

Transformasi Abu Vulkanik dan Limbah Seng menjadi Nanokomposit ZnO-SiO₂ dan Aplikasinya untuk Degradasi Rhodamin B

Sunardi^{1*}, dan Silviana²

¹Program Studi Analisis Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi; e-mail: sunardi@setiabudi.ac.id

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi

ABSTRAK

Rhodamin B merupakan salah satu pencemar organik yang bersifat non biodegradable sehingga sulit terurai oleh mikroorganisme. Bila memungkinkan untuk didegradasi pun akan membutuhkan waktu yang lama. Semikonduktor yang digunakan adalah ZnO menggunakan host material SiO₂. Alasan penggunaan SiO₂ adalah selain efisiensi yang tinggi juga bahan baku yang melimpah karena erupsi gunung Merapi terjadi secara berkala setiap 4 tahun sekali. Tingginya kandungan SiO₂ dalam abu vulkanik dapat dimanfaatkan dan diolah menjadi silika gel melalui pembentukan kalium silikat yang dihasilkan dari reaksi antara SiO₂ di dalam abu vulkanik dengan kalium hidroksida. Selain keberadaan SiO₂ yang berlimpah, sumber ZnO dari limbah bengkel bubuk juga mudah diperoleh. Pembuatan Nanokomposit ZnO/SiO₂ dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel karena mudah dan efektifitasnya tinggi. nanokomposit ZnO/SiO₂ diaplikasikan sebagai adsorben untuk mendegradasi Rhodamin B. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter nanokomposit ZnO/SiO₂ serta mengetahui kondisi terbaik untuk menghasilkan degradasi yang optimum. Sintesis nanokomposit ZnO/SiO₂ berbahan dasar abu vulkanik dan limbah seng menghasilkan ukuran komposit dengan range ukuran 100-200 nm dan bentuk lingkaran yang seragam. Hasil uji FTIR diketahui SiO berada pada panjang gelombang 993,34 dan 1109,07 cm⁻¹, sedangkan ZnO berada pada panjang gelombang 443,63 cm⁻¹. Hasil XRD nanokomposit ZnO/SiO₂ diketahui peak 2θ yaitu 30,42°, 31,56°, dan 44,40°. Aplikasi degradasi pewarna pada penyinaran sinar UV, serta mencari pH, waktu, dan konsentrasi memberikan nilai degradasi Rhodamin B yang maksimum. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi pada penurunan konsentrasi Rhodamin B didapatkan pada pH 3 dengan waktu kontak 60 menit dan konsentrasi Rhodamin B sebesar 10 ppm. Efisiensi degradasi Rhodamin B yang didapatkan dengan kondisi tersebut adalah sebesar 95,8690 %. Berdasarkan pengolahan data variasi konsentrasi dengan menggunakan persamaan isotherm Langmuir, diketahui kapasitas adsorpsi pada Rhodamin B sebesar 97,3458521%.

Kata kunci: Abu vulkanik, limbah seng, nanokomposit ZnO/SiO₂, rhodamin b

ABSTRACT

Rhodamine B is a non-biodegradable organic pollutant that is difficult to decompose by microorganisms. If it is possible to be degraded it will take a long time. The semiconductor used is ZnO using SiO₂ host material. The reason for using SiO₂ is that apart from high efficiency, there are also abundant raw materials because the eruption of Mount Merapi occurs regularly every 4 years. The high content of SiO₂ in volcanic ash can be utilized and processed into silica gel through the formation of potassium silicate resulting from the reaction between SiO₂ in volcanic ash and potassium hydroxide. In addition to the presence of abundant SiO₂, ZnO sources from lathe workshop waste are also easily obtained. The manufacture of ZnO/SiO₂ nanocomposites was carried out using the sol - gel method because it is easy and has high effectiveness. ZnO/SiO₂ nanocomposite was applied as an adsorbent to degrade Rhodamine B. This study aims to determine the character of ZnO/SiO₂ nanocomposite and to determine the best conditions for optimal degradation. Synthesis of ZnO/SiO₂ nanocomposite based on volcanic ash and zinc waste resulted in a composite size with a size range of 100-200 nm and a uniform circular shape. The results of the FTIR test show that SiO is at a wavelength of 993.34 and 1109.07 cm⁻¹, while ZnO is at a wavelength of 443.63 cm⁻¹. The XRD results of ZnO/SiO₂ nanocomposite are known to peak at 2θ, namely 30.42°, 31.56°, and 44.40°. The application of dye degradation on UV irradiation, as well as looking for pH, time, and concentration gave the maximum Rhodamine B degradation value. The results of this study indicate that the highest efficiency in decreasing the concentration of Rhodamine B was obtained at pH 3 with a contact time of 60 minutes and a concentration of Rhodamine B of 10 ppm. The degradation efficiency of Rhodamine B obtained under these conditions is 95.8690%. Based on the concentration variation data processing using the Langmuir isotherm equation, it is known that the adsorption capacity of Rhodamine B is 97.3458521%.

Keywords: Volcanic ash, zink waste, Nanocomposite ZnO/SiO₂, rhodamine B

Citation: Sunardi & Silviana. (2022). Transformasi Abu Vulkanik dan Limbah Seng menjadi Nanokomposit ZnO-SiO₂ dan Aplikasinya untuk Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20(4).856-871. doi:10.14710/ jil.20.4.856-871

1. Pendahuluan

Rhodamin B adalah zat warna sintetis berbentuk serbuk kristal, berwarna hijau atau ungu kemerahan, tidak berbau, dan dalam larutan berwarna merah terang berfluorensi. Rhodamin B semula digunakan untuk kegiatan histologi dan sekarang berkembang untuk berbagai keperluan seperti sebagai pewarna kertas dan tekstil (Oyekanmi et al., 2019; Sabatini et al., 2018; Xu & Ma, 2021). Rhodamin B seringkali disalahgunakan untuk pewarna pangan (Chao et al., 2020; Huang et al., 2020) dan pewarna kosmetik (Nevitasari et al., 2019), misalnya sirup (Arabi et al., 2020; Djalil et al., 2019), lipstik (Taner Bişgin et al., 2020), pemerah pipi (Alle et al., 2020; Satiyarti et al., 2021), dan lain-lain. Pewarna ini terbuat dari dietilaminophenol dan phthalic anhidrida dimana kedua bahan baku ini sangat toksik bagi manusia (Balasurya et al., 2022; Skjolding et al., 2021). Biasanya pewarna ini digunakan untuk pewarna kertas, wol, dan sutra (Jabeen et al., 2021).

Rhodamin B merupakan limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil adalah senyawa organik *non-biodegradable* yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Al-Buriah et al., 2022). Rhodamin B sangat berbahaya jika terpapar langsung melalui kulit, mata, atau tertelan. Rhodamin B mempunyai efek akut dan kronis. Pada efek akut, paparan menyebabkan kerusakan parah pada mata, pada kontak dengan kulit akan menyebabkan iritasi (kontak dengan aerosol Rhodamin B dalam 26 menit menyebabkan efek *irritant* yang selesai dalam 24 jam), dan bila masuk pembuluh darah melalui lesi, abrasi, atau luka akan menyebabkan kerusakan sistemik. Pada efek kronis, tampak sifat-sifat karsinogenik dan genotoksin (Balasurya et al., 2022; Skjolding et al., 2021).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi konsentrasi Rhodamin B adalah fotokatalisis Rhodamin B dengan komposit ZnO/SiO₂. Berdasarkan penelitian Sunardi dkk., (2016) diperoleh persentase degradasi Rhodamin B dengan komposit kaolin/TiO₂ sebesar 94,7% (Jovanov et al., 2018; Sunardi dkk., 2016; Wongso et al., 2019). Penurunan konsentrasi sebesar 81,8% juga terjadi pada Rhodamin B dengan fotokatalis TiO₂ (Xu & Ma, 2021), TiO₂ dari pemanfaatan zeolit alam Ciamis (Agusriyanti & Artsanti, 2015). Selain itu, dengan modifikasi lempung bentonite teraktivasi asam dan benzalkonium klorida dapat digunakan sebagai adsorben Rhodamin B dengan kapasitas adsorpsi tertinggi dimiliki oleh adsorben terinterkalasi Benzalkonium Klorida (BKC) 0,1% (Aa0,1) yaitu sebesar 10,6905 mg/g (Dewi et al., 2017). Mufti dkk., (2015) juga menjelaskan Komposisi optimum untuk degradasi larutan pewarna Rhodamin B yaitu komposit BaFe12O19/ZnO dengan Zn/Ba= 4,49 dan lama penyinaran 120 menit, dengan nilai persentase degradasinya sebesar 79,72 % (Mufti et al., 2015).

Di sisi lain, letusan gunung Merapi mengeluarkan berbagai material padat misalnya kerikil dan abu vulkanik. Dampak erupsi ini memberi imbas negatif yang tidak sedikit bagi manusia dan lingkungan. Selain dapat menyebabkan gangguan sistem pernafasan jika terhirup, abu vulkanik juga dapat menyebabkan peningkatan kekeruhan di perairan serta kerusakan ekosistem sehingga diperlukan upaya penanganan abu vulkanik secara serius baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang (R. Rahayu et al., 2014). Banyaknya ketersediaan abu vulkanik di sekitar lereng gunung Merapi dapat dimanfaatkan sebagai salah satu adsorben untuk menjernihkan air limbah (Nurillahi et al., 2018). Abu vulkanik diketahui mengandung silika dalam jumlah yang cukup besar (Simatupang & Devi, 2016). Karena ketersediaan di alam yang cukup melimpah abu vulkanik mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebaik mungkin dan meningkatkan nilai kegunaan dari abu vulkanik itu sendiri. Dari beberapa penelitian yang telah terpublikasikan, kandungan silika yang cukup besar dalam abu vulkanik dapat dijadikan sebagai adsorben untuk mengurangi pencemaran air (Lora, 2014; Nizar & Supardi, 2016). Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mereduksi pencemaran air limbah dan meningkatkan kualitas air adalah fotokatalis. Metode ini dipilih karena lebih efisien dan efektif dalam mengurangi pencemaran air dibandingkan dengan metode lainnya (Gopinath et al., 2020; Rafiq et al., 2021).

Metode fotokatalitik sebenarnya telah banyak diterapkan dalam proses degradasi limbah. Penelitian degradasi limbah organik fenol dan fotoreduksi Pb(II) menggunakan adsorben ZnO/SiO₂ diperoleh hasil degradasi fenol sebesar 83,92% menggunakan sinar *tungsten* selama 9 jam dan reduksi Pb(II) pada sinar UV selama 9 jam sebesar 93,24% (Setyawati & Haris, 2015). Degradasi Rhodamin-B dengan fotokatalis ZnO/SiO₂ dengan efisiensi degradasi maksimal sebesar 93% (Zhai et al., 2010), dan efisiensi 99% (Fatimah et al., 2021). Selain itu fotokatalis ZnO dapat mendegradasi *methylene blue* sebesar 70% (Mekasuwandumrong et al., 2010), dan sebesar 81% (Govindhan & Pragathiswaran, 2019). Pengolahan limbah fenol dengan fotokatalis ZnO/SiO₂ dengan efisiensi degradasi berkisar antara 85% sampai 99,9% (Mohamed & Barakat, 2012) dan 84-94% (Galedari et al., 2017). Penggunaan dosis fotokatalis TiO₂-Zeolit sebanyak 100 mg dengan lama radiasi UV -A 200 menit mampu mendegradasi Tartrazin sebesar 77,10 % (Firmansyah et al., 2015). Beberapa teknik ataupun metode yang digunakan untuk sintesis nanokomposit material fotokatalis, diantaranya yaitu metode sol - gel, *grafting*, dan metode *co-presipitasi*. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode sol-gel, prosesnya menggunakan sebuah media yang berupa larutan,

yang akan berubah fase menjadi sol dan selanjutnya akan berbentuk gel. Pada tahun 2018 metode sol-gel berkembang pada sintesis Lithium Mangan Oksida Spinel (LiMn_2O_4) dengan serangkaian silikon melalui proses sol gel, hasil XRD menunjukkan bahwa sampel silikon yang didoping dapat mempertahankan struktur spinel dari LiMn_2O_4 . LiMn_2O_4 (Huang et al., 2018). Metode sol-gel merupakan metode yang digunakan untuk membuat suatu material padat dari nonopartikel atau molekul yang berukuran kecil terutama digunakan untuk fabrikasi dari oksida logam seperti silikon (Si) (Catauro et al., 2014) dan titanium (Ti) (Lourenço et al., 2016). Metode ini dapat digunakan untuk membuat komposit ZnO/SiO_2 berbahan dasar limbah seng dan abu vulkanik dimana komposit ini dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna pada limbah industri tekstil.

Tujuan umum penelitian ini adalah membuat nanokomposit dari abu vulkanik dan limbah seng, karakterisasi dan aplikasinya untuk degradasi Rhodamine B. Tujuan umum tersebut dapat dicapai dengan menjawab tujuan khusus yaitu, 1) Menganalisis karakter komposit yang disintesis dari abu vulkanik dan limbah seng; 2) Menganalisis kondisi yang memberikan hasil maksimal pada degradasi Rhodamin B menggunakan komposit berbahan baku abu vulkanik dan limbah seng; 3) Menentukan besarnya kapasitas adsorpsi pada degradasi Rhodamin B menggunakan komposit berbahan baku abu vulkanik dan limbah seng.

2. Metode

2.1. Bahan dan alat

Bahan baku yang dibutuhkan adalah abu vulkanik gunung Merapi yang diambil langsung dari desa Cangkringan, bunker mbah Marijan dan aliran kali Gendol, pewarna Rhodamin B, limbah seng bengkel bubut, KOH, NaOH, HCl *p.a.*, H_2SO_4 *p.a.*, akuades, larutan buffer asam dan basa.

Peralatan yang diperlukan untuk penelitian adalah sebagai berikut : alat gelas laboratorium, neraca analitis (Mettler PE300), Oven (HERAEUS KR 170E), Sonikator (Elmasonic S 30 H), Furnace, Spektrofotometer UV-Vis, Fourier Transform *InfraRed* (FTIR), *Scanning Electrone Microscopy/SEM* (Hitachi SU-70), *X-ray diffraction/XRD* (Philip Analytical X-Ray B. V), *Centrifuge* (Hettich CBA 200), reflux dan alat laboratorium pendukung lainnya.

2.2. Persiapan dan pre-treatment bahan baku

Bahan baku sebelum digunakan harus terlebih dahulu di *treatment* untuk menghilangkan pengotor. Bahan baku abu vulkanik dicuci lalu didiamkan semalam dan dipisahkan dari material-material lain seperti pasir, tanah, dan batu. Abu dikeringkan dibawah sinar matahari sampai benar-benar kering. Setelah kering dan bersih abu vulkanik diayak dengan ayakan 100 mesh lalu dioven dengan suhu 110°C selama 15 menit.

Limbah seng dari bengkel bubut dicuci dengan air sabun untuk menghilangkan pengotor berupa oli,

kemudian limbah seng yang telah bersih dijemur dibawah sinar matahari sampai kering. Limbah seng yang telah bersih dan kering kemudian diayak sebesar 50 mesh.

2.3. Transformasi kalium silikat (K_2SiO_3) dari abu vulkanik

Proses selanjutnya adalah sintesis kalium silikat dimana 100 gram abu vulkanik ditimbang untuk diekstraksi kandungan silika didalamnya dengan menggunakan basa KOH 4N dengan perbandingan massa 1:1 ekstraktor dan abu vulkanik. Campuran abu vulkanik dan KOH direflux selama 5 jam kemudian didinginkan dan filtrat disaring. Filtrat yang ditampung merupakan K_2SiO_3 (bahan 2) (Kalapathy et al., 2002; Nurhidayati et al., 2021).

2.4. Transformasi limbah seng menjadi $\text{Zn}(\text{OH})_2$

Asam sulfat pekat sebanyak 20 ml ditambahkan kedalam 10 gram limbah seng sambil diaduk perlahan - lahan. Filtrat yang dihasilkan disaring kemudian direaksikan kembali dengan NaOH 6N sebanyak 100 ml tetes demi tetes dan diaduk perlahan - lahan. Campuran didiamkan selama 24 jam. Hasil dari proses pertama adalah $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (bahan 1) (Ati et al., 2017; Sunardi & Silviana, 2020).

2.4. Sintesis dan karakterisasi komposit ZnO/SiO_2

$\text{Zn}(\text{OH})_2$ sebanyak 25 ml direaksikan dengan 25 ml K_2SiO_3 serta HCl 1N sebanyak 50 ml, ketiganya ditambahkan secara bersamaan sambil dilakukan sonikasi. Hasil reaksi diatas adalah $\text{SiO}_2/\text{Zn}(\text{OH})_2$ dengan pH ± 7 lakukan pengukuran dengan pH meter. $\text{SiO}_2/\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang diperoleh didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya gel $\text{SiO}_2/\text{Zn}(\text{OH})_2$ dinetralkan dengan akuades panas, kemudian gel dikeringkan dengan diuapkan sampai kering. Proses berikutnya $\text{SiO}_2/\text{Zn}(\text{OH})_2$ dikalsinasi pada suhu 550°C dalam furnace selama 3 jam, hasil dari proses ini adalah ZnO/SiO_2 (bahan 3) (Oktaviani & Haris, 2016; Shen et al., 2020; Sunardi & Silviana, 2020). Karakterisasi hasil sintesis dilakukan uji SEM, FTIR, dan XRD.

2.5. Aplikasi Fotokatalisis pada Rhodamin B

a. Penentuan pH Optimum

Untuk menentukan pH optimum, tujuh buah gelas beaker 100 mL masing-masing diisi dengan 25 mL larutan Rhodamin B dengan konsentrasi 100 ppm, dari masing - masing larutan Rhodamin B yang ditambahkan memiliki variasi pH 1, 2, 3, 6, 8, 10, dan 12. Kedalam tujuh gelas tersebut ditambahkan 25 mg komposit ZnO/SiO_2 hasil dari proses kalsinasi. Kemudian dilakukan penyinaran pada sinar UV selama 60 menit sambil diaduk perlahan - lahan. Mengukur konsentrasi awal sebelum dilakukan treatment dan mengukur setelah diberikan perlakuan. pH optimum yang diperoleh pada percobaan pertama selanjutnya digunakan untuk

percobaan kedua yaitu adanya variasi waktu penyinaran (Shen et al., 2020).

b. Variasi Waktu Penyinaran

Mengulangi percobaan a dalam pembuatan larutan Rhodamin B 100 ppm namun pH yang digunakan adalah pH optimum yang diperoleh dari percobaan a, sedangkan variasi waktu penyinaran yaitu 10, 15, 30, 45, 60, 90, dan 120 menit. Dari percobaan b waktu penyinaran optimal, dimana data ini digunakan untuk percobaan berikutnya.

c. Variasi konsentrasi

Percobaan c yaitu membuat variasi konsentrasi larutan 10, 15, 30, 50, 75, 90, dan 100 ppm pada pH terbaik (percobaan pertama) dan waktu penyinaran yang optimal (percobaan kedua).

d. Penentuan kadar Rhodamin B menggunakan spektrofotometri UV-Vis

Rhodamin B yang telah diadsorpsi dengan komposit ZnO/SiO₂ kemudian disaring dan diukur besar penurunan kadarnya menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang maksimum 553 nm.

3. Hasil dan Pembahasan

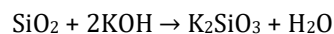
3.1. Sintesis nanokomposit ZnO/SiO₂

Sintesis Nanokomposit ZnO/SiO₂ dilakukan dengan mereaksikan K₂SiO₃ yang diperoleh dari proses ekstraksi abu vulkanik dengan ZnO yang diperoleh dari transformasi limbah seng. Hasil ekstraksi abu vulkanik diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



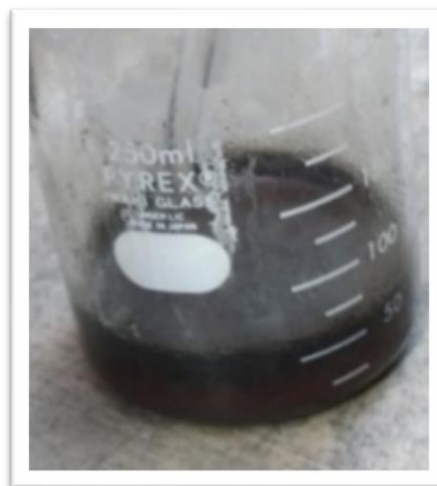
Gambar 1 K₂SiO₃ hasil ekstraksi abu vulkanik

Hasil ekstraksi abu vulkanik pada Gambar 1 menunjukkan suatu larutan yang berwarna coklat, hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian terpublikasikan (Nursiwi & Wahyuni, 2017; Purba, 2018). Reaksi yang terjadi pada ekstraksi abu vulkanik sebagai berikut:



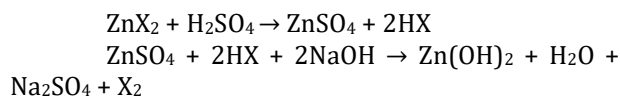
Hasil ekstraksi abu vulkanik menjadi SiO₂ sesuai dengan penelitian Kalapathy *et al.*, 2002, Rijal (2016) dan Desiriana (2016), dimana abu vulkanik jika diekstraksi dengan KOH akan diperoleh larutan K₂SiO₃ (Desiriana, 2016; Kalapathy et al., 2002; Nizar & Supardi, 2016; Rijal, 2016).

Transformasi limbah seng menjadi ZnO diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 ZnO dari hasil transformasi limbah seng

Gambar 2 menunjukkan suatu larutan yang berwarna abu-abu kehitaman dan jika didiamkan selama 24 jam akan berubah fasa dari larutan menjadi fasa gel (Agustina, 2016). Hasil transformasi limbah seng sangat jarang dilakukan disamping keberhasilannya yang kecil. Hal ini disebabkan adanya pengotor yang bercampur dalam limbah seng. Pada penelitian Colonia et al. (2013), Permata et al. (2016), dan Kasuma et al. (2017) yang menggunakan seng asetat sebagai sumber ZnO. Reaksi yang terjadi pada proses transformasi limbah seng sebagai berikut :



Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian (Ati et al., 2017). Zn(OH)₂ yang diperoleh dari transformasi limbah seng jumlahnya kecil karena seng hanya sebagai lapisan anti karat (Sunardi & Silviana, 2020). K₂SiO₃ yang dihasilkan pada proses ekstraksi direaksikan dengan Zn(OH)₂ dari transformasi limbah seng sehingga diperoleh nanokomposit ZnO/SiO₂. Campuran tersebut setelah melalui tahap sonikasi dan kalsinasi akan diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil sintesis nanokomposit ZnO/SiO₂ dari abu vulkanik dan limbah seng

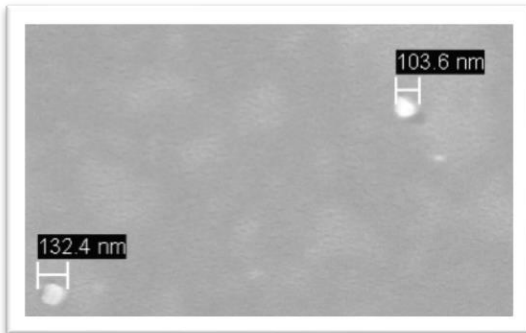
Gambar 3 menunjukkan serbuk halus dengan warna coklat. Serbuk ini merupakan nanokomposit ZnO/SiO₂. Warna nanokomposit yang dihasilkan pada penelitian ini berbeda dari hasil penelitian Oktaviani dkk., 2016 (Oktaviani & Haris, 2016) dan Kasuma dkk., 2017 yaitu berbentuk serbuk putih (Kasuma et al., 2017). Perbedaan warna pada nanokomposit yang dihasilkan disebabkan oleh pengotor yang berada dalam limbah seng. Limbah

seng yang diperoleh dari bengkel bubut mengandung pengotor berupa serbuk besi dari kegiatan pembubutan, sehingga hal ini mempengaruhi warna dari komposit yang dihasilkan.

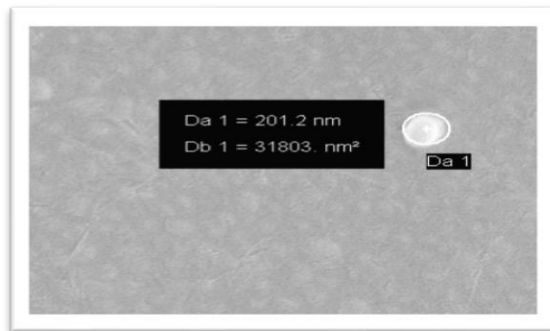
3.2. Karakterisasi

Hasil karakterisasi komposit ZnO/SiO₂ menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 4a dan 4b. Berdasarkan Gambar 4a dan 4b dapat diketahui keseragaman bentuk dari kristal yang menyusun suatu material, terlihat bahwa morfologi dari hasil sintesis memiliki keseragaman bentuk berupa lingkaran. Metode sol-gel akan memberikan sintesis memiliki keseragaman bentuk berupa lingkaran. Metode sol-gel akan memberikan keseragaman ukuran yang cukup seragam (Putri, 2017). Dalam penelitian ini komposit yang dihasilkan memiliki ukuran berkisar antara 100 – 200 nm. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Mohamed dan Aazam, (2012) yang menyatakan sintesis nanokomposit ZnO/SiO₂ memiliki range ukuran 200-800 nm (Mohamed & Aazam, 2012) dan penelitian Maula, (2015) juga menyatakan nanokomposit ZnO/SiO₂ memiliki ukuran 200 nm (Maula, 2015).

Hasil analisis FTIR nanokomposit ZnO/SiO₂ sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

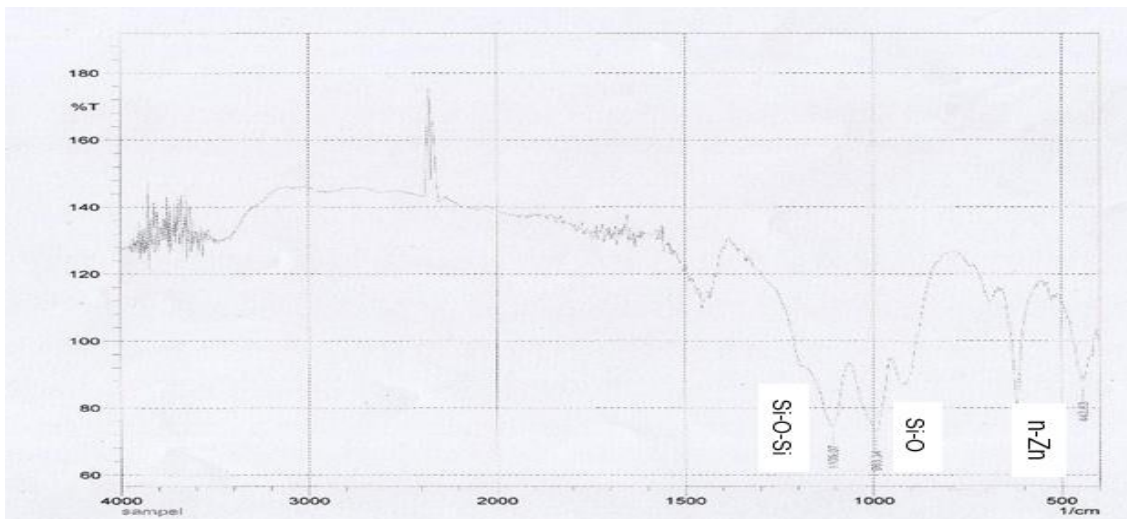


a



b

Gambar 4 Hasil Uji SEM Komposit ZnO/SiO₂; a. range ukuran 103-132 nm dan b. range ukuran 201,2 nm

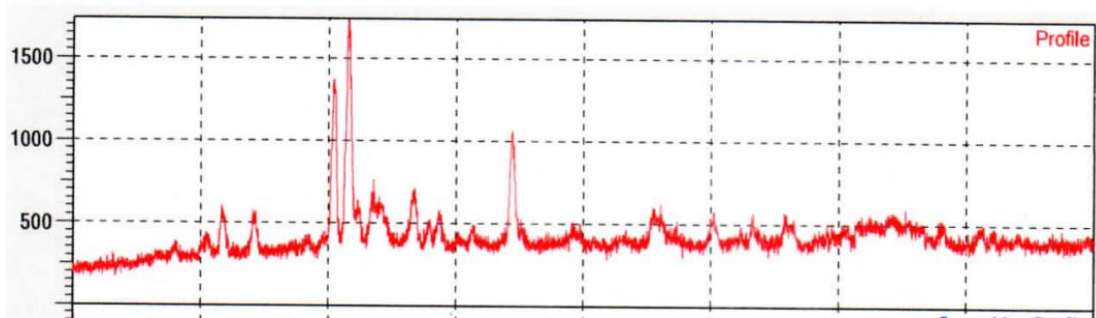


Gambar 5 Hasil Uji FTIR Komposit ZnO/SiO₂

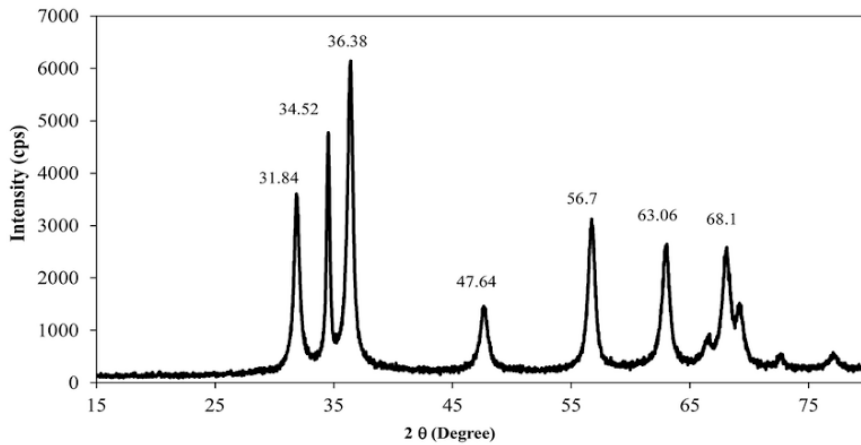
Komposit ZnO/SiO₂ memiliki gugus fungsi berupa Zn-O dan Si-O. Hasil uji FTIR nanokomposit ZnO/SiO₂ menunjukkan SiO₂ terdapat pada panjang gelombang 993,34 dan 1109,07 cm⁻¹ sedangkan ZnO terdapat pada panjang gelombang 443,63 cm⁻¹. Hasil penelitian Setiyani dkk., (2015) gugus Si-O-Si berada pada bilangan gelombang 1087,85 cm⁻¹, serapan vibrasi gugus ZnO stretching dan serapan vibrasi gugus N-Zn berada pada bilangan gelombang 462,92

cm⁻¹, 570,93 cm⁻¹; 617,22 cm⁻¹ dan 671,23 cm⁻¹(Setiyani et al., 2015). Ardana, 2013 juga menyatakan adanya gugus hidroksi dan silanol (Si - OH) pada 3425,58 cm⁻¹, pita serapan kuat dan tajam pada 1087,85 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur asimetris dari gugus Si - O dari gugus siloksan (Si - O - Si)(Ardana, 2013).

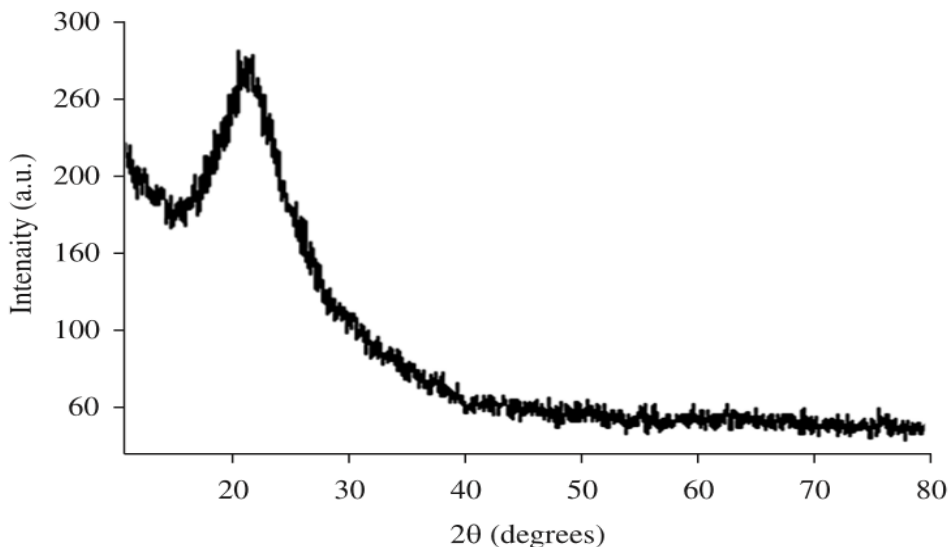
Hasil XRD dari nanokomposit ZnO/SiO₂ ditunjukkan pada Gambar 6, 7, dan 8.



Gambar 6 Uji XRD Nanokomposit ZnO/SiO₂ dari abu vulkanik dan limbah seng



Gambar 7 Hasil XRD Material ZnO Murni



Gambar 8 Hasil XRD Material Silika Murni

Berdasarkan dari Gambar 6, 7, dan 8 diatas jika dibandingkan dengan ZnO ataupun Silika murni, nanokomposit ZnO/SiO₂ memiliki peak yang berbeda dari bahan penyusunnya. Hasil karakterisasi dengan XRD diperoleh peak pada 2θ dengan kisi kristal 100, 002, dan 101 menunjukkan bahwa nanokomposit yang dibuat tersusun dari ZnO/SiO₂. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari Gambar 6 dapat diketahui peak 2θ pada nanokomposit ZnO/SiO₂ yaitu 30,42^o, 31,56^o, dan 44,40^o. Hasil karaterisasi dengan XRD memiliki kemiripan dengan penelitian Oktaviani

dkk., (2016) diperoleh peak pada 2θ untuk ZnO yaitu pada 31,97^o; 34,63^o; 36,46^o; 47,77^o; 56,80^o; 63,06^o; 68,12^o dan 69,26^o (Oktaviani & Haris, 2016). Untuk peak SiO₂ yaitu pada 28, 82^o; 32, 84^o dan 42,89^o. Widi dkk (2018) menyatakan peak 2θ pada komposit ZnO/SiO₂ yaitu 32,0^o; 34,6^o; 36,4^o; 47,7^o; 56,8^o dan 63,0^o (Widi et al., 2018).

Ringkasan penelitian sintesis nanokomposit ZnO/SiO₂ sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Penelitian Sintesis Nanokomposit ZnO/SiO₂

Metode	Ringkasan	Aplikasi	Referensi
Presipitasi	Sintesis nanokomposit ZnO/SiO ₂ menggunakan abu vulkanik dengan seng asetat. Hasil analisis dengan SEM diperoleh nanokomposit dengan ukuran 20 nm.	Degradasi metilen biru sebesar 95,82%.	(Saputro, 2017)
	Sintesis komposit ZnO-SiO ₂ menggunakan [Zn(NO ₃) ₂ ·9H ₂ O] dengan TEOS,Si(OC ₂ H ₅) ₄ . Hasil analisis FTIR diperoleh spektrum serapan ZnO, puncak pada sekitar 457 cm ⁻¹ ditetapkan ke mode peregangan Zn-O dan puncak pada sekitar 501 cm ⁻¹ berkorelasi dengan kekosongan oksigen di ZnO.	Degradasi fenol sebesar 96%	(Galedari et al., 2017)
Pelapisan	Sintesis kitosan ZnO/SiO ₂ dengan melapiskan kitosan pada ZnO/SiO ₂ . Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa telah terjadi interaksi antara kitosan dengan sol ZnO-SiO ₂ pada pita serapan 3433 cm ⁻¹ sampai 3448,72 cm ⁻¹ , dan terjadi pergeseran bilangan gelombang kitosan dengan sol ZnO-SiO ₂ pada pita serapan 1635,64 cm ⁻¹ sampai 1566,20 cm ⁻¹ .	Sebagai antibakteri pada kain katun yang memiliki aktivitas sebesar yaitu sebesar 89,042 %	(Setiyani et al., 2015)
Sol-Gel	Sintesis nanokomposit ZnO-SiO ₂ teknik sol-gel dari Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O dan tetraetil ortosilikat (TEOS). Nanokomposit yang dihasilkan dimodifikasi oleh Pt berukuran nano dari larutan H ₂ PtCl ₆ melalui jalur photoassisted deposition (PAD) dan impregnasi.	Fotodegradasi fenol sampai 100%	(Mohamed et al., 2013)
	Sintesis nanokomposit ZnO-SiO ₂ teknik sol-gel dari Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O dan tetraetil ortosilikat (TEOS). Nanokomposit yang dihasilkan dimodifikasi oleh Ag berukuran nano dari larutan perak nitrat melalui jalur photoassisted deposition (PAD) dan impregnasi.	Fotokatalitik sebesar 100%	Hg(II) (Mohamed & Aazam, 2012)
	Sintesis nanokomposit ZnO/SiO ₂ menggunakan abu vulkanik dan limbah seng. Hasil analisis dengan SEM diperoleh nanokomposit ZnO/SiO ₂ berbentuk bulat dengan ukuran 100=200 nm	Fotodegradasi rhodamin sebesar 95,8690 %	

Tabel 1 menunjukkan bahwa sintesis nanokomposit ZnO/SiO₂ menggunakan abu vulkanik dan limbah seng mempunyai ukuran partikel yang lebih besar, 100-200 nm dibandingkan dengan penelitian lain yang menghasilkan ukuran partikel di bawah 100 nm. Tetapi nanokomposit ini mampu mendegradasi rhodamin sebesar 95,8690%. Hasil ini dapat menjadi alternatif sintesis nanokomposit yang menguntungkan yaitu berbahan baku murah (abu vulkanik dan limbah seng) untuk mengurangi pencemaran limbah.

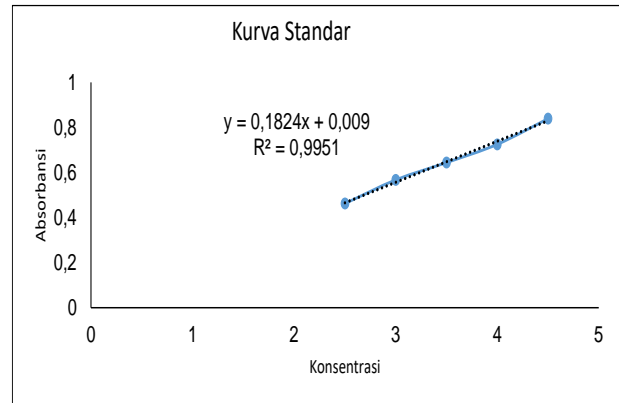
3.3. Kinetika Adsorpsi

a. Pembuatan Kurva Standar Rhodamin B

Pembuatan kurva standar dengan konsentrasi 2 ppm, 2,5 ppm, 3 ppm, 3,5 ppm, 4 ppm dan 4,5 ppm dengan pengenceran larutan induk 100 ppm. Larutan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 553 nm (Safni et al., 2014; Nur Hasanah et al., 2012). Hasil pembuatan kurva standar Rhodamin B diperoleh grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan persamaan regresi Rhodamin B yaitu $Y = 0,1824x + 0,009$ dan koefisien relasi (R^2) sebesar 0,9951. Koefisien relasi ini menunjukkan linearitas kurva. Dengan menggunakan persamaan regresi dari kurva standar Rhodamin B, dapat dihitung konsentrasi Rhodamin B

sisia dalam larutan sampel dengan cara memasukkan nilai absorbansi sampel pada fungsi y dari persamaan regresi tersebut.



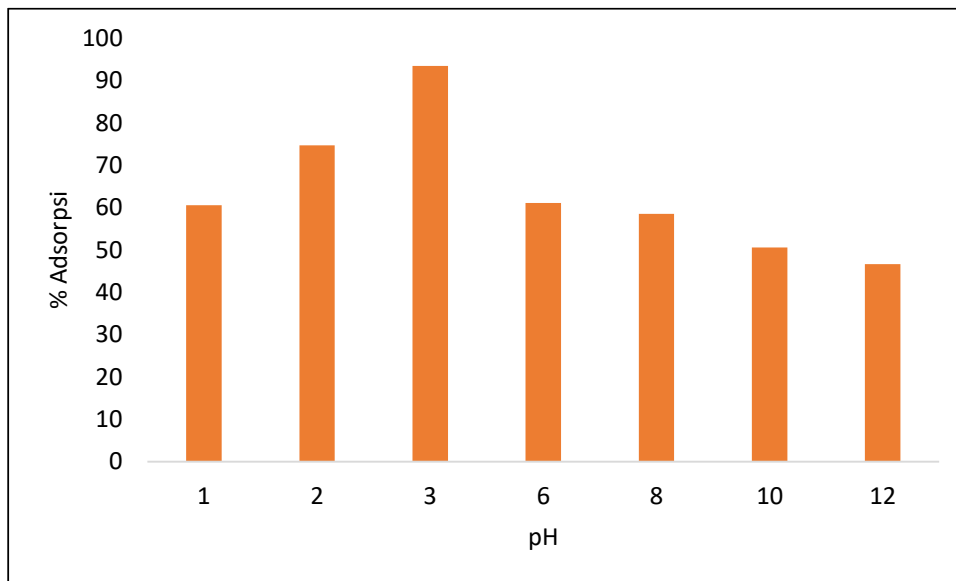
Gambar 9 Kurva Standar Rhodamin B

b. Pengaruh pH

Hasil Degradasi Rhodamin B menggunakan adsorben nanokomposit ZnO/SiO₂ dengan variasi pH diperoleh hasil sebagaimana dinyatakan dalam Tabel 2. Dari tabel 2 dapat dibuat grafik penurunan konsentrasi pewarna Rhodamin B dengan adsorben nanokomposit ZnO/SiO₂ pada variasi pH., sebagaimana ditunjukkan pada gambar 10.

Tabel 2 Efisiensi Penurunan Konsentrasi Rhodamin B Terhadap Variasi pH

Variasi pH	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	% Degradasi
1	50,11519473	19,7367	60,6173
2	49,23752057	12,44103	74,7326
3	50,66374109	3,295667	93,4950
6	50,9928689	20,39495	60,0043
8	51,87054306	21,49205	58,5660
10	48,0307186	23,74109	50,5710
12	49,34722984	26,31925	46,6652



Gambar 10 Grafik Penurunan Konsentrasi Rhodamin B

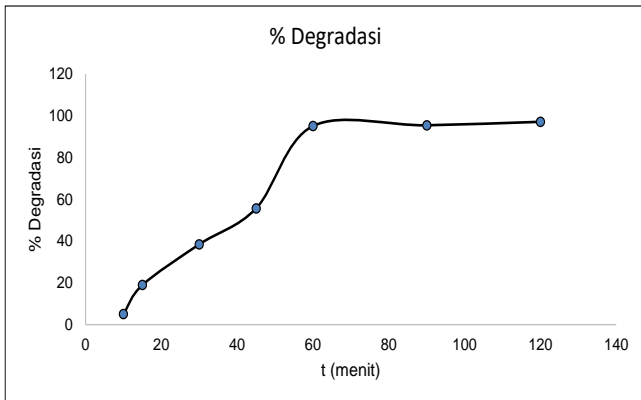
Berdasarkan grafik pada Gambar 10, dapat dilihat bahwa jumlah Rhodamin B yang terdegradasi oleh nanokomposit ZnO/SiO₂ sangat dipengaruhi oleh pH. Degradasi Rhodamin B oleh nanokomposit ZnO/SiO₂ terbesar terjadi pada pH 3 dengan nilai sebesar 93,495 %. Pada pH 3 terdapat kandungan H⁺ dalam larutan pewarna yang mengakibatkan H⁺ terikat pada adsorbat. Akibat dari peristiwa itu muatan adsorbat lebih bersifat elektropositif. Jika adsorben bersifat negatif, maka akan mudah Rhodamin B untuk diadsorpsi oleh adsorben.

c. Pengaruh Waktu

Hasil degradasi Rhodamin B menggunakan adsorben nanokomposit ZnO/SiO₂ dengan variasi waktu diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 11.

Tabel 3 Hasil Adsorpsi dengan Variasi Waktu

Waktu (Menit)	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	% Degradasi
10	50	47,47757848	5,04484304
15	50	40,52690583	18,9461883
30	50	30,7735426	38,4529148
45	50	22,16928251	55,661435
60	50	2,45235426	95,0952915
90	50	2,272982063	95,4540359
120	50	1,437780269	97,1244395



Gambar 11 Hubungan antara % Degradasi Vs Waktu kontak

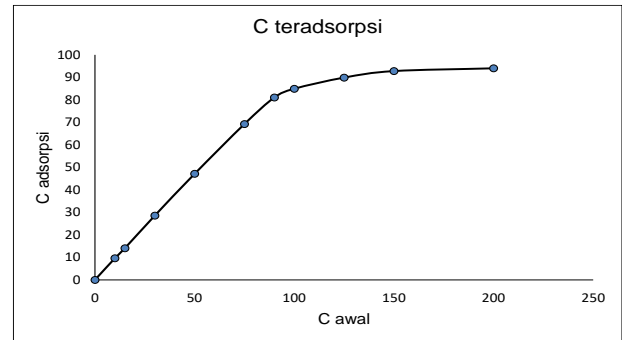
Waktu interaksi yang cukup, diperlukan nanokomposit ZnO/SiO₂ agar dapat mendegradasi Rhodamin B secara optimal. Gambar 15 menunjukkan semakin lama waktu interaksi, maka semakin banyak Rhodamin B yang terdegradasi karena semakin banyak kesempatan partikel nanokomposit ZnO/SiO₂ untuk bersinggungan dengan Rhodamin B. Hal ini menyebabkan semakin banyak Rhodamin B yang terikat didalam pori – pori nanokomposit ZnO/SiO₂. Menit ke- 60 merupakan waktu optimum dari ZnO/SiO₂ untuk mengadsorpsi Rhodamin B, pada menit berikutnya hanya terjadi sedikit kenaikan persentase degradasi. Peristiwa ini disebabkan nanokomposit ZnO/SiO₂ sudah jenuh sehingga waktu interaksi tidak lagi berpengaruh.

d. Pengaruh konsentrasi

Perlakuan variasi konsentrasi bertujuan untuk mendapatkan informasi berapa konsentrasi yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum pada Rhodamin B oleh nanokomposit ZnO/SiO₂. Hasil degradasi Rhodamin B dengan variasi konsentrasi ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 12.

Tabel 4 Hasil Degradasi dengan Variasi Konsentrasi

Konsentrasi (mg/L)	C*(mg/L)	% Degradasi
10	0,4131	95,8690
15	0,9539	93,6406
30	1,4810	95,0633
50	2,8970	94,2060
75	5,7713	92,3049
90	8,9871	90,0143
100	15,0895	84,9105
125	35,1279	71,8977
150	57,2267	61,8488
200	105,9985	47,0006



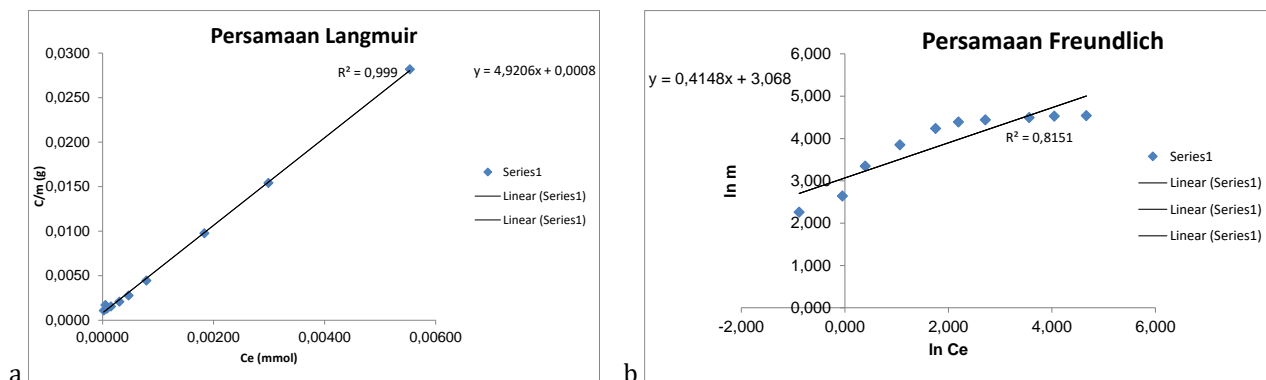
Gambar 12 Konsentrasi Rhodamin B yang Teradsorpsi

Tabel 4 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa degradasi Rhodamin B oleh nanokomposit ZnO/SiO₂ terbesar terjadi pada konsentrasi 10 mg/L dengan presentase degradasi 95,8690%.

e. Penentuan Isoterm dan Kapasitas Adsorpsi

Adsorpsi fase padat cair biasanya menganut tipe isoterm Freundlich dan Langmuir (Atkins, 1999). Berdasarkan Tabel 4 data adsorpsi dibuat grafik hubungan C/m vs C_e sehingga diperoleh persamaan langmuir, sedangkan untuk mengitung persamaan freundlich dibuat grafik hubungan ln m vs ln C_e. Persamaan Langmuir dan Freundlich ditunjukkan pada Gambar 13a dan b.

Secara umum pola isoterm adsorpsi menunjukkan terjadi kenaikan jumlah ion yang teradsorp per gram adsorben seiring dengan naiknya konsentrasi ion logam yang diinteraksikan (Nuryanti et al., 2021). Hasil data yang diperoleh dari Gambar 13a dan 13b menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi yang diperoleh pada isoterm adsorpsi Langmuir lebih besar yaitu 0,999 dibandingkan dengan nilai koefisien regresi yang diperoleh pada isoterm adsorpsi Freundlich hanya sebesar 0,8151.



Gambar 13 a. Grafik persamaan Langmuir dan b. grafik persamaan Freundlich

Tabel 1. Hasil Perhitungan Data Adsorpsi

Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Langmuir	Freundlich
0	0		
10	0,4131		
15	0,9539		
30	1,4810		
50	2,8970	$b = 97,3458521 \text{ mg/g}$	$K_f = 21,498$
75	5,7713	$K = 6150,75$	$n = 2,4108$
90	8,9871	$E = 21,7602222 \text{ kJ/mol}$	
100	15,0895		
125	35,1279		
150	57,2267		
200	105,9985		

Persamaan Langmuir yang diperoleh, digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi, konstanta kesetimbangan dan energi adsorpsi Rhodamin B. Hasil perhitungan parameter adsorpsi Langmuir disajikan pada Tabel 5.

Hasil dari perhitungan dan berdasarkan grafik, maka adsorpsi ini mengikuti persamaan dari Langmuir, hal ini sangat realistis karena pendekatan pada persamaan Langmuir adalah adsorpsi larutan sedangkan pada persamaan Freundlich adalah adsorpsi gas. Nilai R^2 pada persamaan Langmuir yaitu sebesar 0,999 dimana nilai ini cukup besar, selain itu dilihat dari ikatan kimia yang membentuk nanokomposit ZnO/SiO₂ diketahui komposit ZnO/SiO₂ terbentuk tidak melalui reaksi kimia melainkan melalui proses penggabungan sehingga molekul terpecah dan tidak stabil. Akibat dari pembentukan nanokomposit ZnO/SiO₂ tanpa melalui reaksi kimia yaitu tidak terjadi pertukaran ion. Sehingga reaksi yang terjadi adalah adsorpsi secara kimia. Selain ditinjau dari jenis ikatan dan nilai R^2 , adsorpsi yang terjadi juga dapat dilihat dari besarnya energi adsorpsi pada Rhodamin B. Menurut Castellan (1982), adsorpsi fisika menghasilkan energi yang kurang dari 20,92 kJ/mol. Sedangkan pada penelitian ini diperoleh energi lebih dari 20,92 kJ/mol yaitu sebesar 21,7602222 kJ/mol sehingga dapat disimpulkan adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi secara kimia. Persamaan yang diperoleh dari grafik adalah $C/m = 4,9206 Ce + 0,0008$.

Kapasitas adsorpsi dihitung berdasarkan kondisi pH, waktu dan konsentrasi terbaik melalui

persamaan Langmuir dan Freundlich. Pada pengolahan data persamaan garis lurus Langmuir $y = 4,9206x + 0,0008$ diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 97,3458521 mg/g, Konstanta kesetimbangan sebesar 6150,75 dan energi yang dibutuhkan sebanyak 21,7602222 kJ/mol. Sedangkan pada pengolahan data persamaan Freundlich diperoleh harga K_f sebesar 21,498 dan nilai n sebesar 2,4108. Berdasarkan harga R^2 , maka proses adsorpsi antara nanokomposit ZnO/SiO₂ dengan Rhodamin B berlangsung secara *monolayer*, dengan pola adsorpsi mengikuti adsorpsi isoterm Langmuir yang mempunyai asumsi bahwa adsorpsi maksimum terjadi saat semua situs aktif adsorben diisi oleh adsorbat membentuk *monolayer* (Handayani et al., 2012).

Ditinjau dari aspek lingkungan sintesis nano komposit ZnO/SiO₂ menggunakan abu vulkanik dan limbah seng adalah penggunaan bahan-bahan sisa yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan sebagai bahan dasar. Limbah seng merupakan serpihan-serpihan kecil seng yang berasal dari bengkel bubut (Suharno dkk., 2012). Selama ini limbah seng yang berukuran kecil dibuang begitu saja di lingkungan. Pembuangan limbah seng ke lingkungan bisa menyebabkan pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran air (Rahayu dkk., 2017; Purwoto & Nugroho, 2013). Pemanfaatan limbah seng sebagai prekursor sintesis nanokomposit ZnO/SiO₂ (Shaolin Li et al., 2017; Taha & Ibrahim, 2014) dapat mencegah pencemaran air yang disebabkan oleh limbah seng.

Berdasarkan uraian di atas, penggunaan abu vulkanik dan limbah seng sesuai dengan prinsip *Green chemistry*/ramah lingkungan yaitu;

- a) minimalisasi limbah,
- b) mengurangi penggunaan bahan kimia toksik,
- c) menambah upaya pemakaian pelarut dan bahan kimia lain yang non toksik.

(Sunardi dkk., 2022)

Nanokomposit ZnO/SiO₂ telah menjadi pilihan yang semakin banyak digunakan untuk penanganan limbah berbahaya dan beracun, dan untuk remediasi situs yang tercemar (Shu *et al.*, 2010; El-Temseh *et al.*, 2013; Tosco *et al.*, 2014; Bruton *et al.*, 2015; Lacina *et al.*, 2015; El-Temseh *et al.*, 2016). Penelitian-penelitian lain juga menunjukkan bahwa nanopartikel yang dibuat dari tanaman (biosintesis) aman bagi lingkungan dan manusia (Saif *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Bhuvaneshwari *et al.*, 2017).

Pemanfaatan limbah seng dan abu vulkanik menjadi nanokomposit ZnO/SiO₂ memenuhi asas lingkungan yang ketiga karena materi energi nanokomposit yang disintesis dengan cara mereaksikan K₂SiO₃ yang berasal dari abu vulkanik dan ZnO dari limbah seng mempunyai ruang dan waktu dimanfaatkan dan merupakan sumber daya alam.

Materi, energi, ruang, waktu dan keanekaragaman, semuanya termasuk kategori sumber daya alam. Asas ini mempunyai implikasi penting bagi masa depan kesejahteraan hidup manusia. Misalnya hubungan manusia dengan energi. Pada awal sejarah kelahirannya dimuka bumi, secara langsung atau tidak langsung manusia bergantung kepada matahari sebagai sumber energi. Kemudian manusia mengalihkan kebergantungannya kepada minyak dan gas bumi sebagai sumber energi. Akan segera menurun dengan sangat tragis, apabila minyak dan gas bumi habis persediaannya di dalam tanah. Saat ini waktu adalah sumber daya alam yang sangat berharga bagi manusia sehubungan dengan pencarian ganti sumber energi minyak dan gas bumi.

4. Kesimpulan

Dari Penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa: 1) Nanokomposit ZnO/SiO₂ yang disintesis dari abu vulkanik dan limbah seng mempunyai bentuk yang seragam yaitu lingkaran dengan range ukuran berkisar 100 – 200 nm. Hasil uji FTIR diketahui SiO berada pada panjang gelombang 993,34 dan 1109,07 cm⁻¹, sedangkan ZnO berada pada panjang gelombang 443,63 cm⁻¹. Uji XRD nanokomposit ZnO/SiO₂ diketahui peak 2θ yaitu 30,42°, 31,56°, dan 44,40°; 2) Kondisi yang memberikan hasil maksimal untuk penurunan konsentrasi Rhodamin B dengan menggunakan adsorben nanokomposit ZnO/SiO₂ adalah pada kondisi pH 3 dengan waktu 60 menit dan konsentrasi 10 ppm dengan besar penurunan 95,8690 %; 3) Kapasitas adsorpsi Rhodamin B yang diadsorpsi dengan ZnO/SiO₂ disintesis dari abu vulkanik dan limbah seng sebesar 97,3458521%.

866

DAFTAR PUSTAKA

- Agusriyanti, S., & Artsanti, P. (2015). Pemanfaatan Zeolit Alam Ciamis sebagai Pengemban Fotokatalis TiO₂ untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamine B. *J.Sains Dasar*, 4(1), 92–99.
- Agustina, S. (2016). Proses Ekstraksi Seng Oksida dari Seng Dross menggunakan Metode Hidrometalurgi Sistem Terbuka. *J Kimia Dan Kemasan*, 103–108.
- Al-Buriah, A. K., Al-Gheethi, A. A., Senthil Kumar, P., Radin Mohamed, R. M. S., Yusof, H., Alsharif, A. F., & Khalifa, N. A. (2022). Elimination of rhodamine B from textile wastewater using nanoparticle photocatalysts: A review for sustainable approaches. *Chemosphere*, 287, 132162. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132162>
- Alle, M., Lee, S. H., & Kim, J. C. (2020). Ultrafast synthesis of gold nanoparticles on cellulose nanocrystals via microwave irradiation and their dyes-degradation catalytic activity. *Journal of Materials Science & Technology*, 41, 168–177. <https://doi.org/10.1016/J.JMST.2019.11.003>
- Arabi, M., Ostovan, A., Bagheri, A. R., Guo, X., Li, J., Ma, J., & Chen, L. (2020). Hydrophilic molecularly imprinted nanospheres for the extraction of rhodamine B followed by HPLC analysis: A green approach and hazardous waste elimination. *Talanta*, 215, 120933. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120933>
- Ardana, S. K. (2013). *Sintesis Silika-Kitosan Bead untuk Menurunkan Kadar Ion Cd(II) dan Ni(II) dalam Larutan*.
- Ati, L., D.R, P., Yulianto, A., & Aji, M. P. (2017). Uji Efektivitas Ekstraksi Limbah Seng menjadi Seng Oksida(ZnO) dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Fisika*, 7(2). <https://doi.org/10.15294/JF.V7I2.13372>
- Balasurya, S., Okla, M. K., Mohebalidin, A., AL-ghamdi, A. A., Abdel-Maksoud, M. A., Almunqedhi, B., Abdelgawad, H., Thomas, A. M., Raju, L. L., & Khan, S. S. (2022). Self-assembling of 3D layered flower architecture of BiOI modified MgCr₂O₄ nanosphere for wider spectrum visible-light photocatalytic degradation of rhodamine B and malachite green: Mechanism, pathway, reactive sites and toxicity prediction. *Journal of Environmental Management*, 308, 114614. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.114614>
- Bhuvaneshwari, M., Kumar, D., Roy, R., Chakraborty, S., Parashar, A., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2017). Toxicity,

- Sunardi & Silviana. (2022). Transformasi Abu Vulkanik dan Limbah Seng menjadi Nanokomposit ZnO-SiO₂ dan Aplikasinya untuk Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 856-871. doi:10.14710/jil.20.4.856-871
- accumulation, and trophic transfer of chemically and biologically synthesized nano zero valent iron in a two species freshwater food chain. *Aquatic Toxicology*, 183, 63-75.
- Bruton, T. A., Pycke, B. F. G., & Halden, R. U. (2015). Effect of Nanoscale Zero-Valent Iron Treatment on Biological Reductive Dechlorination: A Review of Current Understanding and Research Needs. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(11), 1148-1175.
- Catauro, M., Papale, F., Roviello, G., Ferone, C., Bollino, F., Trifuoggi, M., & Aurilio, C. (2014). Synthesis of SiO₂ and CaO rich calcium silicate systems via sol-gel process: Bioactivity, biocompatibility, and drug delivery tests. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 102(9), 3087-3092. <https://doi.org/10.1002/JBM.A.34978>
- Chao, Y., Pang, J., Bai, Y., Wu, P., Luo, J., He, J., Jin, Y., Li, X., Xiong, J., Li, H., & Zhu, W. (2020). Graphene-like BN@SiO₂ nanocomposites as efficient sorbents for solid-phase extraction of Rhodamine B and Rhodamine 6G from food samples. *Food Chemistry*, 320, 126666. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126666>
- Colonia, R., Martínez, V. C., Solís, J. L., & Gómez, M. M. (2013). Síntesis de nanopartículas de ZnO₂ empleando ultrasonido: caracterización estructural y morfológica para aplicaciones bactericidas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(2), 126-135. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000200005
- Desiriana, R. (2016). Modifikasi Abu Kelud 2014 sebagai Bahan Adsorben Ion Logam Tembaga(II) dan Nikel(II) dengan Asam Sulfat. In *Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Agusriyanti, S., & Artsanti, P. (2015). Pemanfaatan Zeolit Alam Ciamis sebagai Pengembangan Fotokatalis TiO₂ untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamine B. *J.Sains Dasar*, 4(1), 92-99.
- Agustina, S. (2016). Proses Ekstraksi Seng Oksida dari Seng Dross menggunakan Metode Hidrometalurgi Sistem Terbuka. *J Kimia Dan Kemasam*, 103-108.
- Al-Buriah, A. K., Al-Gheethi, A. A., Senthil Kumar, P., Radin Mohamed, R. M. S., Yusof, H., Alshalif, A. F., & Khalifa, N. A. (2022). Elimination of rhodamine B from textile wastewater using nanoparticle photocatalysts: A review for sustainable approaches. *Chemosphere*, 287, 132162. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132162>
- Alle, M., Lee, S. H., & Kim, J. C. (2020). Ultrafast synthesis of gold nanoparticles on cellulose nanocrystals via microwave irradiation and their dyes-degradation catalytic activity. *Journal of Materials Science & Technology*, 41, 168-177. <https://doi.org/10.1016/J.JMST.2019.11.003>
- Arabi, M., Ostovan, A., Bagheri, A. R., Guo, X., Li, J., Ma, J., & Chen, L. (2020). Hydrophilic molecularly imprinted nanospheres for the extraction of rhodamine B followed by HPLC analysis: A green approach and hazardous waste elimination. *Talanta*, 215, 120933. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120933>
- Ardana, S. K. (2013). *Sintesis Silika-Kitosan Bead untuk Menurunkan Kadar Ion Cd(II) dan Ni(II) dalam Larutan*.
- Ati, L., D.R, P., Yulianto, A., & Aji, M. P. (2017). Uji Efektivitas Ekstraksi Limbah Seng menjadi Seng Oksida(ZnO) dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Fisika*, 7(2). <https://doi.org/10.15294/JF.V7I2.13372>
- Balasurya, S., Okla, M. K., Mohebaldin, A., AL-ghamdi, A. A., Abdel-Maksoud, M. A., Almunqedhi, B., AbdElgawad, H., Thomas, A. M., Raju, L. L., & Khan, S. S. (2022). Self-assembling of 3D layered flower architecture of BiOI modified MgCr₂O₄ nanosphere for wider spectrum visible-light photocatalytic degradation of rhodamine B and malachite green: Mechanism, pathway, reactive sites and toxicity prediction. *Journal of Environmental Management*, 308, 114614. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.114614>
- Bhuvaneshwari, M., Kumar, D., Roy, R., Chakraborty, S., Parashar, A., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2017). Toxicity, accumulation, and trophic transfer of chemically and biologically synthesized nano zero valent iron in a two species freshwater food chain. *Aquatic Toxicology*, 183, 63-75.
- Bruton, T. A., Pycke, B. F. G., & Halden, R. U. (2015). Effect of Nanoscale Zero-Valent Iron Treatment on Biological Reductive Dechlorination: A Review of Current Understanding and Research Needs. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(11), 1148-1175.
- Catauro, M., Papale, F., Roviello, G., Ferone, C., Bollino, F., Trifuoggi, M., & Aurilio, C. (2014). Synthesis of SiO₂ and CaO rich calcium silicate systems via sol-gel process: Bioactivity, biocompatibility, and drug delivery tests. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 102(9), 3087-3092. <https://doi.org/10.1002/JBM.A.34978>
- Chao, Y., Pang, J., Bai, Y., Wu, P., Luo, J., He, J., Jin, Y., Li, X., Xiong, J., Li, H., & Zhu, W. (2020). Graphene-like BN@SiO₂ nanocomposites as efficient sorbents for solid-phase extraction of Rhodamine B and Rhodamine 6G from food samples. *Food Chemistry*, 320, 126666. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126666>
- Colonia, R., Martínez, V. C., Solís, J. L., & Gómez, M. M.

- (2013). Síntesis de nanopartículas de ZnO₂ empleando ultrasonido: caracterización estructural y morfológica para aplicaciones bactericidas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(2), 126–135. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000200005
- Desiriana, R. (2016). Modifikasi Abu Kelud 2014 sebagai Bahan Adsorben Ion Logam Tembaga(II) dan Nikel(II) dengan Asam Sulfat. In *Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Dewi, N. P. W. T., Simpen, I. N., & Suarsa, I. W. (2017). Modifikasi Lempung Bentonit Teraktivasi Asam Dengan Benzalkonium Klorida Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamine B. *Jurnal Kimia*, 75–81. <https://doi.org/10.24843/jchem.2017.v11.i01.p12>
- Djalil, A. D., Wijaksono, B. B., & Utami, P. I. (2019). Spectrofluorimetric method for the determination of rhodamine b in syrup. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 10(9), 1856–1860. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.02725.6>
- El-Temsah, Y. S., Oughton, D. H., & Joner, E. J. (2013). Effects of nano-sized zero-valent iron on DDT degradation and residual toxicity in soil: A column experiment. *Plant and Soil*, 368(1–2), 189–200.
- El-Temsah, Y. S., Sevcu, A., Bobcikova, K., Cernik, M., & Joner, E. J. (2016). DDT degradation efficiency and ecotoxicological effects of two types of nano-sized zero-valent iron (nZVI) in water and soil. *Chemosphere*, 144, 2221–2228.
- Fan, H., Ren, Q., Yu, M., Wang, S., Cao, J., Jin, Z., & Ding, Y. (2019). Preparation and Visible-light Photocatalytic Properties of Silver Orthophosphate/Graphite Carbon Nitride-Diatomite Composites. *Cailiao Daobao/Materials Reports*, 33(10), 3383–3389. <https://doi.org/10.11896/cldb.18090125>
- Fatimah, I., Fadillah, G., Sahroni, I., Kamari, A., Sagadevan, S., & Doong, R. A. (2021). Nanoflower-like composites of ZnO/SiO₂ synthesized using bamboo leaves ash as reusable photocatalyst. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(3), 102973. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2020.102973>
- Firmansyah, F., Mirzan, M., & Prismawiryanti, P. (2015). Aplikasi Fotokatalis TiO₂-Zeolit Untuk Menurunkan Intensitas Zat Warna Tartrazin Secara Fotokatalitik. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 4(1), 10–16. <https://doi.org/10.22487/25411969.2015.V4.I1.3996>
- Galedari, N. A., Rahmani, M., & Tasbihi, M. (2017). Preparation, characterization, and application of ZnO@SiO₂ core-shell structured catalyst for photocatalytic degradation of phenol. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12655–12663. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7888-2>
- Gopinath, K. P., Madhav, N. V., Krishnan, A., Malolan, R., & Rangarajan, G. (2020). Present applications of titanium dioxide for the photocatalytic removal of pollutants from water: A review. *Journal of Environmental Management*, 270, 110906. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110906>
- Govindhan, P., & Pragathiswaran, C. (2019). Silver Nanoparticle Decorated on ZnO@SiO₂ Nanocomposite and Application for Photocatalytic Dye Degradation of Methylene Blue. *National Academy Science Letters 2019* 42:4, 42(4), 323–326. <https://doi.org/10.1007/S40009-018-0746-7>
- Handayani, D. S., Jumina, J., Siswanta, D., & Mustofa, M. (2012). Adsorpsi Ion Logam Pb(II) dan Cr(III) oleh Poli 5-allil-kaliks[4]Arena Tetraester. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 19(3), 218–225. <https://doi.org/10.22146/JML.18459>
- Huang, S., Dakhchoune, M., Luo, W., Oveisi, E., He, G., Rezaei, M., Zhao, J., Alexander, D. T. L., Züttel, A., Strano, M. S., & Agrawal, K. V. (2018). Single-layer graphene membranes by crack-free transfer for gas mixture separation. *Nature Communications 2018* 9:1, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04904-3>
- Huang, Y., Wang, D., Liu, W., Zheng, L., Wang, Y., Liu, X., Fan, M., & Gong, Z. (2020). Rapid screening of rhodamine B in food by hydrogel solid-phase extraction coupled with direct fluorescence detection. *Food Chemistry*, 316, 126378. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126378>
- Jabeen, S., Khan, M. S., Khattak, R., Zekker, I., Burlakovs, J., Dc Rubin, S. S., Ghangrekar, M. M., Kallistova, A., Pimenov, N., Zahoor, M., & Khan, G. S. (2021). Palladium-Supported Zirconia-Based Catalytic Degradation of Rhodamine-B Dye from Wastewater. *Water 2021, Vol. 13, Page 1522*, 13(11), 1522. <https://doi.org/10.3390/W13111522>
- Jovanov, V., Zečević, V., Vulić, T., Ranogajec, J., & Fidanchevska, E. (2018). Preparation and characterization of protective self-cleaning TiO₂/kaolin composite coating. *Materiales de Construcción*, 68(331), e163–e163. <https://doi.org/10.3989/MC.2018.08517>
- Kalpathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. (2002). An improved method for production of silica from rice hull ash. *Bioresource Technology*, 85(3), 285–289. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00116-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00116-5)
- Kasuma, S., Ningsih, W., Kalmar Nizar, U., Novitria, U., Kimia, J., Matematika, F., Ilmu, D., Alam, P., Negeri, U., Jln, P., Air, H., & Padang, T. (2017).

- Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Doped Cu²⁺ melalui Metoda Sol-Gel. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA (E-ISSN: 2549-7464)*, 18(02), 39-51. <https://doi.org/10.24036/EKSAKTA/VOL18-ISS02/51>
- Kumar, D., Roy, R., Parashar, A., Raichur, A. M., Chandrasekaran, N., Mukherjee, A., & Mukherjee, A. (2017). Toxicity assessment of zero valent iron nanoparticles on *Artemia salina*. *Environmental Toxicology*, 32(5), 1617-1627.
- Lacina, P., Dvorak, V., Vodickova, E., Barson, P., Kalivoda, J., & Goold, S. (2015). The Application of Nano-Sized Zero-Valent Iron for In Situ Remediation of Chlorinated Ethylenes in Groundwater: A Field Case Study. *Water Environment Research*, 87(4), 326-333.
- Li, S., Wang, W., Liang, F., & Zhang, W. (2017). Heavy metal removal using nanoscale zero-valent iron (nZVI): Theory and application. *Journal of Hazardous Materials*, 322, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.032>
- Lora, L. C. (2014). *Kombinasi Adsorben Alofan dan Abu Vulkanik Gunung Kelud Diaktivasi sebagai Penyerap Logam Berat Pada Limbah Cair Pengrajin Batik*. April. https://www.researchgate.net/publication/315112600_Kombinasi_Adsorben_Alofan_dan_Abu_Vulkanik_Gunung_Kelud_Diaktivasi_sebagai_Penyempap_Logam_Berat_Pada_Limbah_Cair_Pengrajin_Batik
- Lourenço, R. E. R. S., Linhares, A. A. N., de Oliveira, A. V., da Silva, M. G., de Oliveira, J. G., & Canela, M. C. (2016). Photodegradation of ethylene by use of TiO₂ sol-gel on polypropylene and on glass for application in the postharvest of papaya fruit. *Environmental Science and Pollution Research* 2016 24:7, 24(7), 6047-6054. <https://doi.org/10.1007/S11356-016-8197-5>
- Maula, I. (2015). *Analisis pengaruh Silika terhadap Aktivitas Fotokatalitik Nanopartikel Zinc Oxide*.
- Mekasuwandumrong, O., Pawinrat, P., Praserttham, P., & Panpranot, J. (2010). Effects of synthesis conditions and annealing post-treatment on the photocatalytic activities of ZnO nanoparticles in the degradation of methylene blue dye. *Chemical Engineering Journal*, 164(1), 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.08.027>
- Mohamed, R. M., & Aazam, E. S. (2012). Enhancement of photocatalytic activity of ZnO-SiO₂ by nano-sized Ag for visible photocatalytic reduction of Hg(II). *New Pub: Balaban*, 50(1-3), 140-146. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.708559>
- Mohamed, R. M., Baeissa, E. S., Mkhaldid, I. A., & Al-Rayyani, M. A. (2013). Optimization of preparation conditions of ZnO-SiO₂ xerogel by sol-gel technique for photodegradation of methylene blue dye. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 3(1), 57-63. <https://doi.org/10.1007/s13204-012-0074-z>
- Mohamed, R. M., & Barakat, M. A. (2012). Enhancement of photocatalytic activity of ZnO/SiO₂ by nanosized Pt for photocatalytic degradation of phenol in wastewater. *International Journal of Photoenergy*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/103672>
- Mufti, N., Diantoro, M., & Fisika, J. (2015). Sintesis Dan Sifat Fotokatalisis Komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO terhadap Degradasi Pewarna Rhodamin B. *SEMINAR NASIONAL FISIKA DAN PEMBELAJARANNYA 2015 Sintesis*, 35-40.
- Neveitasari, R., Rohman, A., & Martono, S. (2019). Validation and quantitative analysis of carmine and rhodamine B in lipstick formulation. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 11(3), 176-180. <https://doi.org/10.22159/ijap.2019v11i3.32492>
- Nizar, M., & Supardi, I. (2016). Sintesis SiO₂ Berbahan Dasar Abu Vulkanik Sebagai Adsorben Ion Pb [II]. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 05(1), 28-32. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia/article/view/14683>
- Nur Hasanah, A., Musfiroh, I., Mekar Saptarini, N., & Rahayu, D. (2012). Identifikasi Rhodamin B pada Produk Pangan dan Kosmetik yang Beredar di Bandung. *JURNAL ILMU KEFARMASIAN INDONESIA*, 21(1), 104-109.
- Nurhidayati, I., Tri Wahyuni, E., Hidayat Aprilita, N., Ratnawati Hermanto, S., Pangeran Sogiri No, J., Baru, T., Utara, B., & Bogor, K. (2021). Effect of Stirring Time on Sodium Silicate Synthesis From Mount Kelud Volcanic Ash. *ALCHEMY*, 9(2), 48-53. <https://doi.org/10.18860/AL.V9I2.12600>
- Nurillahi, R., Halimah, D. N., Apriliani, D. G., & Fatimah, I. (2018). Pengolahan Limbah Batik Cair menggunakan Fotokatalis TiO₂-Abu Vulkanik Desa Wukirsari Yogyakarta. *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, 10(2). <https://doi.org/10.20885/khazanah.vol10.iss2.art3>
- Nursiwi, F. C., & Wahyuni, E. T. (2017). *Pemanfaatan Abu Vulkanik sebagai Sumber Silika pada Pembuatan Fotokatalis TiO₂/SiO₂ dan Uji Aktivitasnya untuk Fotoreduksi Ion Cu(II)*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/129148>
- Nuryanti, S., Suherman, Rahmawati, S., Amalia, M., Santoso, T., & Muhtar, H. (2021). Langmuir and Freundlich isotherm equation test on the adsorption process of Cu (II) metal ions by cassava peel waste (*Manihot esculenta crantz*). *Journal of Physics: Conference Series*, 2126(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2126/1/012022>

- Oktaviani, Z. P., & Haris, A. (2016b). Sintesis ZnO-SiO₂ dan Aplikasinya pada Fotokatalisis Degradasi Limbah Organik Fenol dan Penurunan Kadar Cd(II) secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(2), 45–49. <https://doi.org/10.14710/JKSA.19.2.45-49>
- Oyekanmi, A. A., Ahmad, A., Hossain, K., & Rafatullah, M. (2019). Statistical optimization for adsorption of Rhodamine B dye from aqueous solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 281, 48–58. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2019.02.057>
- Permata, D. G., Diantariani, N. P., & Widihati, I. A. G. (2016). Degradasi Fotokatalitik Fenol menggunakan Fotokatalis ZnO dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*. <https://doi.org/10.24843/jchem.2016.v10.i02.p13>
- Purba, M. L. (2018). Pengaruh Penambahan TiO₂ Terhadap Luas Permukaan Dan Ukuran Pori Dari Silika Abu Vulkanik Gunung Sinabung. 44–48. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/2360>
- Purwoto, S., & Nugroho, W. (2013). Removal Klorida, TDS dan Besi pada Air Payau melalui Penukar Ion dan Filtrasi Campuran Zeolit Aktif dengan Karbon Aktif. *WAKTU*, 11(1), 47–59. <http://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/article/view/861>
- Putri, A. D. C. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Serbuk ZrSiO₄ Dengan Metode Sol-Gel. <http://repository.its.ac.id/43437/>
- Rafiq, A., Ikram, M., Ali, S., Niaz, F., Khan, M., Khan, Q., & Maqbool, M. (2021). Photocatalytic degradation of dyes using semiconductor photocatalysts to clean industrial water pollution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 97, 111–128. <https://doi.org/10.1016/J.JIEC.2021.02.017>
- Rahayu, B., Napitupulu, M., & Tahril, T. (2017). Analisis Logam Zink (Zn) dan Besi (Fe) Air Sumur di Kelurahan Pantoloan Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademika Kimia*, 2(1), 1–4. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/JAK/article/view/7718>
- Rahayu, R., Ariyanto, D. P., Komariah, K., Hartati, S., Syamsiyah, J., & Dewi, W. S. (2014). Dampak Erupsi Gunung Merapi terhadap Lahan dan Upaya-upaya Pemulihannya. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 29(1), 61–72. <https://doi.org/10.20961/CARAKATANI.V29I1.13320>
- Rijal, M. (2016). Pengaruh pH Silika Berbasis Abu Vulkanik terhadap Komposit SiO₂-MgO Sebagai Kandidat Seal Fuel Cells. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 5(1), 23–27. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia/article/view/14682>
- Sabatini, F., Giugliano, R., & Degano, I. (2018). Photo-oxidation processes of Rhodamine B: A chromatographic and mass spectrometric approach. *Microchemical Journal*, 140, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.04.018>
- Safni, S., Deliza, D., & Rahmayeni, R. (2014). Degradasi Rhodamin B dengan Penambahan TiO₂-NiFe₂O₄, TiO₂-CuFe₂O₄, dan TiO₂-MnFe₂O₄. *Jurnal Riset Kimia*, 7(2), 151. <https://doi.org/10.25077/jrk.v7i2.178>
- Saif, S., Tahir, A., & Chen, Y. (2016a). Green synthesis of iron nanoparticles and their environmental applications and implications. *Nanomaterials*, 6(209), 1–29. <https://doi.org/10.3390/nano6110209>
- Saif, S., Tahir, A., & Chen, Y. (2016b). Green Synthesis of Iron Nanoparticles and Their Environmental Applications and Implications. 1–26. <https://doi.org/10.3390/nano6110209>
- Saputro, M. A. (2017). Sintesis Komposit ZnO/SiO₂ dan Aplikasinya untuk Degradasi Limbah Artifisial Methylene Blue dengan Proses Fotokatalisis.
- Satiyarti, R. B., Anggarani, N., & Sugiharta, I. (2021). Rhodamine B Detection from Inexpensive Blush On in Bandar Lampung City. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(1), 38–41. <https://doi.org/10.26874/JKK.V4I1.78>
- Setiyani, R., Dina, D., Maharani, K., Kimia, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2015). Pemanfaatan Komposit Kitosan ZnO-SiO₂ sebagai Agen Antibakteri terhadap Bakteri Staphylococcus aureus pada Kain Katun. *UNESA Journal of Chemistry*, 4(2), 88–93.
- Setyawati, D. A., & Haris, A. (2015). Sintesis ZnO-SiO₂ serta Aplikasinya pada Degradasi Limbah Organik Fenol dan Fotoreduksi Pb(II) secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 18(3), 96–100. <https://doi.org/10.14710/JKSA.18.3.96-100>
- Shen, X., Shi, Y., Shao, H., Liu, Y., & Zhai, Y. (2020). Synthesis and photocatalytic degradation ability evaluation for rhodamine B of ZnO@SiO₂ composite with flower-like structure. *Water Science and Technology*, 80(10), 1986–1995. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.020>
- Shu, H. Y., Chang, M. C., Chen, C. C., & Chen, P. E. (2010). Using resin supported nano zero-valent iron particles for decoloration of Acid Blue 113 azo dye solution. *Journal of Hazardous Materials*, 184(1–3), 499–505.
- Simatupang, L., & Devi, D. (2016). The preparation and characterization of Sinabung volcanic ash as silica based adsorbent. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 8(3), 159–163. <https://doi.org/10.24114/JPKIM.V8I3.4478>
- Skjolding, L. M., Jørgensen, L. v. G., Dyhr, K. S., Köppl, C. J., McKnight, U. S., Bauer-Gottwein, P., Mayer, P., Bjerg, P. L., & Baun, A. (2021). Assessing the aquatic toxicity and environmental safety of tracer compounds Rhodamine B and Rhodamine WT. *Water Research*, 197, 117109. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2021.1171>

- Sunardi & Silviana. (2022). Transformasi Abu Vulkanik dan Limbah Seng menjadi Nanokomposit ZnO-SiO₂ dan Aplikasinya untuk Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20(4).856-871. doi:10.14710/jil.20.4.856-871
- 09
- Suharno, Harajanti, B., Wijanto, D. S., Saputro, H., & Basori. (2012). *Pendidikan Dan Pelatihan Profesi Guru (PLPG)*. FKIP Universitas Sebelas Maret.
- Sunardi, Sunardi, Mardiyono, M., & Hidayati, N. (2022). Pemanfaatan Scrap Besi menjadi Copperas dan Ekstrak Kulit Rambutan untuk Pembuatan Nanopartikel Besi yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 494–507.
<https://doi.org/10.14710/jil.20.3.494-507>
- Sunardi, S., Irawati, U., & Sybianti, N. R. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO₂ sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Warna Rhodamine B. *Jurnal Ilmiah Berkala Sains Dan Terapan Kimia*, 6(2), 118–129.
<https://doi.org/10.20527/JSTK.V6I2.2112>
- Sunardi, S., & Silviana, S. (2020). Synthesis and Characterization of SiO₂/ZnO Nanocomposites from Zinc Waste and Mount Merapi Volcanic Ash. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(10), 365–369.
<https://doi.org/10.14710/jksa.23.10.365-369>
- Taha, M., & Ibrahim, A. (2014). Applicability of nano zero valent iron (nZVI) in sono-Fenton process. *Journal of Physics: ...*
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/495/1/012010>
- Taha, M. R., & Ibrahim, A. H. (2014). Characterization of nano zero-valent iron (nZVI) and its application in sono-Fenton process to remove COD in palm oil mill effluent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.11.021>
- Taner Bişgin, A., Yazar, S., & Corresponding, /. (2020). Vortex-assisted ionic liquid-based dispersive liquid-liquid micro-extraction and spectrofluorometric determination of Rhodamine B in anti-freeze, lipstick, liquid soap, matches and red pencil core. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 1820–1832.
<https://doi.org/10.21597/JIST.703292>
- Tejabharam, Y., Pradeep, R., Helen, A. T., Gopalakrishnan, C., & Ramasamy, C. (2014). Ferrous sulfate based low temperature synthesis and magnetic properties of nickel ferrite nanostructures. *Materials Research Bulletin*, 60(1), 778–782.
<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.09.035>
- Tosco, T., Petrangeli Papini, M., Cruz Viggi, C., & Sethi, R. (2014). Nanoscale zerovalent iron particles for groundwater remediation: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 77, pp. 10–21). Elsevier.
- Widi, M., Ayu, P., & Navis Muhaimin, M. (2018). *Perbandingan Kapasitas Adsorpsi oleh ZSM-5 Bangka Kaolin dan Kristal ZnO/SiO2 Terhadap Pewarna Congo Red*.
- Wongso, V., Chen, C. J., Razzaq, A., Kamal, N. A., & Sambudi, N. S. (2019). Hybrid kaolin/TiO₂ composite: Effect of urea addition towards an efficient photocatalyst for dye abatement under visible light irradiation. *Applied Clay Science*, 180, 105158.
<https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2019.105158>
- Xu, D., & Ma, H. (2021). Degradation of rhodamine B in water by ultrasound-assisted TiO₂ photocatalysis. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127758.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127758>
- Zhai, J., Tao, X., Pu, Y., Zeng, X. F., & Chen, J. F. (2010). Core/shell structured ZnO/SiO₂ nanoparticles: Preparation, characterization and photocatalytic property. *Applied Surface Science*, 257(2), 393–397.
<https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2010.06.091>