

Sintesis Komposit Ampas Teh/TiO₂ melalui Metode Solid-State Dispersion dan Aplikasinya dalam Penurunan Konsentrasi Metilen Biru

Yuliana Juice Maharani-1^a, Rahmawati Munir-2^a, Dadan Hamdani-3^a,
Sahara Hamas Intifadhah-4^a, St. Fatimah-5^{a*}

^aUniversitas Mulawarman

Jl. Barong Tongkok No.4, Gunung Kelua, Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda,
Kalimantan Timur 75242, Indonesia

Email : yulianajuce25@gmail.com, rahmawati@fmipa.unmul.ac.id,
dadanhamdani@fmipa.unmul.ac.id, saharahamas@fmipa.unmul.ac.id,
stfatimah@fmipa.unmul.ac.id*

Abstrak

Peningkatan limbah zat warna dari industri tekstil menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang perlu ditangani secara efektif dan ramah lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pemanfaatan limbah biomaterial sebagai adsorben yang dikombinasikan dengan material fotokatalis. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkaji kinerja komposit Ampas Teh/TiO₂ dalam proses penurunan konsentrasi Metilen Biru melalui mekanisme adsorpsi dan fotodegradasi. Komposit disintesis menggunakan metode *Solid-State Dispersion* (SSD) dengan variasi perbandingan massa Ampas Teh dan TiO₂. Karakterisasi material dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *UV-Visible Spectroscopy*. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi organik dari ampas teh dan pita Ti–O–Ti dari TiO₂. Uji fotodegradasi Metilen Biru menunjukkan bahwa komposit Ampas Teh/TiO₂ mampu menurunkan absorbansi zat warna secara lebih stabil dibandingkan sampel tunggal, dengan komposisi 8:2 memberikan kinerja terbaik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit Ampas Teh/TiO₂ berpotensi digunakan sebagai material alternatif dalam pengolahan limbah zat warna.

Kata Kunci : *Ampas Teh, Degradasi, Metilen Biru, TiO₂*

1. Latar Belakang

Absorben adalah suatu material yang memiliki kemampuan untuk menyerap zat lain, baik dalam bentuk cairan maupun gas, melalui proses fisik atau kimia [1]. Kemampuan suatu material sebagai adsorben dipengaruhi oleh karakteristik permukaan dan struktur material yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan zat yang akan diserap. Salah satu material alami yang berpotensi digunakan sebagai adsorben adalah ampas teh karena berasal

dari limbah biomassa yang mudah diperoleh dan memiliki komponen yang dapat mendukung proses penyerapan. Pemanfaatan limbah biomassa sebagai material penyerap menjadi salah satu alternatif karena dapat digunakan untuk mengurangi keberadaan zat pencemar, pemanfaatan ini juga dapat memberikan nilai tambah terhadap limbah yang sebelumnya kurang dimanfaatkan [2].

Ampas teh memiliki struktur dan kandungan senyawa yang berpotensi

mendukung proses adsorpsi. Struktur berpori pada ampas teh dapat menyediakan permukaan ini memungkinkan terjadinya interaksi dengan molekul atau ion yang terdapat di dalam larutan. Selain itu, ampas teh mengandung komponen selulosa, lignin, senyawa polifenol yang memiliki gugus fungsi tertentu sehingga berinteraksi dengan berbagai zat sebagai pencemar [3]. Karakteristik tersebut menyebabkan ampas teh dapat dimanfaatkan untuk menyerap berbagai jenis zat, termasuk logam berat maupun zat warna. Penelitian mengenai pemanfaatan ampas teh sebagai adsorben menunjukkan bahwa material ini mampu digunakan untuk mengadsorpsi ion logam seperti Fe dan Pb dari air [4]. Selain logam berat, ampas teh memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi zat warna Metilen Biru sehingga berpotensi dikembangkan sebagai material adsorben berbasis limbah biomassa [5].

Material lain yang memiliki potensi dalam pengolahan pencemar adalah titanium oksida atau TiO_2 . Titanium oksida merupakan material semikonduktor yang memiliki sifat optik, fotokatalitik, dan stabilitas kimia yang baik sehingga banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi, terutama pada bidang fotokatalisis dan pengolahan lingkungan [6]. Karakteristik tersebut menjadikan TiO_2 sebagai salah satu material yang digunakan dalam proses penguraian senyawa organik maupun zat warna di dalam air [7].

Ketika TiO_2 mendapatkan penyinaran ultraviolet (UV), energi cahaya dapat menyebabkan elektron pada pita valensi tereksitasi menuju pita konduksi dan menghasilkan pasangan elektron dan *hole* [7]. Pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk dapat berperan dalam reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan TiO_2 sehingga menghasilkan spesies reaktif yang dapat membantu proses penguraian senyawa organik [8]. Kemampuan tersebut menyebabkan TiO_2 digunakan sebagai material fotokatalis untuk mengurangi berbagai zat pencemar, termasuk Metilen Biru [9]. Selain aktivitas fotokatalitik,

TiO_2 juga memiliki sifat permukaan yang mendukung interaksi dengan air sehingga dapat membantu proses yang berlangsung pada permukaan material. Oleh karena itu, TiO_2 dikombinasikan dengan material adsorben alami seperti ampas teh untuk menghasilkan material komposit yang memiliki kemampuan adsorpsi dan fotokatalitik.

Metode *Solid-State Dispersion* (SSD) merupakan metode formulasi yang digunakan untuk meningkatkan kelarutan dan laju disolusi senyawa yang memiliki kelarutan rendah melalui proses pendispersian zat aktif secara homogen ke dalam suatu matriks pembawa padat [10]. Pada metode SSD, zat aktif dapat berada dalam bentuk amorf, terdispersi secara molekuler, atau berada dalam bentuk kristal berukuran sangat kecil. Kondisi tersebut dapat memengaruhi sifat fisik material dan interaksi antara zat aktif dengan matriks pembawanya. Metode SSD digunakan karena dapat membantu meningkatkan karakteristik senyawa yang memiliki kelarutan rendah tanpa harus melakukan perubahan terhadap struktur kimianya [11].

Pendekatan pendispersian secara homogen tersebut juga dapat diterapkan dalam pengembangan material komposit. Pada penelitian ini, metode SSD digunakan untuk menggabungkan ampas teh dan TiO_2 sehingga kedua komponen dapat terdispersi dalam suatu sistem komposit. Pendispersian komponen secara merata diharapkan dapat meningkatkan kontak antara ampas teh dan TiO_2 sehingga karakteristik komposit yang dihasilkan dapat mendukung proses penghilangan Metilen Biru. Penggunaan metode SSD untuk sintesis komposit berbasis TiO_2 juga telah diterapkan dalam pengembangan material fotokatalitik untuk degradasi Metilen Biru [11].

Untuk mengetahui kemampuan material dalam mengurangi konsentrasi zat warna dalam larutan, diperlukan metode analisis yang dapat memberikan informasi secara kuantitatif. Salah satu metode yang

dapat digunakan adalah spektrofotometri UV-Visible. Spektrofotometer UV-Visible merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur absorbansi dan transmitansi suatu sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang [12]. Prinsip pengukuran UV-Visible didasarkan pada interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan senyawa yang terdapat dalam sampel. Ketika cahaya melewati sampel, sebagian energi cahaya dapat diserap oleh senyawa tertentu sehingga intensitas cahaya yang diteruskan mengalami perubahan [13].

Selain UV-Visible, karakterisasi material juga diperlukan untuk mengetahui karakteristik kimia dari komponen penyusun komposit [14]. Salah satu teknik karakterisasi yang dapat digunakan adalah *Fourier Transform Infrared* (FTIR). FTIR merupakan teknik spektroskopi yang digunakan untuk menganalisis struktur kimia suatu material berdasarkan penyerapan radiasi inframerah oleh gugus fungsi yang terdapat di dalam material [15]. Setiap gugus fungsi memiliki karakteristik serapan pada daerah bilangan gelombang tertentu sehingga nilai spektrum FTIR dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada suatu bahan [16].

Karakterisasi FTIR menunjukkan perubahan karakteristik kimia material sebelum dan sesudah mengalami suatu proses [17]. Perubahan tersebut dapat diamati melalui pergeseran bilangan gelombang, perubahan intensitas, maupun perubahan bentuk pita serapan. Dalam penelitian adsorpsi, perubahan spektrum FTIR dapat digunakan sebagai informasi pendukung untuk mengetahui adanya interaksi antara gugus fungsi pada permukaan adsorben dengan molekul adsorbat. Oleh karena itu, FTIR digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik gugus fungsi pada ampas teh, TiO_2 , dan komposit Ampas Teh/ TiO_2 [18].

Pencemaran air oleh zat warna seperti Metilen Biru merupakan salah satu permasalahan yang perlu diperhatikan

karena keberadaan zat warna dalam perairan dapat memengaruhi kualitas lingkungan. Sebagai zat warna kationik, Metilen Biru memiliki muatan positif yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan permukaan adsorben melalui mekanisme tertentu, termasuk interaksi elektrostatis [19]. Karakteristik tersebut menyebabkan Metilen Biru banyak digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu material dalam proses penghilangan zat warna dari larutan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan pemanfaatan ampas teh maupun TiO_2 untuk mengatasi pencemaran zat warna. Penelitian menggunakan limbah teh hijau sebagai adsorben Metilen Biru dan menunjukkan bahwa limbah teh memiliki potensi sebagai material adsorben untuk menghilangkan zat warna dari larutan [20]. Penelitian menggunakan ampas teh yang diberi perlakuan alkali kalium hidroksida sebagai adsorben Metilen Biru dan menunjukkan bahwa perlakuan terhadap ampas teh dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya [21]. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, ampas teh telah menunjukkan potensi sebagai adsorben Metilen Biru, sedangkan TiO_2 telah banyak dimanfaatkan sebagai material fotokatalis untuk membantu proses degradasi zat warna. Namun, penelitian mengenai penggabungan ampas teh sebagai material adsorben dengan TiO_2 sebagai material fotokatalis melalui metode *Solid-State Dispersion* belum banyak dilakukan. Penelitian terdahulu juga lebih banyak mengkaji ampas teh atau TiO_2 secara terpisah, sehingga kombinasi ini sebagai material komposit untuk penghilangan Metilen Biru masih perlu dikaji lebih lanjut.

Selain itu, penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *Solid-State Dispersion* untuk komposit TiO_2 dan material limbah telah menunjukkan bahwa metode tersebut dapat digunakan dalam pembuatan material komposit untuk proses fotokatalitik [21]. Namun, penggunaan

ampas teh sebagai matriks biomassa dalam komposit Ampas Teh/TiO₂ serta pengaruh komposisi ini terhadap karakteristik dan kemampuan pendegradasian Metilen Biru masih menjadi aspek yang perlu diteliti. Hal ini menjadi research gap yang mendasari penelitian ini.

Dengan demikian, kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengembangan komposit Ampas Teh/TiO₂ menggunakan metode *Solid-State Dispersion* sebagai material yang mencampurkan potensi adsorpsi ampas teh dan aktivitas fotokatalitik TiO₂ dalam proses pendegradasian Metilen Biru. Kebaruan penelitian juga terletak pada variasi komposisi Ampas Teh/TiO₂ untuk memperoleh komposisi yang memberikan kinerja terbaik dalam proses pendegradasian Metilen Biru. Kinerja material dianalisis berdasarkan perubahan konsentrasi Metilen Biru menggunakan spektrofotometer UV-Visible, sedangkan karakteristik gugus fungsi material dianalisis menggunakan FTIR.

Dalam penelitian ini, komposit Ampas Teh/Titanium Dioksida dikembangkan sebagai material adsorben untuk mengurangi konsentrasi Metilen Biru dalam larutan. Penggabungan ampas teh dan TiO₂ diharapkan dapat menunjukkan kemampuan ampas teh dalam proses adsorpsi dengan kemampuan TiO₂ dalam proses fotokatalitik. Dengan adanya kombinasi tersebut, pendegradasian Metilen Biru diharapkan dapat berlangsung melalui kontribusi proses adsorpsi dan fotokatalisis. Dalam metode *Solid-State Dispersion* ini digunakan dalam proses pembuatan komposit untuk membantu proses pendispersian TiO₂ pada matriks ampas teh. Kinerja komposit kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Visible dengan mengamati perubahan absorbansi dan konsentrasi Metilen Biru setelah mengalami perlakuan sebelumnya. Karakteristik gugus fungsi material dianalisis menggunakan FTIR untuk menunjukkan gugus fungsi material serta

kemungkinan interaksi yang terjadi selama proses adsorpsi.

2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu preparasi serbuk ampas teh (AT), sintesis komposit AT/TiO₂ menggunakan metode Solid-State Dispersion (SSD), pengujian fotodegradasi Metilen Biru (MB), serta karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan Fourier Transform Infrared (FTIR). Penelitian dilakukan untuk mengetahui kemampuan material AT/TiO₂ dalam menurunkan konsentrasi MB melalui proses adsorpsi dan fotodegradasi.

Alat yang digunakan dalam preparasi ampas teh yaitu gelas ukur, wadah sampel, saringan, blender, mortar dan alu, ayakan 200 *mesh*, serta oven. Bahan yang digunakan adalah ampas teh dan air sebagai bahan pencuci. Ampas teh diperoleh dari teh yang telah diseduh untuk dikonsumsi. Setelah proses penyeduhan selesai, ampas teh dipisahkan dari air seduhan menggunakan saringan. Ampas teh kemudian dicuci menggunakan air mengalir hingga bersih dan air terlihat jernih. Pencucian ini dilakukan untuk menghilangkan sisa komponen yang masih menempel pada ampas teh setelah proses penyeduhan.

Ampas teh yang telah dicuci kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 230 °C selama 2 × 30 menit. Ampas teh dimasukkan ke dalam oven dalam kondisi basah karena setelah proses pencucian masih terdapat kandungan air yang cukup tinggi. Pengeringan dilakukan hingga diperoleh ampas teh dalam kondisi kering sebelum proses penghalusan. Suhu 230 °C digunakan sebagai kondisi pengeringan yang diterapkan dalam penelitian untuk mempercepat penghilangan air dari ampas teh yang masih basah setelah pencucian. Ampas teh yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan blender untuk memperkecil ukuran partikelnya. Setelah itu serbuk dihaluskan kembali menggunakan mortar dan alu agar

diperoleh ukuran partikel yang lebih seragam. Serbuk kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 200 *mesh*. Serbuk ampas teh hasil pengayakan disimpan dalam wadah tertutup dan digunakan sebagai bahan dasar dalam sintesis komposit AT/TiO₂, seperti pada Gambar 1.

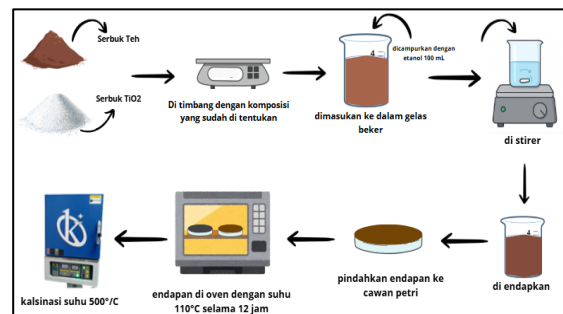


Gambar 1. Sintesis Serbuk Ampas Teh

Sintesis komposit AT/TiO₂ dilakukan menggunakan metode Solid-State Dispersion (SSD). Metode ini dilakukan dengan mendispersikan serbuk AT dan TiO₂ hingga diperoleh campuran yang homogen sebelum dilakukan proses pengeringan dan kalsinasi. Etanol 96% digunakan sebagai media pendispersi untuk membantu proses pencampuran kedua material. Serbuk AT dan TiO₂ ditimbang dengan total massa 5 g untuk setiap variasi komposisi. Variasi komposisi AT/TiO₂ yang digunakan adalah 9:1, 8:2, dan 7:3. Komposisi 9:1 terdiri atas 4,5 g AT dan 0,5 g TiO₂, komposisi 8:2 terdiri atas 4 g AT dan 1 g TiO₂, sedangkan komposisi 7:3 terdiri atas 3,5 g AT dan 1,5 g TiO₂. Masing-masing campuran kemudian ditambahkan etanol 96% sebanyak 100 mL.

Campuran AT/TiO₂ dan etanol kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam untuk membantu proses dispersi dan menghasilkan campuran yang homogen. Setelah proses pengadukan selesai, campuran didiamkan selama 12 jam sehingga terbentuk endapan. Endapan yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C selama 12 jam untuk menghilangkan etanol dan kandungan pelarut yang tersisa.

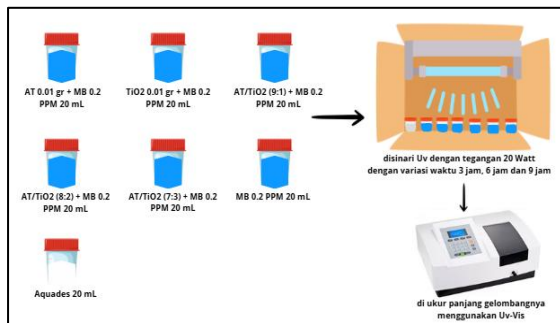
Selanjutnya dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 1 jam. Setelah proses kalsinasi selesai, komposit AT/TiO₂ didinginkan hingga mencapai suhu ruang dan diperoleh. Serbuk tersebut kemudian disimpan dalam wadah tertutup hingga digunakan untuk pengujian fotodegradasi dan karakterisasi FTIR, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Sintesis Komposit Ampas teh/TiO₂

Uji fotodegradasi dilakukan menggunakan larutan MB dengan konsentrasi 0,2 ppm. Volume larutan MB yang digunakan pada setiap perlakuan adalah 20 mL. Massa material yang digunakan pada sampel perlakuan adalah 0,01 g. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa kelompok perlakuan, yaitu MB tanpa penambahan material, MB dengan penyinaran UV tanpa penambahan material, MB dengan penambahan AT, MB dengan penambahan TiO₂, serta MB dengan penambahan komposit AT/TiO₂ pada variasi komposisi 9:1, 8:2, dan 7:3. Larutan MB tanpa material digunakan sebagai kontrol untuk mengetahui perubahan konsentrasi MB akibat penyinaran dan kondisi lingkungan tanpa adanya material. Perlakuan MB dengan penyinaran UV tanpa material digunakan untuk mengetahui pengaruh fotolisis akibat sinar UV. Sementara itu, perlakuan MB dengan AT dan TiO₂ digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui kemampuan masing-masing material dalam mengurangi konsentrasi MB. Variasi komposit AT/TiO₂ digunakan untuk mengetahui pengaruh perbandingan komposisi terhadap kemampuan penghilangan MB.

Setiap sampel ditempatkan pada wadah pengujian dengan volume larutan 20 mL. Sampel kemudian disinari menggunakan lampu UV berdaya 20 W dengan jarak antara sumber lampu dan permukaan sampel sebesar 30 cm. Lama penyinaran divariasikan selama 3, 6, dan 9 jam. Seluruh sampel diberikan kondisi pengujian yang sama selama proses penyinaran. Selama proses penyinaran, sampel dibiarkan tanpa pengadukan, seperti Gambar 3.



Gambar 3. Proses Penyinaran Sampel dan Uji Absorbansi UV-Vis

Pengukuran UV-Vis dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-2600i dengan rentang pengukuran 180–900 nm. Instrumen ini memiliki rentang panjang gelombang pada daerah ultraviolet hingga tampak sehingga dapat digunakan untuk memperoleh spektrum absorbansi sampel. Sebelum pengukuran sampel, dilakukan pengukuran spektrum larutan MB untuk menentukan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}). Selanjutnya, absorbansi awal (A_0) larutan MB diukur sebelum diberikan perlakuan. Setelah proses penyinaran selama 3, 6, dan 9 jam, absorbansi akhir (A_t) masing-masing sampel diukur pada panjang gelombang maksimum yang sama.

Adapun perhitungan degradasi warna penyerapan metilen biru, sebagai berikut:

$$\text{Persentase Degradasi} = \left(1 - \frac{c_t}{c_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

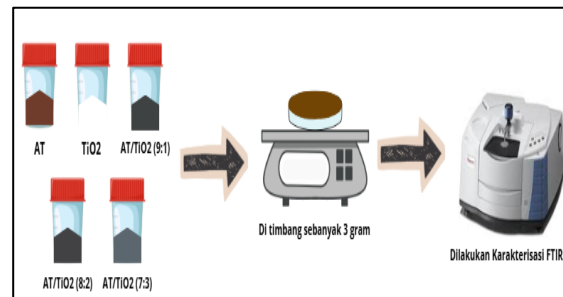
Di mana:

c_t = Sampel yang sudah disinari lampu UV

c_0 = Sampel yang belum mengalami penyinaran

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada AT, TiO_2 , dan komposit AT/ TiO_2 serta mengetahui perubahan karakteristik gugus fungsi setelah proses sintesis.

Pengukuran dilakukan menggunakan spektrometer FTIR Thermo Scientific Nicolet iS5. Instrumen FTIR digunakan untuk memperoleh spektrum serapan inframerah dari material berdasarkan bilangan gelombang. Sampel material dipreparasi sesuai prosedur pengukuran instrumen kemudian ditempatkan pada bagian pengukuran FTIR. Spektrum yang diperoleh digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi berdasarkan posisi pita serapan karakteristik. Perubahan posisi, intensitas, dan bentuk pita serapan antara AT, TiO_2 , dan komposit AT/ TiO_2 digunakan untuk mengetahui adanya interaksi antara komponen penyusun komposit, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Uji Karakterisasi FTIR

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian UV-Vis dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik absorbansi larutan metilen biru (MB) setelah diberikan perlakuan menggunakan ampas teh (AT), titanium dioksida (TiO_2), dan komposit AT/ TiO_2 dengan variasi komposisi 9:1, 8:2, dan 7:3. Sampel yang digunakan terdiri atas sampel A berupa aquades sebagai pembanding, sampel B berupa larutan MB 0,2 ppm tanpa penambahan material, sampel C berupa MB dengan ampas teh, sampel D berupa MB dengan TiO_2 , serta sampel E, F, dan G berupa MB dengan komposit AT/ TiO_2 masing-masing pada perbandingan 9:1,

8:2, dan 7:3. Penggunaan variasi sampel tersebut bertujuan untuk membandingkan perubahan absorbansi larutan MB pada kondisi tanpa perlakuan material, dengan material tunggal, dan dengan material komposit.

Hasil pengukuran menunjukkan adanya perubahan nilai absorbansi pada masing-masing sampel setelah penyinaran selama 3, 6, dan 9 jam. Perubahan absorbansi digunakan sebagai indikator perubahan konsentrasi MB dalam larutan. Secara umum, semakin rendah absorbansi larutan pada panjang gelombang analisis, semakin rendah konsentrasi MB yang tersisa di dalam larutan. Oleh karena itu, perubahan absorbansi dapat digunakan untuk mengevaluasi proses penghilangan MB selama perlakuan. Perbedaan nilai absorbansi pada setiap variasi sampel dapat menunjukkan adanya perbedaan efektivitas perlakuan dalam menurunkan konsentrasi MB. Lama penyinaran juga menjadi faktor yang perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi tingkat penghilangan zat warna selama proses berlangsung. Adapun data Variasi sampel yang digunakan pada waktu penyinaran di bawah lampu UV, sebagai berikut:

Tabel 1. Data Variasi Sampel

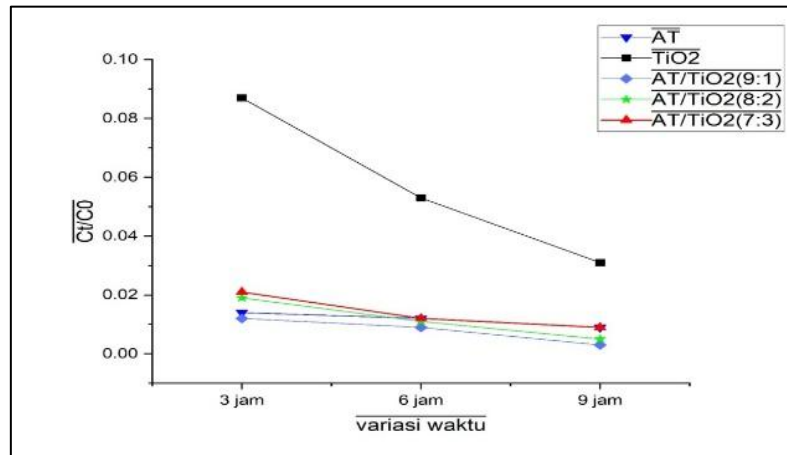
Nama Sampel	Komposisi Sampel
Sampel A	Aquades 20 mL
Sampel B	Metilen Biru (0,2 ppm) 20 mL
Sampel C	Metilen Biru (0,2 ppm) 20 mL + Ampas Teh 0,01 gram
Sampel D	Metilen Biru (0,2 ppm) 20 mL + Titanium Dioksida 0,01 gram
Sampel E	Metilen Biru (0,2 ppm) 20 mL + Ampas Teh/Titanium Dioksida (9:1) 0,01 gram
Sampel F	Metilen Biru (0,2 ppm) 20 mL + Ampas Teh/Titanium Dioksida (8:2) 0,01 gram
Sampel G	Metilen Biru (0,2 ppm) 20 mL + Ampas Teh/Titanium Dioksida (7:3) 0,01 gram

Penurunan konsentrasi MB dalam penelitian ini dapat melibatkan dua proses, yaitu adsorpsi dan fotodegradasi. Adsorpsi merupakan proses berpindahnya molekul MB dari larutan menuju permukaan material. Dalam penelitian ini, ampas teh berperan sebagai adsorben karena memiliki berbagai gugus fungsi organik yang dapat berinteraksi dengan molekul MB. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ampas teh dapat mengadsorpsi MB melalui beberapa mekanisme, antara lain interaksi elektrostatis, ikatan hidrogen, pertukaran ion, dan interaksi π - π . Gugus fungsi pada permukaan ampas teh juga diketahui berperan dalam proses pengikatan MB. Hal ini dapat dikaitkan dengan sampel C yang terdiri atas MB dan 0,01 g ampas teh. Pada sampel ini, proses penghilangan MB terutama dapat dikaitkan dengan adsorpsi oleh ampas teh.

Sedangkan ampas teh, TiO_2 dapat berperan sebagai fotokatalis. Ketika TiO_2 memperoleh energi cahaya dengan energi yang sesuai dengan celah pita energinya, elektron dapat tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi sehingga terbentuk pasangan *elektron-hole*. Selanjutnya dapat menghasilkan reaksi reaktif yang berperan dalam proses oksidasi senyawa organik, termasuk zat warna. TiO_2 sendiri memiliki *band gap* sekitar 3,2 eV dan secara umum aktif pada daerah ultraviolet. Pada sampel D yang mengandung MB dan TiO_2 , penghilangan MB dapat berlangsung melalui kombinasi interaksi permukaan dengan TiO_2 dan proses fotokatalitik selama penyinaran UV. Sedangkan, pada sampel E, F, dan G, keberadaan ampas teh dan TiO_2 memungkinkan terjadinya kombinasi antara adsorpsi dan fotokatalisis. Ampas teh berperan menyediakan permukaan dan gugus fungsi yang dapat mengikat MB, sedangkan TiO_2 berperan dalam proses fotokatalitik ketika memperoleh penyinaran UV.

Berdasarkan grafik absorbansi UV–Vis, menunjukkan adanya penurunan nilai absorbansi Metilen Biru setelah disinari Lampu UV pada semua sampel yang telah diberi perlakuan dengan adsorben atau fotokatalis. Penurunan absorbansi ini menunjukkan berkurangnya konsentrasi Metilen Biru dalam larutan yang yaitu proses adsorpsi oleh permukaan ampas teh

dan fotodegradasi oleh TiO_2 di bawah sinar UV. Semakin kecil nilai absorbansi yang terukur, semakin sedikit Metilen Biru yang tersisa dalam larutan. Sehingga komposit Ampas Teh/ TiO_2 dapat berfungsi lebih baik dibandingkan ampas teh atau TiO_2 murni, karena adanya proses penyerapan antara ampas teh dan aktivitas fotokatalitik TiO_2 , seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Distribusi Absorbansi Penyerapan Metilen Biru dengan Variasi Waktu

Grafik persentase degradasi menunjukkan bahwa semua sampel yang mengandung ampas teh dan TiO_2 mampu menyerap Metilen Biru dengan baik. Pada penyinaran selama 3 jam, komposit Ampas Teh/ TiO_2 menunjukkan tingkat degradasi yang tinggi, bahkan lebih tinggi daripada TiO_2 yang murni. Sehingga dengan ditambahkannya ampas teh bertujuan untuk meningkatkan interaksi antara Metilen Biru dan TiO_2 melalui proses awal adsorpsi. Adapun perhitungan degradasi warna penyerapan metilen biru, sebagai berikut:

$$\text{Persentase Degradasi} = \left(1 - \frac{c_t}{c_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

Di mana:

c_t = Sampel yang sudah disinari lampu UV

c_0 = Sampel yang belum mengalami penyinaran

Tabel 2. Perhitungan degradasi warna penyerapan metilen biru

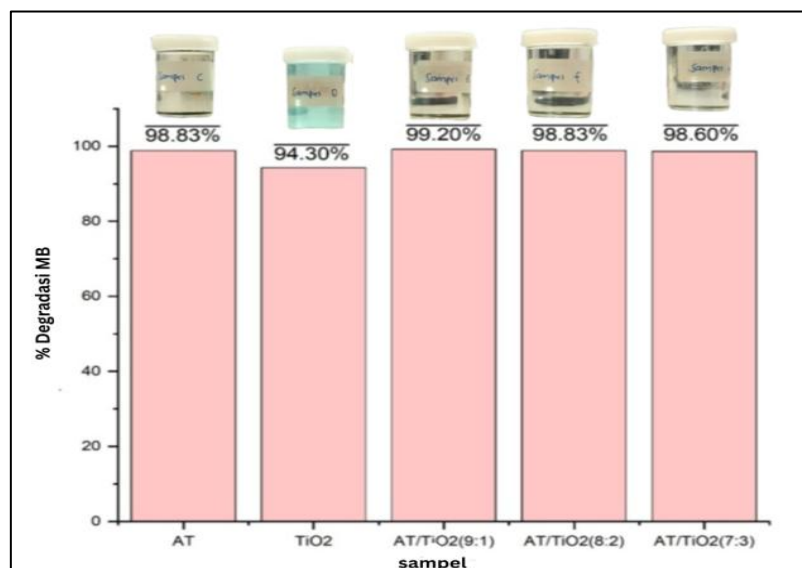
Variasi Waktu	Nama Sampel	Panjang Gelomban g (nm)	Persentase Degradasi (%)
3 Jam	C	450	98,6
	D		91,3
	E		98,8
	F		98,1
	G		97,9
6 Jam	C	450	98,8
	D		94,7
	E		99,1
	F		98,9
	G		98,8
9 Jam	C	450	99,1
	D		96,9
	E		99,7
	F		99,7
	G		99,1

Variasi komposisi dilakukan untuk melihat pengaruh perbandingan ampas teh dan TiO_2 terhadap penghilangan metilen biru (MB). Sampel E, F, dan G masing-masing memiliki perbandingan AT/ TiO_2 sebesar 9:1, 8:2, dan 7:3. Perbedaan komposisi menyebabkan jumlah ampas teh

dan TiO_2 dalam komposit berbeda, sehingga dapat memengaruhi proses penghilangan MB. Pada komposisi 9:1, jumlah ampas teh lebih banyak dibandingkan TiO_2 sehingga proses adsorpsi oleh ampas teh lebih dominan. Pada komposisi 8:2 dan 7:3, jumlah TiO_2 lebih banyak sehingga kontribusi TiO_2 dalam proses fotokatalisis juga meningkat. Perbandingan kedua komponen tersebut dapat memengaruhi proses adsorpsi dan fotodegradasi MB. Berdasarkan hasil yang diperoleh, ketiga komposisi menunjukkan persentase penghilangan MB yang tinggi. Pada waktu 9 jam, sampel E dan F sama-sama mencapai 99,7%, sedangkan sampel G mencapai 99,1%. Pada waktu 3 jam, sampel E memiliki nilai penghilangan sebesar 98,8%, sampel F sebesar 98,1%, dan sampel G sebesar 97,9%. Nilai tersebut meningkat pada waktu 6 dan 9 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit AT/ TiO_2 dapat digunakan untuk

membantu proses penghilangan MB melalui proses adsorpsi dan fotokatalisis.

Sampel F dengan komposisi 8:2 mengalami peningkatan dari 98,1% pada 3 jam menjadi 98,9% pada 6 jam dan 99,7% pada 9 jam. Sampel E memiliki nilai 98,8% pada 3 jam, 99,1% pada 6 jam, dan 99,7% pada 9 jam. Sementara itu, sampel G memiliki nilai 97,9%, 98,8%, dan 99,1% pada waktu yang sama. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan komposisi AT dan TiO_2 memengaruhi hasil penghilangan MB. Komposisi 9:1 dan 8:2 memberikan nilai penghilangan yang lebih tinggi dibandingkan komposisi 7:3, terutama pada waktu 9 jam. Banyak dibandingkan dengan Ampas Teh sehingga menyebabkan peningkatan efisiensi degradasi tidak jauh berbeda dari komposisi lainnya, bahkan cenderung stabil, terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Persentase Degradasi Penyerapan Metilen Biru

Adapun perhitungan *band gap* yang didapatkan dari pengukuran *Uv-Visible*, sebagai berikut:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

Di mana :

h = konstanta plank ($6,626 \times 10^{-34}$ J)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ = Panjang gelombang

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

Maka :

$$E(\text{eV}) = \frac{1243}{\lambda} \quad (3)$$

Tabel 3. Perhitungan *Band gap*

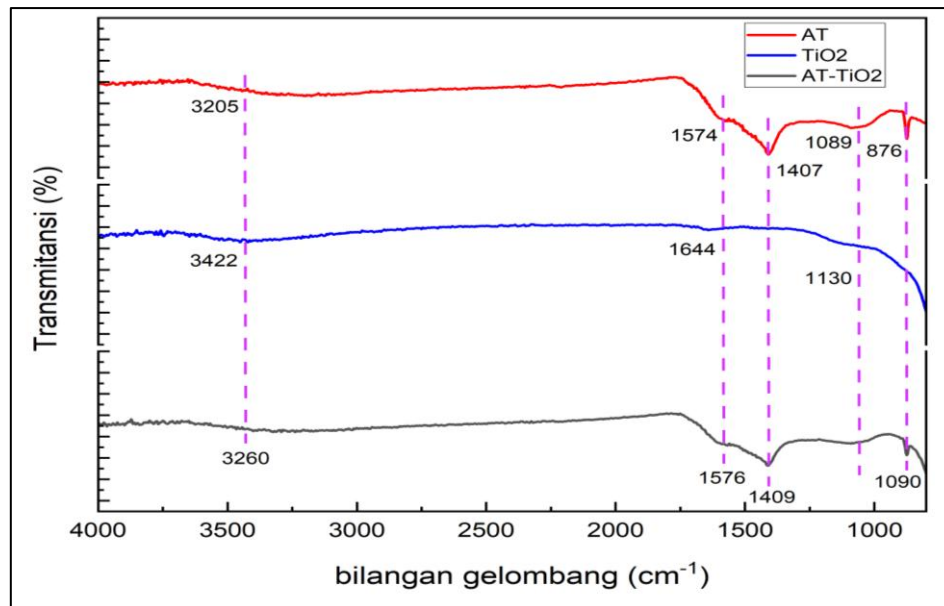
Variasi Waktu	Sampel	Band Gap (eV)
3 Jam	C	3,1
	D	3,2
	E	3,0
	F	3,01
	G	3,02
6 Jam	C	3,1
	D	3,1
	E	3,01
	F	3,0
	G	3,01
9 Jam	C	3,0
	D	3,1
	E	3,2
	F	3,1
	G	3,23

Nilai *band gap* didapatkan dari perhitungan *Tauc plot* dan digunakan untuk mengetahui kemampuan bahan dalam menyerap energi cahaya dan mengetahui dalam proses fotokatalisis. Lama waktu penyinaran yaitu 9 jam tidak menunjukkan perbedaan nilai *band gap* yang jelas karena waktu penyinaran lebih berpengaruh terhadap proses degradasi penyerapan metilen biru. Nilai *band gap* yang paling efektif terdapat pada variasi waktu 3 jam karena tidak memerlukan energi yang banyak dalam melakukan penyerapan. Perbedaan pada nilai *band gap* yang didapatkan karena data UV-Visible yang dihasilkan naik turun atau perbedaan dalam penarikan garis pada grafik penentuan *band gap*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit Ampas Teh/TiO₂ memiliki potensi yang baik dalam bidang fisika lingkungan, khususnya dalam pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna. Pada fisika lingkungan, proses penurunan konsentrasi Metilen Biru yang terjadi melibatkan fenomena fisis dan kimia, seperti adsorpsi permukaan, interaksi molekul, serta proses fotokatalitik akibat penyinaran UV. Stabilitas pH selama proses menunjukkan bahwa sistem

yang digunakan tidak mengganggu keseimbangan kimia lingkungan perairan, sehingga material ini berpotensi diaplikasikan sebagai teknologi ramah lingkungan. Selain itu, pemanfaatan ampas teh sebagai biomaterial adsorben dapat mengurangi limbah organik, sementara penggunaan TiO₂ sebagai fotokatalis memungkinkan pemanfaatan energi cahaya untuk mendegradasi polutan. Maka, komposit Ampas Teh/TiO₂ dapat dikatakan sebagai material berbasis fisika lingkungan yang efektif dalam mitigasi pencemaran air dan berkontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan limbah.

Berdasarkan spektrum FTIR pada Gambar 7 sampel ampas teh (AT), pada bilangan gelombang sekitar 3205 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus O-H, sedangkan puncak pada 1574 cm⁻¹, 1407 cm⁻¹, 1089 cm⁻¹, dan 876 cm⁻¹ adalah gugus fungsi organik yang umum terdapat pada bahan alami seperti ampas teh. Pada TiO₂, bilangan gelombang di sekitar 3422 cm⁻¹ dan 1644 cm⁻¹ berkaitan dengan gugus -OH dan air yang teradsorpsi di permukaan material. Pada komposit AT-TiO₂, muncul pita serapan pada sekitar 3260 cm⁻¹ serta pergeseran puncak pada daerah 1576 cm⁻¹, 1409 cm⁻¹, dan 1090 cm⁻¹. Pergeseran bilangan gelombang ini menunjukkan adanya interaksi fisik antara gugus fungsi organik pada ampas teh dengan permukaan TiO₂, yaitu melalui ikatan hidrogen atau gaya elektrostatis. Interaksi ini menunjukkan bahwa TiO₂ berhasil terdispersi pada permukaan ampas teh tanpa merusak struktur kimia utama masing-masing material. Hasil FTIR menunjukkan bahwa komposit Ampas Teh/Titanium Dioksida berhasil terbentuk dengan baik dan memiliki gugus fungsi aktif yang mendukung mekanisme sinergis antara adsorpsi dan fotodegradasi, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Uji FTIR Gabungan untuk Fotodegradasi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit Ampas Teh/TiO₂ memiliki potensi yang baik dalam bidang fisika lingkungan, khususnya dalam pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna. Pada fisika lingkungan, proses penurunan konsentrasi Metilen Biru yang terjadi melibatkan fenomena fisis dan kimia, seperti adsorpsi permukaan, interaksi molekul, serta proses fotokatalitik akibat penyinaran UV. Stabilitas pH selama proses menunjukkan bahwa sistem yang digunakan tidak mengganggu keseimbangan kimia lingkungan perairan, sehingga material ini berpotensi diaplikasikan sebagai teknologi ramah lingkungan. Selain itu, pemanfaatan ampas teh sebagai biomaterial adsorben dapat mengurangi limbah organik, sementara penggunaan TiO₂ sebagai fotokatalis memungkinkan pemanfaatan energi cahaya untuk mendegradasi polutan. Maka, komposit Ampas Teh/TiO₂ dapat dikatakan sebagai material berbasis fisika lingkungan yang efektif dalam mitigasi pencemaran air dan berkontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan limbah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, komposit ampas teh/TiO₂ berhasil dibuat menggunakan metode *Solid-State Dispersion* (SSD) dengan variasi komposisi 9:1, 8:2, dan 7:3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan ampas teh dan TiO₂ dapat membantu mengurangi konsentrasi Metilen Biru (MB) selama proses penyinaran UV. Sampel dengan komposisi 8:2 menunjukkan hasil yang relatif stabil, dengan persentase penghilangan MB sebesar 98,1% pada penyinaran 3 jam, 98,9% pada 6 jam, dan 99,7% pada 9 jam. Hasil FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi dari ampas teh serta perubahan pada spektrum komposit yang menunjukkan adanya interaksi antara ampas teh dan TiO₂. Penelitian ini menggunakan larutan MB tanpa penambahan ampas teh dan TiO₂ sebagai sampel kontrol, sehingga hasil sampel yang menggunakan material dapat dibandingkan dengan larutan MB tanpa material. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam membedakan secara kuantitatif pengaruh adsorpsi dan fotodegradasi karena kedua proses dapat berlangsung secara bersamaan pada komposit AT/TiO₂.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan pengujian yang dapat membedakan kontribusi adsorpsi dan fotodegradasi, melakukan pengukuran UV-Vis pada panjang gelombang maksimum MB, serta menambahkan variasi waktu dan komposisi untuk memperoleh hasil yang lebih lengkap.

Daftar Pustaka

- [1] N. A. Adnan, N. F. Jaafar, E. Tri Wahyuni, A. A. Abdul Mutalib, and T. A. Mahmuelee Torlaema, "Effect of tea waste extract volume on synthesis of TiO_2 for photodegradation of 2,4-dichlorophenol," *Malaysian Journal of Catalysis*, vol. 8, no. 1, pp. 9–13, 2024, doi: 10.11113/mjcat.v8n1.180.
- [2] R. F. Azzahra and M. Taufik, "Bio-adsorben berbahan dasar limbah ampas teh (*Camellia sinensis*) sebagai agent penyerap logam berat Fe dan Pb pada air sungai," *Jurnal Kinetika*, vol. 11, no. 1, pp. 65–70, 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index65>
- [3] S. S. Bahari, F. N. Jahid, Y. M. Lian, R. A. Ramli, and L. S. Ling, "Adsorption of Methylene Blue using tea waste treated with alkaline-potassium hydroxide," *Key Engineering Materials*, vol. 932, pp. 59–69, 2022, doi: 10.4028/p-w80ye7.
- [4] S. Fatimah, I. Isnaeni, B. Abdullah, and D. Tahir, "Strong luminescence carbon nanodots by green synthesis based microwave assisted from fruit peel," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1242, no. 1, p. 012038, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1242/1/012038.
- [5] C. Guillén, "Determination of the Band Gap Energy of SnO_2 and ZnO thin films with different crystalline qualities and doping levels," *Electronic Materials*, vol. 6, no. 1, p. 3, 2025, doi: 10.3390/electronicmat6010003.
- [6] R. Munir et al., "The solid state dispersion method for synthesizing eggshells ES/TiO_2 composite to enhance photocatalytic degradation methylene blue," p. 103150, 2025, doi: 10.1016/j.mex.2024.103150.
- [7] N. Naposia, S. Sachana, M. Zaky, M. Jarnawi, and R. Ilmianih, "Metode penjernihan air melalui proses fotokatalis dengan TiO_2 dan aplikasinya," *JPFT: Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online*, vol. 13, no. 2, pp. 145–154, 2025, doi: 10.22487/jpft.v13i2.4362.
- [8] A. Perdana, A. Zarkasi, D. Hamdani, A. I. Natalisanto, and R. Munir, "Karakteristik adsorben ampas teh dalam menyerap ion logam timbal menggunakan model isoterm Langmuir," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika (JIIF)*, vol. 7, no. 1, pp. 90–97, 2023.
- [9] F. D. Utami et al., " TiO_2 photocatalytic degradation of Methylene Blue using simple spray method," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 599, no. 1, p. 012026, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/599/1/012026.
- [9] I. S. M. Ali, U. A. Sajad, dan B. K. Abdul Rasool, "Solid dispersion systems for enhanced dissolution of poorly water-soluble candesartan cilexetil: In vitro evaluation and simulated pharmacokinetics studies," *PLOS ONE*, vol. 19, no. 6, p. e0303900, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0303900.
- [10] X. Chen dan A. Selloni, "Introduction: Titanium dioxide (TiO_2) nanomaterials," *Chemical Reviews*, vol. 114, no. 19, pp. 9281–9282, 2012, doi: 10.1021/cr500422r.
- [11] M. El-Azazy, A. S. El-Shafie, dan B. Al-Shaikh Yousef, "Green tea waste as an efficient adsorbent for Methylene Blue: Structuring of a novel adsorbent using full factorial

- design,” *Molecules*, vol. 26, no. 20, p. 6138, 2021, doi: 10.3390/molecules26206138.
- [12] G. W. Jaya et al., “Perhitungan nilai energi celah pita minyak kayu putih menggunakan data pengukuran spektrofotometer UV-Vis,” *Journal of Pattimura (JoP)*, vol. 10, no. 2, pp. 79–84, 2025.
- [13] J. Klein et al., “Limitations of the Tauc plot method,” *Advanced Functional Materials*, vol. 33, no. 47, p. 2304523, 2023, doi: 10.1002/adfm.202304523.
- [14] T. A. H. Nguyen, H. H. Ngo, W. Guo, dan T. V. Nguyen, “Adsorption of Methylene Blue onto biochar derived from agricultural residues: Mechanisms, influencing factors and adsorption capacity,” *Bioresource Technology Reports*, vol. 11, p. 100491, 2020, doi: 10.1016/j.biteb.2020.100491.
- [15] M. R. F. Pratama, S. Suratno, dan E. Mulyani, “Profile of thin-layer chromatography and UV-Vis spectrophotometry of Akar Kuning stem extract (*Arcangelisia flava*),” *Borneo Journal of Pharmacy*, vol. 1, no. 2, pp. 72–76, 2023, doi: 10.33084/bjop.v1i2.367.
- [16] I. Purwaningsih dan S. Supriyanto, “Pengaruh jumlah pencucian beras dengan kadar klorin,” *Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, vol. 1, no. 1, p. 89, 2021, doi: 10.30602/jlk.v1i1.102.
- [17] R. Rahmayanti, N. R. Yahdiyani, dan D. N. Afifah, “Eco-friendly synthesis of magnetite based on tea dregs (Fe_3O_4 -TD) for methylene blue adsorbent,” *Indonesian Journal of Chemistry and Environment*, 2022.
- [18] R. Ríos-Reina dan S. M. Azcarate, “How chemometrics revives the UV-Vis spectroscopy applications as an analytical sensor for spectralprint (nontargeted) analysis,” *Chemosensors*, vol. 11, no. 1, p. 8, 2023, doi: 10.3390/chemosensors11010008.
- [19] Z. Shi, C. W. K. Chow, R. Fabris, J. Liu, dan B. Jin, “Applications of online UV-Vis spectrophotometer for drinking water quality monitoring and process control: A review,” *Sensors*, vol. 22, no. 8, p. 2987, 2022, doi: 10.3390/s22082987.
- [20] D. Sylvia et al., “Optimization of methylene blue dye adsorption in fixed bed column packed with tea waste via response surface methodology,” *Journal of Science and Technology Research*, vol. 12, no. 1, pp. 33–42, 2023.
- [21] Tohari, “Pemanfaatan ampas teh,” *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, pp. 143–149, 2022.