengan N-H
2884,85	2922,57	Regang C-H (CH_2)
1650,7	1641,27	Regang C=O ($-\text{NHCOCH}_2-$)
-	1557,84	NH_2 berikatan dengan Ag
1382,98	1377,9	C-N
1079,71	1066,65	Regang C-O ($-\text{C-O-C}$)
-	603,75	Fe-O

Analisis X-ray diffraction (XRD)

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui telah terbentuknya partikel-partikel nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 dari sumber prekursoranya. Pola difraktogram sampel nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4 yang dibandingkan dengan standarnya yaitu *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) nomor 64706 untuk Ag dan ICSD nomor 27898 untuk Fe_3O_4 .

Gambar 3. Difraktogram kitosan dan nanokomposit kitosan/Ag/ Fe_3O_4

Pada Gambar 3, daerah 2θ untuk Ag standar menunjukkan 5 puncak dominan yaitu pada daerah 2θ , masing-masing $38,12^\circ$; $44,3^\circ$; $64,45^\circ$; $77,41^\circ$; dan $81,55^\circ$, sedangkan daerah 2θ untuk Fe_3O_4 standar menunjukkan 10 puncak dominan yaitu $18,31^\circ$; $30,12^\circ$; $35,48^\circ$; $37,11^\circ$; $43,12^\circ$; $53,49^\circ$; $57,02^\circ$; $62,62^\circ$; $74,06^\circ$; dan $89,79^\circ$. Sementara itu, kitosan hanya menunjukkan 1 puncak dominan yaitu pada daerah 2θ $20,41^\circ$. Sampel nanokomposit tidak memiliki puncak pada daerah 2θ 20° . Menurut Yeamsuksawat *dkk.* (2021), puncak kitosan tidak dapat diidentifikasi karena kitosan terikat oleh Fe_3O_4 melalui gugus amina dan hidroksil kitosan. Sementara itu, sampel nanokomposit

menunjukkan 4 puncak dominan yaitu $32,92^\circ$; $38,07^\circ$; $63,74^\circ$; dan $77,14^\circ$ yang berarti telah terbentuk Nanokomposit.

Berdasarkan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) yang sesuai dengan daerah 2θ maka diperoleh ukuran kristalit dari nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ dengan menggunakan Persamaan (1) dan tersaji pada Tabel 2 berikut:

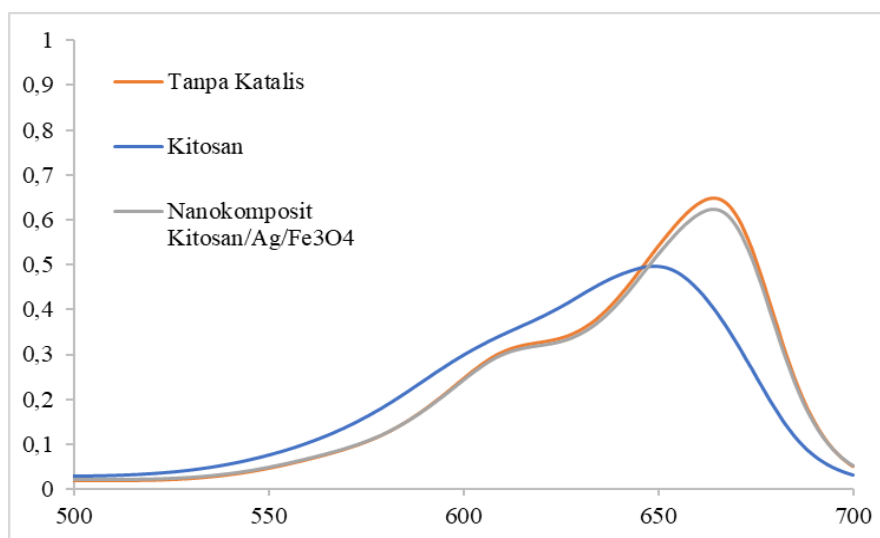
Tabel 2. Ukuran kristalit nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄

Sampel	Ukuran kristalit nanokomposit kitosan/Ag/Fe ₃ O ₄ (nm)
Kitosan	1,96
Nanokomposit kitosan/Ag/Fe ₃ O ₄	1,37

Berdasarkan Tabel 2 di atas, ukuran kristalit nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ lebih kecil dibandingkan dengan ukuran kristalit kitosan.

Analisis hasil pengujian spektrofotometer UV-Vis

Serbuk nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ dimasukkan ke dalam 10 mL *methylene blue* yang kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui karakteristik fotokatalis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ yang terbentuk dari spektrum puncak absorbansinya. Karakterisasi fotokatalis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan selang panjang gelombang 500-700 nm.

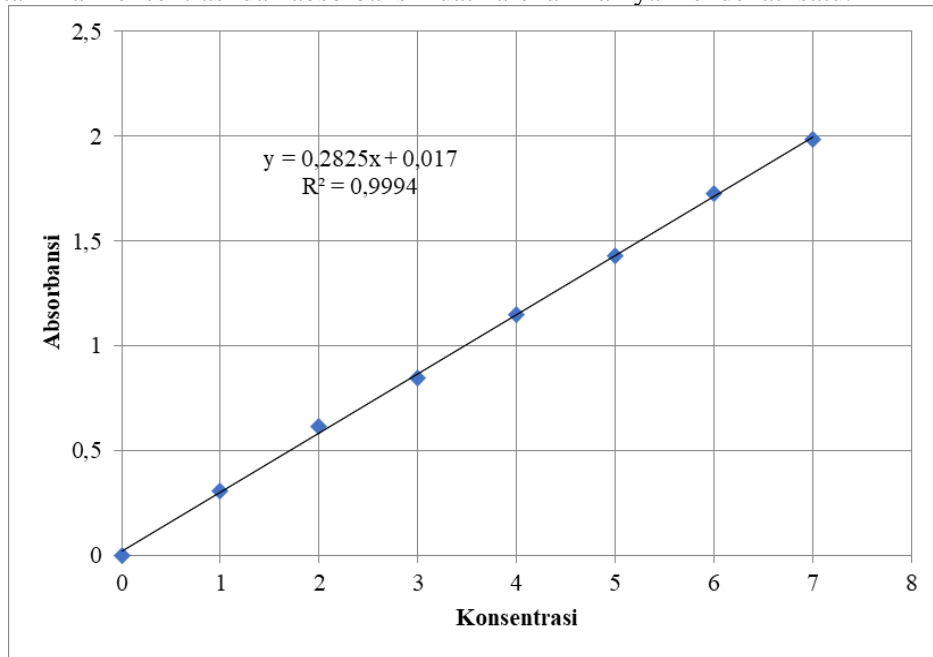


Gambar 4. Spektra absorpsi dari MB dengan fotokatalis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄.

Gambar 4 menunjukkan adanya perubahan absorbansi *methylene blue* setelah didegradasi dengan dan tanpa menggunakan fotokatalis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ mengalami penurunan absorbansi dari 0,648 (absorbansi *methylene blue*) menjadi 0,622. Rendahnya nilai absorbansi menunjukkan bahwa nilai % degradasi semakin besar, demikian pula sebaliknya. Informasi ini menunjukkan bahwa nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ relatif lebih baik sebagai fotokatalis dalam mendegradasi *methylene blue*. Selain itu, dapat dilihat bahwa profil spectra absorpsi kitosan berbeda dibandingkan dengan penambahan nanokomposit, hal ini diduga karena kitosan bereaksi dengan MB sehingga panjang gelombang berubah menjadi lebih pendek yaitu 649 nm.

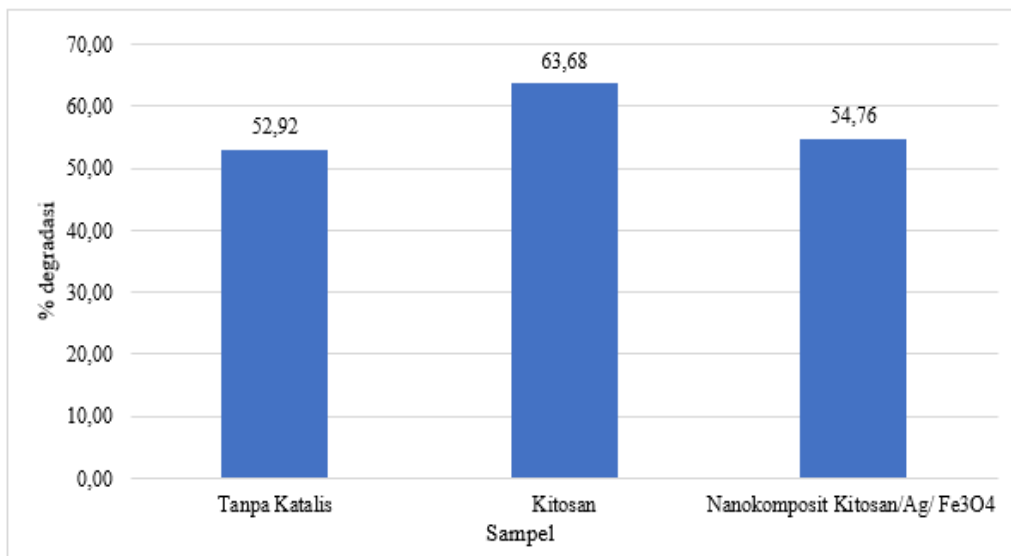
Aktivitas fotokatalis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄

Pengujian fotodegradasi terhadap zat warna *methylene blue*. Kurva kalibrasi standar yang digunakan memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9994 (Gambar 5) yang menunjukkan korelasi antar nilai konsentrasi dan absorbansi kuat karena nilainya mendekati satu.



Gambar 5. Kurva Standar *Methylene Blue*

Besarnya persen degradasi dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Nilai % degradasi nanokomposit terhadap volume AgNO₃, dalam mendegradasi *methylene blue*.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai % degradasi *methylene blue* setelah didegradasi tanpa fotokatalis dan adanya fotokatalis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ menunjukkan adanya perubahan. % Degradasi dari MB setelah didegradasi tanpa katalis sebesar 52,92% dan ketika ditambahkan nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ 15 mL mengalami kenaikan menjadi 54,76%. Hal ini menunjukkan kemampuan fotokatalis nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ dapat bekerja dalam proses degradasi sampel.

KESIMPULAN

Nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi. Ukuran nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ yang dihasilkan senilai 1,37 nm, ukuran tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan kitosan. Nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄ dapat mendegradasi zat warna *methylene blue* dengan persen degradasi 54,76% dimana lebih besar jika dibandingkan dengan persen degradasi *methylene blue* tanpa penambahan nanokomposit kitosan/Ag/Fe₃O₄.

DAFTAR PUSTAKA

- Arefi, M., Saberi, D., Karimi, M., & Heydari, A. 2015. Superparamagnetic Fe(OH)₃@Fe₃O₄ nanoparticles: an efficient and recoverable catalyst for tandem oxidative amidation of alcohols with amine hydrochloride salts. *ACS Combinatorial Science*. 17(6), 341-347.
- Awan, I.Z., Hussain, S.B., Haq, A.U., & Khan, A.Q. 2016. Wonderous Nanotechnology. *Journal Chemical Society of Pakistan*. 38(6), 1026-1055.
- Baghayeri, M., Veisi, H., Farhadi, S. Beitollahi, H., & Maleki, B. 2018. Ag nanoparticles decorated Fe₃O₄/chitosan nanocomposite: synthesis, characterization and application toward electrochemical sensing of hydrogen peroxide. *Journal of the Iranian Chemical Society*. 15(5), 1-8
- Bere, M.L., Sibarani, J., & Manurung, M. 2018. Sintesis nanopartikel perak (NpAg) menggunakan ekstrak air daun kemangi (*Ocimum Sanctum* Linn.) dan aplikasinya dalam fotodegradasi zat warna metilen biru. *Indonesia E-Journal of Applied Chemistry*. 7(2), 155-164.
- Dinira, L. 2022. Modifikasi kitosan sebagai nanokomposit biopolimer untuk pemisahan pn(ii) dan cd(ii) secara simultan pada sistem multikomponen (Systemmatic Review). *The Indonesian Green Technology Journal*. 11(1), 27-37.
- Hartati, H., Subaer, S., Hasri, H., Wibawa, T., & Hasriana, H. 2022. Microstructure and Antibacterial Properties of Chitosan-Fe₃O₄-AgNP Nanocomposite. *Nanomaterials*. 12(20), 1-13.
- Huong, L., Nam, N.H., Doan, D., Nhung, H., Quang, B.T., Nam, P.H., Thong, P.Q., Phuc, N., & Thu, H.P. 2016. Folate attached, curcumin loaded fe₃o₄ nanoparticles: a novel multifunctional drug delivery system for cancer treatment. *Materials Chemistry and Physics*. 172, 98-104.
- Kalantari, K., M.B. Ahmad, K. Shameli, M.Z.B. Hussein, R. Khandanlou, dan H. Khanehzaei. 2014. Size-controlled synthesis of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles in the layers of montmorillonite. *Journal of Nanomaterials*. 2014, 1-9.
- Li, B., Shan, C.L., Zhou, Q., Fang, Y., Wang, Y.L., Xu, F., Han, L.R., Ibrahim, M., Guo, L.B., Xie, G.L., & Sun, G.C. 2013. Synthesis, characterization, and antibacterial activity of cross-linked chitosan-glutaraldehyde. *Marine drugs*. 11(5), 1534-1552.
- Nguyen, N.T., Tran, L.D., Nguyen, C.D., Nguyen, L.T., Thi, C.B., Nguyen, B.H. Thi, D.B., Pham, N.H., Nguyen, D.T., Tran, H.T., & Pham., D.G. 2015. Facile synthesis of multifunctional ag/fe₃o₄-cs nanocomposites for antibacterial and hyperthermic applications. *Current Applied Physics*. 15(11), 1482-1487.
- Nurjanah, S. 2018. Sintesis dan karakterisasi nanopartikel magnetik Fe₃O₄ pasir besi glagah kulon progo dengan metode kopresipitasi. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Prabhu, Y.T., Rao, K.V., Kumari, B.V., Kumar, V.S.S., & Pavani. T. 2015. Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles and its antibacterial application. *International Nano Letters*. 5(2), 85-92.
- Saeed, M., Usman, M., Muneer, M., Akram, N., Hag,A.U., Tariq, M., & Akram, F. 2020. Synthesis of Ag-Fe₃O₄ nanoparticles for degradation of methylene blue in aqueous medium. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*. 34(1), 123-134
- Sanaeifar, N., Rabiee, M., Abdilrahim, M., Tahriri, M., Vashae, D., & Tayebi, L. 2017. A novel electrochemical biosensor based on Fe₃O₄ nanoparticles-polyvinyl alcohol composite for sensitive detection of glucose. *Analytical Biochemistry*. 519(519), 19-26.
- Sholihah, L.K., 2010. Sintesis dan karakteristik partikel nano Fe₃O₄ yang berasal dari pasir besi dan fe₃o₄ bahan komersial (*Aldrich*). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Siddiqi, K.S., Husen, A., & Rao, R.A.K. 2018. A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties. *Journal of Nanobiotechnology*. 16(14), 1-28.
- Sugita, P., & Wukirsari, T. 2019. *Kitosan: Sumber Biomaterial Masa Depan*. PT Penerbit IPB Press, Bogor.
- Sun, Y., & Xia, Y. 2002. Shape-controlled synthesis of gold and silver nanoparticles. *Science*. 298(5601), 2176-2179.
- Weiwei, L., Liu, G., Gao, S., Xing, S., & Wang, J. 2008. Tyrosine-assisted preparation of Ag/ZnO nanocomposites with enhanced photocatalytic performance and synergistic antibacterial activities. *Journal of Nanotechnology*. 19(44), 1-10.
- Yeamsuksawat, T., Zhao, H., & Liang, J. 2021. Characterization and antimicrobial performance of magnetic Fe₃O₄@Chitosan@Ag nanoparticles synthesized via suspension technique. *Materials Today Communications*. 28, 102481.