

**VALORISASI KULIT BUAH NAGA UNTUK *GREEN SYNTHESIS*
NANOKOMPOSIT TiO₂-BIOCHAR SEBAGAI FOTOKATALIS
DEGRADASI PARASETAMOL**

SKRIPSI

diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Program Studi Kimia



Disusun oleh:

Aulia Ajizah Triputri

2100992

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2025

**VALORISASI KULIT BUAH NAGA UNTUK *GREEN SYNTHESIS*
NANOKOMPOSIT TiO₂-BIOCHAR SEBAGAI FOTOKATALIS
DEGRADASI PARASETAMOL**

Oleh
Aulia Ajizah Triputri

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana
Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam

©Aulia Ajizah Triputri 2025
Universitas Pendidikan Indonesia
September 2025

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aulia Ajizah Triputri

NIM : 2100992

Program Studi : Kimia

Judul Karya : VALORISASI KULIT BUAH NAGA UNTUK *GREEN SYNTHESIS* NANOKOMPOSIT TiO_2 -BIOCHAR SEBAGAI FOTOKATALIS DEGRADASI PARASETAMOL

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, 15 Agustus 2025



(Aulia Ajizah Triputri)

LEMBAR PENGESAHAN

AULIA AJIZAH TRIPUTRI

**VALORISASI KULIT BUAH NAGA UNTUK *GREEN SYNTHESIS*
NANOKOMPOSIT TiO_2 -BIOCHAR SEBAGAI FOTOKATALIS DEGRADASI
PARASETAMOL**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Prof. Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D.

NIP. 197806282001122001

Pembimbing II



Dr. Khoiriah, S.Si.

NIP. 199110052023212033

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia FPMIPA UPI



Prof. Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D.

NIP. 197806282001122001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Valorisasi Kulit Buah Naga untuk *Green Synthesis* Nanokomposit TiO₂-Biochar sebagai Fotokatalis Degradasi Parasetamol”** dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya pemanfaatan limbah biomassa, khususnya kulit buah naga, sebagai bahan baku ramah lingkungan untuk sintesis material fotokatalis yang berpotensi mengatasi permasalahan pencemaran air akibat senyawa farmasi seperti parasetamol.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bagi penelitian di masa mendatang.

Bandung, 15 Agustus 2025

Penulis

Aulia Ajizah Triputri

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa pencapaian ini tidak mungkin terwujud tanpa doa, dukungan, dan bimbingan dari banyak pihak yang dengan tulus memberikan waktu, tenaga, dan perhatian. Sehingga dengan rasa hormat dan penuh syukur, penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Allah SWT., atas segala rahmat, karunia, serta pertolongan-Nya yang tiada henti, yang selalu melimpah dan membimbing penulis dalam setiap langkah hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Alm. Bapak Edi Suhaedi dan Ibu Emil Masmilah, orang tua tercinta, sumber kekuatan dan cahaya dalam setiap langkah hidup penulis. Terima kasih yang tak terhingga atas doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tiada batas, dan pengorbanan yang tak ternilai. Meskipun Bapak tidak dapat menemani penulis hingga akhir perjalanan ini, setiap langkah yang penulis tempuh selalu dipenuhi dengan semangat, nilai, dan teladan yang Bapak tanamkan. Kepada Ibu, penulis sampaikan penghargaan tulus atas ketabahan, kesabaran, dan cinta yang selalu menjadi tumpuan serta kekuatan bagi keluarga. Keberhasilan ini penulis persembahkan sepenuh hati sebagai wujud rasa hormat, cinta, dan terima kasih yang mendalam kepada Bapak dan Ibu.
3. Ibu Prof. Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Kimia FPMIPA UPI, Dosen Pembimbing I, sekaligus Dosen Pembimbing Akademik, yang dengan penuh kesabaran, ketelitian, dan perhatian telah membimbing penulis sejak tahap perencanaan, pelaksanaan penelitian, hingga penyusunan laporan akhir. Arahkan, motivasi, dan dedikasi yang diberikan tidak hanya memperkaya pengetahuan akademik, tetapi juga menanamkan sikap disiplin, ketekunan, dan rasa tanggung jawab yang akan menjadi bekal berharga sepanjang perjalanan hidup penulis.
4. Ibu Dr. Khoiriah, S.Si., selaku Dosen Pembimbing II, yang senantiasa memberikan bimbingan, pengawasan, serta masukan konstruktif yang

membangun, bahkan di saat penulis menghadapi kesulitan. Ketelatenan, kesabaran, dan dorongan positif yang diberikan menjadi sumber inspirasi dan kekuatan bagi penulis untuk terus maju hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

5. Seluruh dosen Program Studi Kimia UPI serta staf laboratorium, yang telah memberikan bekal ilmu, bimbingan, bantuan teknis, dan fasilitas yang sangat berharga selama masa studi dan penelitian. Ilmu, arahan, dan bantuan yang diberikan akan selalu menjadi bekal berharga dalam perjalanan hidup dan karier penulis.
6. Andhika dan Andhiny, kakak-kakak yang selalu hadir dengan tulus dan penuh kasih, menjadi pelindung serta penopang di saat penulis membutuhkan arahan, kekuatan, dan pengorbanan tanpa batas demi kebahagiaan dan kesuksesan penulis. Hasby, adik yang dengan pengertian dan kesabaran menyesuaikan diri menjadi lebih dewasa demi memberikan ruang dan dukungan. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas doa, semangat, pengorbanan, dan kasih sayang yang telah diberikan, yang menjadi sumber kekuatan serta dorongan tak ternilai dalam setiap langkah perjalanan hidup penulis.
7. Pramita, Raisa, Reka, Vera, Rianna, Ida, dan Yosefani, sahabat seperjuangan yang selalu hadir dengan semangat, kebersamaan, dan keceriaan yang meringankan beban selama studi dan penelitian. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan, tawa, dan kekuatan yang menjadi sumber motivasi di saat tersulit.
8. Dosi, Siska, Dita, Vina, Lala, dan Nelly, rekan tim penelitian BRIN Serpong, yang dengan penuh dedikasi dan kesungguhan telah membantu pelaksanaan eksperimen, berbagi pengetahuan, serta memberikan dukungan selama proses penelitian. Penulis sangat menghargai setiap kontribusi dan kerja sama yang menjadi pendorong utama keberhasilan penelitian ini.
9. Seluruh anggota Tim Riset Prof. Fitri Khoerunnisa, yang telah memberikan dukungan dan bantuan yang sangat berarti selama penyusunan skripsi ini.

10. Teman-teman Kimia D 2021, yang telah menemani penulis sepanjang perjalanan perkuliahan.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah dengan tulus membantu, mendukung, dan mendoakan penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dan berlipat ganda, serta menjadi kebaikan yang terus mengalir di masa mendatang.

ABSTRAK

Parasetamol banyak ditemukan di perairan karena penggunaannya yang luas dan pembuangan yang kurang tepat, sehingga berpotensi menimbulkan dampak toksik bagi organisme akuatik. Fotokatalisis berbasis TiO_2 dikenal efektif dalam mendegradasi polutan organik, namun keterbatasan seperti celah energi yang lebar dan kecenderungan partikel untuk beraglomerasi membuat kinerjanya kurang optimal. Dalam penelitian ini dikembangkan nanokomposit TiO_2 -Biochar melalui metode sol-gel dengan pendekatan *green synthesis*, menggunakan kulit buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) sebagai prekursor biochar sekaligus capping agent alami yang mengandung senyawa bioaktif. Material yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dengan berbagai teknik seperti XRD, FTIR, UV-DRS, PSA, dan BET untuk mempelajari struktur, morfologi, sifat optik, serta luas permukaannya. Hasil sintesis menunjukkan bahwa penambahan biochar mampu menurunkan ukuran kristal, mempersempit band gap, memperkecil ukuran partikel, serta meningkatkan luas permukaan spesifik dibandingkan TiO_2 murni. Dalam uji fotodegradasi limbah parasetamol di bawah penyinaran UV-C, nanokomposit TiO_2 -Biochar menunjukkan efisiensi degradasi yang lebih tinggi dibandingkan TiO_2 murni, serta memiliki kestabilan yang baik dalam beberapa siklus penggunaan. Selain itu, pengujian TOC mengindikasikan tingkat mineralisasi yang lebih besar, menandakan kemampuan katalis ini untuk benar-benar menghancurkan senyawa organik menjadi produk akhir yang lebih sederhana. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa nanokomposit TiO_2 -Biochar berbasis kulit buah naga berpotensi sebagai fotokatalis ramah lingkungan untuk pengolahan limbah farmasi secara berkelanjutan.

Kata Kunci: TiO_2 -biochar, kulit buah naga, fotokatalisis, parasetamol, *green synthesis*.

ABSTRACT

*Paracetamol is frequently detected in aquatic environments due to its widespread use and improper disposal, which can potentially cause toxic effects on aquatic organisms. TiO₂-based photocatalysis is known to be effective in degrading organic pollutants, but limitations such as a wide band gap and particle agglomeration reduce its performance. In this study, a TiO₂-Biochar nanocomposite was developed using the sol-gel method with a green synthesis approach, employing dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*) as the biochar precursor as well as a natural capping agent containing bioactive compounds. The resulting material was characterized using various techniques including XRD, FTIR, UV-DRS, PSA, and BET to investigate its structure, morphology, optical properties, and surface area. The synthesis results revealed that the incorporation of biochar reduced crystal size, narrowed the band gap, decreased particle size, and increased the specific surface area compared to pure TiO₂. In photocatalytic tests for paracetamol wastewater under UV-C irradiation, the TiO₂-Biochar nanocomposite exhibited higher degradation efficiency than pure TiO₂, while maintaining good stability over multiple reuse cycles. Furthermore, TOC analysis indicated a higher degree of mineralization, demonstrating the catalyst's ability to completely break down organic compounds into simpler end products. Overall, the findings highlight that the TiO₂-Biochar nanocomposite derived from dragon fruit peel has strong potential as an eco-friendly photocatalyst for sustainable treatment of pharmaceutical wastewater.*

Keywords: *TiO₂-biochar, dragon fruit peel, photocatalysis, paracetamol, green synthesis.*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Pembatasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kulit Buah Naga	4
2.2 Nanopartikel TiO ₂	4
2.3 Biochar	5
2.4 Nanokomposit TiO ₂ -Biochar	5
2.5 Fotokatalisis	6
2.6 <i>Green Synthesis</i>	7
2.7 Parasetamol	7
BAB III METODE PENELITIAN	9
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Penelitian	10
3.3.1 Ekstraksi Kulit Buah Naga	10

3.3.2	Sintesis TiO ₂	10
3.3.3	Sintesis Biochar.....	10
3.3.4	Sintesis Nanokomposit TiO ₂ -Biochar	10
3.3.5	Uji Kinerja Katalis	10
BAB IV PEMBAHASAN.....		12
4.1	Penentuan Senyawa Metabolit Sekunder dalam Ekstrak dengan GC-MS	12
4.2	Sintesis Nanopartikel TiO ₂	12
4.3	Sintesis Biochar.....	13
4.4	Sintesis Nanokomposit TiO ₂ -Biochar	13
4.5	Karakterisasi.....	13
4.6.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	13
4.6.2	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	14
4.6.3	<i>Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	14
4.6.4	<i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	15
4.6.5	Brunauer-Emmett-Teller (BET)	15
4.6	Uji Kinerja Nanokomposit TiO ₂ -Biochar dalam Fotodegradasi Parasetamol.....	15
4.7	Analisis Reusabilitas Katalis TiO ₂ -Biochar	16
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		17
5.1.	Kesimpulan	17
5.2	Saran.....	17
DAFTAR PUSTAKA.....		18
LAMPIRAN.....		22
Lampiran 1. Perhitungan Pembuatan Larutan Induk, Deret Standar, dan Pengenceran Parasetamol		22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buah naga berdaging merah (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) (Amaliya et al., 2020)	4
Gambar 2.2 Fungsi Biochar (Cha et al., 2016)	5
Gambar 2.3 Mekanisme Fotokatalisis pada nanokomposit TiO ₂ -Biochar (Chandra et al., 2021).....	7

DAFTAR SINGKATAN

BET = Brunauer-Emmet-Teller

FTIR = Fourier-Transform Infrared

GC-MS = Gas Chromatography-Mass Spectrometry

PSA = Particle Size Analyzer

TiO₂ = Titanium dioksida

TiO₂-Biochar = Nanokomposit titanium dioksida-biochar

TOC = Total Organic Carbon

TTIP = titanium isopropoksida

UV-Vis DRS = Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy

XRD = X-Ray Diffraction

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Saifullah, Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.06.006>
- Akakuru, O. U. (2014). Nanoparticles: Properties and applications. *Functional Materials: For Energy, Sustainable Development and Biomedical Sciences*, 101–120. <https://doi.org/10.1515/9783110307825.101>
- Al-Nuaim, M. A., Alwasiti, A. A., & Shnain, Z. Y. (2023). The photocatalytic process in the treatment of polluted water. *Chemical Papers*, 77(2), 677–701. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02468-7>
- Amaliya, A., Firdaus, R. T., & Rusminah, N. (2020). Natural pigment of red-fleshed Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) as dental plaque disclosing agent- A preliminary study. *Istanbul Journal of Pharmacy*, 50(3), 256–261. <https://doi.org/10.26650/istanbuljpharm.2019.0066>
- Ayoub, S. S. (2021). Paracetamol (acetaminophen): A familiar drug with an unexplained mechanism of action. *Temperature*, 8(4), 351–371. <https://doi.org/10.1080/23328940.2021.1886392>
- Bai, J., Wang, R., Li, Y., Tang, Y., Zeng, Q., Xia, L., Li, X., Li, J., Li, C., & Zhou, B. (2016). A solar light driven dual photoelectrode photocatalytic fuel cell (PFC) for simultaneous wastewater treatment and electricity generation. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 311). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.052>
- Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C., & Park, Y. K. (2016). Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 40, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>
- Chakravorty, A., & Roy, S. (2024). A review of photocatalysis, basic principles, processes, and materials. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 8(September). <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100155>
- Chandra, S., Jagdale, P., Medha, I., Tiwari, A. K., Bartoli, M., De Nino, A., & Olivito, F. (2021). Biochar-supported tio2-based nanocomposites for the photocatalytic degradation of sulfamethoxazole in water—a review. *Toxics*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/toxics9110313>
- Chang, C., Rad, S., Gan, L., Li, Z., Dai, J., & Shahab, A. (2023). Review of the sol-gel method in preparing nano TiO₂ for advanced oxidation process. *Nanotechnology Reviews*, 12(1). <https://doi.org/10.1515/ntrev-2023-0150>
- Chen, D., Cheng, Y., Zhou, N., Chen, P., Wang, Y., Li, K., Huo, S., Cheng, P., Peng, P., Zhang, R., Wang, L., Liu, H., Liu, Y., & Ruan, R. (2020). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO₂-based

- photocatalysts: A review. *Journal of Cleaner Production*, 268, 121725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121725>
- Değermenci, G. D., Değermenci, N., Ayvaoğlu, V., Durmaz, E., Çakır, D., & Akan, E. (2019). Adsorption of reactive dyes on lignocellulosic waste; characterization, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Cleaner Production*, 225, 1220–1229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.260>
- Fito, J., Kefeni, K. K., & Nkambule, T. T. I. (2022). The potential of biochar-photocatalytic nanocomposites for removal of organic micropollutants from wastewater. *Science of the Total Environment*, 829, 154648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154648>
- Freo, U., Ruocco, C., Valerio, A., Scagnol, I., & Nisoli, E. (2021). Paracetamol: A review of guideline recommendations. *Journal of Clinical Medicine*, 10(15), 1–22. <https://doi.org/10.3390/jcm10153420>
- Guiloski, I. C., Ribas, J. L. C., Piancini, L. D. S., Dagostim, A. C., Cirio, S. M., Fávaro, L. F., Boschen, S. L., Cestari, M. M., da Cunha, C., & Silva de Assis, H. C. (2017). Paracetamol causes endocrine disruption and hepatotoxicity in male fish *Rhamdia quelen* after subchronic exposure. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 53, 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.05.005>
- Hassan, S. S. M., Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2019). Removal of pharmaceutical compounds from urine via chemical coagulation by green synthesized ZnO-nanoparticles followed by microfiltration for safe reuse. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 4074–4083. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.04.009>
- Hoang, L. T. T. T., Phan, H. V. T., Nguyen, N. N., Dang, T. T., Tran, T. N., Nguyen, V. K., & Dao, M. T. (2024). Utilization of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) peel-derived biochar for the adsorptive removal of tetracycline from aqueous solution. *International Journal of Phytoremediation*, 26(14), 2313–2324. <https://doi.org/10.1080/15226514.2024.2389471>
- Khoiriah, K., & Putri, R. A. (2024). Biosynthesis of titanium dioxide nanoparticles using peel extract of *Parkia speciosa* for methyl orange degradation. *South African Journal of Botany*, 170, 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.021>
- Kuan, J., Zhang, H., Gu, H., Zhang, Y., Wu, H., & Mao, N. (2022). Adsorption-enhanced photocatalytic property of Ag-doped biochar/g-C₃N₄/TiO₂ composite by incorporating cotton-based biochar. *Nanotechnology*, 33(34). <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac705e>
- Lam, S. S., Liew, R. K., Cheng, C. K., Rasit, N., Ooi, C. K., Ma, N. L., Ng, J. H., Lam, W. H., Chong, C. T., & Chase, H. A. (2018). Pyrolysis production of fruit peel biochar for potential use in treatment of palm oil mill effluent.

- Journal of Environmental Management*, 213, 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.092>
- Lisowski, P., Colmenares, J. C., Mašek, O., Łomot, D., Chernyayeva, O., & Lisovytskiy, D. (2018). Novel biomass-derived hybrid TiO₂/carbon material using tar-derived secondary char to improve TiO₂ bonding to carbon matrix. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 131(January), 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.02.013>
- Lotfi, S., Fischer, K., Schulze, A., & Schäfer, A. I. (2022). Photocatalytic degradation of steroid hormone micropollutants by TiO₂-coated polyethersulfone membranes in a continuous flow-through process. *Nature Nanotechnology*, 17(4), 417–423. <https://doi.org/10.1038/s41565-022-01074-8>
- Magalhães, P., Andrade, L., Nunes, O. C., & Mendes, A. (2017). Titanium dioxide photocatalysis: Fundamentals and application on photoinactivation. *Reviews on Advanced Materials Science*, 51(2), 91–129.
- Mian, M. M., & Liu, G. (2018). Recent progress in biochar-supported photocatalysts: Synthesis, role of biochar, and applications. *RSC Advances*, 8(26), 14237–14248. <https://doi.org/10.1039/c8ra02258e>
- Mukherjee, A., Patra, B. R., Podder, J., & Dalai, A. K. (2022). Synthesis of Biochar From Lignocellulosic Biomass for Diverse Industrial Applications and Energy Harvesting: Effects of Pyrolysis Conditions on the Physicochemical Properties of Biochar. *Frontiers in Materials*, 9(June), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.870184>
- Rajendhiran, R., Atchudan, R., Palanisamy, J., Balasankar, A., Oh, T. H., Deivasigamani, V., & Ramasundaram, S. (2023). Prickly Pear Fruit Extract: Capping Agent for the Sol–Gel Synthesis of Discrete Titanium Dioxide Nanoparticles and Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cell. *Coatings*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/coatings13030579>
- Roberts, E., Nunes, V. D., Buckner, S., Latchem, S., Constanti, M., Miller, P., Doherty, M., Zhang, W., Birrell, F., Porcheret, M., Dziedzic, K., Bernstein, I., Wise, E., & Conaghan, P. G. (2016). Paracetamol: Not as safe as we thought? A systematic literature review of observational studies. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 75(3), 552–559. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2014-206914>
- Santiago, M., Rivera, D., & Torres, A. (2023). Green Synthesis of Titanium Oxide Nanoparticles Using Natural Extracts. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 11(02), 29–40. <https://doi.org/10.4236/msce.2023.112003>
- Shah, K., Chen, J., Chen, J., & Qin, Y. (2023). Pitaya Nutrition, Biology, and Biotechnology: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 1–28. <https://doi.org/10.3390/ijms241813986>

- Solayman, H. M., Hossen, M. A., Abd Aziz, A., Yahya, N. Y., Leong, K. H., Sim, L. C., Monir, M. U., & Zoh, K. D. (2023). Performance evaluation of dye wastewater treatment technologies: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 109610. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109610>
- Solmaz, A., Turna, T., & Baran, A. (2024). Removal of paracetamol from aqueous solution with zinc oxide nanoparticles obtained by green synthesis from purple basil (*Ocimum basilicum* L.) waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10771–10789. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05355-1>
- Tao, Y. (2022). Advanced Oxidation Processes for Water Purification Applications. *International Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.56502/ijie1010002>
- Tran, T. N. D., Tran, T. T., Hoang, B. N., Lam, V. T., & Ngo, T. C. Q. (2024). Synthesis of Activated Carbon from Dragon Fruit Peel for Adsorption of Methyl Blue. *Indonesian Journal of Chemistry*, 24(6), 1602–1614. <https://doi.org/10.22146/ijc.85429>
- Veerakumar, P., Hung, S. T., Hung, P. Q., & Vishnu Priya, V. (2023). Synthesis of Activated Porous Carbon from Red Dragon Fruit Peel Waste for Highly Active Catalytic Reduction in Toxic Organic Dyes. *Catalysts*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/catal13020449>
- Verma, V., Al-Dossari, M., Singh, J., Rawat, M., Kordy, M. G. M., & Shaban, M. (2022). A Review on Green Synthesis of TiO₂ NPs: Synthesis and Applications in Photocatalysis and Antimicrobial. *Polymers*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/polym14071444>
- Yakine, A., Adel, Z., & Bechir, C. (2024). Investigation of TiO₂ Concentration and Calcination Temperature Effects on Hybrid Membrane Properties for Wastewater Treatment. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 43(3), 1072–1082. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2023.2000347.5976>
- Yu, S., Yun, H. J., Kim, Y. H., & Yi, J. (2014). Carbon-doped TiO₂ nanoparticles wrapped with nanographene as a high performance photocatalyst for phenol degradation under visible light irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 144, 893–899. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.08.030>
- Yuna, P., Chiuman, L., & Ginting, C. N. (2023). Anti-Inflammatory Effect of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel on Male White Rat. *Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 10(1), 22–29. <https://doi.org/10.20473/jfiki.v10i12023.22-29>