

Sintesis Nanopartikel Mangan Oksida dengan Metode Sol Gel dan Uji Aktivitas Katalitik terhadap Degradasi Zat Warna Rhodamin B

Synthesis of Manganese Oxide Nanoparticles with Sol Gel Methods and Test Of Catalytic Activities on Color Degradation of Rhodamin B

¹Sri Rahayu, ²Netti Herawati, ³Mohammad wijaya

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Makassar. Jl. Dg. Tata Raya, Parang Tambung
e-mail: sryyrahayu02@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis nanopartikel mangan oksida menggunakan prekursor KMnO_4 dengan metode sol gel, dengan menambahkan aditif etilendiamin dan etilen glikol yang berperan sebagai agen penstabil, selanjutnya menguji aktivitas katalitik dari mangan oksida tersebut terhadap proses degradasi warna rhodamin B. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan zat aditif terhadap ukuran dan bentuk nanopartikel yang dihasilkan serta kemampuannya sebagai katalis dalam proses degradasi zat warna rhodamin B. Nanopartikel yang diperoleh, dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Elektron Microscope*) serta penentuan aktivitas katalitik dalam proses degradasi terhadap zat warna rhodamin B dengan *spektrofotometer* UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan sintesis nanopartikel menggunakan aditif etilendiamin lebih baik dibandingkan dengan aditif etilen glikol karena ukuran nanopartikel berkisar antara 5,66-33,38 dalam bentuk tetragonal. Morfologi nanopartikel mangan oksida terlihat berbentuk bulat yang seragam. Nanopartikel mangan oksida hasil sintesis mampu mempercepat proses degradasi warna rhodamin B dengan persentase degradasi mencapai 85,6%.

Kata kunci: Nanopartikel, Mangan Oksida, Sol gel dan Rhodamin B

ABSTRACT

Research has been carried out on the synthesis of manganese oxide nanoparticles using KMnO_4 precursors with the sol gel method, by adding ethylenediamine and ethylene glycol additives which act as stabilizing agents, then tested the catalytic activity of the manganese oxide on the degradation process of Rhodamine B. This study aims to determine the effect of adding substances additives on the size and shape of the nanoparticles were produced and their ability as catalysts in the degradation process of Rhodamin B. Nanoparticles were obtained, characterized using XRD (*X-Ray Diffraction*) and SEM (*Scanning Elektron Microscope*) and determination of catalytic activity in the

degradation process of rhodamine B dyes with UV-Vis *spectrophotometer*. The results showed that the synthesis of nanoparticles using ethylenediamine additives was better than ethylene glycol additives because the size of the nanoparticles ranged from 5.66 to 33.38 in the tetragonal form. The morphology of manganese oxide nanoparticles looks uniform in shape. Manganese oxide nanoparticles can accelerate the degradation process of Rhodamin B with a percentage of degradation reaching 85.6%.

Keywords: *Nanoparticles, Manganese Oxide, Sol gel and Rhodamin B*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki sistem perindustrian yang cukup besar di dunia. Salah satunya adalah industri tekstil. Di satu sisi industri tekstil memberikan banyak keuntungan bagi manusia, antara lain berkurangnya angka pengangguran di masyarakat, meningkatkan pendapatan dan nilai perekonomian Indonesia (Andy, 2011). Namun disisi lain memberikan dampak negatif bagi lingkungan yaitu limbah cair yang dikeluarkan oleh industri tekstil mengandung berbagai zat warna yang memiliki efek toksik terhadap manusia dan lingkungan. Pada umumnya, zat warna dari limbah cair industri tekstil merupakan suatu senyawa organik yang memiliki struktur aromatik, sehingga sulit terdegradasi secara alamiah, tidak ramah lingkungan, sulit terurai, bersifat resisten dan toksik (Ida, 2011)

Zat warna tekstil biasanya menggunakan zat warna sintetis, yaitu zat warna yang dibuat menggunakan reaksi-reaksi kimia tertentu. Macam-macam zat warna sintetis antara lain seperti rhodamine B, tartrazine, congo red, brilliant blue, methanil yellow, dan lain-lain. Rhodamin B merupakan zat warna yang mengandung bahan

kimia berbahaya bila tertelan, terhisap pernapasan atau terserap melalui kulit. Apabila limbah cair dari industri tekstil masih mengandung zat warna Rhodamin B tersebut maka akan sangat mencemari lingkungan dan membahayakan makhluk hidup di sekitarnya (Arief dkk, 2007)

Salah satu metode yang akhir-akhir ini digunakan untuk mengurangi konsentrasi limbah organik adalah metode Advanced Oxidation Processes (AOP). Metode AOP berdasarkan pada penggunaan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) sebagai spesies reaktif untuk proses degradasi. Semakin banyak radikal hidroksil yang dihasilkan semakin banyak pula zat warna organik yang didegradasi menjadi molekul yang lebih kecil (Saputra et al., 2014). Oksidator kuat yang dipakai dapat berupa campuran ozon dengan hidrogen peroksida ($\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$), ozon dengan sinar ultraviolet ($\text{O}_3 + \text{UV}$) dan campuran hidrogen peroksida dengan sinar ultraviolet ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV}$). Radikal aktif hidroksil yang dilepaskan senyawa-senyawa diatas dengan cepat akan mengoksidasi polutan-polutan zat warna dalam air limbah (Glaze et al., 1987).

Mangan oksida dikenal sebagai katalis pada berbagai reaksi kimia.

Mangan oksida merupakan oksidator yang efektif karena memiliki oksigen yang lebih mudah dilepaskan pada proses oksidasi dibandingkan oksida logam lainnya, sehingga sangat menjanjikan untuk mengoksidasi rhodamin B dalam larutan (Brock,1998). Sintesis partikel MnO_2 dengan ukuran nano dapat meningkatkan luas permukaan material tersebut. Dengan memperkecil ukuran partikel MnO_2 , akan meningkatkan luas permukaan sehingga kapasitas penyimpanan pun juga akan semakin tinggi (Aditya, 2016)

Proses sintesis nanopartikel mangan dioksida (MnO_2) dapat dilakukan dengan menggunakan kalium permanganat ($KMnO_4$). Kalium permanganat telah digunakan sebagai zat di aplikasi medis dan sebagai elektron katoda akseptor elektron dengan menghasilkan berbagai jenis oksida mangan nanomaterial. Kalium permanganate sebagai prekursor untuk mensintesis mangan dioksida struktur nano dengan bentuk kristalografi yang berbeda dan permukaan yang luas (Ahmed, 2016).

Berdasarkan Saridewi dkk (2015), sintesis nanomaterial mangan oksida dengan metode bebas pelarut menggunakan variasi suhu. Pola difraksi XRD yang dihasilkan menunjukkan, bahwa mangan oksida yang terbentuk merupakan β - MnO_2 (pyrolusite) pada suhu optimum $120^\circ C$. Material yang dihasilkan juga memiliki range nanopartikel dimana ukuran kristalnya mencapai 14.08 nm, morfologinya berbentuk bulatan.

Mangan oksida yang dihasilkan ini dapat mendegradasi zat warna rhodamin B.

Salah satu metode yang digunakan untuk mensintesis nanomaterial yaitu dengan menggunakan metode sol gel. Proses sol gel merupakan proses pembuatan material anorganik melalui reaksi kimia dalam suatu larutan pada suhu rendah, dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspense koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel).

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Alat-alat gelas, neraca analitik, *hot plate*, *magnetic stirrer*, oven, *furnace carbolite RHF 1400*, *Spektrofotometer UV-Vis double beam Shimadzu Japan*, *X-Ray Diffraction (XRD) Shimadzu XRD-7000*, *Scanning Elektron Microscope (SEM)*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $KMnO_4$ padatan (p.a), larutan isopropanol (p.a), larutan etilen glikol, larutan etilen diamin, H_2O_2 30%, Rodamin B (p.a), aquades, dan kertas saring Whatman no. 42.

A. Prosedur Kerja

1. Sintesis Nanopartikel Mangan Oksida

Sebanyak 0,5 gram $KMnO_4$ padatan ditimbang lalu dilarutkan ke dalam 60 mL aquades. Selanjutnya larutan diaduk hingga semua padatan larut. Isopropanol kemudian ditambahkan ke dalam larutan $KMnO_4$

sambil diaduk dengan stirrer. Kemudian ditambahkan dengan etilen glikol tetap sambil diaduk, larutan tetap diaduk selama ± 8 jam pada suhu kamar sampai larutan homogen. Perbandingan komposisi KMnO_4 dan etilen glikol yang digunakan yaitu 1:2 dengan konsentrasi KMnO_4 0,5. Kemudian dilakukan dengan cara yang sama untuk aditif etilen diamin. Larutan homogen yang diperoleh setelah pengadukan dikeringkan dalam oven pada suhu $100\text{-}110^\circ\text{C}$ selama ± 4 jam. Serbuk yang terbentuk dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 400°C selama ± 1 jam (Ningsih, 2013).

2. Karakterisasi Nanopartikel Mangan Oksida

Analisis menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk menentukan jenis dan ukuran kristal yang telah disintesis. Analisis SEM (*scanning Electron Mikroskop*) untuk menganalisis morfologi kristal mangan oksida yang telah disintesis.

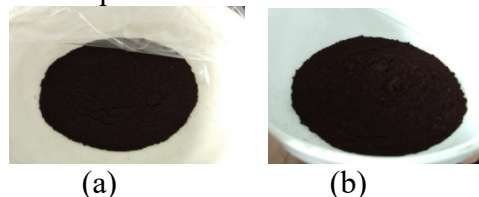
3. Uji Aktivitas Katalitik terhadap Degradasi Zat Warna Rhodamin B

Rhodamin B dibuat dalam konsentrasi 2 mg/L. Sebanyak 0,000; 0,25; 0,50 dan 0,750 gram katalis nanopartikel mangan oksida kemudian ditambahkan 10 mL larutan rhodamin B 2 mg/L lalu ditambahkan 5 mL H_2O_2 30%. Setiap larutan didiamkan selama 120 menit. Kemudian dilakukan sentrifuge dengan kecepatan 7000rpm. Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi dengan menggunakan Spektrometer UV-Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis Nanopartikel Mangan Oksida

Mangan oksida di sintesis menggunakan prekursor kalium permanganat menggunakan pelarut isopropanol dan aditif etilen diamin dan etilen glikol sebagai stabilisator dengan metode sol gel. Hasil sintesis menghasilkan koloid berwarna coklat yang dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada suhu 400°C menghasilkan serbuk mangan oksida yang berwarna coklat kehitaman dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1.(a) Serbuk hasil Sintesis Mangan Oksida dengan aditif etilendiamin dan (b) Serbuk hasil Sintesis Mangan Oksida dengan aditif etilen glikol.

Mangan oksida disintesis dengan metode sol gel menggunakan prekursor kalium permanganat karena lebih efektif dalam menghasilkan oksida mangan dibandingkan prekursor-prekursor mangan garam (klorida, nitrat, karbonat dan sulfat) dan isopropanol sebagai pelarut yang nantinya akan berubah menjadi sol dari mangan oksida.

Proses sintesis pada penelitian ini menghasilkan beberapa senyawa lain selain mangan oksida dapat dilihat pada Tabel 1. Yaitu mangan oksida (MnO), mangan oksida (MnO_2) Todorokite dan mangan oksida

(MnO₂) Pyrolusite. Hal ini dikarenakan zat aditif yang digunakan tidak membungkus sampel secara merata dan tidak memungkinkan untuk memisahkan masing-masing dari

senyawa-senyawa tersebut. Namun dari hasil olah data persentase kandungan senyawa terbanyak yaitu mangan oksida (MnO₂) pyrolusite.

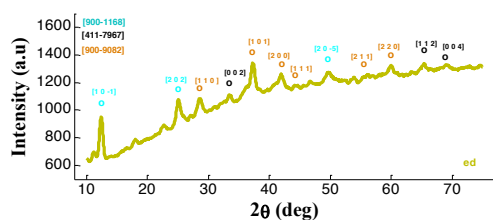
Tabel 1. Senyawa yang terdapat dalam nanopartikel hasil sintesis

| Index | ED(%) | EG(%) | Name | Formula Sum |
|-------|-------|-------|------------|------------------|
| O | 21,64 | 22,66 | | MnO |
| O | 19,03 | 19,71 | Todorokite | MnO ₂ |
| O | 42,43 | 43,86 | Pyrolusite | MnO ₂ |

B. Karakterisasi Nanopartikel Mangan Oksida

1. X-Ray Diffraction (XRD)

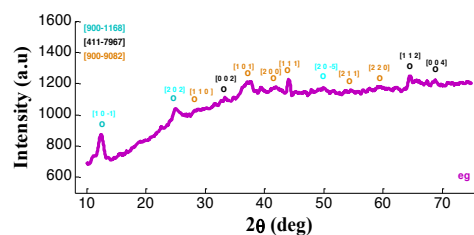
Serbuk nanopartikel mangan oksida hasil sintesis selanjutnya dianalisis menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Hasil analisis X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi ukuran partikel, kristalinitas, kandungan senyawa, dan fasa kristal nanopartikel mangan oksida.



Gambar 2. Pola XRD mangan oksida aditif etilendiamin

Dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk mangan oksida aditif etilendiamin puncak yang tajam dengan intensitas yang tinggi terdapat pada sudut $2\theta = 37,24^\circ$ (101) yang menunjukkan bentuk pyrolusite tetragonal. Hal ini juga diperkuat

dengan munculnya puncak-puncak pendukung lain pada sudut $2\theta = 28,57^\circ, 41,89^\circ, 44,10^\circ, 56,82^\circ$ dan $59,83^\circ$ dengan indeks Miller masing-masing (110), (200), (111), (211) dan (220) yang identik dengan pola difraksi mangan oksida.



Gambar 3. Pola XRD mangan oksida aditif etilen glikol

Puncak peak dengan intensitas yang tinggi terdapat pada sudut $2\theta = 37,16^\circ$ dengan indeks Miller 101 dan diperkuat dengan puncak pendukung pada sudut $2\theta = 28,02^\circ, 41,90^\circ, 44,04^\circ, 56,61^\circ$ dan $59,37^\circ$ dengan indeks Miller masing-masing (110), (200), (111), (211) dan (220) yang identik dengan pola difraksi Mangan oksida. Hasil yang diperoleh mendekati penelitian Saridewi (2015)

yang memperoleh puncak difraksi pada sudut $2\theta = 28,21^\circ$ hingga $72,36^\circ$ yang menunjukkan produk yang dihasilkan adalah mangan oksida pyrolusite.

Tabel 2. Ukuran kristal nanopartikel mangan oksida dengan aditif etilendiamin

| 2 theta (°) | FWHM (°) | Ukuran kristal (nm) |
|-------------|----------|---------------------|
| 28,57 | 0,8633 | 10,35 |
| 37,24 | 0,8513 | 10,72 |
| 41,89 | 1,0600 | 8,73 |
| 44,10 | 0,2800 | 33,38 |
| 56,82 | 0,6666 | 14,76 |
| 59,83 | 1,0360 | 5,66 |

Tabel 3. Ukuran kristal nanopartikel mangan oksida dengan aditif etilen

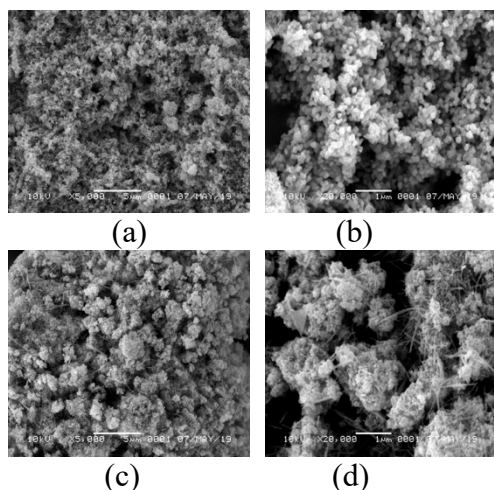
| 2 theta (°) | FWHM (°) | Ukuran kristal (nm) |
|-------------|----------|---------------------|
| 28,02 | 0,5400 | 16,53 |
| 37,16 | 1,7734 | 5,14 |
| 41,90 | 1,2000 | 7,72 |
| 44,04 | 0,5908 | 15,81 |
| 56,61 | 0,1867 | 52,4 |
| 59,37 | 1,0600 | 6,22 |

Melalui data difraktogram XRD dapat diketahui ukuran kristal dengan cara menghitung besarnya FWHM (Full Width at Half Maximum) yang digunakan untuk menentukan ukuran kristal dengan menggunakan persamaan Scherrer. Dari perhitungan menggunakan persamaan Scherrer diperoleh ukuran diameter partikel mangan oksida

dengan aditif etilendiamin dan etilen glikol masing-masing adalah sekitar 5.66-33.38 nm dan 5.14-52.4 nm dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3. Hal ini menandakan bahwa penambahan aditif etilendiamin lebih baik dibandingkan dengan aditif etilen glikol yang ditandai dengan partikel yang dihasilkan lebih homogen dengan ukuran yang lebih kecil.

2. Scanning Elektron Microscope (SEM)

Serbuk nanopartikel mangan oksida selanjutnya dianalisis menggunakan *Scanning Elektron Microscope* (SEM) yang bertujuan untuk mengetahui morfologi dan kecenderungan nanopartikel untuk beragregasi. Hasil Analisis *Scanning Elektron Microscope* (SEM) dapat dilihat pada Gambar 4 dengan perbesaran masing-masing 5.000x dan 20.000x. Hasil analisis SEM dapat dilihat pada Gambar 4.(a) mangan oksida dengan aditif etilendiamin dengan perbesaran 5.000x terlihat butiran-butiran halus. Sedangkan pada Gambar 4.(b) perbesaran 20.000x terlihat semakin jelasnya morfologi permukaan partikel mangan oksida berupa bulatan-bulatan dengan ukuran yang hampir seragam. Seperti halnya juga yang telah dilaporkan, Saridewi (2015), berupa butiran halus yang merata pada permukaan partikel yang disintesis dengan metode bebas pelarut.



Gambar 4. Hasil analisis SEM (a) mangan oksida dengan aditif etilendiamin perbesaran 5.000x (b) perbesaran 20.000x (c) mangan oksida dengan aditif etilen gliko perbesaran 5.000x (d) perbesaran 20.000x

Selanjutnya untuk mangan oksida dengan aditif etilen glikol dapat dilihat pada Gambar 4.(c) dengan perbesaran 5.000x memperlihatkan bentuk yang tidak beraturan. Sedangkan pada Gambar 4.(d) perbesaran 20.000x terlihat partikel yang tidak seragam dan membentuk bongkahan. Dari gambar juga terlihat bahwa ukuran partikel yang dihasilkan berbeda antara satu dengan yang lain. Kecenderungan nanopartikel untuk beragregasi disebabkan oleh efek gerak Brown dan gaya Van Der Waals dalam larutan nanopartikel. Adanya kecenderungan nanopartikel untuk beragregasi menyebabkan ukuran dan diameter nanopartikel tidak seragam.

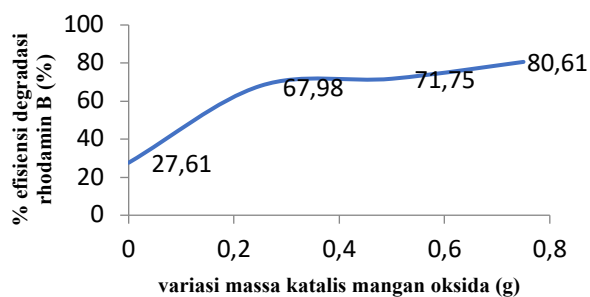
3. Uji Aktivitas Katalitik Nanopartikel Mangan Oksida

Pengukuran panjang gelombang dilakukan pada daerah tampak (visible) yaitu 380-780 nm. Hasil pengukuran panjang gelombang maksimum Rhodamin B terdapat pada $\lambda = 554$ nm.

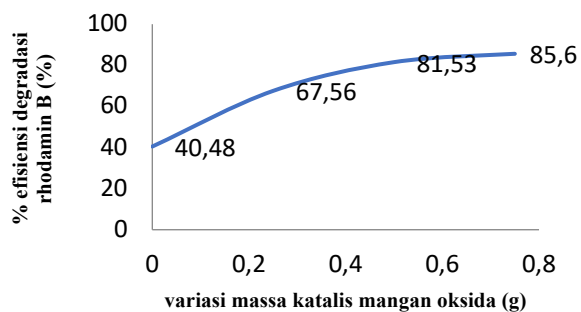
Degradasi rhodamin B dengan masing-masing nanopartikel mangan oksida aditif etilendiamin dan etilen glikol sebagai katalis dengan variasi jumlah katalis 0,0g; 0,25g; 0,5g dan 0,75g. Menggunakan kondisi reaksi 10 mL rhodamin B (2 ppm), hidrogen peroksida 30% 5 mL kemudian didiamkan selama 120 menit. Sebelum dilakukan pengukuran hasil yang diambil dipisahkan dari katalis dengan cara disentrifus dengan kecepatan 7000 rpm selama 10 menit (Dewi, 2015).

Larutan sampel diambil dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis menggunakan blangko akuades pada panjang gelombang maksimum (554 nm). Hasil persentase degradasi (%) dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

Dapat dilihat pada Gambar 5. Bahwa degradasi zat warna rhodamin B memberikan persentase terkecil yaitu pada tanpa penambahan katalis memberikan persentase degradasi yaitu 27,61%. Seiring dengan meningkatnya jumlah katalis yang digunakan yaitu 0,25g, 0,5g, dan 0,75g meningkat pula persentase degradasi yaitu sebesar 67,98%, 71,75% dan 80,61%.



Gambar 5. Persentase degradasi zat warna rhodamin B dengan katalis nanopartikel mangan oksida aditif etilendiamin



Gambar 6. Presentase degradasi zat warna rhodamin B dengan katalis nanopartikel mangan oksida aditif etilen glikol

Sama halnya dengan persentase degradasi yang diperoleh menggunakan katalis mangan oksida aditif etilendiamin sebelumnya, dapat dilihat pada Gambar 6. Persentase degradasi terkecil yaitu tanpa penambahan katalis sebesar 40,48% disusul dengan meningkatnya jumlah katalis, meningkat pula persentase degradasi yaitu 67,56%, 81,53% dan 85,6%.

Dapat dilihat dari masing-masing hasil persentase degradasi, hasil degradasi kinerja katalis yang

paling baik yaitu pada jumlah katalis 0.75g, karena semakin besar jumlah katalis maka semakin besar luas permukaan sehingga kinerja katalis untuk menghasilkan radikal hidroksil semakin cepat dan semakin banyak sehingga hasil degradasinya semakin besar (Yu, 2014).

Namun jika dibandingkan hasil persentase degradasi tertinggi dari kedua katalis mangan yang disintesis dengan aditif yang berbeda, mangan oksida aditif etilen glikol lebih tinggi yaitu 85,6% dibanding dengan mangan oksida aditif etilendiamin hanya 80,61%. Jika dilihat dari luas permukaan seharusnya mangan oksida aditif etilendiamin lebih banyak mendegradasi zat warna rhodamin B karena memiliki luas permukaan yang luas karena ukuran partikelnya yang kecil dan bentuknya lebih seragam dibanding dengan mangan oksida aditif etilen glikol. Namun hal ini dipengaruhi oleh senyawa yang terkandung pada nanopartikel hasil sintesis dapat dilihat pada Tabel 1. Mangan oksida aditif etilen glikol lebih banyak dibanding dengan mangan oksida aditif etilendiamin. Hal inilah yang menyebabkan rhodamin B lebih banyak terdegradasi oleh katalis mangan oksida aditif etilen glikol dibanding dengan etilendiamin.

Rhodamin B tidak terdegradasi secara sempurna dikarenakan rhodamin B memerlukan waktu yang lebih lama untuk didegradasi terjadi karena rhodamin B memiliki struktur yang kompleks dan juga jumlah katalis yang digunakan masih perlu ditambah.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Nanopartikel mangan oksida yang disintesis dengan penambahan aditif etilendiamin menghasilkan nanopartikel mangan oksida dengan ukuran partikel berkisar 5,66-33,38 nm dan berbentuk bulat seragam dibandingkan dengan penambahan aditif etilen glikol. Nanopartikel Mangan oksida hasil sintesis mampu mempercepat proses degradasi warna rhodamin B dengan persentase degradasi 85,6%.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka peneliti menyarankan:

1. Perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut terhadap nanopartikel menggunakan instrument seperti XRD, SEM dan PSA.
2. Perlu dilakukan modifikasi dalam sintesis nanopartikel emas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Nyoman Suprayojana Trisna. 2016. Analisa Pengaruh Temperatur Hidrotermal pada Proses Sintesis Anoda MnO₂ Terhadap Morfologi dan Performa Elektrokimia Baterai Lithium Ion. *Jurnal material dan metalurgi*, vol.1 No. 2
- Ahmed, Khalid Abdelazez Mohamed. 2016. "Exploitation of KMnO₄ Material as Precursors for The Fabrication of Manganese Oxide Nanomaterials". *Taibah University for Science* 10, no. 1.
- Andy Alfian Qodri. 2011. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG Dengan Fotokatalis Komposit Tio₂/SiO₂. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Arief, S., Safni, Roza, P., 2007, Degradasi Senyawa Rhodamin B Secara Sonolisis dengan Penambahan TiO₂ Hasil Sintesa Melalui Proses Sol-Gel, *Jurnal Riset Kimia*, Vol.1, No.1, 64-70, Padang.
- Brinker, C.J., & G.W. Scherer. 1996. *Sol-gel science: The Physics and Chemistry of Sol-gel Processing*. USA: Academic Press.
- Brock, S.L., Duan, N., Gilardo, O., Tian, Z. R., Zhou, H., Suib, S.L. 1998. A review of porous manganese oxide materials. *J. of Chemical Material*. 10 : 2619-1618.
- Glaze, W.H., Kwang, J.W., dan Chapin, D.H., 1987, The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation, Ozone: Science & Engineering, *The Journal of the International Ozone Association*, Vol.9 No.4, 335-352.
- Ida, A.G., 2011, Fotodegradasi Metilen Biru Dengan Sinar Vis dan Katalis Al₂O₃. *Skripsi*. Universitas Udayana Bukit Jimbaran,; Bali.
- Ningsih, Sherly Kasuma Warda. 2013. "Pengaruh Aditif Pada Sintesis Nanopartikel Mn₂O₃ Melalui Proses Sol-Gel". *Jurnal*

Kimia. Vol. 7, no. 1.

Saridewi, Nanda, Syukri Arief dan Admin Alif. 2015. "Sintesis Nanomaterial Mangan Oksida dengan Metode Bebas Pelarut". *Kimia Valensi*. Vol. 1, no. 2: 114-120.

Yu, Shuping, Runting Liu, Zhongming Wang, Wensheng Yang, Kefei Han dan Hong Zhu. 2014. Synthesis and electrocatalytic performance of MnO₂-promoted

Ag@Pt/MWCNTs electrocatalyst for oxygen reduction reaction. *Journal of Materials Chemistry A*. Vol. 1, no. 2.