

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi menarik perhatian banyak peneliti seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan karena kemampuannya menghasilkan material dengan sifat mekanik, elektromagnetik, dan optik yang baik (Chandrakala et al., 2022). Nanopartikel merupakan bagian dari nanoteknologi yang banyak diteliti (Ealias and Saravanakumar, 2017). Material dengan ukuran partikel 1-100 nm disebut sebagai nanopartikel (Pai et al., 2019). Pendekatan konvensional dalam sintesis nanopartikel termasuk metode fisika dan kimia yang menggunakan bahan kimia berbahaya serta memerlukan kondisi reaksi ekstrem, sehingga menimbulkan ancaman terhadap kesehatan dan lingkungan (Noah and Ndingili, 2022). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode biosintesis karena metode ini lebih aman dan berkelanjutan. Biosintesis merupakan salah satu proses sintesis yang ramah lingkungan yang memanfaatkan ekstrak tanaman sebagai agen pereduksi (Ying et al., 2022). Selain lebih aman bagi lingkungan, metode ini juga dikenal efisien dari segi biaya (Nabi et al., 2018; Rajendran et al., 2021). Biosintesis nanopartikel lebih disukai karena tiga alasan utama yaitu penggunaan pelarut ramah lingkungan, bahan penstabil yang tidak beracun, serta pemanfaatan ekstrak tanaman sebagai zat pereduksi dalam proses pembentukan nanopartikel (Mathew et al., 2021).

Metode biosintesis memiliki kemiripan dengan proses reduksi kimia yang menggunakan pendekatan *bottom-up*. Pada metode biosintesis reagen kimia yang mahal digantikan oleh ekstrak tanaman atau mikroorganisme (Nabi et al., 2021). Ekstrak tanaman dapat berperan sebagai agen pereduksi, *capping agent*, maupun penstabil dalam proses biosintesis. Penggunaan ekstrak tanaman sebagai agen bioreduksi telah banyak dikembangkan, terutama karena kandungan metabolit sekundernya. Umumnya, ekstrak daun sering digunakan dalam biosintesis nanopartikel logam oksida, karena daun kaya akan senyawa metabolit seperti fenol, flavonoid, dan alkaloid (Nadeem et al., 2018). Salah satu tanaman yang potensial untuk sintesis nanopartikel adalah tarum (*Indigofera tinctoria*). Ekstrak daun tarum telah berhasil digunakan untuk mensintesis nanopartikel emas dan perak (Vijayan et al., 2018). Tanaman ini diketahui mengandung berbagai senyawa fitokimia, termasuk alkaloid, flavonoid, tanin, fenol, saponin, glikosida, dan terpenoid (Mishra et al., 2020). Senyawa-senyawa tersebut berperan penting sebagai agen pereduksi dalam proses biosintesis nanopartikel logam oksida (Rafique et al., 2019).



Optimized using
trial version
www.balesio.com

telah berhasil disintesis menggunakan ekstrak daun *Phyllanthus* (Nabi et al., 2021) dan ekstrak biji *Carum copticum* (Altaf et al., 2021), ZnO disintesis dengan menggunakan ekstrak daun *Syzygium* (Nabi et al., 2021) dan *Moringa oleifera* L. (Adam et al., 2021). Kedua material tersebut merupakan semikonduktor yang memiliki kemampuan fotokatalitik, berperan dalam proses fotokatalisis. Fotokatalisis adalah proses reaksi kimia yang berlangsung dengan bantuan katalis yang aktif saat menyerap cahaya.

Aktivitas fotokatalitik nanopartikel TiO_2 yang disintesis menggunakan ekstrak daun murbei sangat baik pada degradasi metilen biru. Efisiensi degradasinya mencapai 96 % setelah iluminasi ultraviolet selama 120 menit (Shimi et al., 2022). Aktivitas fotokatalitik nanopartikel TiO_2 terhadap berbagai zat warna seperti kristal violet, metilen biru, alizarin merah, metil oranye juga telah dievaluasi di bawah sinar matahari (Mahendran et al., 2021). Nanopartikel TiO_2 yang diperoleh melalui biosintesis menunjukkan efisiensi degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang disintesis secara kimia (Aravind et al., 2021).

Selain TiO_2 , nanopartikel ZnO juga merupakan nanomaterial yang banyak diproduksi dan digunakan (Shaikhaldein et al., 2021). ZnO diketahui sebagai fotokatalis yang baik karena sifat listrik dan optiknya yang baik, sifatnya yang tidak beracun, aktivitas fotokatalitik yang tinggi di bawah sinar UV, dan biaya yang rendah (Sheik Mydeen et al., 2020). Nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak *Mimosa tenuiflora* telah diselidiki dalam mendegradasi metil oranye dengan hasil yang mencapai 96% dalam 90 menit di bawah irradiasi UV dan 62% selama 180 menit di bawah sinar matahari (Quevedo-Robles et al., 2022).

Nanopartikel logam oksida juga banyak digunakan untuk kemasan makanan karena muncul nanopartikel tersebut memiliki manfaat ganda, seperti meningkatkan kekuatan dan memberikan sifat antimikroba (Mulla et al., 2021). Penambahan ZnO pada pembuatan bioplastik dari umbi gadung memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas dan pengembangan bioplastik (Saputra et al., 2019). Penambahan nanopartikel TiO_2 juga menyebabkan peningkatan kuat tarik bioplastik (Amin et al., 2019). Bioplastik dapat menggantikan plastik konvensional karena kemampuan biodegradasinya sehingga material ini dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan (Anugrahwidya et al., 2021). Sebagaimana yang kita ketahui plastik dapat terakumulasi di lingkungan dan dapat menimbulkan pencemaran (Tahir et al., 2019). Sampah plastik dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama sehingga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Apabila dibakar, plastik akan menghasilkan gas yang dapat menyebabkan polusi udara dan membahayakan pernafasan manusia. Selain itu, material ini juga dapat dapat mencemari tanah dan air tanah apabila ditimbun dalam tanah. Untuk mencapai penguraian sempurna, plastik membutuhkan waktu satu hingga lima abad (Karuniastuti, 2013).

Bioplastik adalah plastik yang terbuat dari tumbuhan (pati, selulosa, lignin) dan hewan (kasein, protein, dan lipid) yang mudah dihancurkan oleh bakteri atau cuaca (kelembaban dan radiasi matahari). Produk penguraian bioplastik dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau kompos. Saat dibakar, plastik yang relatif mudah terurai dan tidak melepaskan senyawa kimia berbahaya. Sedangkan hasil degradasi plastik biodegradabel oleh mikroorganisme dapat meningkatkan unsur hara dalam tanah, sehingga tanah meningkat. (Nur et al., 2020).



anyak dibuat dari berbagai sumber seperti tepung kulit singkong, tepung jagung (Amalia et al., 2020), tepung beras (Marichelvam Almeida et al., 2021). Selain itu, bioplastik telah berhasil dibuat dari limbah diantaranya ampas tebu (Yaradoddi et al., 2020) dan padi (Nadi et al., 2020). Bioplastik perlu didesain sedemikian rupa agar dapat baik ditinjau dari sifat mekanik, sifat termal, maupun kemampuan

biodegradasinya. Sifat-sifat tersebut salah satunya bergantung pada bahan penyusun bioplastik. (Rahayu & Purnavita, 2017).

Berdasarkan hal yang telah dikemukakan sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu analisis kandungan senyawa ekstrak daun tarum, pemanfaatan ekstrak daun tarum pada biosintesis nanopartikel TiO_2 dan ZnO dan aplikasi nanopartikel tersebut sebagai fotokatalis dan bahan pengisi bioplastik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Senyawa apa yang terkandung dalam ekstrak daun tarum?
2. Bagaimana karakteristik nanopartikel TiO_2 dan ZnO yang disintesis dengan menggunakan ekstrak daun tarum?
3. Bagaimana aktivitas fotokatalitik nanopartikel TiO_2 dan ZnO terhadap degradasi metilen biru?
4. Bagaimana sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan dengan penambahan nanopartikel TiO_2 dan ZnO ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kandungan senyawa dalam ekstrak daun tarum.
2. Mengkarakterisasi nanopartikel TiO_2 dan ZnO hasil sintesis dengan menggunakan ekstrak daun tarum.
3. Mengevaluasi aktivitas fotokatalitik nanopartikel TiO_2 dan ZnO terhadap degradasi metilen biru.
4. Membandingkan pengaruh penambahan nanopartikel TiO_2 dengan nanopartikel ZnO terhadap sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan

1.4 Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Menambah wawasan dalam bidang nanoteknologi khususnya biosintesis TiO_2 dan ZnO dengan menggunakan ekstrak daun tarum.
2. Mendukung upaya pengurangan pencemaran lingkungan melalui pengolahan limbah organik, khususnya limbah yang mengandung metilen biru.
3. Berkontribusi pada pengembangan bioplastik sebagai alternatif plastik konvensional.



Penelitian

akan penelitian eksperimen yang terfokus pada biosintesis TiO_2 dan ZnO dengan menggunakan ekstrak daun tarum. Nanopartikel

yang berhasil disintesis dikarakterisasi dan selanjutnya diaplikasikan pada degradasi metilen biru dan pada pembuatan bioplastik.

1.6 Kebaruan Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan ekstrak daun tarum yang berasal dari Kajang, Bulukumba pada biosintesis nanopartikel TiO_2 dan ZnO . Penelitian terkait pembuatan nanopartikel dengan menggunakan ekstrak daun tarum dan aplikasinya pada degradasi metilen biru serta penggunaannya sebagai bahan pengisi bioplastik belum pernah dikaji sebelumnya, sehingga penelitian tersebut merupakan suatu kebaruan di bidang ilmu kimia.

1.7 Kerangka Pikir dan Hipotesis

1.7.1 Kerangka Pikir dan Hipotesis

Permasalahan lingkungan seperti pencemaran air dan limbah plastik yang sulit terurai menjadi tantangan yang perlu segera diatasi dengan pendekatan yang berkelanjutan. Salah satu solusi yang ramah lingkungan adalah pemanfaatan teknologi nanomaterial yang disintesis melalui metode biosintesis, yaitu proses pembuatan nanopartikel menggunakan ekstrak tanaman. Metode ini pada prosesnya mengikuti pendekatan *bottom-up*. Pada penelitian ini, ekstrak daun tarum (*Indigofera tinctoria*) digunakan pada biosintesis nanopartikel TiO_2 dan ZnO . Senyawa yang terkandung pada ekstrak tersebut sebagai agen pereduksi, *capping agent*, dan penstabil.

Nanopartikel TiO_2 dan ZnO dapat disintesis secara ramah lingkungan tanpa menggunakan bahan kimia berbahaya melalui metode biosintesis. Proses biosintesis ini dapat menghasilkan partikel dengan ukuran nano yang sesuai untuk berbagai aplikasi. Karakterisasi lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan FTIR, XRD, SEM-EDS, TEM, XRF, dan UV-Vis DRS.

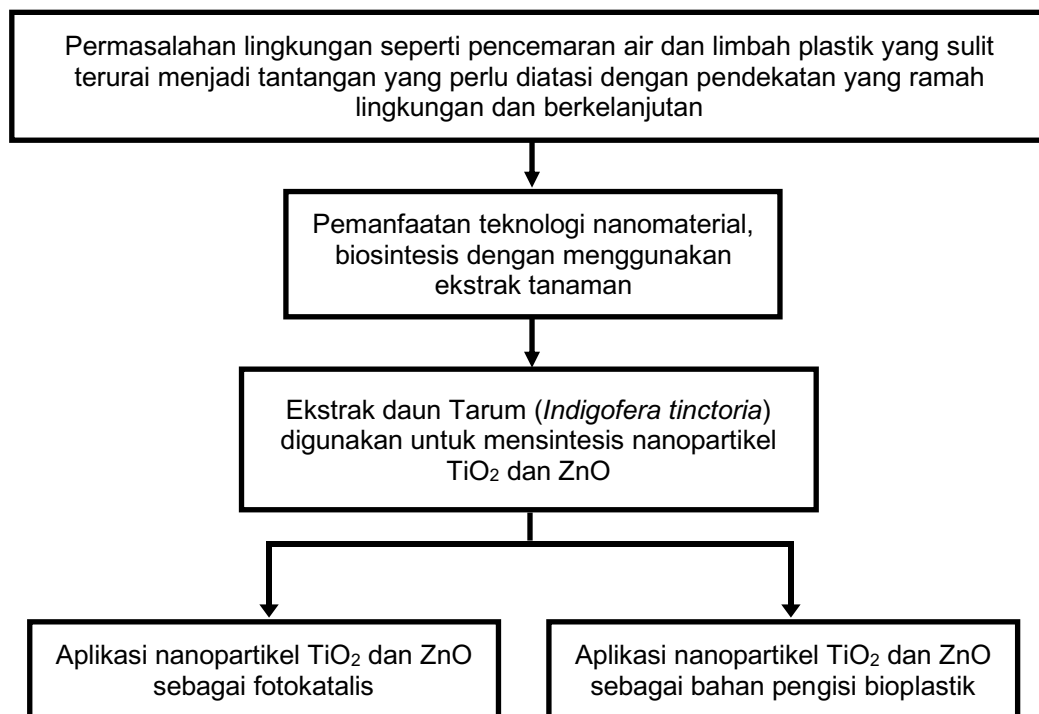
Nanopartikel TiO_2 dan ZnO yang diperoleh dimanfaatkan pada dua aplikasi. Pertama, sebagai fotokatalis, nanopartikel ini efektif dalam mendegradasi polutan organik, seperti limbah zat warna metilen biru. Kedua, nanopartikel ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi dalam matriks bioplastik berbasis bahan alami seperti pati jagung dan ampas tahu. Penambahan nanopartikel ini dapat meningkatkan sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan.

Dengan demikian, penggunaan ekstrak daun tarum untuk sintesis TiO_2 dan ZnO bukan hanya menyediakan metode produksi nanopartikel yang lebih hijau, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan lanjutan dalam bidang lingkungan. Pendekatan ini menawarkan nilai tambah ganda yaitu mengurangi dampak lingkungan dari proses sintesis dan meningkatkan performa produk akhir seperti bioplastik dan fotokatalis. Kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.



rum mengandung senyawa yang dapat berperan dalam proses biosintesis nanopartikel TiO_2 dan ZnO .

2. Nanopartikel TiO_2 dan ZnO dapat disintesis dengan menggunakan ekstrak daun tarum (*Indigofera tinctoria*).
3. Nanopartikel TiO_2 dan ZnO dapat digunakan sebagai fotokatalis pada degradasi metilen biru.
4. Nanopartikel TiO_2 dan ZnO dapat digunakan sebagai bahan pengisi bioplastik dan dapat meningkatkan sifat mekanik dari bioplastik.



Gambar 1.1 Kerangka pikir

1.8 Topik Penelitian

1. Analisis GC-MS ekstrak air dan ekstrak metanol daun tarum (*Indigofera tinctoria*).
2. Biosintesis dan karakterisasi nanopartikel TiO_2 dengan menggunakan ekstrak air daun tarum (*Indigofera tinctoria*).
3. Biosintesis dan karakterisasi nanopartikel ZnO dengan menggunakan ekstrak metanol daun tarum (*Indigofera tinctoria*).
4. Aplikasi nanopartikel TiO_2 dan ZnO sebagai fotokatalis dan bahan pengisi bioplastik.



1.9 Daftar Pustaka

- Adam, F., Himawan, A., Aswad, M., Ilyas, S., Heryanto, Anugrah, M.A., Tahir, D., 2021. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Moringa oleifera* l. water extract and its photocatalytic evaluation. J Phys Conf Ser 1763, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1763/1/012002>
- Almeida, A.C.D.A., Pontes, J.G.D.M., Alvarenga, G.R., Finocchio, H., Fill, T.P., 2021. The sustainable cycle of a new cacao-based bioplastic: From manufacturing to exploitable biodegradation products. RSC Adv 11, 29976–29985. <https://doi.org/10.1039/d1ra04432j>
- Altaf, M., Zeyad, M.T., Hashmi, M.A., Manoharadas, S., Hussain, S.A., Ali Abuhasil, M.S., Almuzaini, M.A.M., 2021. Effective inhibition and eradication of pathogenic biofilms by titanium dioxide nanoparticles synthesized using *Carum copticum* extract. RSC Adv 11, 19248–19257. <https://doi.org/10.1039/d1ra02876f>
- Amalia, D., Saleh, D., Djonaedi, E., 2020. Synthesis of biodegradable plastics using corn starch and corn husk as the fillers as well as chitosan and sorbitol. J Phys Conf Ser 1442, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1442/1/012007>
- Amin, M.R., Chowdhury, M.A., Kowser, M.A., 2019. Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. Heliyon 5, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009>
- Anugrahwidya, R., Armynah, B., Tahir, D., 2021. Bioplastics Starch-Based with Additional Fiber and Nanoparticle: Characteristics and Biodegradation Performance: A Review. J Polym Environ 29, 3459–3476. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02152-z>
- Aravind, M., Amalanathan, M., Mary, M.S.M., 2021. Synthesis of TiO₂ nanoparticles by chemical and green synthesis methods and their multifaceted properties. SN Appl Sci 3, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04281-5>
- Chandrakala, V., Aruna, V., Angajala, G., 2022. Review on metal nanoparticles as nanocarriers: current challenges and perspectives in drug delivery systems. Emergent Mater. <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00335-x>
- Ealias, A.M., Saravanakumar, M.P., 2017. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. pp. 1–15. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019>
- Karuniastuti, N., 2013. Bahaya Plastik terhadap Kesehatan dan Lingkungan. Swara Patra: Majalah Pusdiklat Migas 3, 6–14.
- Mahendran, D., Kavi Kishor, P.B., Geetha, N., Manish, T., Sahi, S. v., Venkatachalam, P., 2021. Efficient antibacterial/biofilm, anti-cancer and photocatalytic potential of titanium dioxide nanocatalysts green synthesised using *Gloriosa superba rhizome* extract. J Exp Nanosci 16, 11–30. <https://doi.org/10.1080/17458080.2021.1872781>
- Marichelvam, M.K., Jawaid, M., Asim, M., 2019. Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials. Fibers 7, 1–14. <https://doi.org/10.3390/fib7040032>
- , N.E., Shanmugam, V., 2021. Green synthesis of anatase titanium articles using *Cuminum cyminum* seed extract; effect on Mung bean a) seed germination. Inorg Chem Commun 126, 1–7. [10.1016/j.inoche.2021.108485](https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108485)
- ., Tarigan, P., 2016. Production of Starch Based Bioplastic from Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using



- Sorbitol as Plasticizer. J Phys Conf Ser 710, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/710/1/012012>
- Mishra, D., Gomare, K., Vijaykumar, S.S., 2020. GC-MS Analysis and Phytochemical Screening of *Indigofera tinctoria* (Linn.) Leaf Extract Characterizing its Medicinal Use. International Journal of Ayurvedic Medicine 11, 289–299. <https://doi.org/10.47552/ijam.v11i2.1540>
- Mulla, M.Z., Rahman, M.R.T., Marcos, B., Tiwari, B., Pathania, S., 2021. Poly lactic acid (Pla) nanocomposites: Effect of inorganic nanoparticles reinforcement on its performance and food packaging applications. Molecules 26, 1–22. <https://doi.org/10.3390/molecules26071967>
- Nabi, G., Majid, A., Riaz, A., Alharbi, T., Arshad Kamran, M., Al-Habardi, M., 2021. Green synthesis of spherical TiO₂ nanoparticles using *Citrus limetta* extract: Excellent photocatalytic water decontamination agent for RhB dye. Inorg Chem Commun 129, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108618>
- Nabi, G., Qurat-ul-Aain, Khalid, N.R., Tahir, M.B., Rafique, M., Rizwan, M., Hussain, S., Iqbal, T., Majid, A., 2018. A Review on Novel Eco-Friendly Green Approach to Synthesis TiO₂ Nanoparticles Using Different Extracts. J Inorg Organomet Polym Mater. <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0812-0>
- Nadeem, M., Tungmunthum, D., Hano, C., Abbasi, B.H., Hashmi, S.S., Ahmad, W., Zahir, A., 2018. The current trends in the green syntheses of titanium oxide nanoparticles and their applications. Green Chem Lett Rev 11, 492–502. <https://doi.org/10.1080/17518253.2018.1538430>
- Noah, N.M., Ndangili, P.M., 2022. Green synthesis of nanomaterials from sustainable materials for biosensors and drug delivery. Sensors International 3, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100166>
- Nur, R.A., Nazir, N., Taib, G., 2020. Karakteristik Bioplastik dari Pati Biji Durian dan Pati Singkong yang Menggunakan Bahan Pengisi MCC (*Microcrystalline cellulose*) dari Kulit Kakao. Jurnal Gema Agro 25, 1–10.
- Pai, S., H, S., Varadavenkatesan, T., Vinayagam, R., Selvaraj, R., 2019. Photocatalytic zinc oxide nanoparticles synthesis using *Peltophorum pterocarpum* leaf extract and their characterization. Optik (Stuttg) 185, 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.03.101>
- Panneerselvam, A., Velayutham, J., Ramasamy, S., 2021. Green synthesis of TiO₂ nanoparticles prepared from Phyllanthus niruri leaf extract for dye adsorption and their isotherm and kinetic studies. IET Nanobiotechnol 15, 164–172. <https://doi.org/10.1049/nbt2.12033>
- Quevedo-Robles, R. V., Vilchis-Nestor, A.R., Luque, P.A., 2022. Study of optical and morphological properties of nanoparticles semiconductors of zinc oxide synthesized using *Mimosa tenuiflora* extract for photodegradation of methyl orange. Opt Mater (Amst) 128, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112450>
- Rafique, M., Jahangir, J., Amin, B.A.Z., Bilal Tahir, M., Nabi, G., Isa Khan, M., Khalid, N.R., Gillani, S.S.A., Sadaf, I., 2019. Investigation of Photocatalytic and Seed Germination Effects of TiO₂ Nanoparticles Synthesized by *Melia azedarach* L. Leaf Extract. J Inorg Organomet Polym Mater 29, 2133–2144. <https://doi.org/10.1007/s10904-019-01173-5>
- P., Antonius, R., 2020. Karakteristik Bioplastik Berbahan Dasar tahu (Whey) dengan Penambahan Kitosan dan Gliserol. Jurnal Alam dan Lingkungan 7, 81–89. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.02.5>
- orge, B.P., Houeld, N.N., Abrahamse, H., 2021. Synthesis of zinc ticles using *Rubus fairholmianus* root extract and their activity



- against pathogenic bacteria. *Molecules* 26, 1–11. <https://doi.org/10.3390/molecules26103029>
- Sadiq, H., Sher, F., Sehar, S., Lima, E.C., Zhang, S., Iqbal, H.M.N., Zafar, F., Nuhanović, M., 2021. Green synthesis of ZnO nanoparticles from *Syzygium cumini* leaves extract with robust photocatalysis applications. *J Mol Liq* 335, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116567>
- Safaat, M., 2020. Potensi logam oksida sebagai fotokatalis degradasi plastik di air laut. *Oseana* 45. <https://doi.org/10.14203/oseana.2020.vol.45no.1.54>
- Saputra, W., Hartiati, A., Harsojuwono, B.A., 2019. Pengaruh Konsentrasi Seng Oksida (ZnO) dan Penambahan Gliserol terhadap Karakteristik Bioplastik dari Pati Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Deenst). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri* 7, 531–540. <https://doi.org/10.24843/jrma.2019.v07.i04.p05>
- Shaikhaldein, H.O., Al-qurainy, F., Khan, S., Nadeem, M., Tarroum, M., Salih, A.M., Gaafar, A.R.Z., Alshameri, A., Alansi, S., Alenezi, N.A., Alfarrarj, N.S., 2021. Biosynthesis and characterization of ZnO nanoparticles using *Ochradenus arabicus* and their effect on growth and antioxidant systems of *Maerua oblongifolia*. *Plants* 10, 1–14. <https://doi.org/10.3390/plants10091808>
- Sheik Mydeen, S., Raj Kumar, R., Kottaisamy, M., Vasantha, V.S., 2020. Biosynthesis of ZnO nanoparticles through extract from *Prosopis juliflora* plant leaf: Antibacterial activities and a new approach by rust-induced photocatalysis. *Journal of Saudi Chemical Society* 24, 393–406. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.03.003>
- Shimi, A.K., Ahmed, H.M., Wahab, M., Katheria, S., Wabaidur, S.M., Eldesoky, G.E., Islam, M.A., Rane, K.P., 2022. Synthesis and Applications of Green Synthesized TiO₂ Nanoparticles for Photocatalytic Dye Degradation and Antibacterial Activity. *J Nanomater* 2022, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/7060388>
- Tahir, A., Taba, P., Samawi, M.F., Werorilangi, S., 2019. Microplastics in water, sediment and salts from traditional salt producing ponds. *Global Journal of Environmental Science and Management* 5, 431–440. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2019.04.03>
- Vijayan, R., Joseph, S., Mathew, B., 2018. *Indigofera tinctoria* leaf extract mediated green synthesis of silver and gold nanoparticles and assessment of their anticancer, antimicrobial, antioxidant and catalytic properties. *Artif Cells Nanomed Biotechnol* 46, 861–871. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1345930>
- Yaradoddi, J.S., Banapurmath, N.R., Ganachari, S. V., Soudagar, M.E.M., Mubarak, N.M., Hallad, S., Hugar, S., Fayaz, H., 2020. Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application. *Sci Rep* 10, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78912-z>
- Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P.C., Clubb, P., Rico, C., He, F., Hong, J., 2022. Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. *Environ Technol Innov*. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102336>



BAB II

ANALISIS GC-MS EKSTRAK AIR DAN EKSTRAK METANOL DAUN TARUM (*Indigofera tinctoria*)

2.1 Abstrak

Tarum (*Indigofera tinctoria*) adalah tanaman semak dalam keluarga Fabaceae dan dikenal sebagai tanaman obat serta zat warna tekstil. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis senyawa kimia dari ekstrak daun tarum dalam ekstrak air dan metanol. Komposisi kimia dari ekstrak daun tarum dianalisis dengan menggunakan spektrometer GC-MS. Interpretasi senyawa kimia dilakukan dengan mencocokkan waktu retensi dan pola fragmentasi spektrum massa dengan spektrum senyawa yang serupa pada basis data. Hasil analisis menunjukkan bahwa ekstrak air mengandung 38 senyawa, dengan senyawa utama 3-o-Metil-D-glukosa (55,43%) yang diketahui memiliki aktivitas biologis. Sementara itu, ekstrak metanol mengandung 69 senyawa, dengan komponen utama adalah mome inositol (19,13%), yang berperan sebagai agen penstabil dalam sintesis nanopartikel. Hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak daun tarum mengandung senyawa aktif yang berpotensi untuk diaplikasikan dalam sintesis nanopartikel ramah lingkungan.

2.2 Pendahuluan

Tarum (*Indigofera tinctoria*) merupakan tanaman semak yang termasuk ke dalam famili Fabaceae. Tanaman ini telah lama dikenal sebagai tanaman obat tradisional, khususnya di India, karena memiliki berbagai manfaat farmakologis (Mishra et al., 2020). Salah satu aktivitas biologis penting dari tanaman ini adalah aktivitas antimikroba (Srinivasan et al., 2015). Selain sebagai tanaman obat, tarum telah dimanfaatkan sebagai zat warna sarung masyarakat suku Kajang (Fatra and Manguma, 2024). Studi lain menunjukkan bahwa tarum mengandung zat warna indigo dan juga memiliki potensi dalam bidang energi terbarukan, terutama sebagai fotosensitizer dalam aplikasi *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) (Rajan and Cindrella, 2019).

Ekstrak daun tarum juga telah dimanfaatkan dalam sintesis nanopartikel logam, seperti nanopartikel perak dan emas, melalui metode biosintesis. Kemampuan ekstrak ini untuk mereduksi ion logam menjadi bentuk nanopartikel dikaitkan dengan keberadaan sejumlah senyawa, termasuk senyawa fenolik, alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, steroid, glikosida, karbohidrat, dan asam amino. Senyawa-senyawa ini berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil selama proses sintesis nanopartikel (Vijayan et al., 2018).

Proses ini menarik perhatian karena tidak memerlukan bahan kimia berbahaya, sehingga aman dan sesuai untuk aplikasi biomedis atau material fungsional.



0) melaporkan bahwa ekstrak etanol dari daun tarum mengandung 38 senyawa, yang mencakup berbagai golongan metabolit sekunder yang memiliki beragam aktivitas biologis. Teknik spektroskopi Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia dari ekstrak

tanaman (Cupido et al., 2022). Dalam penelitian ini, ekstrak daun tarum yang diperoleh dengan pelarut air dan metanol dianalisis menggunakan spektrometer GC-MS untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang terkandung di dalamnya. Analisis ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak daun tarum yang dapat dimanfaatkan dalam proses biosintesis nanopartikel.

2.3 Metode

2.3.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu daun tarum yang berasal dari Kajang, Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan, kertas Whatmann no 42, dan aluminium foil. Pelarut yang digunakan adalah metanol (Merck) dan akuabides (WaterOne).

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa seperangkat alat gelas, blender, timbangan analitik, pompa vakum (Stuart RE3022C), sonikator (Emlasonic EASY 60 H), evaporator (Stuart RE300), dan GC-MS (Shimadzu GC-MS Ultra QP2010, Japan).

2.3.2 Preparasi ekstrak air daun tarum

Daun tarum dibersihkan, dikeringkan dan dihaluskan. Pembuatan ekstrak air daun tarum dilakukan dengan menimbang 10 g daun dan ditambahkan 200 mL akuabides. Campuran tersebut direbus dan dibiarkan mendidih selama 30 menit. Setelah mencapai suhu ruang, larutan disaring dan dipekatkan pada suhu 55°C menggunakan evaporator. Ekstrak kental disimpan untuk analisis GC-MS.

2.3.2 Preparasi ekstrak metanol daun tarum

Daun tarum yang telah dibersihkan dan dikeringanginkan, dikecilkan ukurannya dengan menggunakan blender. Prosedur ekstraksi dilakukan dengan menggunakan *Ultrasound-assisted Extraction* (Yasser et al., 2020). Metanol ditambahkan ke dalam 100 g daun kering dan diekstraksi selama 45 menit pada suhu 50°C. Ekstrak disaring dan dipekatkan pada suhu 40°C menggunakan evaporator. Ekstrak kental disimpan untuk analisis GC-MS.

2.3.4 Analisis GC-MS ekstrak air dan ekstrak metanol daun tarum

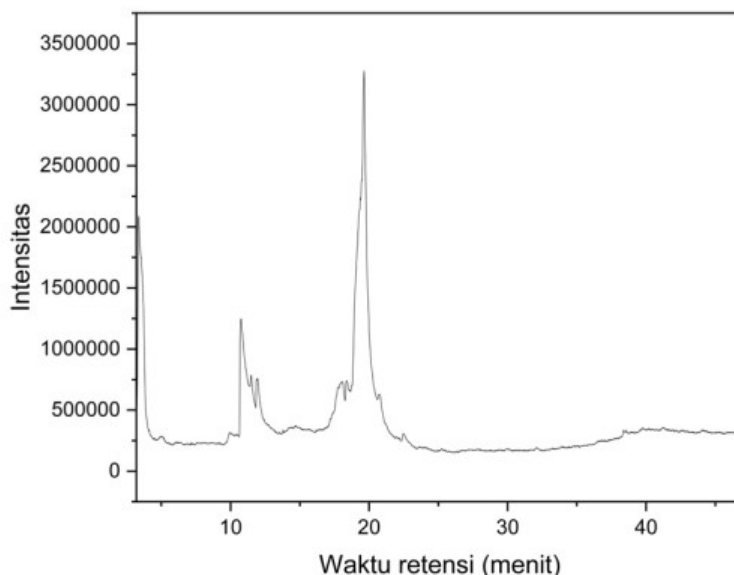
Analisis GC-MS dilakukan dengan menggunakan GCMS-QP2010 Plus (Shimadzu). Kolom yang digunakan adalah Rtx-5MS dengan panjang 30,0 m, ketebalan 0,25 μm , dan diameter 0,25 mm. Gas pembawa yang digunakan dalam analisis adalah helium dengan 99,99%. Senyawa bioaktif diidentifikasi dengan mencocokkan basis data.



ihasan

S pada Ekstrak Air Daun Tarum

Analisis GC-MS terhadap ekstrak air daun tarum menghasilkan profil senyawa yang beragam. Berdasarkan hasil kromatogram yang diperoleh (Gambar 2.1), terdeteksi sebanyak 39 puncak yang mewakili 38 senyawa berbeda, dengan rentang waktu retensi mulai dari sekitar 3 menit hingga 46 menit.



Gambar 2.1 Kromatogram GC-MS ekstrak air daun tarum

Senyawa dengan kelimpahan tertinggi, berdasarkan persentase luas area puncak, adalah 3-*o*-Metil-D-glukosa, yang terdeteksi pada waktu retensi 19,647 menit dengan kontribusi area mencapai 55,43% dari total kromatogram. Kehadirannya dalam jumlah tinggi mengindikasikan bahwa ekstrak air daun tarum kaya akan glukosa. Glukosa diketahui merupakan salah satu biomolekul alami yang telah digunakan dalam bioreduksi ion logam (Pechyen et al., 2024). 3-*o*-Metil-D-glukosa juga diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis yang signifikan. Senyawa ini menunjukkan potensi sebagai antidepresan, nootropik, antitumor, serta anti-inflamasi (Muhtadi et al., 2025). Keberadaan gugus hidroksil (–OH) yang melimpah pada struktur kimia glukosa memungkinkan gugus tersebut berinteraksi dengan ion logam sehingga sangat sesuai digunakan dalam pendekatan biosintesis nanopartikel. Senyawa pada ekstrak yang memiliki rasio gugus OH yang tinggi dalam strukturnya memiliki peran penting dalam proses redoks, yang bertindak sebagai donor elektron dalam proses reduksi logam (Yaseen Sharaf Zeebaree et al., 2022).



l-glukosa, senyawa yang juga terdeteksi dalam jumlah signifikan, yang merupakan senyawa heterosiklik mengandung nitrogen. Puncak pertama yang teridentifikasi dalam kromatogram dan puncak terbesar kedua setelah 3-*o*-Metil-D-glukosa. Senyawa lainnya teridentifikasi adalah 1-Butanol, 3-metil-, format. Senyawa ini memiliki aktivitas antijamur (Rakhmawatie et al., 2023). Selain itu, teridentifikasi 4-Hidroksi-1-metilprolin, yaitu turunan dari asam amino prolin.

Senyawa ini memiliki gugus hidroksi dan struktur siklik, dan dikenal memiliki aktivitas farmakologis, terutama sifat anti-inflamasi (Novais et al., 2024). Selain senyawa yang telah disebutkan, Tabel 2.1 merangkum senyawa yang teridentifikasi dengan persentase area puncak >0,1% dan disertai informasi waktu retensi.

Tabel 2.1 Identifikasi Senyawa Ekstrak Air Daun Tarum

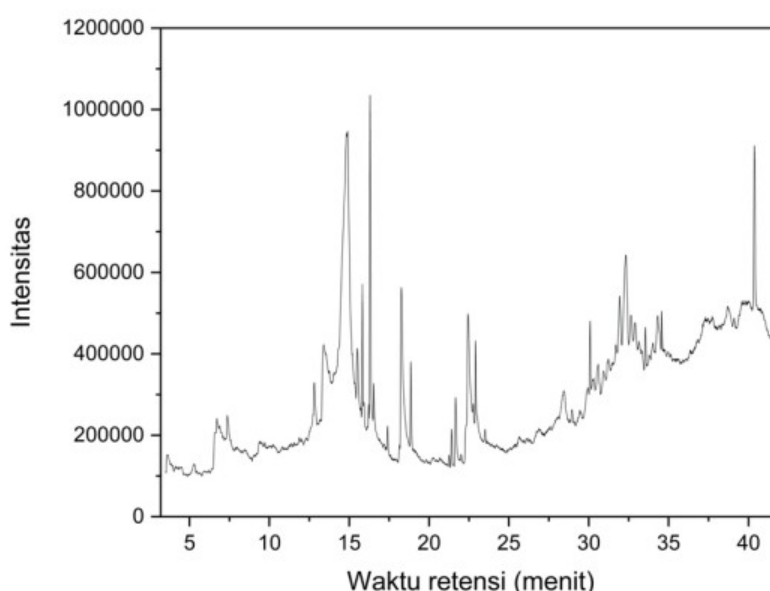
No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Area (%)	Formula
1	3,357	1H-Pirol, 1-metil-	14,61	C ₅ H ₇ N
2	9,943	N-(neopentiloksi)dimetilamina	0,18	C ₇ H ₁₇ NO
3	10,759	1-Butanol, 3-metil-, format	9,7	C ₆ H ₁₂ O ₂
4	11,488	Silana, [(1,1-dimetil-2-propenil)oksi]dimetil-	3,52	C ₇ H ₁₆ OSi
5	11,951	Metenamina	2,86	C ₆ H ₁₂ N ₄
6	12,425	Asam undekanoat	0,1	C ₁₁ H ₂₂ O ₂
7	17,183	2,4a,5,8a-Tetrametil-1,2,3,4,4a,7,8,8a-oktahidronaftalen-1-ol	0,31	C ₁₄ H ₂₄ O
8	17,758	2-Buten-1-ol, 2-etil-4-(2,2,3-trimetil-3-siklopenten-1-il)-	2,91	C ₁₄ H ₂₄ O
9	18,055	l-[-]-4-Hidroksi-1-metilprolin	3,57	C ₆ H ₁₁ NO ₃
10	18,386	2-Sikloheksen-1-on, 4-(3-hidroksibutil)-3,5,5-trimetil-	3,42	C ₁₃ H ₂₂ O ₂
11	19,647	3-o-Metil-D-glukosa	55,43	C ₇ H ₁₄ O ₆
12	20,750	Asam 3-siklopentilpropionat, 2-isopropoksifenil ester	0,49	C ₁₇ H ₂₄ O ₃
13	22,492	Asam pentadekanoat	0,51	C ₁₅ H ₃₀ O ₂
14	23,720	Asam suksinat, sikloheksilmetil neril ester	0,33	C ₂₁ H ₃₄ O ₄
15	30,044	Pirimidin-5-karbonitril, 1,2,3,4-tetrahidro-4-okso-6-92-tienil)2-tiokso	0,11	C ₉ H ₅ N ₃ OS ₂
16	32,114	3-(Non-8-en-1-il)heksahidro-1H-pirolisin	0,14	C ₁₆ H ₂₉ N
17	33,908	Diisooktil ftalat	0,1	C ₂₀ H ₃₈ O ₄
18	38,575	Asam cis-9-heksadesenoat, heptil ester	0,27	C ₂₃ H ₄₄ O ₂
19	39,782	Oksirana, heksadesil-	0,17	C ₁₈ H ₃₆ O
20	41,271	Oktil palmitoleat	0,12	C ₂₄ H ₄₆ O ₂
21	44,041	Trans-2-Dodesen-1-ol, heptafluorobutirat	0,11	C ₁₆ H ₂₃ F ₇ O ₂
22	45,852	Guanidina, N-[3-(2-promofenil)amino]-1-propenil]-	0,21	C ₁₀ H ₁₃ BrN ₄



S pada Ekstrak Metanol Daun Tarum

s GC-MS dari ekstrak metanol daun tarum ditunjukkan pada ak 81 puncak kromatografi diperoleh dengan analisis GC-MS dan

69 senyawa teridentifikasi. Senyawa yang diidentifikasi dengan persentase area puncak >0,1% tercantum dalam Tabel 2.2. Senyawa pertama yang diidentifikasi adalah 1,2-Siklopentandion pada 3,641 menit sementara komponen utama ekstrak diidentifikasi pada 14,864 menit. Komponen utama yang ditelusuri adalah mome inositol (19,13%) yang merupakan polisakarida. Mome inositol merupakan senyawa yang umum yang dapat ditemukan dalam ekstrak tanaman. Mome inositol teridentifikasi sebagai fitokimia dominan yang terkandung pada *Silene uniflora* (Buzón-Durán et al., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Dewanto et al. (2021), menunjukkan bahwa senyawa tersebut memiliki aktivitas antibakteri dan antioksidan. Mome inositol juga telah dilaporkan dapat bertindak sebagai agen penstabil dan *capping agent* pada biosintesis nanopartikel ZnO dan MgO yang dimediasi oleh ekstrak daun *Pisonia grandis* R.Br (Joghee et al., 2019).



Gambar 2.2 Kromatogram GC-MS ekstrak methanol daun tarum

Senyawa kedua yang paling banyak ditemukan adalah asam 1,2-Benzenedicarboxylic, bis (2-methylpropyl) ester (5,45%). Senyawa ini ditemukan sebagai salah satu komponen utama dalam minyak atsiri bunga *Fagopyrum tataricum* (Zhao et al., 2018). Senyawa lain yang terdapat dalam ekstrak adalah Asam 9,12,15-oktadekatrienoat (Z,Z,Z)-; Asam n-heksadekanoat; Vitamin E; Neofitadiena; Asam (E)-9-oktadecenoat etil ester; Asam heksadekanoat, etil ester; Asam benzen-1,2-dikarboksilat; ekanat; dan Fitol.



at dan asam heksadekanoat merupakan asam lemak (Siswadi and lua senyawa tersebut dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri, 1 senyawa Asam (E)-9-oktadecenoat etil ester (C. Xie et al., 2022). am dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester antara lain Antioksidan, kandidisida, hipokolesterolemik, antirematik, hepatoprotektif, jatha et al., 2020).

Vitamin E dikenal sebagai antioksidan esensial (Niki and Noguchi, 2021). Asam benzen-1,2-dikarboksilat dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba dan antifouling (Gnanapriyanka Beulah et al., 2018). Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa Neofitadiena memiliki sifat antimikroba (Ceyhan-Güvensen dan Keskin, 2016), senyawa analgesik, antipiretik, anti-inflamasi, dan antioksidan (Adem Endris et al., 2024). Fitol adalah diterpen yang dilaporkan memiliki efek ansiolitik, modulasi metabolisme, sitotoksik, antioksidan, penginduksi autofagi dan apoptosis, antinosisseptif, anti-inflamasi, modulasi imun, dan antimikroba (Islam et al., 2018).

Tabel 2.2 Identifikasi Senyawa Ekstrak Metanol Daun Tarum

No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Area (%)	Formula
1	3,641	1,2-Siklopentandion	0,19	C ₅ H ₆ O ₂
2	5,289	Etil trimetil ortosilikat	0,21	C ₅ H ₁₄ O ₄ Si
3	6,730	1-Pentanol	1,18	C ₅ H ₁₂ O
4	6,883	4H-Piran-4-on, 2,3-dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil	1,03	C ₆ H ₈ O ₄
5	7,374	Silan, [(1,1-dimetil-2-propenil)oksi]dimetil-	1,66	C ₇ H ₁₆ OSi
6	7,867	2-Etilheksilmetilfosfonofluoridat	0,25	C ₉ H ₂₀ FO ₂ P
7	7,997	2-metoksietilasetat	0,53	C ₅ H ₁₀ O ₅
8	8,250	1-(Oksan-4-il)siklopropan-1-amina	0,17	C ₈ H ₁₅ NO
9	8,445	Etil(dimetil)isopropoksisilana	0,78	C ₇ H ₁₈ OSi
10	9,050	cis-1,4-Sikloheksanadiol	0,37	C ₆ H ₁₂ O ₂
11	9,389	Gliserol triasetat	0,63	C ₉ H ₁₄ O ₆
12	9,483	4-siklooktatetraenilbut-1-ena	0,40	C ₁₂ H ₁₄
13	9,733	Silan,trimetil[[p-(trimetilsiloksi)benzil]oksi]	0,35	C ₁₃ H ₂₄ O ₂ Si ₂
14	9,983	5,6-Dihidro-4H-1-benzazonina-2,7(3H,7aH)-diona	0,68	C ₁₂ H ₁₃ NO ₂
15	10,213	1-(4-Bromo-fenil)-3-(1,5-dimetil-1H-pirazol-4-il)propenon	0,77	C ₁₄ H ₁₃ BrN ₂ O
16	10,801	2,2-Dimetil-1-(pentametildisilaniiloksi)propana	0,56	C ₁₀ H ₂₆ OSi ₂
17	11,370	3-Buten-2-on, 4-(2,6,6-trimetil-1-sikloheksen-1-il)-, (E)-	1,03	C ₁₃ H ₂₀ O
		2-(Metilamino)benzimidazol	0,37	C ₈ H ₁₁ N ₃
		Trimetilsilil 2-(trimetilsililoksi)propaneperoksilat	0,73	C ₉ H ₂₂ O ₄ Si ₂
		Lilial	0,41	C ₁₄ H ₂₀ O



No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Area (%)	Formula
21	12,304	Produk permetilasi dan reduksi dari produk degradasi H3-glikolipid oleh L-L-fukosidase	0,54	C ₉₄ H ₁₈₀ N ₄ O ₂₆
22	12,817	Dietil ftalat	2,36	C ₁₂ H ₁₄ O ₄
23	13,150	Rapamycin	0,97	C ₅₁ H ₇₉ NO ₁₃
24	13,412	L-(-)-4-Hidroksi-1-metilprolin	4,81	C ₆ H ₁₁ NO ₃
25	14,050	11-Dodesen-2-on, 7,7-dimetil-	1,72	C ₁₄ H ₂₆ O
26	14,864	Mome inositol	19,13	C ₇ H ₁₄ O ₆
27	15,845	Neofitadiena	1,87	C ₂₀ H ₃₈
28	16,320	Asam-1,2-benzenadikarnoksilat, bis(2-metilpropil) ester	5,45	C ₁₆ H ₂₂ O ₄
29	17,817	Cedr-8(15)-en-9-ol	0,01	C ₁₅ H ₂₄ O
30	18,284	Asam n-heksadekanoat	3,16	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
31	18,883	Etil ester asam heksadekanoat,	1,27	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
32	19,831	Asam heksadekanoat	0,14	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
33	20,250	Asam asetat, trisiklo[4.4.0.0(3,8)]dek-9-en-4-il ester	0,21	C ₁₂ H ₁₆ O ₂
34	20,698	Asam heptadekanoat	0,18	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
35	21,421	Asam 9,12,15-oktadekatrienoat, metil ester, (Z,Z,Z)	0,19	C ₁₉ H ₃₂ O ₂
36	21,683	Fitol	0,51	C ₂₀ H ₄₀ O
37	22,459	Asam 9,12,15-oktadekatrienoat (Z,Z,Z)	3,25	C ₁₈ H ₃₀ O ₂
38	22,928	Asam (E)-9-oktadecenoat etil ester	1,42	C ₂₀ H ₃₈ O ₂
39	23,517	Etil ester asam oktadekanoat	0,66	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
40	24,250	cis-1,3-sikloheksanadiol	0,30	C ₆ H ₁₂ O ₂
41	25,654	Dimetilaminoetil palmitat	0,32	C ₂₀ H ₄₁ NO ₂
42	26,122	2,6-oktadial, 3,7-dimetil-	0,13	C ₁₀ H ₁₆ O
43	26,892	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	0,33	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
44	27,583	Metil ester asam 13-tetradekenoat, 2,4,6,8-tetrametil-, (all-R)-(-)-	0,23	C ₁₉ H ₃₆ O ₂
45	28,450	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	1,47	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
		1-Propanon, 1-(1-adamantil)-3-dimetilamino-	0,22	C ₁₅ H ₂₅ NO
		3-(Tetradekanoiloksi)-2-[(trimetilsilil)oksi]propil miristat	0,23	C ₃₄ H ₆₈ O ₅ Si
		Asam benzen-1,2-dikarboksilat	1,18	C ₂₄ H ₃₈ O ₄



No	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Area (%)	Formula
49	30,310	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	0,59	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
50	30,587	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	0,90	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
51	30,950	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	0,82	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
52	31,244	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	0,89	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
53	31,951	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	3,35	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
54	32,334	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	3,31	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
55	32,658	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	1,42	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
56	32,913	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	1,26	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
57	33,150	Asam dodekanoat, 1,2,3-propanetriil ester	1,98	C ₃₉ H ₇₄ O ₆
58	34,030	4H-1-benzopiran-4-on, 2-(3,4-dihidroksifenil)-6,8-di-β-D-glukopiranosil-5,7-dihidroksi-	1,41	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆
59	34,328	1,38-Dibromo-oktatriakontana	2,50	C ₃₈ H ₇₆ Br ₂
60	34,980	5-Metil-2-(1-metiletetil)sikloheksanol, [1R-(1α,2β,5α)]	0,82	C ₁₀ H ₁₈ O
61	35,583	Stigmast-4-en-3-on	0,69	C ₂₉ H ₄₈ O
62	36,358	Dokosil dokosanoat	1,03	C ₄₄ H ₈₈ O ₂
63	37,317	14-β-H-Pregna	2,89	C ₂₁ H ₃₆
64	37,756	1,6-Siklodekana diol	1,48	C ₁₀ H ₂₀ O ₂
65	38,715	(R)-6-Metoksi-2,8-dimetil-2-((4R,8R)-4,8,12-trimetiltridekil)kroman	2,66	C ₂₈ H ₄₈ O ₂
66	39,117	Kolesta-3,5-diena	0,60	C ₂₇ H ₄₄
67	39,717	Miristat 2,3-bis(tetradekaniloksi)propil	1,65	C ₄₅ H ₈₆ O ₆
		11,13-Dihidroksi-tetradec-5-inoat asam metil ester	0,34	C ₁₅ H ₂₆ O ₄
		9-Hidroksi-borabisiklo[3.3.1]nonana	1,06	C ₈ H ₁₅ BO
		Vitamin E	2,43	C ₂₉ H ₅₀ O ₂
		Asam karbonat, ester nonil but-3-yn-1-il	0,81	C ₁₄ H ₂₄ O ₃



2.5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis GC-MS, dapat disimpulkan bahwa ekstrak air dan metanol daun tarum (*Indigofera tinctoria*) mengandung beragam senyawa fitokimia yang memiliki potensi untuk diaplikasikan dalam biosintesis nanopartikel. Ekstrak air mengandung 38 senyawa, dengan senyawa dominan berupa 3-o-Metil-D-glukosa sebesar 55,43% yang diketahui memiliki aktivitas biologis. Sementara itu, ekstrak metanol mengandung 69 senyawa, dengan komponen utama mome inositol sebesar 19,13% yang dapat berperan sebagai agen penstabil nanopartikel. Selain itu, kedua ekstrak juga mengandung berbagai senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas antimikroba, antioksidan, dan antiinflamasi. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut menunjukkan bahwa daun tarum memiliki potensi sebagai sumber bahan alami yang efektif dalam pembuatan nanopartikel ramah lingkungan untuk berbagai aplikasi, seperti fotokatalis dan bioplastik.

2.6 Daftar Pustaka

- Adem Endris, Y., Abdu, K.Y., Abate, S.G., 2024. Investigation of bioactive phytochemical compounds of the Ethiopian medicinal plant using GC-MS and FTIR. *Heliyon* 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34687>
- Buzón-Durán, L., Sánchez-Hernández, E., Martín-Ramos, P., Navas-Gracia, L.M., García-González, M.C., Oliveira, R., Martín-Gil, J., 2023. *Silene uniflora* Extracts for Strawberry Postharvest Protection. *Plants* 12. <https://doi.org/10.3390/plants12091846>
- Ceyhan-Güvensen, N., Keskin, D., 2016. Chemical content and antimicrobial properties of three different extracts of *Mentha pulegium* leaves from Mugla Region, Turkey. *J Environ Biol* 37.
- Cupido, M., De-Nova, A., Guerrero-González, M.L., Pérez-Vázquez, F.J., Méndez-Rodríguez, K.B., Delgado-Sánchez, P., 2022. GC-MS analysis of phytochemical compounds of *Opuntia megarrhiza* (Cactaceae), an endangered plant of Mexico. *PeerJ Organic Chemistry* 4. <https://doi.org/10.7717/peerj-ochem.5>
- Dewanto, D.K., Hermawan, R., Muliadin, M., Riyadi, P.H., Aisiah, S., Tanod, W.A., 2021. Profil Gc-Ms Dari Ekstrak Daun *Rhizophora apiculata* Dari Pesisir Teluk Tomini, Sulawesi Tengah Dengan Aktivitas Antibakteri Dan Antioksidan. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* 14. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i1.8904>
- Fatra, E., Manguma, T.T.F., 2024. Pengelolaan Daun Tarung Sebagai Ekstrak Zat warna Alami Sarung Masyarakat Suku Kajang. *KIRANA : Social Science Journal* 1, 107–114. <https://doi.org/10.61579/kirana.v1i3.166>
- Gnanapriyanka Beulah, G., Soris, P.T., Mohan, V.R., 2018. GC-MS Determination of compounds of *Dendrophthoe falcata* (L.F) Ettingsh: An Epiphytic Plant. *Res* 8.
- ., Uddin, S.J., Shaw, S., Islam, M.A., Ahmed, M.I., Chandra Shill, U.K., Yarla, N.S., Khan, I.N., Billah, M.M., Pieczynska, M.D., ilainer, C., Nicoletti, F., Gulei, D., Berindan-Neagoe, I., Apostolov, ., Yeung, A.W.K., El-Demerdash, A., Xiao, J., Dey, P., Yele, S., alkowska, N., Marchewka, J., Rengasamy, K.R.R., Horbańczuk, J., Mubarak, M.S., Mishra, S.K., Shilpi, J.A., Atanasov, A.G., 2018.



- Phytol: A review of biomedical activities. Food and Chemical Toxicology 121. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.08.032>
- Joghee, S., Ganeshan, P., Vincent, A., Hong, S.I., 2019. Ecofriendly Biosynthesis of Zinc Oxide and Magnesium Oxide Particles from Medicinal Plant *Pisonia grandis* R.Br. Leaf Extract and Their Antimicrobial Activity. Bionanoscience 9. <https://doi.org/10.1007/s12668-018-0573-9>
- Mishra, D., Gomare, K., Vijaykumar, S.S., 2020. GC-MS Analysis and Phytochemical Screening of *Indigofera tinctoria* (Linn.) Leaf Extract Characterizing its Medicinal Use. International Journal of Ayurvedic Medicine 11, 289–299. <https://doi.org/10.47552/ijam.v11i2.1540>
- Muhtadi, Ulqodry, T.Z., Roziwan, Sarno, Aryawati, R., Hendri, M., 2025. Toxicity and potential bioactive compounds of *Rhizophora apiculata* and *Bruguiera sexangula* leaf extracts from two small islands on the coast of South Sumatra. Journal of Ecological Engineering 26, 134–146. <https://doi.org/10.12911/22998993/196660>
- Niki, E., Noguchi, N., 2021. Antioxidant action of vitamin E in vivo As Assessed From Its Reaction Products With Multiple Biological Oxidants. Free Radic Res. <https://doi.org/10.1080/10715762.2020.1866181>
- Novais, L.M.R. de, Ali, S., D'Oca, C.D.R.M., Salome, K.S., Barison, A., 2024. Is there creatine in plants? The true compound behind the ¹H NMR signal at 3.05 ppm in plant extracts. Frontiers in Natural Products 3. <https://doi.org/10.3389/fntr.2024.1360175>
- Pechyen, C., Tangnorawich, B., Toommee, S., Marks, R., Parcharoen, Y., 2024. Green synthesis of metal nanoparticles, characterization, and biosensing applications. Sensors International. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100287>
- Rajan, A.K., Cindrella, L., 2019. Studies on new natural dye sensitizers from *Indigofera tinctoria* in dye-sensitized solar cells. Opt Mater (Amst) 88, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.11.016>
- Rakhmawatie, M.D., Marfu'ati, N., Barsaliputri, B., Fikriyah, A.Z., Ethica, S.N., 2023. Antibacterial activity and GC-MS profile of secondary metabolites of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* HSFI-9 associated with *Holothuria scabra*. Biodiversitas 24. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240538>
- Siswadi, S., Saragih, G.S., 2021. Phytochemical analysis of bioactive compounds in ethanolic extract of *Sterculia quadrifida* R.Br., in: AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/5.0053057>
- Srinivasan, S., Wankhar, W., Rathinasamy, S., Rajan, R., 2015. Larvicidal potential of *indigofera tinctoria* (Fabaceae) on dengue vector (*Aedes aegypti*) and its antimicrobial activity against clinical isolates. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research 8.
- Sujatha, S., Catharin Sara, S., Gayathiri, M., Ramya Roselin, I., Gnana Deepa Ruby, R., 2020. Analysis Of Bioactive Compounds Present In Methanolic Extract Of *Phymatosorus scolopendria* (Burm. F.) Pic. Serm. Through Gas Chromato-Graphy And Mass Spectroscopy. Int J Pharm Sci Res 11, 3294–3299. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11\(7\).3294-99](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11(7).3294-99)
- Vijayan, R., Joseph, S., Mathew, B., 2018. *Indigofera tinctoria* leaf extract mediated is of silver and gold nanoparticles and assessment of their imicrobial, antioxidant and catalytic properties. Artif Cells Nanomed 861–871. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1345930>
- Jao, M., Xiong, W., Wu, L., 2022. (E)-9-Octadecenoic Acid Ethyl from Lotus Seedpod Ameliorates Inflammatory Responses by PKs and NF- B Signalling Pathways in LPS-Induced RAW264.7 Evidence-based Complementary and Alternative Medicine 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6731360>



- 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. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100312>
- Yasser, M., Rafi, M., Wahyuni, W.T., Widiyanti, S.E., Asfar, A.M.I.A., 2020. Total Phenolic Content And Antioxidant Activities of Buni Fruit (*Antidesma bunius* L.) in Moncongloe Maros District Extracted Using Ultrasound-Assisted Extraction. *Rasayan Journal of Chemistry* 13. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1315584>
- Zhao, J., Jiang, L., Tang, X., Peng, L., Li, X., Zhao, G., Zhong, L., 2018. Chemical Composition, antimicrobial and antioxidant activities of the flower volatile oils of *Fagopyrum esculentum*, *Fagopyrum tataricum* and *Fagopyrum cymosum*. *Molecules* 23. <https://doi.org/10.3390/molecules23010182>

