

**SINTESIS NANOKOMPOSIT POLIANILIN/ZnO DENGAN METODE
POLIMERISASI ANTARMUKA DAN UJI AKTIVITAS FOTODEGRADASINYA
TERHADAP RHODAMIN B PADA CAHAYA TAMPAK**

**SYNTHESIS OF POLYANILINE/ZNO (PANI/ZNO) NANOCOMPOSITE USING
INTERFACE POLYMERIZATION METHOD AND ITS PHOTODEGRADATION
TEST ON RHODAMINE B UNDER VISIBLE LIGHT IRRADIATION**

Muhamad Wisnu Nugroho¹, Anung Riapanitra, Ponco Iswanto

Program Studi Kimia, Jurusan MIPA, Fakultas Sains dan Teknik, UNSOED
email: ¹m.wisnu28@gmail.com

ABSTRAK

Sintesis nanokomposit polianilin/ZnO (PANI/ZNO) secara polimerisasi antarmuka dan uji fotodegradasinya pada senyawa Rhodamin B telah dilakukan. Garam Emeraldine dari PANI dan nanokomposit PANI disintesis secara polimerisasi antarmuka menggunakan dua fase pelarut organik/air. Hasil sintesis dikarakterisasi transisi elektronnya secara spektroskopi UV-Vis dan gugus fungsi yang terbentuk secara spektrofotometri FT-IR. Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS menunjukkan bahwa PANI, PANI/ZnO 5% dan PANI/ZnO 10% memiliki nilai energi band gap sebesar 2,0 eV. Analisis secara SEM menunjukkan berkurangnya ukuran partikel seiring penambahan ZnO. Penentuan berat molekul PANI dilakukan menggunakan viskosimeter Ostwald menunjukkan berat molekul PANI sebesar 2835,03 g/mol. Uji fotodegradasi pada lampu tungsten selama 240 menit mendapatkan hasil penurunan konsentrasi Rhodamin B berturut-turut sebesar 67.9% 85.09% and 80.24% untuk PANI, PANI/ZnO 5% dan PANI/ZnO 10%.

Kata Kunci: fotokatalisis, nanokomposit polianilin/ZnO, rhodamin B

ABSTRACT

Synthesis of polyaniline/ZnO (PANI/ZNO) nanocomposite using interface polymerization method as well as its photodegradation test on Rhodamin B dye under visible light irradiation has been performed. Emeraldine salt of PANI and nanocomposite PANI/ZnO can be synthesized using interfacial polymerization method of organic/water biphasic. The characterization of electron transition and functional groups were performed using UV-Vis and FT-IR spectroscopy, respectively. DRS characterization showed that PANI, PANI/ZnO 5% and 10% has energy value of ~ 2.0 eV band gap. SEM analysis with image-J software showed a decrease particle size due to the increasing content of ZnO. Determination of molecular weight polymer using Ostwald viscosimeter showed that the molecular weight PANI is 2835.03 g/mol. The photodegradation test performed using tungsten lamp irradiation for 240 minutes gave result to rhodamine B concentration reduction of 67.9% 85.09% and 80.24% for polyaniline, polyaniline/ZnO 5% and polyaniline/ZnO 10%, respectively.

Keywords: photocatalyst, nanocomposite polyaniline/ZnO, rhodamine B

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil dapat mendatangkan masalah terhadap lingkungan, karena proses produksinya

menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang cukup besar. Salah satu bahan pencemar yang dihasilkan adalah zat warna rhodamin B. Rhodamin B merupakan zat

kimia berbahaya yang banyak dikonsumsi baik di industri atau pun oleh masyarakat umum. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan metode fotokatalitik. Penggunaan material semikonduktor anorganik seperti TiO₂, ZnO, CdS dan lain-lain sebagai fotokatalis untuk mendegradasi limbah dalam air sudah banyak diteliti. Namun, kebanyakan dari semikonduktor anorganik di atas memiliki celah pita yang lebar, sehingga hanya dapat menyerap energi dari sinar ultraviolet ($\lambda < 400$ nm) untuk dapat melakukan fotoeksitasi (Paola *et al.*, 2012).

Salah satu alternatif senyawa yang dapat digunakan sebagai fotokatalis adalah polianilin. Polianilin merupakan polimer konduktif yang bersifat stabil di lingkungan, murah dan mudah disintesis, dan dapat mengalami perubahan bilangan oksidasi akibat adanya reaksi oksidasi dan reduksi maupun sifat konduktif menjadi isolatif karena reaksi asam-basa, oleh sebab itu polianilin banyak digunakan antara lain sebagai sensor, transistor, baterai, kapasitor, dan korosif inhibitor (Surwade, 2010).

Polianilin dilaporkan memiliki aktivitas fotokatalitik yang baik dalam mendegradasi zat warna (Haspulat *et al.* 2013). Aktivitas fotokatalitik polianilin juga telah banyak diteliti diantaranya dengan membuat senyawa *hybrid* anorganik seperti dengan TiO₂ (Wang, *et al.*, 2011; Radoicic, *et al.* 2013) dan ZnO (Eskizeybeket *et al.* 2012) agar aktivitas fotokatalitiknya menjadi lebih baik di pada irradiasi cahaya matahari. Pada penelitian ini, polianilin dibuat dengan metode polimerisasi antarmuka sistem dua fasa organik/air (Maddu *et al.*, 2008) dengan penambahan ZnO pada monomer anilin untuk membentuk nanokomposit polianilin/ZnO (PANI/ZnO). Karakterisasi komposit dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis (*Ultra Violet – Visible*) DRS, FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red*) dan SEM-EDX (*Scanning*

Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy). Bobot molekul rata-rata ditentukan dengan mengukur viskositas intrinsik menggunakan viskosimeter Ostwald. Uji aktivitas fotokatalitik nanokomposit polianilin/ZnO dilakukan dengan menguji penurunan kadar zat warna rhodamin B di bawah penyinaran lampu tungsten.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah anilin 1M, HCl 1,5 M, ammonium peroksodisulfat ((NH₄)₂S₂O₈) toluena, akuades, ZnO, dimetil sulfoksida (DMSO) dan rhodamin B. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas piala, labu ukur 100 mL, pipet ukur 10 mL, pipet ukur 1 mL, filler, kertas saring, corong Buchner, aluminium foil, oven, pengaduk magnet, substrat gelas preparat, viskosimeter ostwald, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800), UV-Vis DRS (Shimadzu 2450), FT-IR (PerkinElmer Spectrum 100) dan SEM-EDX.

Sintesis Polianilin

Sintesis polianilin dilakukan dengan metode polimerisasi antarmuka sistem dua fasa larutan organik/air. Sebanyak 50 mL Toluena ditambah dengan 1 ml monomer anilin 1 M digunakan sebagai fasa organik, dan 50 mL larutan HCl 1 M yang ditambah dengan 0,6 gram (NH₄)₂S₂O₈ sebagai fasa air (aqueous). Kedua larutan dicampurkan ke dalam gelas piala tanpa diaduk. Proses ini dibiarkan se malam dengan ditutup aluminium foil agar reaksi polimerisasi berjalan sempurna. Produk berupa endapan polianilin dikumpulkan dan dimurnikan melalui filtrasi. Endapan yang terbentuk disaring dengan kertas saring menggunakan corong Buchner untuk mempercepat penyaringan, lalu dicuci dengan 100 ml HCl 0,2 M. Pencucian dilanjutkan dengan aseton 100 ml. Polianilin doping HCl (*emeraldine salt*

(ES)) dikeringkan dalam oven pada temperatur 50 °C selama 5 jam.

Sintesis nanokomposit PANI/ZnO

Nanokomposit PANI-ZnO dibuat dari 101,98 gram ZnO yang dicampur dengan monomer anilin sebanyak 4 mL kemudian dilarutkan dalam 200 mL toluen. Campuran tersebut diaduk dengan pengaduk magnet pada suhu kamar selama 4 jam untuk membentuk suspensi dari komposit. Polimerisasi dilakukan lagi seperti cara sintesis polianilin murni di atas, sehingga didapatkan nanokomposit PANI/ZnO.

Karakterisasi PANI dan PANI/ZnO

Karakterisasi dilakukan dengan spektrofotometer FT-IR untuk mengetahui serapan gugus fungsi hasil sintesis, spektrofotometer UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita, dan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan pada PANI murni dan PANI/ZnO, serta viskosimeter Ostwald untuk menentukan bobot molekul polimer.

Uji aktivitas fotokatalitik

Uji aktivitas fotokatalis dilakukan untuk mengetahui degradasi zat warna rhodamin B oleh polianilin murni dan

nanokomposit polianilin/ZnO menggunakan lampu tungsten. Rhodamin B dengan konsentrasi 10 ppm sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam gelas piala 250 mL. Serbuk PANI dan PANI/ZnO sebanyak 0,1 g dimasukan ke dalam larutan Rhodamin B. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet di bawah lampu tungsten.

Selanjutnya setiap 1 jam selama 4 jam campuran larutan diambil sebanyak 2 mL untuk diukur penurunan kadar zat warna dengan spektrofotometer UV-Vis. Persen penurunan kadar rhodamin B ditentukan menggunakan persamaan:

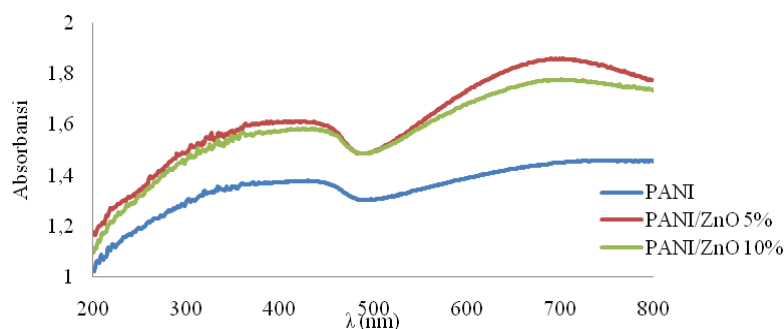
$$\text{Kadar (\%)} = \frac{C_o - C}{C_o} \times 100 \%$$

C_o adalah konsentrasi rhodamin B mula-mula, sedangkan C adalah konsentrasi rhodamin B setelah degradasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Nanokomposit PANI/ZnO

Hasil karakterisasi menggunakan spectrophotometer UV-Vis DRS nanokomposit PANI/ZnO dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Spektra serapan polianilin dan nanokomposit polianilin/ZnO menggunakan spektrofotometer UV-Vis

Spektra serapan polianilin menunjukkan tiga puncak serapan pada sekitar 370 nm, 450 nm, dan 700 nm. Absorpsi pada sekitar 370 nm bersesuaian dengan transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dari struktur

benzenoid, absorpsi pada sekitar 450 nm bersesuaian dengan transisi polaron $\rightarrow \pi^*$, sedangkan transisi pada sekitar 700 nm bersesuaian dengan transisi pita $\pi \rightarrow$ polaron. Tingkat energi polaron yang

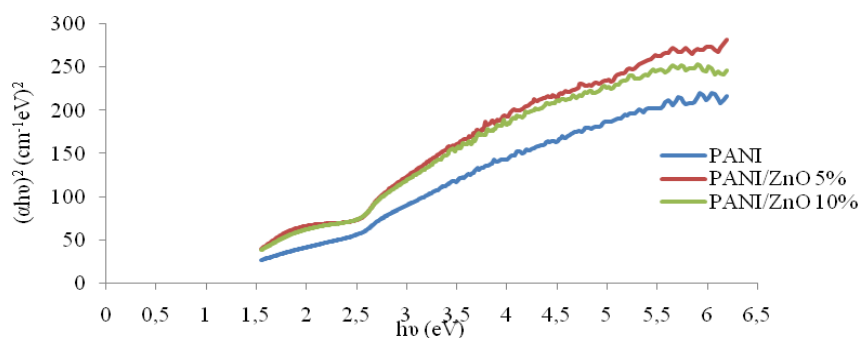
terlihat dari transisipolaron $\rightarrow \pi^*$ dan $\pi \rightarrow$ polaron menandakan bahwa polianilin yang dihasilkan merupakan polianilin dalam bentuk emeraldin terprotonasi (ES).

Nilai energi celah pita ditentukan dengan metode Tauc Plot menggunakan persamaan Tauc (Gopalakrishnan *et al.*, 2012).

$$(\alpha h\nu) = A (h\nu - E_g)^n$$

Hasil energi celah pita yang didapatkan pada polianilin, nanokomposit PANI/ZnO 5% dan 10% berturut-turut adalah 2,029 eV; 2,026 eV; dan 2,006 eV. Hasil yang didapatkan dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan ZnO ke dalam PANI, maka energi celah pita semakin menurun. Menurut Shukla *et al.*

(2012), hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara PANI dan ZnO, dimana ZnO merupakan asam lewis dan anilin merupakan merupakan basa lewis. Hal ini akan membentuk rantai ionisasi polimerik dan menghasilkan efek pertukaran elektron yang efisien. Menurut Kant *et al.* (2013), interaksi antara PANI dan ZnO ini menyebabkan perubahan *electron density* (kerapatan elektron) dari rantai polianilin. Perubahan tersebut menyebabkan *red shift* (pergeseran merah). *Red shift* pada spektrum terjadi karena adanya interaksi selektif antara ZnO dan cincin quinoid pada ES, sehingga memudahkan pemindahan muatan dari setiap unit cincin quinoid lewat gugus -NH yang sangat reaktif (Kannusamy & Sivalingam, 2013).

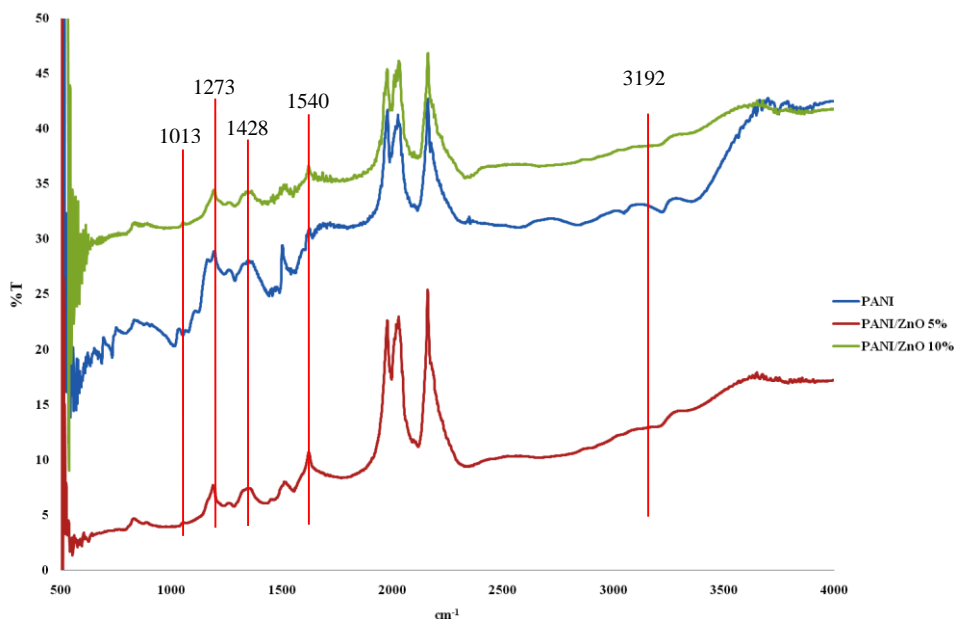


Gambar 2. Penentuan *band gap* menggunakan metode Tauc Plot

Hasil karakterisasi FT-IR dapat dilihat pada **Gambar 2**. **Gambar 2** menunjukkan Spektrum serapan FT-IR emeraldin terprotonasi dimana terdapat serapan pada sekitar 1540 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur C=C dari cincin quinoid. Puncak lain yang terlihat adalah puncak pada 1442 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur C=C dari cincin benzen. Puncak juga terlihat pada 1282 cm^{-1} dan 1013 cm^{-1} berturut-turut menunjukkan vibrasi ulur C-N cincin quinoid dan vibrasi ulur N=Q=N, dimana Q adalah cincin quinoid. Puncak pada 3192 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur gugus N-H amina sekunder.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa terjadi pergeseran pada spektrum PANI/ZnO 5% dan 10%, yang menyebabkan perbedaan puncak serapan

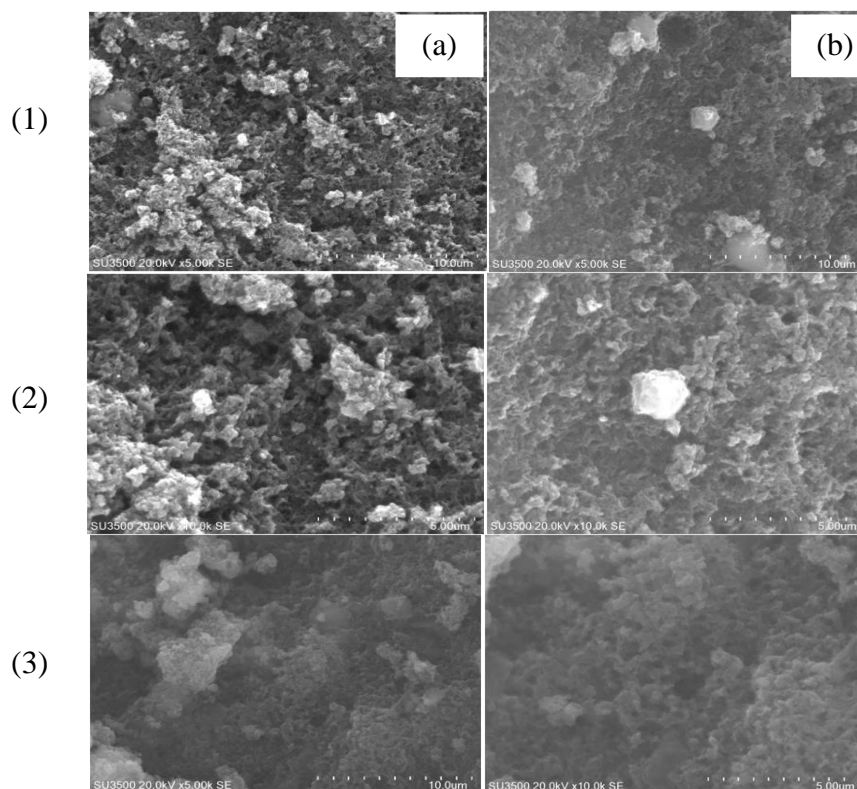
dengan puncak serapan polianilin. Menurut Eskizeybek *et al.* (2012), hal ini disebabkan adanya ikatan hidrogen antara ZnO dengan gugus-gugus N-H pada molekul rantai polianilin, sehingga mengubah energi ikatan dari polianilin. Ikatan hidrogen tersebut mengakibatkan ikatan antara N-H pada polianilin menjadi meregang dan melemah, sehingga puncak yang dihasilkan menjadi melemah dan melebar. Pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih rendah (*red shift*) ini juga disebabkan karena tingkat protonasi dari rantai polianilin sedikit lebih kecil (melemah), sehingga frekuensi yang diserap akibat vibrasi ulur antara C=N dan C=C pada cincin quinoid dan benzenoid menjadi menurun (Wang *et al.*, 2011; Radoicic *et al.*, 2013).



Gambar 3. Spektrum serapan FT-IR polianilin dan nanokomposit polianilin/ZnO

Morfologi permukaan PANI dan nanokomposit PANI/ZnO yang dihasilkan selanjutnya diamati dengan mikroskop

elektron (SEM). Morfologi permukaan PANI diambil dengan perbesaran 5.000 dan 10.000 kali, tersaji pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Morfologi Permukaan PANI (1) dan PANI/ZnO 5% dan PANI/ZnO 10% (2) perbesaran 5.000x (a) dan 10.000x (b)

Gambar 4 menunjukkan bahwa polianilin yang dihasilkan menggunakan metode polimerisasi antarmuka berbentuk nanoserat. Interaksi antara polianilin dan

ZnO menyebabkan perbedaan ukuran polianilin dan nanokomposit polianilin/ZnO. Menurut Mostafaei & Zolriasatein (2012), perbedaan ukuran

PANI dan PANI/ZnO disebabkan adanya aglomerasi (penggumpalan) PANI dengan ZnO. Semakin banyak ZnO yang ditambahkan maka penggumpalan yang terjadi semakin banyak. Penggumpalan ini mungkin disebabkan adanya interaksi antara ZnO dan gugus N-H dengan membentuk ikatan hidrogen (Eskizeybek *et al.*, 2012) atau ikatan koordinasi (Shukla *et al.*, 2012). Karakterisasi menggunakan EDX dimaksudkan untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat dalam gambar SEM. Pada EDX dilakukan penembakan titik/spot yang diinginkan untuk mengetahui komposisi pada titik tersebut. Pengujian EDX dengan penembakan 5 spot, kemudian dapat diketahui spektrum unsurnya yang dapat dilihat pada **Tabel 1**. **Tabel 1** menunjukkan unsur terbanyak yaitu unsur

karbon (C). Unsur terbanyak kedua adalah nitrogen (N). Unsur karbon dan nitrogen berasal dari polianilin yang terbentuk dari satuan anilin dengan rumus molekul $C_6H_5NH_2$. Hasil analisis juga menunjukkan adanya unsur oksigen (O) dan unsur sulfur (S) yang diperkirakan berasal dari ammonium peroksodisulfat $((NH_4)_2S_2O_8)$. Kemudian adanya unsur klor (Cl) diperkirakan berasal dari asam klorida (HCl) yang merupakan bahan untuk menghasilkan emeraldin terprotonasi.

Penentuan bobot molekul polianilin dilakukan menggunakan viskosimeter Oswald dengan mengukur waktu alir pelarut dan polimer melewati viskosimeter Ostwald. Pelarut yang digunakan adalah DMSO (dimetil sulfoksida). Hasil pengukuran diketahui berat molekul relatif polianilin sebesar 2.835,03 g/mol.

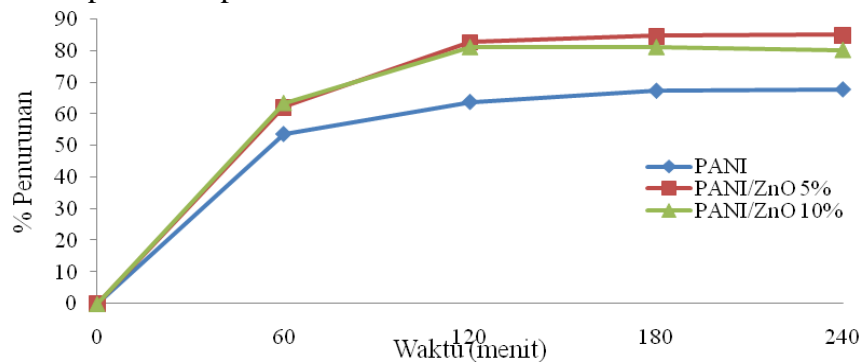
Tabel 1. Berat rata-rata (%) unsur pada pengujian EDX

Unsur	Berat Rata-rata (%)		
	Polianilin	PANI/ZnO 5%	PANI/ZnO 10%
C	73,808	79,694	69,004
N	13,044	5,456	14,014
O	7,866	7,892	10,18
S	0,718	2,082	2,174
Cl	4,564	4,83	4,402
Zn	-	0,046	0,226

Aktivitas Fotokatalitik Nanokomposit Polianilin/ZnO

Uji aktivitas dari fotokatalis polianilin dan nanokomposit polianilin/ZnO

dilakukan menggunakan lampu tungsten ($\lambda=445$ nm) sebagai sumber sinar. Persen penurunan konsentrasi rhodamin B dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Persen penurunan konsentrasi rhodamin B

Hasil penelitian menunjukkan, nanokomposit PANI/ZnO dapat menurunkan konsentrasi rhodamin B lebih

besar daripada polianilin tanpa penambahan ZnO. Nanokomposit polianilin/ZnO 5% dan 10% mampu

menurunkan konsentrasi rhodamin B berturut-turut sampai 85,09% dan 80,24% pada penyinaran lampu tungsten selama 240 menit. Sedangkan polianilin mampu menurunkan konsentrasi rhodamin B sampai 67,9%. **Gambar 5** menunjukkan bahwa PANI/ZnO 5% lebih baik dalam mendegradasi zat warna daripada PANI/ZnO 10%. Menurut Radoicic, *et al.* (2013) hal ini disebabkan karena adanya *structural defect* (kerusakan struktur) pada rantai polianilin dalam jumlah yang cukup signifikan akibat penambahan ZnO secara berlebihan. Kerusakan struktur rantai polianilin ini ditandai dengan adanya unit rantai seperti *phenazine* dan terbentuknya cabang rantai. *Structural defect* dapat meningkatkan rantai yang berliku-liku pada cincin aromatik, sehingga menyebabkan perubahan struktur elektronik, meningkatkan lokalisasi polaron, dan mengurangi sistem konjugasi pada rantai polianilin. Kerusakan juga terlihat pada karakterisasi SEM dimana terlihat adanya penggumpalan (aglomerasi) hal ini menyebabkan aktivitas PANI/ZnO sebagai fotokatalis juga menjadi menurun.

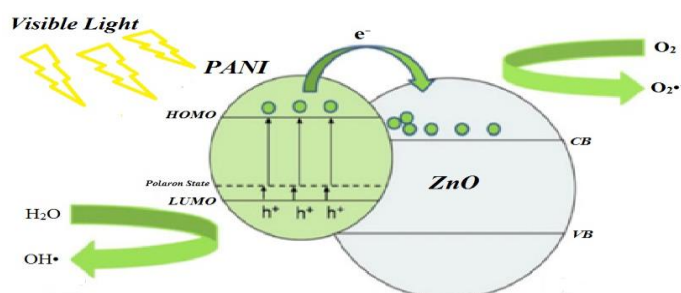
Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran, maka penyerapan sinar semakin banyak dan penurunan konsentrasi rhodamin B semakin besar. Hal ini disebabkan semakin banyaknya elektron pada pita valensi yang tereksitasi ke pita konduksi sehingga lubang positif (h^+) yang terbentuk juga semakin banyak. Lubang positif tersebut akan bereaksi dengan H_2O atau ion

hidroksil membentuk radikal hidroksil ($OH\cdot$) yang kemudian digunakan untuk menguraikan senyawa organik rhodamin B (Hoffman, 1995).

Menurut Zhang *et al.* (2009), polianilin akan menyerap energi cahaya tampak yang dapat mengeksitasi elektron dari HOMO ke LUMO pada PANI dan menghasilkan pasangan elektron-hole. Elektron yang tereksitasi tersebut dapat masuk ke pita konduksi dari ZnO, hal ini disebabkan karena posisi pita konduksi pada ZnO lebih rendah daripada LUMO pada PANI. Elektron tersebut kemudian akan berpindah menuju permukaan untuk bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan radikal superoksida ($O_2\cdot^-$).

Di sisi lain, *hole* yang berada pada HOMO dari PANI akan dengan mudah menuju ke permukaan dan bereaksi dengan air menghasilkan radikal hidroksil ($OH\cdot$). Radikal $OH\cdot$ ini dapat mengoksidasi polutan karena kapasitas oksidasi yang sangat tinggi.

Dugaan mekanisme aktivitas fotokatalitik pada nanokomposit polianilin/ZnO disajikan pada Gambar 6. Elektron pada ZnO bergerak menuju permukaan berlawanan arah dengan *hole* pada PANI, hal ini mencegah rekombinasi pada fotogenerasi elektron dan *hole*, sehingga pemisahan muatan lebih efisien. Setelah rekombinasi elektron dan *hole* pada PANI/ZnO dihambat, aktivitas fotokatalitik menjadi lebih tinggi (Zhang, *et al.*, 2009).



Gambar 6. Dugaan mekanisme fotokatalitik nanokomposit PANI-ZnO di bawah penyinaran cahaya tampak

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa nanokomposit PANI/ZnO dapat dihasilkan melalui metode polimerisasi antarmuka sistem dua fasa organik/air. Berat molekul polianilin yang diperoleh sebesar 2.835,03 g/mol. Uji aktivitas fotokatalitik menunjukkan nanokomposit PANI/ZnO dapat menurunkan konsentrasi zat warna rhodamin B dengan cahaya lampu tungsten. Penurunan konsentrasi rhodamin B pada penyinaran lampu tungsten mencapai 67,9% dengan penambahan polianilin, 85,09% dengan polianilin/ZnO 5% dan 80,24% dengan polianilin/ZnO 10%.

DAFTAR PUSTAKA

- Eskizeybek, V, Fahriye S., Handan G., & Ahmet A. (2012). Preparation of the new polyaniline/ZnO nanocomposite and its photocatalytic activity for degradation of methylene blue and malachite green dyes under UV and natural sun lights irradiations. *Applied Catalysis B: Environmental* 119–120, hal. 197–206.
- Gopalakrishnan, K., M. Elango, & M. Thamilselvan. (2012). Optical Studies on Nano-structured Conducting Polyaniline Prepared by Chemical Oxidation Method. *Archives of Physics Research*. 3 (4): 315-319.
- Haspulat, B., Ahmet G., & Handan G. (2013). Efficient photocatalytic decolorization of some textile dyes using Fe ions doped polyaniline film on ITO coated glass substrate. *Journal of Hazardous Materials* 260: 518–526.
- Hoffmann, M.R, S. T. Martin, W. Choi, & D. W. Bahnemann. (1995). Environmental Applications of Semikonduktor Photocatalysis. *Chemical Reviews*; 95 (1). 69-96.
- Kant, S., S. Kalia, & A. Kumar. (2013). A novel nanocomposite of polyaniline and $\text{Fe}_{0.01}\text{Ni}_{0.01}\text{Zn}_{0.98}\text{O}$: Photocatalytic, electrical and antibacterial properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 578 : 249-256.
- Kannusamy, P. & T. Sivalingam. (2013). Chitosane-ZnO/polyaniline hybrid composites: Polymerization of aniline with chitosane-ZnO for better thermal and electrical property. *Polymer Degradation and Stability*, 98: 988-996.
- Maddu, A., Wahyudi, S., & Kurniati, M. (2008). Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. Bogor: Bagian Biofisika, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. 1(2): 74-78
- Paola, A. Di., E. García-López, G. Marci, & L. Palmisano. (2012). A survey of photocatalytic materials for environmental remediation. *J. Hazard. Mater.* 211/212. : 3–29.
- Radoicic, M., Z. Saponjic, I.A. Jankovic, G.Ciric-Marjanovic, S.P. Ahrenkiel, & M.I. Comor. (2013). Improvements to the photocatalytic efficiency of polyaniline modified TiO_2 Nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmental* 136-137: 133–139.
- Shukla, S. K., Vamakshi, Minakshi, A. Bharadavaja, A. Shekhar, & A. Tiwari. (2012). Fabrication of Electro-chemical Humidity Sensor Based on ZnO/Polianiline Nanocomposite. *Adv. Mat. Lett*, 3(5), 421-425.
- Surwade, S. P. (2010). *Synthesis of Nanostructured Polyaniline*. Texas University Institute Of Chemical Technology.
- Wang Y., J. Xu, W. Zong, & Y. Zhu. (2011). Enhancement of photoelectric catalytic activity of TiO_2 film via Polyaniline hybridization. *Journal of Solid State Chemistry*, 184: 1433–1438.

