

Perbandingan Nanopartikel TiO₂ Menggunakan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa Blimbi* L.) dan Daun Kemangi (*Ocimum Sanctum*) untuk Aplikasi Fotokatalitik

Comparison of TiO₂ Nanoparticles Using Starfruit Leaf Extract (*Averrhoa Blimbi* L.) and Basil Leaf Extract (*Ocimum Sanctum*) for Photocatalytic Applications

Firstania Diah Cahyani Putri*, Dina Kartika Maharani.

Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya
Jln. Ketintang, Surabaya 60231

ABSTRAK

Nanopartikel TiO₂ berhasil disintesis menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa blimbi* L.) dan daun kemangi (*Ocimum Sanctum*) sebagai stabilizer atau capping agent. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi nanopartikel TiO₂ dan melakukan aplikasinya sebagai fotokatalis. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), dan X-Ray Diffraction (XRD). Ukuran kristal 9,46 nm dan 10,86 nm. Menunjukkan adanya TiO₂ pada bilangan gelombang 931,23 dan 757,40 cm⁻¹ untuk daun belimbing wuluh sedangkan pada daun kemangi menunjukkan TiO₂ pada bilangan gelombang 874,59 cm⁻¹. Uji fotokatalitik zat warna metilen biru persentase degradasi sebesar 96,66%. Sedangkan pada daun kemangi mendapatkan 84%.

Kata Kunci: *Averrhoa blimbi* L., *Ocimum Sanctum*, fotokatalitik, metilen biru, TiO₂.

ABSTRACT

TiO₂ nanoparticles were successfully synthesized using starfruit leaf extract (*Averrhoa blimbi* L.) and basil leaves (*Ocimum Sanctum*) as a stabilizer or capping agent. The purpose of this study was to characterize TiO₂ nanoparticles and to apply them as photocatalysts. Characterization was carried out using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), and X-Ray Diffraction (XRD). The crystallite size was 9.46 nm and 10.86 nm. Indicates the presence of TiO₂ groups at wave numbers 931.23 and 757.40 cm⁻¹ for starfruit leaves, while basil leaves show TiO₂ groups at wave numbers 874.59 cm⁻¹. Photocatalytic test of methylene blue dye degradation percentage of 96.66%. While in basil leaves obtained 84%.

Key Words: TiO₂, leaf starfruit, leaf basil photocatalytic

PENDAHULUAN

Metilen biru banyak digunakan dalam industri karena ketersediaannya yang mudah dan harganya yang sangat murah. Zat warna metilen biru merupakan pewarna thiazine yang digunakan sebagai bahan utama pada proses pewarnaan tekstil, kulit, dan kain katun (Fastabiqul & Maharani, 2022). Selama proses pewarnaan, hanya 5% zat warna metilen biru yang digunakan; 95% sisanya dibuang. Pewarna metilen biru sangat tahan lama dan sulit terurai secara alami, sehingga menimbulkan risiko bagi lingkungan (Salsabilla & Maharani, 2023). Pewarna metilen biru tersusun atas senyawa aromatik, yang menyulitkan bahan limbah untuk terurai. Metilen biru tidak hanya berbahaya bagi lingkungan, tetapi juga beresiko bagi kesehatan manusia, dengan potensi efek seperti iritasi saluran pencernaan jika tertelan, sianosis, dan iritasi kulit jika terhirup. Metilen biru bersifat mutagenik dan karsinogenik, artinya dapat dapat memicu kanker

dan berbahaya bagi organisme hidup. (Zeebaree *et al.*, 2022). Gambar tersebut menggambarkan senyawa yang sangat sederhana menggunakan foton dan sinar ultraviolet (UV) melalui pemecahan senyawa organik (ayu *et al.* 2015). Metode ini lebih mudah dan aman bagi lingkungan untuk mengubah senyawa kompleks zat warna (Saba, 2019). Proses fotodegradasi memerlukan katalis yang umumnya merupakan bahan semikonduktor seperti titanium dioksida (TiO₂). TiO₂ merupakan bahan oksida yang memiliki keunggulan, seperti sifat optik yang superior, aktivitas fotokatalitik yang sangat efektif, superhidrofilisitas, ramah lingkungan serta stabilitas mekanis yang tinggi (Wu F *et al.*, 2015). Fotokatalis digunakan untuk mempercepat reaksi kimia dengan bantuan cahaya (UV). Nanomaterial adalah material yang partikelnya berada pada skala nano, antara ukuran 1 dan 100 nm. Nanopartikel menarik karena memiliki karakter unik, seperti ukuran yang sangat kecil, rasio luas permukaan

*Alamat korespondensi: firstaniadiah@gmail.com

Tanggal dikirim: 21-10-24; direvisi: 17-12-24; diterima: 24-12-24

terhadap volume yang tinggi, kemampuan untuk modifikasi permukaannya, dan sifat-sifat yang dipengaruhi oleh ukurannya. Karena efektivitas biayanya, pendekatan sintesis hijau ini telah mendapat perhatian luas (Nakata & Fujishima, 2012).

Secara biologis, nanopartikel hasil sintesis memiliki aktivitas antibakteri, antijamur, fotokatalitik, dan fotokimia. Fokus pada sintesis hijau dengan menggunakan ekstrak tanaman, dimungkinkan untuk menghasilkan nanopartikel yang sangat stabil dengan ukuran dan bentuk yang diinginkan. (Arutanti, 2009). Penggunaan ekstrak tumbuhan merupakan salah satu alternatif dalam sintesis nanomaterial yang ramah lingkungan dan memiliki keunggulan seperti ketersediaan yang melimpah, murah, mudah, serta mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder yang mampu berperan sebagai stabilisator atau capping agent dan stabilizer dalam sintesis nanopartikel (Melysa & Syarif, 2017). Karena hemat biaya, pendekatan fusi hijau ini telah menarik perhatian luas. Dari sudut pandang biologis, nanopartikel yang disintesis memiliki aktivitas antibakteri, antijamur, fotokatalitik, dan fotokimia. Salah satu bahan nanopartikel yang saat ini menarik perhatian para peneliti untuk sintesis hijau dari ekstrak tumbuhan adalah TiO₂. TiO₂ termasuk material oksida yang memiliki kelebihan seperti karakteristik optik yang sangat baik, aktivitas fotokatalis yang memuaskan, ultra-hidrolik, ramah lingkungan, stabilitas mekanik yang besar (Sethy *et al*, 2020). Belimbing wuluh (*Averrhoa Blimbi* L.) dan kemangi (*Ocimum sanctum*) termasuk jenis tanaman yang umum di aplikasikan pada pengobatan tradisional. Daun dan buah tanaman belimbing dan kemangi banyak di aplikasikan untuk mengatasi berbagai macam penyakit seperti antioksidan, anti-inflamasi, obat cacing, batuk, diabetes, rematik, sakit gigi, tekanan darah tinggi, jerawat, gusi berdarah, dan panu (Rahmawati & Silaban, 2021). Daun belimbing wuluh dan daun kemangi mengandung senyawa-senyawa seperti flavonoid, fenol, saponin, alkaloid, tanin, dan protein (Setyawan & Nareswari, 2021). Senyawa metabolit sekunder yang berperan besar dalam sintesis material adalah flavonoid, terpenoid, alkaloid, dan protein (Fastabiqul & Maharani, 2022). Senyawa metabolit sekunder yang terkandung

dalam ekstrak berperan sebagai reduktor dan stabilisator dari nanopartikel yang terbentuk. Dari sekian banyak senyawa yang terkandung dalam ekstrak tumbuhan, sebagian besar peneliti menyebutkan bahwa senyawa yang paling berperan dalam sintesis oksida logam adalah flavonoid . Karena flavonoid dapat mengkelat atau menyerap ion logam dan mereduksinya menjadi nanopartikel (Shofa, 2021). Berdasarkan landasan tersebut, dalam penelitian ini dilakukan *green synthesis* menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh yang di aplikasikan dalam pembuatan nanopartikel TiO₂ untuk mendegradasi zat warna metilen biru. Diharapkan nanopartikel TiO₂ menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh ini dapat diaplikasikan untuk mendegradasi zat warna metilen biru dengan baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan daun belimbing wuluh (*Averrhoa blimbi* L.), TTIP (titanium-isopropoxide) (97%), aqua demineralisasi, dan larutan metilen biru.

a. Pembuatan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa Blimbi* L.)

Daun belimbing wuluh dibilas bersih menggunakan aquades, di oven sampai kering pada suhu 60°C dan ditumbuk hingga menjadi bubuk halus. Kemudian, bubuk daun sebanyak 10 gram ditambahkan 1000 ml air suling dan dipanaskan selama 30 menit.pada suhu 80°C (Siregar *et al.*, 2023).

b. Pembuatan ekstrak daun kemangi (*Ocimum sanctum*)

Daun kemangi dibilas bersih menggunakan aquades. di oven sampai kering pada suhu 60°C dan dihaluskan menjadi bubuk halus. Daun yang berbentuk serbuk tersebut disimpan dalam wadah tertutup. Kemudian, serbuk sebanyak 500 g diletakkan dalam gelas kimia dan ditambahkan air suling sebanyak 2500 ml dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 30 menit (Siregar *et al.*, 2023).

c. Sintesis nanopartikel TiO₂ menggunakan ekstrak daun kemangi(*Ocimum sanctum*)

Larutan TTIP 5 mM sebanyak 1500 mL ditambahkan larutan ekstrak daun kemangi sebanyak 1500 mL di stirer hingga homogen. Kemudian disentrifugasi pada kecepatan 9000 rpm selama 10 menit. , larutan akan

terpisah dari presipitat, kemudian presipitat akan dikeringkan dalam oven hingga kering dan berubah warna menjadi kecokelatan. Serbuk yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu berkisar 570°C selama 3 jam (Sethy *et al.*, 2020)

d. Sintesis nanopartikel TiO₂ menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh

TTIP (titanium-isopropoxide), merupakan prekursor yang digunakan untuk membuat nanopartikel TiO₂. Sebanyak 2 mL TTIP dilarutkan dalam 100 mL akuades. Sebanyak 40 mL ekstrak daun belimbing wuluh lalu dimasukkan ke dalam campuran tersebut. Setelah itu, larutan distirer pada suhu 60 °C lalu

didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Setelah dingin, larutan akan disentrifugasi kecepatan 6000 rpm selama 20 menit. Pada proses sentrifugasi, larutan akan terpisah dari presipitat, kemudian presipitat akan dikeringkan dalam oven hingga kering dan berubah warna menjadi kecokelatan. Setelah itu, serbuk akan dikalsinasi. Serbuk yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu berkisar 550°C selama 3 jam untuk menghilangkan gugus organik yang berlebih (Verma *et al.*, 2022)



Gambar 1. Proses sintesis TiO₂

HASIL DAN PEMBAHASAN

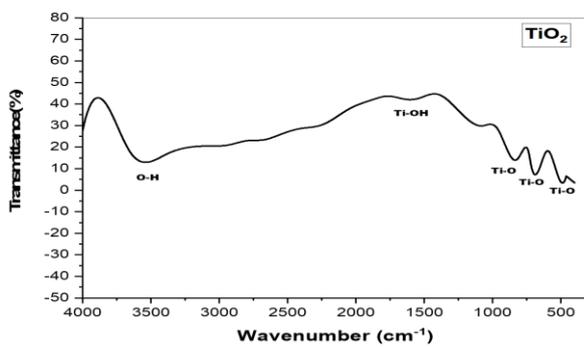
Nanopartikel TiO₂ dalam penelitian ini disiapkan dengan metode sintesis hijau atau metode biosintesis menggunakan ekstrak daun belimbing sebagai bioreduktor. Dalam uji fitokimia menunjukkan bahwa daun belimbing wuluh mengandung senyawa flavonoid yang berfungsi sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam pembentukan nanopartikel TiO₂. Gambar 1 menunjukkan perubahan warna pada sintesis nanopartikel TiO₂. Perubahan warna menjadi jingga menunjukkan bahwa nanopartikel TiO₂ terbentuk yang berarti terjadi proses reduksi. Fourier Transformed Infrared Analysis (FT-IR)

Berdasarkan Gambar 2 dan 3 hasil analisis pada TiO₂ menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh terdapat gugus fungsi OH- yang

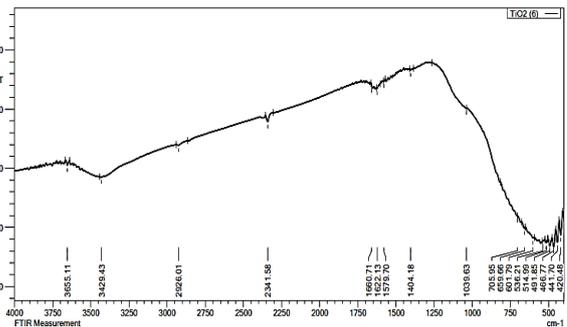
ditunjukkan dengan bilangan gelombang 4000-3000 cm⁻¹, sementara itu pada bilangan gelombang 1690-1620 cm⁻¹ terlihat munculnya puncak serapan ikatan vibrasi ulur O-H yang berasosiasi dengan atom Ti (Ti-OH). Selanjutnya bilangan gelombang 500-900 cm⁻¹ menunjukkan adanya ikatan vibrasi Ti-O yang merupakan ciri khas TiO₂. Pada spektrum FTIR nanopartikel TiO₂ tampak gugus Ti-O yang memiliki vibrasi khas TiO₂ yang tampak pada bilangan gelombang 990-550 cm⁻¹ (Nguyen *et al.*, 2022). Bilangan gelombang 1690-1628 cm⁻¹ mengindikasikan puncak serapan ikatan vibrasi ulur O-H yang berasosiasi dengan atom Ti (Ti-OH). Kemunculan ikatan vibrasi O-H ini menandakan adanya molekul air pada sampel nanopartikel TiO₂. Kehadiran molekul air tersebut berasal dari penggunaan air suling sebagai pelarut dalam proses sintesisnya.

Tabel 1. Gugus Fungsi Nanopartikel TiO₂

Sampel	Gugus Fungsional	Kisaran	Bilangan Gelombang(cm ⁻¹)
TiO ₂ - daun belimbing wuluh	O-H	4000-3000	3693
	Ti-OH	1690-1628	1626
	Ti-O	990-550	931 757
	O-H	4000-3000	3480
TiO ₂ - daun kemangi	C-H	1470-1340	1416
	Ti-O	990-550	874
			744



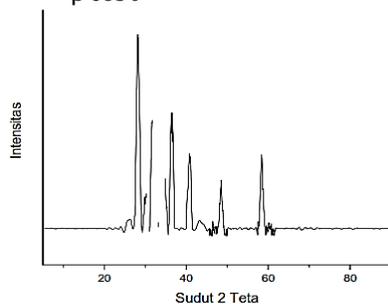
Gambar 2. Spektrum FTIR daun belimbing wuluh



Gambar 3. Spektrum FTIR daun kemangi

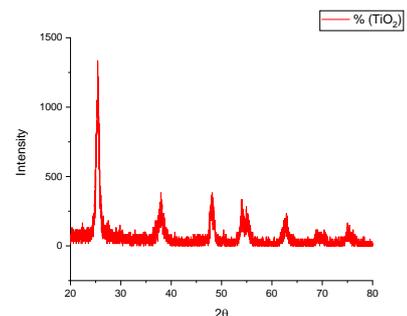
Berdasarkan Gambar 4 dan 5 Analisis derajat kristalinitas pada nanopartikel TiO₂ bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan ekstrak daun belimbing wuluh dan daun kemangi terhadap kristalinitas nanopartikel TiO₂. Derajat kristalinitas merupakan besaran yang menyatakan nilai kristal yang terkandung dalam material. Besar kecilnya kristal tidak bergantung pada kristalinitas sampel. Besar kecilnya kristal nanopartikel TiO₂ yang diperoleh dari metode sintesis hijau dihitung dengan persamaan Debye Scherrer (Persamaan 1):

$$D = \frac{k \times l}{\beta \cos \theta} \tag{1}$$



Gambar 4. Spektra XRD TiO₂ daun kemangi

Dari persamaan di atas, diperoleh rata-rata ukuran kristal nanopartikel TiO₂ daun belimbing wuluh sebesar 9,46 nm, pada daun kemangi memiliki ukuran kristal sebesar 10,86 nm. Pada kedua spektrum memiliki puncak pada daun kemangi 2θ= 27,6° yang termasuk puncak khas rutil dan pada daun belimbing wuluh 2θ= 25,9° termasuk puncak khas anatase.



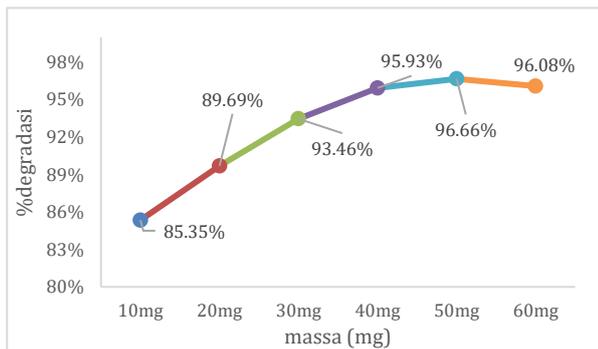
Gambar 5. Spektra XRD TiO₂ daun belimbing wuluh

Karakterisasi selanjutnya merupakan pengujian aktivitas fotokatalitik.

Variasi Massa

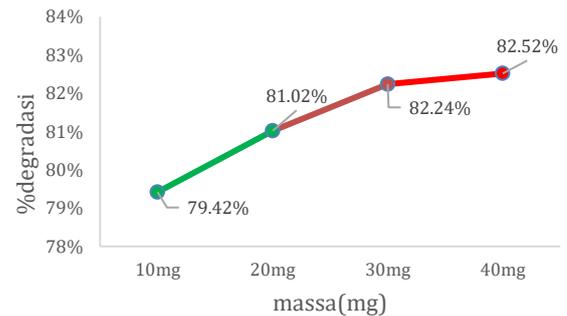
1. TiO₂- daun belimbing wuluh

Pada Gambar 6 variasi massa digunakan untuk menguji aktivitas fotokatalis yang mampu menguraikan metilen biru menggunakan cahaya lampu UV. Waktu penyinaran diukur dengan menambahkan 30 ml metilen biru berkonsentrasi 10 ppm dan diaduk dengan pengaduk magnetik dengan waktu penyinaran UV selama 80 menit, serta variasi massa fotokatalis sebanyak 10, 20, 30, 40 mg yang dilakukan sebanyak 3 kali. Berdasarkan data grafik, persentase degradasi metilen biru naik bersamaan dengan peningkatan massa katalis yang digunakan untuk menguraikan metilen biru. Laju degradasi optimal dalam penelitian ini adalah massa katalis 50 mg, dengan laju degradasi sebesar 96,66%.



2. TiO₂- daun kemangi

Pada Gambar 7 Waktu penyinaran diukur dengan menambahkan 30 ml metilen biru berkonsentrasi 10 ppm dan diaduk dengan pengaduk magnetik dengan waktu penyinaran UV selama 80 menit, serta variasi massa fotokatalis sebanyak 10, 20, 30, dan 40 yang dilakukan sebanyak 3 kali. Berdasarkan data grafik, persentase degradasi metilen biru naik bersamaan dengan peningkatan massa katalis yang digunakan untuk menguraikan metilen biru. Laju degradasi optimal dalam penelitian ini adalah massa katalis 40 mg, dengan laju degradasi sebesar 86,96%.



Gambar 7. Grafik aktivitas TiO₂ daun kemangi

Menurut data diatas, semakin banyak massa katalis yang digunakan maka akan semakin tinggi % degradasinya, karena semakin banyak OH radikal ($\cdot\text{OH}$) yang terbentuk maka jumlah molekul zat warna yang terdegradasi akan semakin banyak atau meningkat. Namun, pada massa katalis 60 mg dan 40 mg terjadi sedikit penurunan disebabkan karena jumlah katalis yang berlebih dapat mengakibatkan kekeruhan pada larutan zat warna sehingga menyebabkan penumpukan partikel-partikel fotokatalis yang dapat menghambat sinar UV ke permukaan aktif fotokatalis yang dapat mengurangi reaksi fotodegradasi. Pembentukan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) yang terbentuk juga menjadi sedikit, dikarenakan persen penurunan intensitas zat warna juga ikut menurun (Setiawan, 2023). Penurunan persen degradasi terjadi karena katalis mengalami kejenuhan dalam mengadsorpsi zat warna (Anggarayanti et al., 2016).

Dari data diatas dapat dilihat bahwa TiO₂ dari ekstrak daun belimbing wuluh mempunyai ukuran kristal lebih kecil dan aktivitas fotokatalitik yang lebih optimal dibandingkan dengan TiO₂ ekstrak daun kemangi menggunakan variasi perbedaan fasa akan mempengaruhi aktivitas fotokatalitiknya. Pada penelitian ini, fasa rutil akan lebih reaktif untuk menghasilkan pasangan electron-hole untuk reaksi redoks dikarenakan mempunyai energi bandgap yang lebih rendah dibandingkan dengan anatase. Dengan munculnya fasa anatase dapat mempertahankan pasangan elektron-hole yang membentuk radikal $\bullet\text{OH}$ yang berfungsi untuk mendegradasi metilen biru (Arnanto, 2015).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian sintesis hijau nanopartikel TiO₂ menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh dan daun kemangi dapat disimpulkan bahwa karakterisasi nanopartikel TiO₂ menunjukkan bahwa dari hasil sintesis hijau nanopartikel TiO₂ memiliki ukuran kristal 9,46 nm dan 10,86 nm memiliki fase antase dan rutil. Nanopartikel TiO₂ efektif dalam peran fotokatalis sebab berkemampuan mendegradasi zat warna metilen biru. Pada variasi massa, persentase degradasi tertinggi terdapat pada ekstrak daun belimbing wuluh yaitu sebesar 96%. Sementara untuk ekstrak daun kemangi persentase degradasi tertinggi yaitu sebesar 84%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Universitas Negeri Surabaya yang memberi fasilitas pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarayanti, N. L. E., Simpen, I. N., & Suastuti, N. G. A. M. A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Cr₂O₃ serta Pemanfaatannya Sebagai Fotokatalis Dalam Mendegradasi Zat Warna Remazol Brilliant Orange.10.
- Arutanti, O. 2009. Penjernihan Air dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO₂) Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis. *Nanosains & Nanoteknologi*, ISSN 1979-0880, 4.
- Arnanto, Mulia Cahya, 2015. Sintesis TiO₂ Dari TiCl₄ Menggunakan Ekstrak Akar Morinda Citrifolia Sebagai Cetakan Dan Uji Fotokatalisisnya Untuk Menguraikan Metil Orange. Universitas Negeri Jakarta.
- Ayu, I. G., Saraswati, A., Diantariani, N. P., & Suarya, P. 2015. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV). 175-182.
- Rhamdiyah, Fastabiqul & Maharani, Dina. (2022). Biosynthesis of ZnO Nanoparticles from Aqueous Extract of Moringa Oleifera L.: Its Application as Antibacterial and Photocatalyst. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11 (2).
- Melysa, Dr Abrar, & Syarif, H. D. G. (2017). Green Synthesis dan Karakterisasi Fotokatalitik Nanopartikel ZnO. *E-Proceeding of Engineering*, 4(1), 681-689.
- Nakata, K., & Fujishima, A. (2012). TiO₂ Photocatalysis: Design and Applications. *In Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 13(3), pp.169-189).
- <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.06.001>
- Nguyen, T. H., Hoang, N. H., Van Tran, C., Nguyen, P. T. M., Dang, T. D., Chung, W. J., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Senthil Kumar, P., & La, D. D. (2022). Green Synthesis Of A Photocatalyst Ag/TiO₂ Nanocomposite Using Cleistocalyx Operculatus Leaf Extract For Degradation Of Organic Dyes. *Chemosphere*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135474>
- Saba, A. K. 2019. Green Synthesis SnO₂NPs dengan Ekstrak Daun Bayam Merah (*Amaranthus tricolor* L.) untuk Aplikasi Fotodegradasi Zat Warna Bromophenol Blue. Universitas Islam Indonesia.
- Salsabilla, Safira & Maharani, Dina. (2023). Green Synthesis, Characterization, Photocatalytic Activity Of ZnO/TiO₂ Nanocomposite From Carica Papaya Leaves. *Jurnal Kimia Riset*, 8(1).
- Sethy, N. K., Arif, Z., Mishra, P. K., & Kumar, P. (2020). Green Synthesis of TiO₂ Nanoparticles from Syzygium Cumini Extract for Photo-Catalytic Removal of Lead (Pb) In Explosive Industrial Wastewater. *Green Processing and Synthesis*, 9(1), 171-181. <https://doi.org/10.1515/gps-2020-0018>
- Setiawan, Pratama Agie (2017). Penentuan Massa Katalis, Lama Penyinaran Dan Konsentrasi Zat Warna Optimum Dalam Fotodegradasi Methyl Violet Menggunakan Fotokatalis TiO₂/Zeolit. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Setyawan, H. Y., Sukardi, S., & Nareswari, B. F. (2021). The Phytochemical Potential Of Averrhoa Bilimbi-A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1).
- Shofa, A. (2021). Green Synthesis SnO₂NPs Dengan Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia catappa*) Sebagai Bioreduktor Untuk Aplikasi Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. Universitas Sriwijaya.
- Verma, V., Al-Dossari, M., Singh, J., Rawat, M., Kordy, M. G. M., & Shaban, M. (2022). A Review on Green Synthesis of TiO₂ NPs: Photocatalysis and Antimicrobial Applications. *Polymers*, 14(7), 1-19. <https://doi.org/10.3390/polym14071444>
- Wu, F., Liu, W., Qiu, J., Li, J., Zhou, W., Fang, Y., Zhang, S., & Li, X. (2015). Enhanced Photocatalytic Degradation and Adsorption of Methylene Blue Via TiO₂ Nanocrystals Supported on Graphene-Like Bamboo Charcoal. *Applied Surface Science*, 358,425-435. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.08.161>
- Yaseen Sharaf Zeebaree, A., Yaseen Sharaf Zeebaree, S., Rashid, R. F., Ismail Haji Zebari, O., Albarwry, A. J. S., Ali, A. F., & Yaseen Sharaf Zebari, A. (2022). Sustainable engineering of plant-synthesized TiO₂ nanocatalysts: Diagnosis, properties and their photocatalytic performance in removing of methylene blue dye from effluent. A review. *In Current Research in Green and Sustainable Chemistry* (Vol. 5). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100312>