

Lusi Ernawati^{1*}, Ruri Agung Wahyuono², Inggit Kresna Maharsih¹, Ade Wahyu Yusariarta³, Andromeda Dwi Laksono³, Christina Wahyu Kartikowati⁴, Asep Bayu Dani Nandiyanto⁵: Fotodegradasi Zat Pewarna Tekstil (Rhodamin B) Menggunakan Adsorben berbasis Material Komposit Kalsium Titanate (CaTiO₃)

FOTODEGRADASI ZAT PEWARNA TEKSTIL (RHODAMIN B) MENGUNAKAN ADSORBEN BERBASIS MATERIAL KOMPOSIT KALSIMUM TITANATE (CATIO₃)

Lusi Ernawati^{1*}, Ruri Agung Wahyuono², Inggit Kresna Maharsih¹, Ade Wahyu Yusariarta³, Andromeda Dwi Laksono³, Christina Wahyu Kartikowati⁴, Asep Bayu Dani Nandiyanto⁵

¹Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, 76127, Indonesia

²Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 60111, Indonesia

³Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, 76127

⁴Departemen Teknik Kimia, Universitas Brawijaya, Malang, 65145, Indonesia

⁵Departemen Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 40154, Indonesia

*E-mail: lusiernawati@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Komposit nanopartikel kalsium titanate (CaTiO₃) berhasil disintesis melalui metode solid-state dan proses kalsinasi menggunakan kalsium karbonat (CaCO₃) dan titanium oksida (TiO₂) anatase. Bahan awal ditetapkan dalam perbandingan molar CaCO₃/TiO₂ yakni (1:1), (1:5), dan (1:7). Kedua bahan campuran CaCO₃ dan TiO₂ dilarutkan dan dihomogenkan melalui pengadukan. Campuran larutan yang telah homogen, diendapkan, dikeringkan dan dikalsinasi menggunakan suhu 900°C. Morfologi dan sifat mikro struktural dari bahan CaTiO₃ dikarakterisasi menggunakan scanning electron microscopy (SEM) dan analisis energy dispersive X-ray (EDX). Komposit nanopartikel CaTiO₃ selanjutnya digunakan untuk fotodegradasi zat pewarna Rhodamine B (RhB) di bawah sinar lampu UV. Hasil investigasi menunjukkan bahwa mekanisme penyerapan (adsorpsi) RhB dan sifat fotokatalitik dari CaTiO₃ sangat tergantung pada komposisi bahan awal. Studi kinetika menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitik reaksi CaTiO₃ terhadap RhB mengikuti model kinetika orde pertama. Lebih lanjut, 100mg RhB dapat terdegradasi sebesar 97.37% ± 23.34% pada penggunaan komposisi CaTiO₃ sebanyak 0.5 hingga 2.0g dalam waktu 40menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokatalis berbasis komposit CaTiO₃ sangat efektif dalam mendegradasi zat pewarna RhB. Hal ini dikaitkan dengan besarnya luas permukaan aktif katalis serta kemampuan menghasilkan ion radikal pendegradasi RhB dari proses pemisahan muatan.

Kata kunci: CaTiO₃; fotodegradasi ; fotokatalisis ; pewarna tekstil ; rhodamine B

PHOTODEGRADATION OF TEXTILE DYE (RHODAMINE B) USING CATIO₃ COMPOSITE-BASED ADSORBENT

Abstract

Calcium titanate (CaTiO₃) composite nanoparticles were successfully synthesized using CaCO₃ and anatase TiO₂ via solid-state method. The precursors molar ratio (CaCO₃/TiO₂) was varied to (1:1), (1:5), and (1:7). The mixed precursors were homogenized in solution, precipitated, dried and calcined at 900°C. The morphological and microstructural properties of CaTiO₃ were characterized by scanning electron microscopy (SEM), and energy dispersive X-ray (EDX) analysis. The synthesized CaTiO₃ nanoarticles were then subjected to photodegradation test of Rhodamine B (RhB) under UV light. The results indicate that adsorption behavior of RhB and photocatalytic activity of CaTiO₃ are dependent on precursor composition. The kinetic study reveals that the adsorption of RhB on CaTiO₃ active sites follows the first-order kinetics model. An amount of 100mg RhB is found degraded by 97.37% ± 23.34% in 40min using 0.5–2.0 g of CaTiO₃. Overall, the results obtained here show an effective CaTiO₃-based photocatalysts for RhB degradation. Furthermore, this promising results root from the higher active specific surface area of catalyst and the ability to generate radical ion upon charge separation to photocatalytically decompose RhB.

Keywords: CaTiO₃; photocatalysis; photodegradation; rhodamine B; textile dye

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri tekstil dan produk tekstil (TPT) pada skala nasional mengalami peningkatan yang cukup konsisten dari tahun ke tahun. Tercatat bahwa

nilai Produk Domestik Bruto (PDB) dari TPT rata-rata sebesar 2,49% (Hakim, 2015). Pada tahun 2017, asosiasi pertekstilan indonesia menilai terjadi kenaikan jumlah ekspor sebesar USD 0,5 miliar dari USD 11,8 miliar di tahun 2016. Kenaikan ini sesuai dengan kecenderungan

pertumbuhan produksi industri tekstil di Indonesia. Data BPS menunjukkan bahwa produksi tekstil mengalami penambahan dari tahun 2016 ke 2017, yaitu sebesar 32% (BPS, 2018).

Peningkatan jumlah produksi TPT juga berakibat pada bertambahnya jumlah limbah produksi tekstil. Limbah ini dihasilkan dari tiap tahap proses produksi tekstil. Industri pewarnaan atau tekstil membutuhkan jumlah air yang besar dalam melakukan proses produksi. Komponen yang terkandung di dalam air hasil proses juga bervariasi tergantung jenis proses yang digunakan. Secara umum, air limbah industri tekstil mengandung komponen aromatis, hidrokarbon halogen, dan logam. Komponen aromatis ini biasanya disebabkan oleh pemakaian zat warna. Zat warna biasanya dapat terlihat ketika memiliki konsentrasi di atas 1 mg.L⁻¹. Namun, pada keluaran industri tekstil, konsentrasi zat warna dapat melebihi 1 mg.L⁻¹ karena 10-15% pewarna larut ke dalam air limbah selama proses pewarnaan (Patel, 2015).

Seperti yang telah diketahui, industri tekstil menggunakan bahan kimia dan air dalam jumlah besar untuk membentuk limbah setelah diproses, sektor ini menjadi salah satu penyumbang pencemaran terbesar di dunia. Dalam industri tekstil, sekitar 2000 bahan kimia digunakan, termasuk pewarna, zat transfer dan aditif, dengan sekitar 25% dari jumlah bahan kimia yang diproduksi digunakan (Chinese National Textile and Apparel Council, 2016). Menurut perkiraan Bank Dunia, operasi pencelupan menyumbang 17-20% polusi air dengan 72 zat kimia beracun dalam limbah dan 30 diantaranya tidak dapat di deteksi. **Tabel 1.** adalah daftar polutan dan kontaminan yang umunya terkandung dalam limbah tekstil.

Salah satu limbah cair yang biasanya dihasilkan oleh industri tekstil adalah limbah zat warna. Umumnya limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil merupakan senyawa organik non-biodegradable yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan (Wijaya, 2006). Limbah cair zat warna tekstil dapat memberikan masalah tersendiri karena zat warna tekstil berbahaya bagi makhluk hidup, khususnya manusia. Limbah zat warna tekstil menjadi perhatian tersendiri dikarenakan struktur aromatik pada zat warna sulit terdegradasi. Selain itu sebagian besar zat warna dibuat agar mempunyai resistensi terhadap pengaruh lingkungan seperti efek pH, suhu dan mikroba (Qodri, 2011).

Tabel 1. Polutan pada limbah industri tekstil

Jenis produk tekstil	Zat pewarna yang digunakan (g kg ⁻¹)	Zat additive (g kg ⁻¹)	Komposisi bahan kimia (g kg ⁻¹)
Fiber Polyester	18	129	126
Kain dengan bahan sintetik fiber	52	113	280
Kain dengan bahan katun	18	100	570
Kain berwarna dengan bahan fiber selulosa	11	183	200
Kain printing dengan bahan fiber selulosa	88	180	807

Sumber: Global Business Guide Indonesia, (Tekstil Progress, 2019).

Dalam industri tekstil, Rhodamine B (RhB) termasuk salah satu zat warna yang sering digunakan, hal ini dikarenakan harga RhB yang ekonomis dan mudah diperoleh. Zat warna RhB merupakan zat warna dasar yang penting dalam proses pewarnaan pada industri tekstil dan kertas. RhB sangat berbahaya jika terpapar langsung melalui kulit, mata atau tertelan (Aprilia, 2012); Dampak dari paparan yang terjadi dapat berupa iritasi pada kulit, iritasi pada mata, iritasi saluran pencernaan dan bahaya kanker hati (Stockle, 2014). Penanganan limbah cair lingkungan industri tekstil menjadi area fokus peneliti menemukan solusi dalam mengurangi dampak jumlah limbah organik, khususnya zat pewarna dari tekstil. Teknologi pengolahan limbah cair yang telah dilakukan antara lain menggunakan proses biologi, kimia, fisika dan kombinasi dari ketiga proses tersebut. Metode secara konvensional seperti adsorpsi dan penggunaan lumpur aktif (*active sludge*) telah banyak dilakukan, tetapi hasilnya kurang efektif (Moertinah, 2010). Adapun metode adsorpsi kurang begitu efektif karena adsorbat yang terakumulasi di dalam adsorben, demikian pula proses koagulasi dan sedimentasi, pada akhirnya dapat menimbulkan persoalan baru. Metode lumpur aktif juga kurang efektif karena diperlukan waktu yang cukup lama serta diketahui beberapa jenis limbah zat warna memiliki sifat resisten untuk didegradasi secara biologis (Elias, 2001).

Untuk mengatasi kelemahan pada proses pengolahan limbah sebelumnya, maka dikembangkan solusi alternatif menggunakan metode fotodegradasi berbasis material komposit CaTiO₃ dan radiasi sinar UV. Beberapa penelitian terkait pemanfaatan komposit CaTiO₃ telah menarik perhatian cukup besar karena kelebihanannya dalam beberapa sifat yakni luminescent, dielektrik, sifat optik, fotokatalis, biokompatibilitas, semikonduktor yang sangat tinggi (Sutanto, 2017, Kumar 2017). Tipe komposit CaTiO₃ merupakan photocatalyst berbasis semikonduktor material yang menarik karena celah pita energi yang lebar (3.5 eV) dengan posisi pita konduksi (CB) negatif terhadap potensial reduksi H⁺/H₂ dan posisi pita valensi (VB) positif terhadap potensi oksidasi O₂/H₂O (Han, 2015, Yan, 2018). Sebagai hasilnya, CaTiO₃ menunjukkan evolusi hydrogen (H₂)/oksigen(O₂) fotokatalitik yang efisien dari pemisahan air serta degradasi fotokatalitik polutan organik (Huang, 2014, Zhou 2018). Selain itu, struktur komposit CaTiO₃ menunjukkan daya pantulan yang lebih rendah, penyerapan cahaya dan luas permukaan yang tinggi sehingga memungkinkan peningkatan sensitivitas cahaya serta aktivitas fotokatalitik (Kanhere, 2014, Fatimah 2018).

Tujuan dari penelitian ini adalah mensintesa komposit partikel CaTiO₃ menggunakan kalsium carbonate (CaCO₃) dan titanium oksida (TiO₂) jenis anatase menggunakan metode solid-state dan proses kalsinasi. Laju fotodegradasi dan uji aktifitas fotokatalitik CaTiO₃ terhadap degradasi zat pewarna RhB juga dievaluasi menggunakan model kinetika adsorpsi *Pseudo First Order*. Hasil evaluasi dipaparkan dan didukung dengan data analisis dan karakterisasi.

METODE PENELITIAN

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: beaker glass (250ml), stirrer-magnetic, gelas ukur, centrifuge, mortar pestle, furnace, lampu UV (T5-UV7W, panjang gelombang 254nm).

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: serbuk CaCO₃ komersial dan serbuk TiO₂ anatase diperoleh dari MTI Corporation (99%), Etanol PA 96% sebagai pelarut diperoleh dari Merck Milipore Corporation, aquades dan Rhodamine B (RhB) sebagai dye tekstil untuk uji aktifitas fotokatalitik.

Prosedur

Sintesis powder komposit CaTiO₃

Sintesis komposit CaTiO₃ dimulai dengan tahap preparasi sampel CaCO₃ dan TiO₂ yang ditimbang sesuai perhitungan stoikiometri. Variabel yang ditetapkan adalah menggunakan perbandingan mol (1:1); (1:5) dan (1:7). CaCO₃ dilarutkan dalam aquadest, sedangkan TiO₂ dilarutkan dalam EtOH 96% sebanyak 100ml. Kedua larutan yang telah dipersiapkan, kemudian dicampur melalui proses pengadukan selama 2jam hingga diperoleh larutan yang homogen. Larutan selanjutnya diendapkan, dicuci dengan aquadest beberapa kali dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 2jam. Setelah proses pengeringan, dilakukan tahap penggerusan menggunakan mortar-pestle yang bertujuan memperoleh butiran halus dan lebih homogeny, kemudian dilakukan proses kalsinasi secara bertahap menggunakan *furnance* pada suhu 900°C selama 3jam.

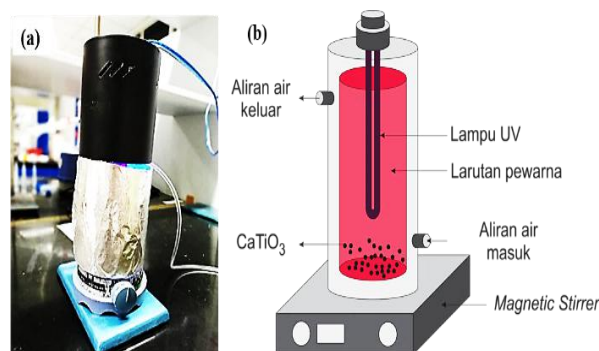
Karakterisasi sampel CaTiO₃

Morfologi komposit partikel CaTiO₃ dianalisis dengan pemindaian mikroskop elektron (Scanning Electrone Microscopy SEM, tipe FEI Inspec 21). Kondisi pengukuran adalah 100kV pada berbagai perbesaran skala magnifikasi. Analisis komposisi unsur dilakukan menggunakan (NEXQC+QuantEZ) jenis Rigaku X-Ray Fluorescence (XRF), pada 10kV accelerating voltage. Analisa struktur kristal dan derajat kristalinitas sample dilakukan dengan menggunakan X-ray diffraction (XRD, PAN analytical type X'Pert Pro) dioperasikan pada 40V, dan 40mA. Uji analisa absorpsi diukur menggunakan UV/vis spektrofotometer (Rayleigh UV-9200).

Uji aktifitas fotokatalitik komposit CaTiO₃ pada degradasi zat pewarna RhB sebagai polutan organik

Tahapan awal dalam uji aktivitas fotokatalitik adalah serbuk CaTiO₃ yang telah dibuat ditimbang massanya menggunakan neraca analitik sebanyak (0.5, 1.0, 1.5 dan 2.0gram). Kemudian padatan dicampurkan ke dalam larutan polutan organik dimana digunakan rhodamine B (RhB) sebagai media polutan. Setelah itu campuran dipindahkan ke dalam wadah prototype

fotoreaktor (Ernawati, 2019) yang telah dibuat dan disinari di bawah paparan sinar ultraviolet (UV) dengan waktu sesuai dengan variabel yang telah ditentukan (seperti terlihat dalam **Gambar 1**).



Gambar 1. Desain reaktor yang digunakan untuk menguji aktivitas fotokatalitik CaTiO₃ pada degradasi zat pewarna RhB.

Agar aktivitas fotokatalis lebih efisien, ditambahkan magnetic stirrer di dalam kaca tersebut. Fungsinya agar Rhodamine B lebih homogen selama proses paparan berlangsung. Selain itu, juga memicu aktivitas fotokatalis pada partikel CaTiO₃. Paparan dilakukan pada tempat tertutup yang terisolasi dari cahaya. Sumber cahaya yang digunakan berasal dari sinar UV. Lama waktu paparan yang digunakan sesuai dengan variabel yang telah ditentukan yakni 40menit.

Evaluasi hasil fotodegradasi Rhodamine B (RhB) menggunakan CaTiO₃

Pengujian zat warna hasil degradasi menggunakan spektrofotometer (UV-Vis). Instrumen ini mengukur absorbansi larutan RhB dengan menggunakan panjang gelombang serapan pada rentang 300-800nm. Dengan uji tersebut akan diketahui transmitansi dan absorbansi dari zat warna yang telah didegradasi. Sehingga dapat diketahui berapa tingkat efektifitas larutan prekursor yang digunakan. Konsentrasi degradasi larutan *RhB* dievaluasi dengan menggunakan persamaan kinetika adsorpsi **Pseudo First Order**, sebagaimana tertulis di persamaan (1).

$$r = -\frac{dC}{dt} = k_{abs}C \dots \dots \dots (1)$$

Dimana, *r* adalah laju fotodegradasi *RhB*, *C* adalah konsentrasi *RhB*, *t* adalah waktu, *k_{abs}* adalah konstanta laju orde pertama.

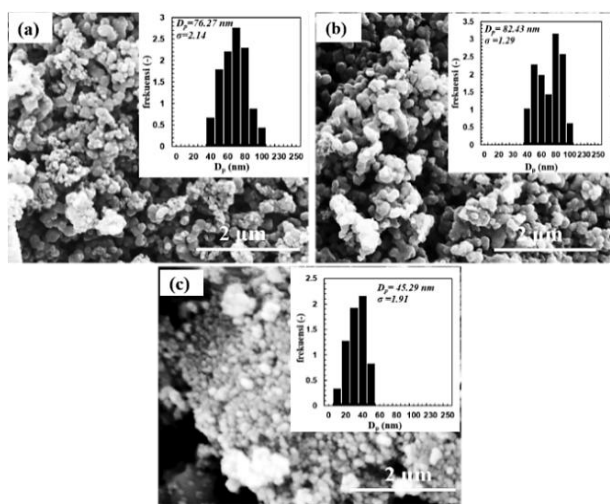
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa bentuk dan morfologi permukaan partikel CaTiO₃

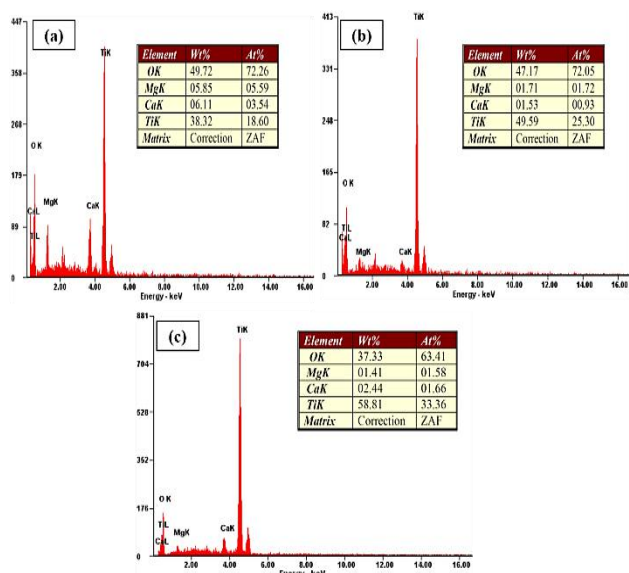
Hasil SEM (**Gambar 2**) menunjukkan morfologi CaTiO₃ dengan rasio mol CaCO₃/TiO₂ yang berbeda (1: 1, 1: 5 dan 1: 7) dengan suhu kalsinasi yang sama (900°C). **Gambar 2 (a)** dan **2 (b)** menunjukkan sampel

CaTiO₃ yang memiliki butiran partikel kecil dan distribusi ukuran yang tidak seragam. **Gambar 2 (c)**, sampel tampak memiliki butiran yang lebih besar dan lebih padat. Hasil yang berbeda ini disebabkan oleh aglomerasi partikel. Distribusi partikel CaTiO₃ pada **Gambar 2** menunjukkan ukuran yang bervariasi, tidak merata (polydisperse) dan berstruktur nano yakni CaCO₃/TiO₂ (1:1, D_p= 76.27 nm), CaCO₃/TiO₂ (1:5, D_p=82.43 nm), CaCO₃/TiO₂ (1:7, D_p=45.29 nm).

Terbentuknya aglomerasi partikel dikaitkan dengan perlakuan sintering yang memungkinkan pertumbuhan partikel dengan difusi nuklei, yang menyebabkan penurunan energi bebas dan peningkatan total entropi sistem yang memfasilitasi terjadinya aglomerasi partikel (Suchaya 2016, Dong, 2016).



Gambar 2. SEM sampel CaTiO₃ yang disintesa dengan variasi rasio molar: (a) CaCO₃/TiO₂=1:1, (b)CaCO₃/TiO₂=1:5, dan (c) CaCO₃/TiO₂=1:7, digunakan temperatur kalsinasi T=900°C.

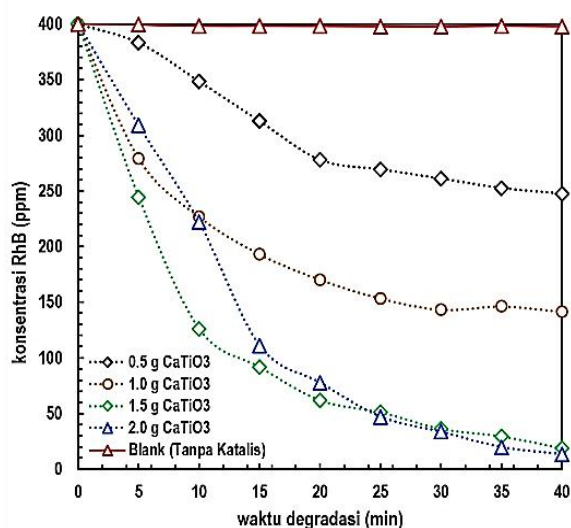


Gambar 3. Hasil EDX komposit partikel CaTiO₃ dengan variasi rasio mol (CaCO₃/TiO₂) dan suhu kalsinasi (a)1:1, T=900 °C, (b) 1:5, T=900 °C dan (c) 1:7, T=900 °C

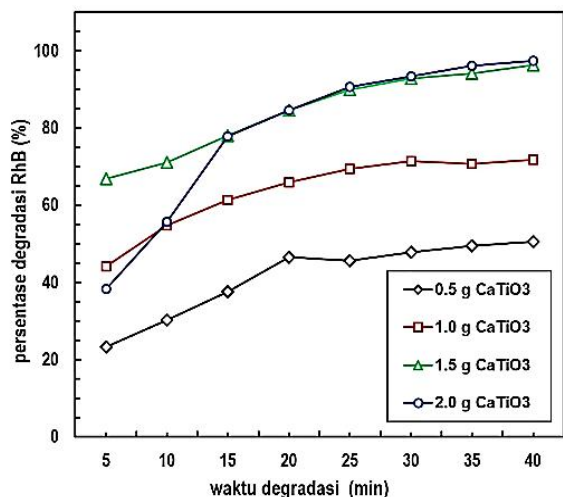
Hasil pengujian EDX menampilkan analisis kualitatif dan kuantitatif. Pada analisis kualitatif muncul puncak-puncak energi pada kurva yang telah dianalisis. Sedangkan analisis kuantitatif dapat digunakan untuk mengetahui komposisi unsur penyusun material. Berdasarkan hasil EDX, **Gambar 3 (a)** komposisi unsur pada sampel CaTiO₃ (CaCO₃/TiO₂=1:1, T=900°C) dipe-roleh 49,72wt% Oksigen (O), 5,85wt% Magnesium (Mg), 6,11wt% Kalsium (Ca), dan 38,32wt% Titanium (Ti). Dengan suhu kalsinasi (T=900°C), sampel CaTiO₃ dengan rasio (CaCO₃/TiO₂=1:5) memberikan perbedaan pada beberapa unsur yaitu kenaikan pada unsur titanium (Ti), seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3(b)** komposisi unsur terdiri dari 47.17wt% Oksigen (O), 1,71wt% Magnesium (Mg), 1,53wt% Kalsium (Ca), dan 49,49wt% Titanium (Ti). Hasil yang similar ditunjukkan pada **Gambar 3(c)**, sampel CaTiO₃ dengan rasio (CaCO₃/TiO₂=1:7), kenaikan unsur Ti sebesar 58.81%. Berdasarkan perbandingan komposisi mol (1:1); (1:5) dan (1:7), diketahui bahwa semakin banyak mol TiO₂ menyebabkan kandungan unsur (Ti) dan oksigen yang meningkat. Namun, terjadi penurunan terhadap jumlah kalsium (Ca) pada material.

Uji pengaruh komposisi katalis CaTiO₃ pada prosentase degradasi RhB

Pengaruh komposisi fotokatalis CaTiO₃ diuji dengan melakukan percobaan fotokatalitik terhadap larutan zat warna RhB dengan konsentrasi larutan 400ppm dalam beberapa variasi komposisi CaTiO₃ yaitu 0.5; 1.0; 1.5, dan 2.0gram selama 40menit. Dari **Gambar 4**, terlihat bahwa semakin tinggi komposisi CaTiO₃ maka jumlah RhB yang tereduksi semakin besar. Dalam arti lain dengan penambahan jumlah katalis CaTiO₃, zat warna RhB yang teradsorbsi pada permukaan katalis semakin banyak, sehingga laju reaksi fotokatalis menjadi semakin cepat.



Gambar 4. Hubungan waktu degradasi dan konsentrasi RhB pada variasi komposisi CaTiO₃ yakni 0.5; 1.0; 1.5; dan 2.0 gram. Konsentrasi RhB yang digunakan sebesar 100mg dan kecepatan pengaduk 500rpm.



Gambar 5. Hubungan variasi komposisi CaTiO₃ (0.5; 1.0; 1.5; dan 2.0 gram) dan prosentase % degradasi RhB, dengan lama waktu penyinaran (UV) 40menit. Konsentrasi RhB yang digunakan sebesar 100mg, kecepatan pengaduk 500rpm.

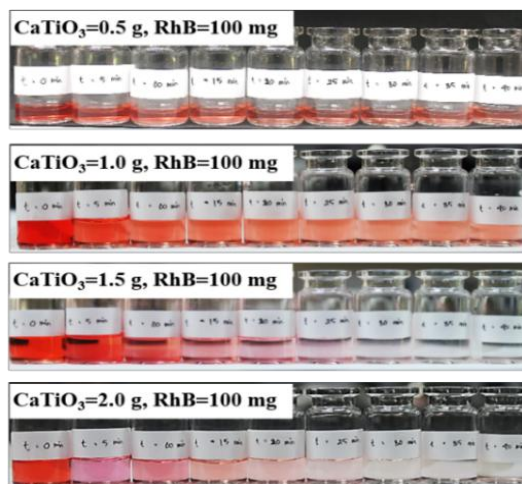
Kurva pada **Gambar 5.** menunjukkan bahwa persentase degradasi RhB semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya komposisi katalis CaTiO₃, dalam hal ini jumlah permukaan fotokatalis yang menyediakan *OH, makin tinggi, maka reaksi fotodegradasi RhB akan semakin efektif, yang mengakibatkan persentase (%) degradasi semakin meningkat Efektifitas fotodegradasi dari CaTiO₃ yang telah disintesa terhadap RhB (100 mg) direpresentasikan di **Tabel 2.** Hasil uji memberikan bahwa persentase degradasi sebesar 97.37% ± 23.34% untuk konsentrasi CaTiO₃ (2.0 dan 0.5gram). Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, CaTiO₃ yang digunakan untuk mendegradasi zat pewarna methylene blue (MB) membutuhkan waktu adsorpsi yang lebih lama yakni 120min dan komposisi katalis yang lebih tinggi (Gaikwad,2012, Khalil, 1998). Sedangkan CaTiO₃ yang dihasilkan dalam penelitian ini cukup efektif digunakan untuk mendegradasi zat pewarna RhB dengan konsentrasi yang cukup tinggi yakni 100 mg (200ppm).

Tabel 2. Efektifitas fotodegradasi zat pewarna RhB menggunakan CaTiO₃ dengan komposisi rendah dan tinggi.

Komposisi CaTiO ₃ (gram)	Konsentrasi RhB (mg)	Prosentase degradasi (%)
0.5	100	50.49 ± 23.34 %
2.0	100	97.37 ± 38.22 %

Keterangan: waktu penyinaran degradasi RhB dilakukan selama 40min menggunakan lampu UV.

Proses penyinaran RhB menggunakan katalis CaTiO₃ dengan lampu UV juga dilakukan dengan waktu yang cukup lama yakni lebih dari 1jam. Hasil percobaan menunjukkan, meningkatkan lamanya waktu penyinaran, tidak mempengaruhi persentase degradasi RhB yang cukup signifikan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa waktu reaksi antara katalis dengan zat warna RhB yang semakin lama, menyebabkan produk hasil fotodegradasi yang terbentuk semakin tinggi. Hal ini menyebabkan interaksi antara cahaya dengan fotokatalis CaTiO₃ dan RhB menjadi terhalang, begitu pula reaksi antara fotokatalis dengan zat warna sendiri, sehingga penurunan aktifitas RhB menjadi lebih lambat dan relatif tetap. Degradasi RhB (100mg) paling tinggi dicapai pada penggunaan CaTiO₃ dengan komposisi sebesar 2.0g dengan lama waktu penyinaran UV selama 40min. Pengujian fotokatalis CaTiO₃ terhadap degradasi RhB dilakukan hingga 3 kali dan menunjukkan hasil yang sama. Hasil foto degradasi ditunjukkan pada **Gambar 6.**



Gambar 6. Foto hasil degradasi RhB dengan variasi komposisi CaTiO₃ (0.5, 1.0, 1.5 dan 2.0 gram), lama waktu penyinaran (UV) 40 menit, dan konsentrasi RhB yang digunakan sebesar 100 mg.

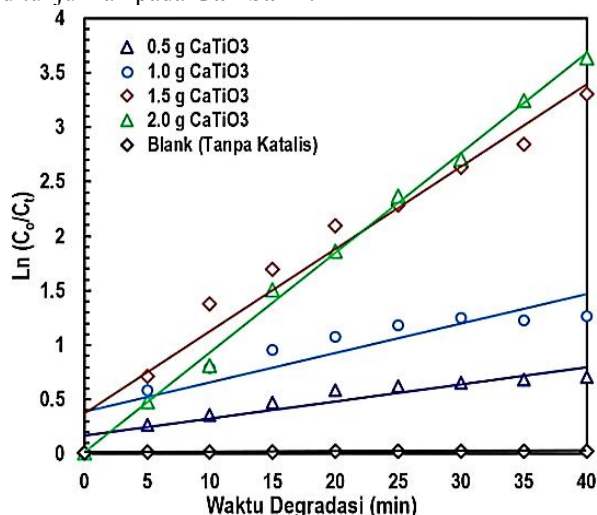
Kinetika pengaruh komposisi CaTiO₃ terhadap fotodegradasi zat pewarna RhB

Reaksi fotokatalis CaTiO₃ berlangsung dalam sistem heterogen dan laju reaksinya dipengaruhi oleh adsorpsi reaktan pada permukaan katalis. Namun, dalam penelitian ini tidak dilakukan percobaan untuk menghitung nilai K, sehingga perhitungan dilakukan dengan pendekatan sistem homogen mengikuti orde reaksi pertama (n=1). Kinetika pengaruh komposisi fotokatalis CaTiO₃ dievaluasi dengan menggunakan persamaan *Pseudo First Order*, yaitu:

$$r = \frac{-dC}{dt} = K.C^n \dots \dots \dots (2)$$

Dengan K adalah tetapan laju reaksi dan n adalah orde reaksi. Orde reaksi dan tetapan laju reaksi ditentukan dari integrasi persamaan laju reaksi menjadi persamaan linear. Sedangkan nilai K diperoleh dari kemiringan kurva yang dihasilkan. Kurva plot ln (C/C₀) terhadap

waktu degradasi RhB pada berbagai konsentrasi CaTiO₃ ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Plot ln (C₀/C_t) terhadap waktu degradasi dengan variasi dosis CaTiO₃ (0.5; 1.0; 1.5; 2.0 gram). Konsentrasi RhB yang digunakan sebesar 100mg, kecepatan pengaduk 500rpm.

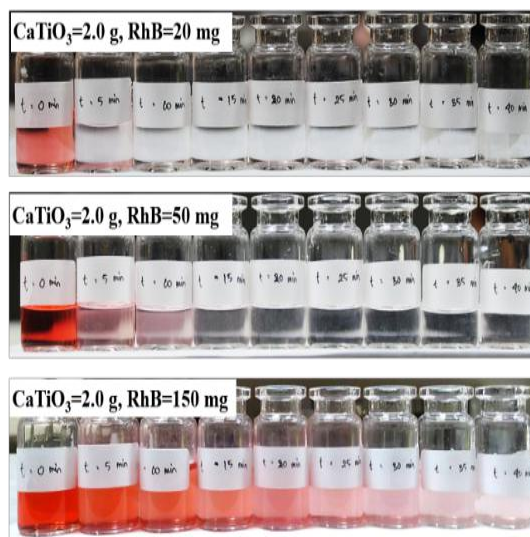
Tabel 3. Hubungan konstanta laju reaksi (K) fotodegradasi zat pewarna RhB dan komposisi CaTiO₃

Komposisi CaTiO ₃ (gram)	Konstanta laju reaksi (K) (ppm.menit ⁻¹)	R ²
0.5	0.0158	0.8717
1.0	0.0271	0.7954
1.5	0.0754	0.9644
2.0	0.0915	0.9971

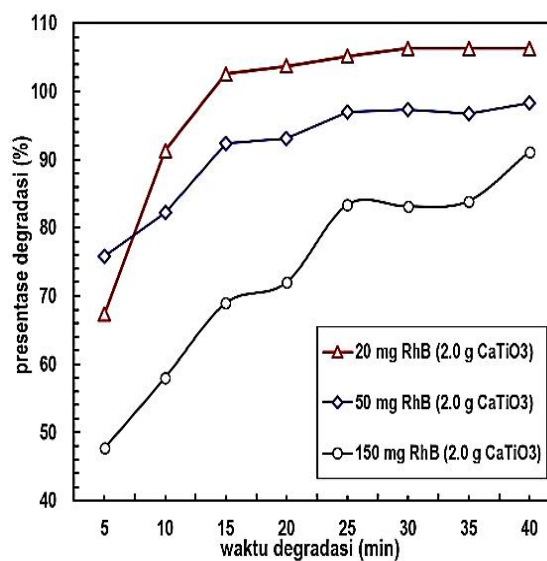
Berdasar **Tabel 3**, disimpulkan bahwa mekanisme reaksi fotodegradasi zat warna RhB pada variasi komposisi CaTiO₃ mengikuti persamaan orde reaksi pertama, karena kurva linear yang terbentuk (Gambar 3.6) memiliki nilai R² kurang dari 1. Selain itu, dapat dijelaskan bahwa peningkatan komposisi fotokatalis CaTiO₃ mengurangi penyerapan sinar yang kemudian meningkatkan adsorpsi zat pewarna ke permukaan katalis, sehingga meningkatkan laju reaksi. Diketahui bahwa laju degradasi fotokatalitik dipengaruhi oleh beberapa faktor, tidak hanya terkait untuk morfologi permukaan sampel, dan struktur zat pewarna, adsorpsi zat pewarna di permukaan CaTiO₃ dan intensitas lampu UV.

Uji pengaruh konsentrasi zat warna RhB pada presentase degradasi

Kajian konsentrasi RhB pada efisiensi fotokatalitik dievaluasi menggunakan konsentrasi 20, 50, dan 150mg dalam 200ml aquadest. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi zat pewarna, menunjukkan penurunan efisiensi degradasi. Karenanya, proses foto-oksidasi akan bekerja lebih cepat pada konsentrasi zat pewarna yang rendah. Hasil ini sesuai dengan laporan sebelumnya, bahwa fotodegradasi pewarna tekstil Reaktif menurun dengan meningkatnya konsentrasi katalis.



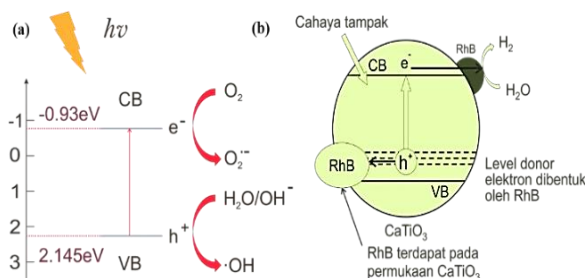
Gambar 8. Foto hasil degradasi RhB dengan variasi konsentrasi RhB (20, 50 dan 150mg), lama waktu penyinaran (UV) 40menit dan komposisi CaTiO₃ yang digunakan sebesar 2.0gram.



Gambar 9. Hubungan konsentrasi RhB dan persentase degradasi dengan lama waktu penyinaran (UV) 40menit. Komposisi CaTiO₃ sebesar 2.0gram, kecepatan pengaduk 500rpm, variasi konsentrasi RhB (20, 50 dan 150mg).

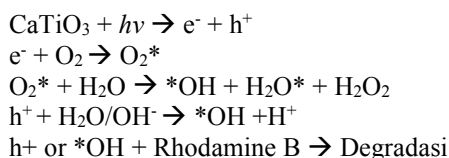
Pada konsentrasi Rhodamine B yang tinggi, larutan berwarna pekat akan kurang transparan terhadap sinar UV dan molekul zat warna dapat menyerap sejumlah besar sinar matahari yang menyebabkan lebih sedikit cahaya untuk mencapai katalis CaTiO₃, dengan demikian mengurangi pembentukan radikal OH. Karena radikal OH* sangat penting dalam menyerang molekul zat pewarna (dalam hal ini RhB), sedangkan menurunnya jumlah radikal OH* akan menyebabkan efisiensi fotodegradasi menurun.

Mekanisme fotokatalis CaTiO₃ pada degradasi Rhodamine B



Gambar 10. Mekanisme proses fotodegradasi CaTiO₃ terhadap zat warna RhB.

Atas dasar keseluruhan hasil yang diperoleh, mekanisme fotokatalis diusulkan seperti ditunjukkan pada **Gambar 10**. Ketika CaTiO₃ diradiasi dan disimulasikan dengan sinar UV, elektron CaTiO₃ bergerak dan tereksitasi dari pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB). Setelah fotoelektron yang terinduksi dari CB dapat ditransfer ke oksigen terlarut untuk membentuk radikal anion superoksida (O₂^{*}), foto elektron tersebut, kemudian berubah menjadi aktif spesies oksigen, seperti H₂O dan OH dan H₂O₂ karena potensi CB yang lebih tinggi (-0,197eV) dibandingkan O₂/H₂O (-0.046 eV), (Carp, 2004, Tussa'adah, 2015). Disisi lain, sekat yang tersisa di pita valensi (VB) CaTiO₃ bereaksi dengan air yang terserap atau gugus hidroksil permukaan (OH) menghasilkan radikal OH. Spesies radikal dan sekat pita ini memegang peranan penting pada proses degradasi RhB. Mekanisme utama proses degradasi RhB di bawah sinar UV diusulkan sebagai berikut:



KESIMPULAN

Komposit CaTiO₃ berhasil disintesa menggunakan kalsium karbonat (CaCO₃) dan titanium oksida (TiO₂) menggunakan metode *solid-state* dan proses kalsinasi, dengan bantuan fotoreaktor (sinar UV), komposit CaTiO₃ berhasil digunakan untuk mendegradasi zat pewarna RhB, yang dibuktikan dengan *photocatalyst test*. Hasil uji menunjukkan bahwa semakin besar komposisi CaTiO₃ yang ditambahkan dalam larutan RhB, maka aktifitas fotokatalitik CaTiO₃ untuk mendegradasi zat warna RhB akan semakin besar. Sedangkan, semakin tinggi konsentrasi RhB, semakin besar komposisi CaTiO₃ yang diperlukan untuk proses degradasi. Hasil optimum eksperimen diperoleh

prosentase degradasi RhB sebesar 97.37% dengan nilai tetapan laju fotodegradasi sebesar 0.0915(ppm. menit⁻¹) menggunakan komposisi CaTiO₃ 2.0gram dengan waktu degradasi yang cukup singkat 40min. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa fotokatalis berbasis material CaTiO₃ sangat efektif digunakan sebagai adsorben limbah tekstil.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan mengaplikasikan material fotokatalis berbasis komposit CaTiO₃ langsung pada limbah zat pewarna industri tekstil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis disampaikan kepada Laboratorium Pusat sentral material maju dan terbarukan Universitas Negeri Malang (UNM) untuk beberapa perangkat karakterisasi dan diskusi. Penelitian ini didanai dan didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Kalimantan (ITK), berdasarkan Surat Keterangan No: 2978/IT10.II/PPM.01/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, N.I., Sumarni W., Susatyo, E. B., **2012**. Sintesis Membran Padat Silika Abu Sekam Padi dan Aplikasinya Untuk Dekolorisasi Rhodamin B pada Limbah Cair. *Indo. J. Chem Sci*, 1(2), 164-165.
- Badan Pusat Statistik, **2018**. Pertumbuhan Produksi Industri Manufaktur Triwulan.
- Carp, Huisman, C.L., Reller, A., **2004**. Photoinduced Reactivity of Titanium Dioxide, *Prog. in Solid State Chem.*, 32, 33-177.
- Chinese National Textile and Apparel Council, **2016**. <http://www.ctei.cn/special/2016nzt/1107sznh/> [Accessed 22 Oktober 2019].
- Dong, W.; Zhao, G.; Bao, Q.; Gu, X., **2006**. Effects of morphology on the photocatalytic properties of CaTiO₃ nano/microstructures. *J. Ceram. Soc. Jpn.* 124(4), 475-479.
- Elias, Md.S., **2001**. Penyingkiran Fenol terlarut dalam air melalui fotodegradasi menggunakan Titanium Dioksida (TiO₂). *Malaysian J. Analytical Sciences*. 7(1), 1-6.
- L. Ernawati, R. A. Wahyuono, A. A. Muhammad, A. R. Nurislam Sutanto, I. K. Maharsih, N. Widiastuti, H. Widiyandari. **2019**. Mesoporous WO₃/TiO₂ Nanocomposites Photocatalyst for Rapid Degradation of Methylene Blue in Aqueous Medium. *International Journal of Engineering (IJE), IJE TRANSACTIONS A: Basics*, 32(10), 1345-1352.
- Fatimah, I.; Rahmadianti, Y.; Pudiasari, R. A., **2018**.

- Photocatalyst of perovskite CaTiO_3 nanopowder synthesized from CaO derived from snail shell in comparison with the use of CaO and CaCO_3 . *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 349, 1-7.
- Gaikwad, S. S., Borhade, A. V., Gaikwad, V. B., **2012**. A green chemistry approach for synthesis of CaTiO_3 photocatalyst: its effects on degradation of methylene blue, phytotoxicity and microbial study. *Der Pharma Chemica*. 4 (1), 184-193.
- Han, C, Yang, H, Xue, X., **2015**. Kinetics of photocatalytic degradation of methylene blue over CaTiO_3 . *J. Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 30(5),1103-1107.
- Hakim, A. R., **2015**. Profil ringkas industri tekstil dan produk tekstil di Indonesia. *Academia: 2*.
- Huang, X. Yan, X.; Fang, Y.; Min, Y.; Wu, Z.; Li, W.; Yuan, J.; Tan, L., **2014**. Synthesis of rodlike CaTiO_3 with enhanced charge separation efficiency and high photocatalytic activity. *Int. J. Electrochem. Sci.* 9, 5155-5163.
- Kanhere, P.; Chen, Z., **2014**. A review on visible light active perovskite-based photocatalysts. *Molecules*. 19, 19995-20022.
- Khalil, L.B., Mourad, W.E., Rophael, M.W., **1998**. Photocatalytic Reduction of Environmental Pollutan Methylene blue Over Some Semiconductor Under UV visible Light Illumination. *Appl. Catal. B: Environ.*, 17,267-273
- Kumar, A.; Kumar, S.; Bahuguna, A.; Kumar, A.; Sharma, V.; Krishnan, V., **2017**. Recyclable, bifunctional composites of perovskite type N-CaTiO_3 and reduced graphene oxide as an efficient adsorptive photocatalyst for environmental remediation. *Mater. Chem. Front.* 1, 2391-2404.
- Moertinah, S., Djarwanti, Sartamtomo, Yuliasuti, R, Yuliasni, R., **2010**. Peningkatan kinerja lumpur aktif dengan penambahan karbon aktif dalam pengolahan air limbah industri tekstil pewarnaan dengan zat warna indigo dan sulfur, *Jurnal Riset Industri*, 4(1), 104-112.
- Patel, H., Vashi, R. T., **2015**. Characterization and treatment of textile wastewater. Elsevier: 3-5.
- Qodri, A. A., **2011**. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG dengan Fotokatalis Komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$. Skripsi. FMIPA. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Stockle, **2014**. *Safety Data Sheet Rhodamine B (C.I.451-70)*. Darmstadt: PanReac Apply Chem. Germany.
- Sucahya, T. N.; Permatasari, N.; Nandiyanto, A. B. D, **2016**. Review: fotokatalis untuk pengolahan limbah cair. *Jurnal Integrasi Proses*. 6(1), 1-15.
- Sutanto, K., **2017**. Teknologi berbasis nanomaterial untuk remediasi dan pengolahan air,1-15.
- Tussa'adah, R.; Astuti., **2015**. Sintesis material fotokatalis TiO_2 untuk penjernihan limbah tekstil. *Jurnal Fisika Unand*. 4(1), 91-96.
- Wijaya, K., **2006**. Utilisasi TiO_2 -Zeolit dan sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *TEKNOIN*, 11(3), 199-209.
- Yan, Y.; Yang, H.; Zhao, X.; Li, R.; Wang, X., **2018**. Enhanced photocatalytic activity of surface disorder engineered CaTiO_3 . *Mater. Res. Bull.* 105, 286-290.
- Zhou, L.; Guo, X.; Lai, C.; Wang, W., **2018**. Electro photocatalytic degradation of amoxicillin using CaTiO_3 . *Open. Chem.* 16(1), 949-955.