

Fotodegradasi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Komposit Kitosan/Ag

Gillby Peatrick Dion Laseduw¹, Henry Fonda Aritonang^{*.1}, Vanda Selvana Kamu¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi

*Email korespondensi: henryaritonang@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Telah disintesis kitosan yang terdoping dengan nanopartikel Ag dalam suatu komposit kitosan/Ag menggunakan metode kopresipitasi dimana kitosan berperan sebagai penstabil dan glutaraldehida sebagai agen pengikat silang. Sifat struktural, elemental, dan morfologi telah dianalisis menggunakan FTIR, SEM-EDX, dan XRD untuk mengetahui apakah komposit kitosan/Ag telah terbentuk dengan hasil yang didapatkan bahwa komposit kitosan/Ag telah terbentuk dengan ukuran kristalit sebesar 2,06 nm. Aktivitas fotokatalitik dari komposit kitosan/Ag telah dilakukan dengan iradiasi zat warna methylene blue menggunakan lampu UV. Berdasarkan hasil yang diperoleh, komposit kitosan/Ag memiliki kemampuan fotokatalis yang bagus dalam mendegradasi zat warna methylene blue dengan waktu kontak optimum pada waktu 90 menit.

Kata kunci: Kitosan, nanopartikel Ag, methylene blue, fotodegradasi

ABSTRACT

Chitosan doped with Ag nanoparticles in a chitosan/Ag composite was synthesized using the coprecipitation method where chitosan acts as a stabilizer and glutaraldehyde as a crosslinking agent. Structural, elemental, and morphological properties were analyzed using FTIR, SEM-EDX, and XRD to observe the formation of the chitosan/Ag composite. It was shown that the chitosan/Ag composite was formed with a crystallite size of 2.06 nm. The photocatalytic activity of the chitosan/Ag composite was examined by irradiating methylene blue under UV lamp. Based on the results obtained, the chitosan/Ag composite had good photocatalytic ability to degrade methylene blue dye with an optimum contact time of 90 minutes.

Keywords: Chitosan, Ag nanoparticles, methylene blue, photodegradation

PENDAHULUAN

Nanoteknologi adalah pengetahuan dan kontrol bahan nano dengan rentang ukuran antara 1 sampai 100 nanometer. Dengan ukuran partikel yang sangat kecil ini, bahan dapat dirancang dan disusun untuk memiliki sifat dan fungsi baru. Nanoteknologi adalah fenomena unik yang dapat diterapkan pada teknologi informasi, kedokteran, perawatan kesehatan, pertanian, industri, dan bidang lainnya (Jamkhande dkk., 2019). Nanoteknologi meliputi nanomanufaktur, nanomaterial, nanopartikel, aplikasi fisika, kimia, dan biologis pada skala atom atau molekul ke dimensi submikron (Mobasser & Firoozi, 2016). Nanopartikel merupakan suatu partikel dengan ukuran sekitar <100 nm dengan bentuk dan sifat yang variatif. Perkembangan dari nanopartikel ke sistem yang lebih besar telah memberikan berbagai solusi alternatif pada berbagai bidang seperti lingkungan, medis, industri, elektronik, energi, sumber daya air, bioteknologi, dan teknologi informasi dikarenakan sifat kimia dan fisika dari nanopartikel yang lebih unggul dibandingkan material berukuran besar (*bulk*) (Stark dkk., 2015).

Telah dilaporkan beberapa metode dalam mensintesis nanopartikel yaitu kopresipitasi (Tazikeh dkk., 2014), sintesis hidrotermal (Tadic dkk., 2019), metode prekursor sitrat (Tyagi dkk., 2016), metode *glass ceramics* (Kumar dkk., 2022), proses sol-gel (Dastan, 2017), dan melalui jalur biologis seperti biosintesis (Jamkhande dkk., 2019). Diantara metode tersebut, metode kopresipitasi merupakan metode yang paling menjanjikan karena penggunaan suhu yang rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran

partikel sehingga waktu yang dibutuhkan dalam mensintesis nanopartikel relatif lebih cepat dibanding metode lainnya (Ningsih, 2016).

Umumnya untuk mendapatkan partikel berukuran nano, ditambahkan *capping agent* atau penstabil dalam mensintesis nanopartikel. Bahan penstabil yang sering digunakan dalam mensintesis nanopartikel yaitu *polyvinyl pyrrolidone* (PVP) (Wang dkk., 2005), dan *polyethylene glycol* (PEG) (Tatinting dkk., 2022). Selain itu, terdapat polimer alam yang digunakan sebagai penstabil nanopartikel yaitu kitosan (Udoetok dkk., 2016).

Penggunaan kitosan sebagai penstabil nanopartikel telah banyak dilaporkan oleh penelitian – penelitian sebelumnya. Maryani dkk. (2021) dan Bungan dkk. (2021) telah menggunakan kitosan sebagai penstabil, masing-masing nanopartikel magnesium oksida (MgO) dan perak (Ag) serta titanium oksida (TiO₂) dan Ag dalam mensintesis material komposit kitosan/MgO/Ag dan TiO₂/Ag dengan metode kopresipitasi, namun komposit tersebut digunakan dalam menganalisis aktivitas antibakteri baik gram positif maupun negatif. Saravanan dkk. (2018) menggunakan kitosan sebagai penstabil nanopartikel TiO₂ dan digunakan sebagai fotokatalis dalam mendegradasi zat warna metil jingga dan *methylene blue*.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaporkan tersebut, komposit kitosan/Ag berpotensi sebagai fotokatalis dalam mendegradasi zat warna *methylene blue*. Oleh karena itu, peneliti mencoba mensintesis komposit kitosan/Ag untuk menganalisis efektivitas komposit kitosan/Ag yang diaplikasikan sebagai fotokatalis. Selain itu, sintesis komposit kitosan/Ag masih sedikit dilaporkan, khususnya sebagai fotokatalis terhadap *methylene blue*. Digunakannya kitosan dalam penelitian ini karena kitosan adalah biopolimer alami dengan daya serap air yang tinggi dan dapat terbiodegradasi (Sugita & Wukirsari, 2019). Pendopongan nanopartikel Ag dalam kitosan tersebut berfungsi untuk meningkatkan daya jerap dari kitosan dalam proses degradasi fotokatalitik (Sisteya & Sutanto, 2013). Komposit yang dihasilkan akan dianalisis efektivitasnya sebagai fotokatalis dalam mendegradasi zat warna *methylene blue*.

BAHAN DAN METODE

Kitosan yang diperoleh dari industri masyarakat, asam asetat, perak nitrat, natrium hidroksida dan *methylene blue* yang diperoleh dari E. Merck (Darmstadt, Germany), sedangkan glutaraldehida yang diperoleh dari Sigma-Aldrich.

Pembuatan larutan kitosan

Sebanyak 1,05 g kitosan dilarutkan ke dalam 60 mL asam asetat 2% dan diaduk dengan hot plate stirrer selama 3 jam pada kecepatan 700 rpm. Ke dalam larutan kitosan ini dimasukkan 3 mL glutaraldehida dan diaduk kembali pada kecepatan 700 rpm selama 3 jam.

Sintesis komposit kitosan/Ag

Sintesis komposit Kitosan/Ag mengikuti prosedur Udoetok dkk. (2016) yang dimodifikasi. Sebanyak 15 mL larutan AgNO₃ 0,1 M dimasukkan ke dalam larutan tersebut dan diaduk kembali dengan *hot plate stirrer* dengan kecepatan 700 rpm selama 3 jam. Ke dalam campuran tersebut ditetesi larutan NaOH 3 M hingga terbentuk endapan dan endapan tersebut disaring kemudian dicuci beberapa kali dengan akuades hingga pH dari filtrat menjadi netral. Endapan tersebut dikeringkan dalam oven dengan suhu 50 °C selama 24 jam. Selanjutnya komposit yang telah kering dihaluskan dan dikarakterisasi dengan XRD, SEM-EDX dan FTIR.

Pengujian aktivitas fotokatalis

Aktivitas fotokatalis yang digunakan pada penelitian ini mengikuti prosedur Labhane dkk. (2015) dengan modifikasi. Dimasukkan sebanyak 10 mL larutan *methylene blue* kedalam tiga tabung kaca dan dimasukkan ke dalam sebuah tabung kaca sebanyak 0,01 g komposit kitosan/Ag dan ke dalam satu tabung kaca sebanyak 0,01 g kitosan sebagai pembanding. Satu tabung kaca lainnya hanya diisi oleh larutan *methylene blue*. Tiga tabung kaca tersebut selanjutnya diletakkan dalam reaktor dan disinari dengan lampu UV-A selama selang waktu 30, 60, 90, dan 120 menit. Konsentrasi zat warna

yang tersisa diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum methylene blue yaitu 664 nm. % degradasi *methylene blue* dapat dihitung menggunakan persamaan 1:

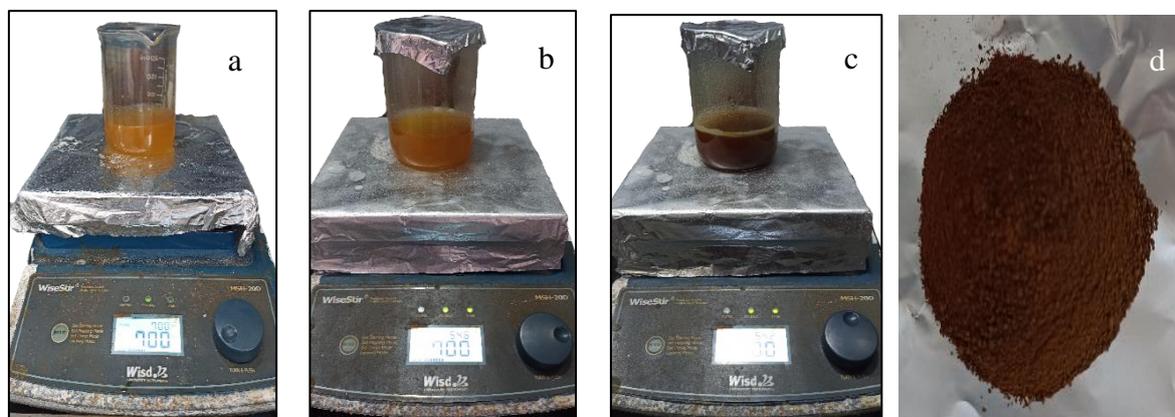
$$\% \text{degradasi} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots 1$$

di mana C_0 adalah konsentrasi awal dan C_t adalah konsentrasi setelah penyinaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis komposit kitosan/Ag

Sintesis komposit kitosan/Ag diawali dengan pembuatan larutan kitosan. Sebanyak 1,05 gram kitosan dilarutkan ke dalam 60 mL larutan asam asetat 2% sambil diaduk dengan *hot plate stirrer* selama 3 jam. Selanjutnya, sebanyak 3 mL glutaraldehida dimasukkan ke dalam larutan dan diaduk kembali selama 3 jam. Pada Gambar 1 (b), nampak bahwa larutan kitosan yang berwarna kuning cerah berubah menjadi kuning gelap setelah ditambahkan glutaraldehida. Glutaraldehida berfungsi sebagai agen pengikat silang atau *cross-linking* untuk meningkatkan stabilitas serta porositas area permukaan dari kitosan (Udoetok dkk., 2016; Raut & Khairkar, 2014). Setelah itu, ditambahkan 15 mL larutan AgNO_3 0,1 M ke dalam larutan kitosan-glutaraldehida dan diaduk kembali pada kecepatan 700 rpm selama 3 jam. Pada Gambar 1 (c) tampak bahwa warna larutan berubah menjadi berwarna cokelat. Hal ini menandakan bahwa prekursor AgNO_3 telah tereduksi dan partikel-partikel Ag telah terbentuk (Biao dkk., 2017). Larutan kitosan-glutaraldehida-Ag ditetesi dengan NaOH 3 M sebagai agen pengendap agar proses kopresipitasi terjadi sehingga partikel-partikel Ag terdeposisi dalam kitosan. NaOH ditetaskan ke dalam larutan sampai terbentuk endapan pada larutan kitosan-glutaraldehida-Ag.

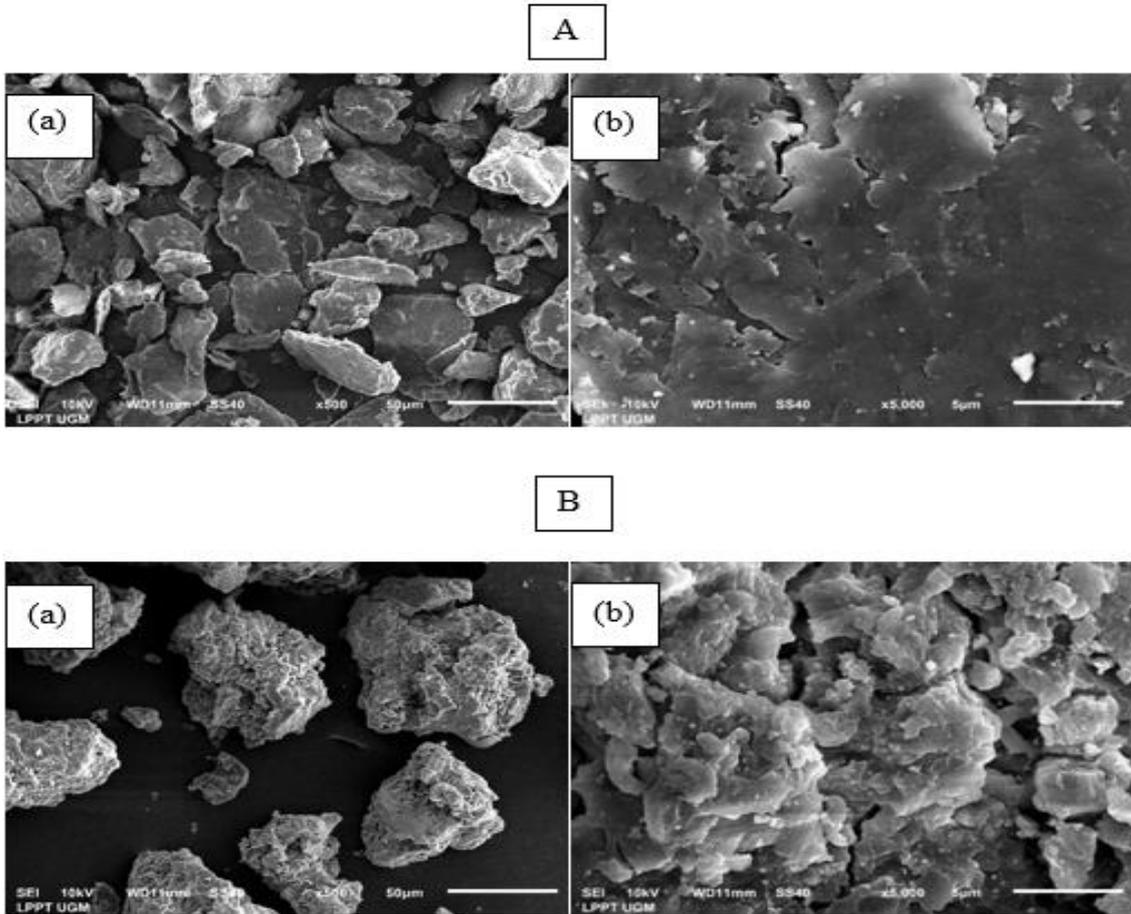


Gambar 1. (a) Larutan kitosan, (b) Larutan Kitosan-glutaraldehida, (c) Larutan kitosan-glutaraldehida- AgNO_3 (d) Serbuk komposit kitosan/Ag hasil sintesis

Endapan tersebut kemudian dicuci berulang-ulang hingga pH dari filtrat kembali netral (pH = 7). Endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C selama 24 jam. Adapun massa produk komposit kitosan/Ag yang dihasilkan yaitu sebesar 1,53 g. Produk serbuk kering komposit kitosan/Ag yang dihasilkan berwarna cokelat seperti yang tampak pada Gambar 1 (d). Selanjutnya, komposit kitosan/Ag hasil sintesis tersebut dikarakterisasi dengan SEM-EDX, FTIR, XRD dan uji aktivitasnya sebagai fotokatalis terhadap zat warna *methylene blue*.

Karakterisasi komposit kitosan/Ag

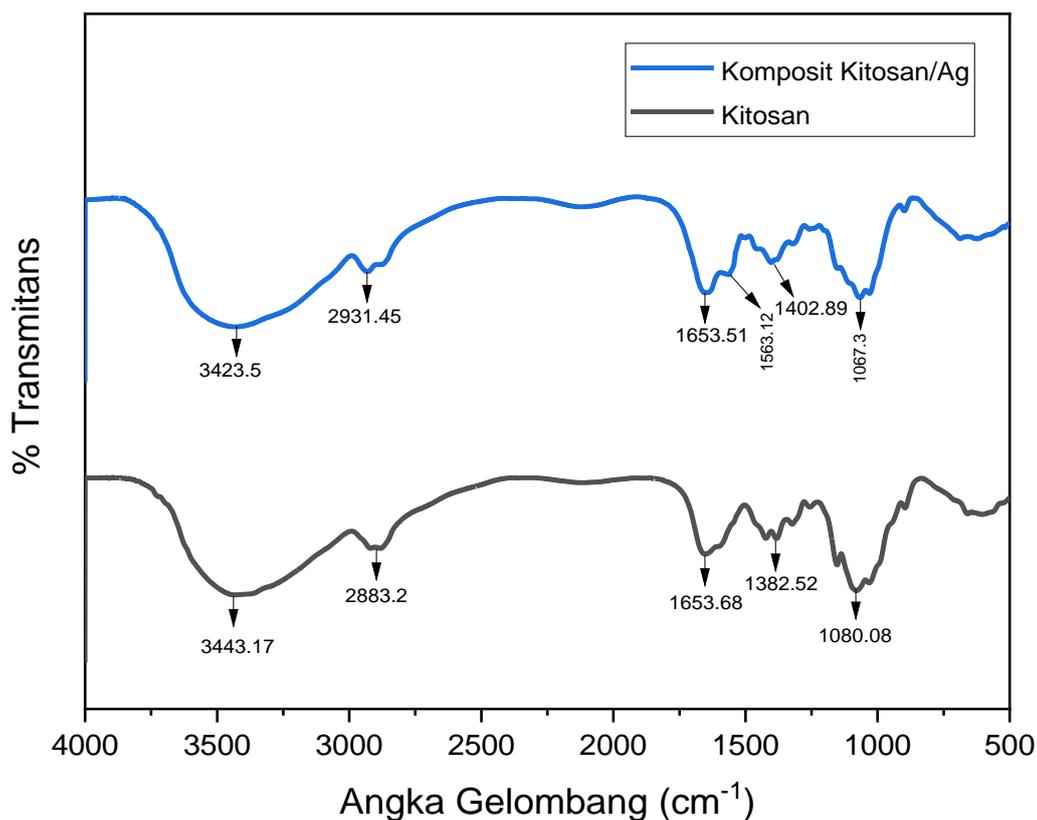
Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan komposit kitosan/Ag hasil sintesis, sedangkan EDX dilakukan untuk mengamati unsur-unsur yang ada pada komposit kitosan/Ag. Gambar 3 menunjukkan morfologi permukaan dari kitosan serta komposit kitosan/Ag.



Gambar 2. Citra SEM dari (A) Kitosan dan (B) Komposit kitosan/Ag dengan perbesaran (a) 500x dan (b) 5000x.

Gambar 2 menunjukkan perbandingan profil antara kitosan dan komposit kitosan/Ag hasil sintesis. Kitosan menunjukkan permukaan yang rata (Gambar 2 A), sedangkan komposit kitosan/Ag yang ditunjukkan oleh Gambar 2 B berbentuk gumpalan dengan partikel-partikel putih yang tersebar pada area permukaan. Menurut Li dkk. (2013), perubahan bentuk terjadi karena penambahan glutaraldehida yang berfungsi sebagai agen *cross-linking* dalam pembentukan komposit sehingga ion-ion Ag lebih mudah berinteraksi dengan kitosan dan ketika ion-ion ini tereduksi maka mudah menempel pada permukaan kitosan. Partikel-partikel putih pada citra SEM diatas adalah nanopartikel Ag. Bertambahnya volume dari larutan AgNO_3 maka partikel-partikel putih tersebut semakin banyak tersebar pada permukaan kitosan dengan ukuran yang semakin membesar. Li dkk. (2013) juga menjelaskan bahwa volume larutan AgNO_3 yang bertambah menyebabkan nanopartikel Ag bertambah dan berkumpul menjadi aglomerat Ag pada permukaan komposit kitosan. Pengujian EDX juga menunjukkan kadar Ag yang awalnya tidak muncul pada kitosan namun muncul pada komposit kitosan/Ag sebanyak 11.17% pada sampel komposit tersebut. Jika dikaitkan dengan hasil SEM, penambahan persentase unsur Ag ditandai dengan terbentuknya partikel-partikel putih yang tersebar di permukaan komposit.

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada komposit kitosan/Ag yang dibandingkan dengan kitosan. Sampel komposit kitosan/Ag dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui apakah komposit kitosan yang terikat silang dengan nanopartikel Ag sudah terbentuk. Hasil analisis tersebut dibandingkan dengan hasil FTIR dari kitosan dan tersaji pada Gambar 3 di bawah ini.

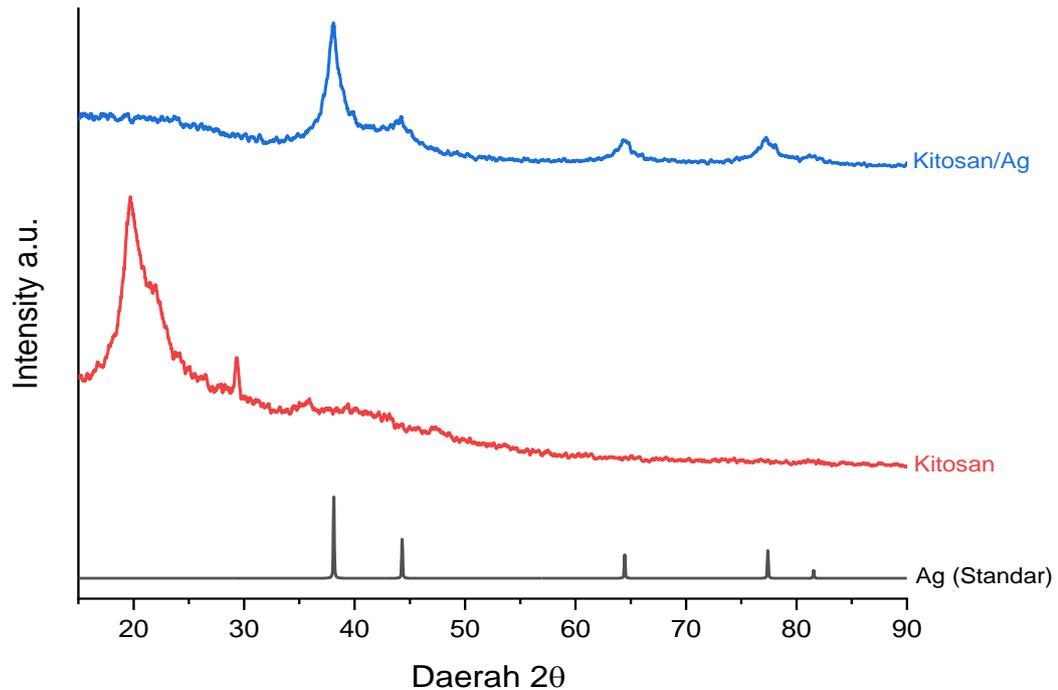


Gambar 3. Profil spektra FTIR kitosan dan komposit kitosan/Ag

Pada spektrum FTIR, kitosan menunjukkan adanya puncak serapan pada daerah bilangan gelombang 3433,17 cm^{-1} yang menunjukkan adanya stretching O-H yang tumpang tindih dengan gugus N-H dan ini ditandai dengan adanya pita serapan yang lebar dan tajam. Pada daerah 2883,2 cm^{-1} menunjukkan adanya stretching C-H alifatik. Serapan pada bilangan gelombang 1653,68 cm^{-1} , menunjukkan ikatan ulur C=O dari gugus asetamida yang terdapat pada rantai utama kitosan. Serapan pada daerah 1382,52 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-N. Sedangkan serapan pada daerah 1080,08 cm^{-1} adalah gugus C-O ulur. O-H, N-H, C=O, dan C-O merupakan gugus fungsi khas dari kitosan (Reddy & Lee, 2013).

Selanjutnya pada spektrum FTIR komposit kitosan/Ag menunjukkan karakteristik spektrum yang sama dengan spektrum dari kitosan. Namun terdapat pergeseran pada beberapa bilangan gelombang dan muncul puncak baru pada bilangan gelombang 1563,12 cm^{-1} . Menurut Akmaz dkk. (2013), munculnya puncak baru ini menandakan indikasi terikatnya Ag pada N-H bending di gugus amida kitosan. Akmaz dkk. (2013) juga menjelaskan bahwa terjadinya pembentukan senyawa kompleks antara gugus NH_2 pada kitosan dengan ion-ion Ag (Ag^+) yang ditambahkan, dimana logam Ag^+ bertindak sebagai atom pusat dan kitosan sebagai ligan.

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui telah terbentuknya partikel-partikel Ag dari sumber prekursoranya. Gambar 4 menunjukkan pola difraktogram komposit kitosan/Ag yang dibandingkan dengan pola difraksi standar Inorganic Crystal Structure Database (ICSD) No. 64-994 untuk Ag dan pola difraksi dari kitosan. Pola difraktogram tersebut disajikan pada Tabel 1 menurut daerah 2 θ -nya.



Gambar 4. Difraktogram kitosan dan komposit kitosan/Ag

Tabel 1. Daerah 2θ

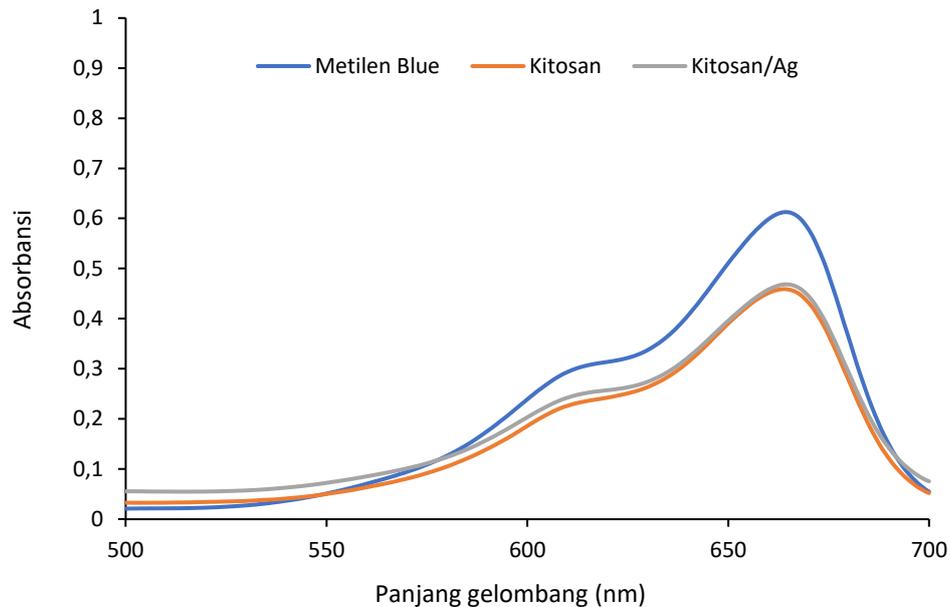
Ag (Standar) 2θ(°)	Kitosan 2θ(°)	Komposit kitosan/Ag 2θ(°)
	20,44	
38,12		38,14
44,3		43,46
64,45		64,52
77,41		77,71
81,55		

Difraktogram XRD yang diperoleh dari penelitian ini dibandingkan dengan data standar dari Inorganic Crystal Structure Database (ICSD). Daerah 2θ untuk Ag standar menunjukkan 5 puncak dominan yaitu pada daerah 2θ, masing-masing 38,12°; 44,3°; 64,45°; 77,41°; dan 81,55°. Sementara itu, kitosan hanya menunjukkan 1 puncak dominan yaitu pada daerah 2θ 20,44°. Menurut Jbeli dkk. (2018), difraktogram kitosan memiliki 2 puncak pada daerah 2θ 10,5° dan 20°. Puncak 2θ 10,5° tidak muncul pada sampel kitosan karena alat XRD (Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang) tidak dapat mendeteksi sampel pada daerah 2θ ≤ 10°. Selain itu, tampak bahwa sampel kitosan/Ag menunjukkan puncak pada daerah 2θ 20° yang kecil intensitasnya. Hal tersebut dikarenakan penambahan larutan AgNO₃ yang juga meningkatkan intensitas pada puncak-puncak ciri khas Ag. Berdasarkan nilai FWHM yang sesuai dengan daerah 2θ maka diperoleh ukuran kristalit komposit yang dihitung dengan persamaan Scherrer yaitu sebesar 2,06 nm dengan ukuran kitosan murni sebesar 1,86 nm.

Aktivitas fotokatalis komposit kitosan/Ag

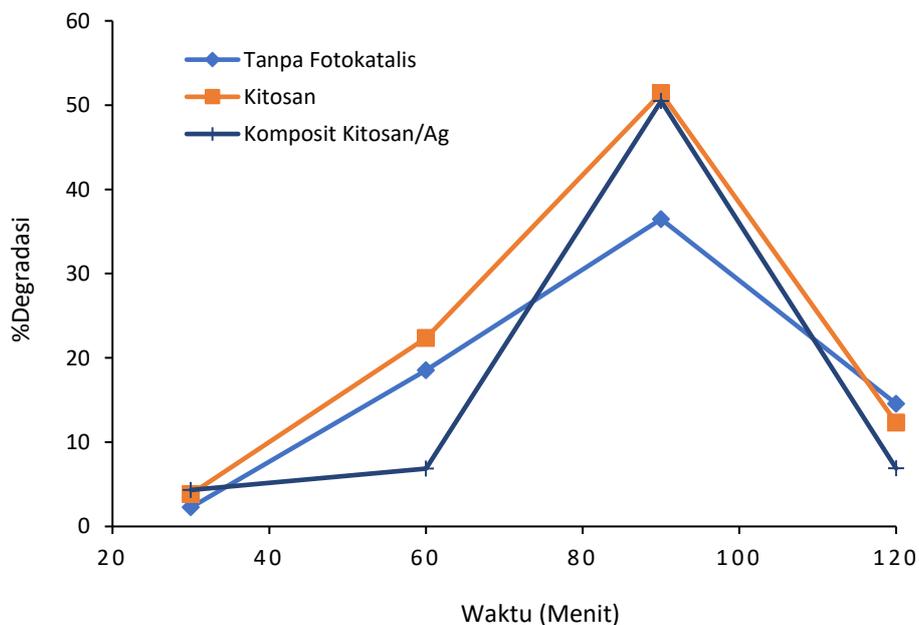
Serbuk komposit kitosan/Ag dimasukkan ke dalam 10 mL methylene blue yang kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui karakteristik fotokatalis komposit kitosan/Ag yang terbentuk dari spektrum puncak absorbansinya. Karakterisasi fotokatalis komposit

kitosan/Ag menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan selang panjang gelombang 500-700 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak 90 menit merupakan hasil yang terbaik dari masing-masing waktu kontak, seperti yang tersaji pada Gambar 5.



Gambar 5. Spektra UV-Vis dari *methylene blue* dengan fotokatalis komposit kitosan/Ag pada waktu kontak 90 menit

Gambar 5 menunjukkan adanya perubahan absorbansi *methylene blue* setelah didegradasi dengan dan tanpa menggunakan fotokatalis komposit kitosan/Ag. Hasilnya menunjukkan bahwa absorbansi dari *methylene blue* yang berisi kitosan dan komposit kitosan/Ag lebih rendah dibanding absorbansi *methylene blue* tanpa sampel. Rendahnya nilai absorbansi menunjukkan bahwa nilai % degradasi semakin besar, demikian pula sebaliknya.

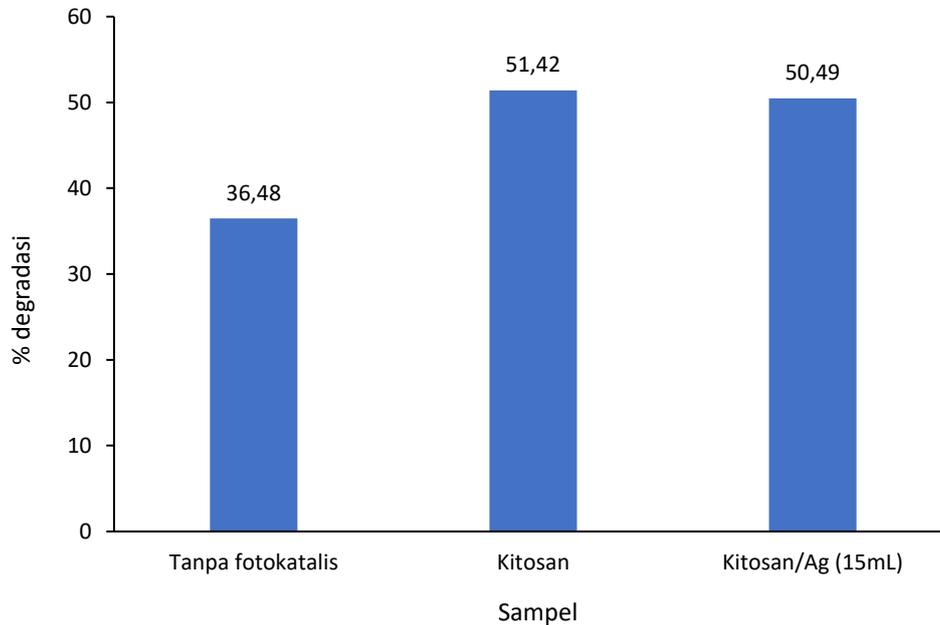


Gambar 6. Waktu kontak antara fotokatalis dengan *methylene blue* terhadap % degradasinya

Terjadi perubahan warna terhadap sampel larutan *methylene blue* setelah didegradasi dan Perubahan warna tersebut kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk

mengukur data perubahan absorbansi. Data tersebut digunakan untuk menghitung % degradasi. Adapun profil waktu kontak antara fotokatalis dengan methylene blue terhadap % degradasi dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 tampak bahwa proses degradasi telah terjadi pada zat warna methylene blue pada waktu kontak 30 menit sampai 90 menit dilihat dengan naiknya grafik % degradasi. Penurunan % degradasi terjadi ketika waktu kontak mencapai 120 menit. Hal ini menandakan bahwa diatas waktu 90 menit, komposit kitosan/Ag mengalami penurunan aktivitas dalam mendegradasi zat warna methylene blue. Terjadinya penurunan % degradasi menandakan bahwa diatas waktu 90 menit, fotokatalis komposit kitosan/Ag yang digunakan mengalami penurunan aktivitasnya dalam mendegradasi zat warna *methylene blue* (Messih dkk., 2019).



Gambar 7. Nilai % degradasi komposit dalam mendegradasi methylene blue dengan waktu kontak 90 menit

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai % degradasi *methylene blue* setelah didegradasi tanpa fotokatalis dan adanya fotokatalis sampel kitosan maupun sampel komposit kitosan/Ag menunjukkan adanya perubahan. % degradasi dari methylene blue tanpa fotokatalis sebesar 36,48% dan ketika ditambahkan komposit mengalami kenaikan menjadi 51,42% Menurut Bere dkk. (2019), elektron pada katalis yang berbasis nanopartikel perak tereksitasi dari pita konduksi dan meninggalkan hole positif pada pita valensi sehingga elektron pada pita konduksi akan bereaksi dengan oksigen dan membentuk ion radikal superoksida $O_2^{\cdot-}$, sedangkan hole pada pita valensi bereaksi dengan ion hidroksi (OH^-) membentuk radikal hidroksida ($OH\cdot$) yang akan mendegradasi struktur *methylene blue*. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa kemampuan kitosan yang tidak diikat silang dengan glutaral dan tidak ditambahkan $AgNO_3$ menunjukkan nilai % degradasi yang relatif tinggi. Menurut Adnan dkk. (2020), kitosan memiliki sifat adsorpsi karena adanya sejumlah besar gugus fungsi OH dan NH_2 dan tidak memiliki kemampuan dalam mendegradasi zat warna. Informasi ini menunjukkan bahwa tingginya nilai % degradasi kitosan adalah nilai adsorpsi dan bukan nilai degradasi zat warna. Hal ini sejalan dengan data yang dihasilkan dari analisis dengan spektrofotometer UV-Vis (Gambar 5).

KESIMPULAN

Komposit kitosan/Ag telah disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi dengan menggunakan kitosan sebagai penstabil dan glutaraldehid sebagai agen *cross-linking*. Analisis FTIR membuktikan bahwa komposit kitosan/Ag telah terbentuk berdasarkan gugus fungsi yang terdeteksi. Analisis XRD dan SEM-EDX menunjukkan bahwa nanopartikel Ag telah terbentuk pada permukaan

kitosan dengan ukuran kristalit yang diperoleh sebesar 2,06 nm. Aktivitas fotokatalitik dari komposit kitosan/Ag telah dilakukan dan hasilnya menunjukkan bahwa komposit kitosan/Ag memiliki aktivitas yang bagus sebagai fotokatalis dalam mendegradasi zat warna *methylene blue* dengan waktu kontak yang terbaik yang diperoleh terjadi pada waktu 90 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M.A.M., Phoon, B.L., & Julkapli, N.M. 2020. Mitigation of pollutants by chitosan/metallic oxide photocatalyst: a review. *Journal of Cleaner Production*. 261(2), 121190.
- Akmaz, S., Dilaver Adigüzel, E., Yasar, M., & Erguven, O. 2013. The effect of Ag content of the chitosan-silver nanoparticle composite material on the structure and antibacterial activity. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2013, 1-6.
- Bere, M.L., Sibarani, J., & Manurung, M. 2019. Sintesis nanopartikel perak (NPAg) menggunakan ekstrak air daun kemangi (*Ocimum sanctum* Linn.) dan aplikasinya dalam fotodegradasi zat warna metilen biru. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 7(2), 155-164.
- Biao, L., Tan, S., Wang, Y., Guo, X., Fu, Y., Xu, F., Zu, Y., & Liu, Z. 2017. Synthesis, characterization and antibacterial study on the chitosan-functionalized Ag nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*. 1(76), 73-80.
- Bungan, G.K., Aritonang, H.F., & Wuntu, A.D. 2021. Pembuatan Nanokomposit Kitosan/TiO₂/Ag dan Analisis Aktivasinya Sebagai Antibakteri. *Chemistry Progress*. 14(1), 32-39.
- Dastan, D. 2017. Effect of preparation methods on the properties of titania nanoparticles: solvothermal versus sol-gel. *Applied Physics A*. 123(11), 1-13.
- Jamkhande, P.G., Ghule, N.W., Bamer, A.H., & Kalaskar, M.G. 2019. Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *Journal of drug delivery science and technology*. 53, 101174.
- Kumar, A., Gajraj, V., Das, A., Sen, D., Xu, H., & Mariappan, C.R. 2022. Silver, copper, magnesium and zinc contained electroactive mesoporous bioactive S53P4 glass-ceramics nanoparticle for bone regeneration: bioactivity, biocompatibility and antibacterial activity. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 32(6), 2309-2321.
- Labhane, P.K., Huse, V.R., Patle, L.B., Chaudhari, A.L., & Sonawane, G.H. 2015. Synthesis of Cu doped ZnO nanoparticles: crystallographic, optical, FTIR, morphological and photocatalytic study. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 3(07), 39-51.
- 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.
- Maryani, S., Aritonang, H.F., & Kamu, V.S. 2021. Sintesis komposit kitosan/MgO/Ag dan analisis efektivitasnya sebagai antibakteri. *Chemistry Progress*. 14(1), 62-68.
- Messih, M.A., Ahmed, M.A., Soltan, A., & Anis, S.S. 2019. Synthesis and characterization of novel Ag/ZnO nanoparticles for photocatalytic degradation of methylene blue under UV and solar irradiation. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 135(7), 109086.
- Mobasser, S., & Firoozi, A.A. 2016. Review of nanotechnology applications in science and engineering. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*. 6(4), 84-93.
- Ningsih, S.K.W. 2016. *Sintesis Anorganik*. UNP Press, Padang.
- Raut, A.R., & Khairkar, S.R. 2014. Study of chitosan crosslinked with glutaraldehyde as biocomposite material. *World Journal of Pharmaceutical Research*. 3(9), 523-532.
- Reddy, D.H.K., & Lee, S.M. 2013. Application of magnetic chitosan composites for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions. *Advances in colloid and interface science*. 201-202, 68-93.
- Saravanan, R., Aviles, J., Gracia, F., Mosquera, E., & V. K. Gupta. 2018. Crystallinity and lowering band gap induced visible light photocatalytic activity of TiO₂/CS (Chitosan) nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*. 109, 1239-1245.
- Sisteya, D., & Sutanto, H. 2013. Sifat optis lapisan ZnO : Ag yang dideposisi di atas substrat kaca menggunakan metode chemical solution deposition (CSD) dan aplikasinya pada degradasi zat warna methylene blue. *Youngster Physics Journal*. 1(4), 71-80.

- Stark, W.J., Stoessel, P.R., Wohlleben, W., & Hafner, A.J.C.S.R. 2015. Industrial applications of nanoparticles. *Chemical Society Reviews*. 44(16), 5793-5805.
- Sugita, P., & Wukirsari, T. 2019. *Kitosan: Sumber Biomaterial Masa Depan*. PT. Penerbit IPB Press, Bogor.
- Tadic, M., Trpkov, D., Kopanja, L., Vojnovic, S., & Panjan, M. 2019. Hydrothermal synthesis of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticle forms: synthesis conditions, structure, particle shape analysis, cytotoxicity and magnetic properties. *Journal of Alloys and Compounds*. 792, 599-609.
- Tatinting, G. D., Aritonang, H.F., & Wuntu, A.D. 2022. Sintesis nanopartikel Fe₃O₄-polietilen glikol (PEG) 6000 dari pasir besi pantai hais sebagai adsorben logam kadmium (Cd). *Chemistry Progress*. 14(2). 131-137.
- Tazikeh, S., Akbari, A., Talebi, A., & Talebi, E. 2014. Synthesis and characterization of tin oxide nanoparticles via the Co-precipitation method. *Materials Science-Poland*. 32(1), 98-101.
- Tyagi, H., Kushwaha, A., Kumar, A., & Aslam, M. 2016. A facile pH controlled citrate-based reduction method for gold nanoparticle synthesis at room temperature. *Nanoscale research letters*. 11(1), 1-11.
- Udoetok, I. A., Wilson, L. D., & Headley, J. V. 2016. Self-assembled and cross-linked animal and plant-based polysaccharides: chitosan-cellulose composites and their anion uptake properties. *ACS applied materials & interfaces*. 8(48), 33197-33209.
- Wang, H., Qiao, X., Chen, J., Wang, X., & Ding, S. 2005. Mechanisms of PVP in the preparation of silver nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*. 94(2-3), 449-453.