

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang esensial dan tidak tergantikan dan telah menjadi fondasi bagi tumbuh dan berkembangnya berbagai peradaban. Ketersediaan air bersih tidak hanya berperan dalam mendukung aktivitas manusia, tetapi juga menjaga keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Kong et al., 2022). Namun, perkembangan yang signifikan di sektor industri telah menyebabkan peningkatan pencemaran lingkungan, menjadikan isu ini sebagai salah satu perhatian utama di seluruh dunia khususnya pencemaran pada sumber air dan air limbah. Air yang terkontaminasi oleh limbah organik dan zat beracun, seperti pewarna sintesis dari industri tekstil, menimbulkan toksisitas yang membahayakan kesehatan manusia dan organisme akuatik (Elias et al., 2021) serta berpotensi merusak ekosistem secara luas (Dhar et al., 2021). Laporan Pembangunan Air Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) 2020 memperkirakan lebih dari 748 juta orang di seluruh dunia tidak memiliki akses terhadap air minum bersih dan terdapat potensi yang membahayakan dalam air limbah (Naciri et al., 2020; Narayanan et al., 2024).

Air limbah yang paling banyak menjadi fokus penelitian adalah air limbah yang mengandung zat pewarna organik. *Congo Red* (CR) dan *Rhodamine B* (RB) merupakan dua jenis pewarna organik yang berasal dari golongan pewarna yang berbeda. *Congo Red* berasal dari golongan pewarna azo sementara *Rhodamine B* dari golongan pewarna xanthene. Selain itu, kedua pewarna ini juga memiliki sifat pembawa muatan yang berbeda, *Congo Red* sebagai pembawa muatan negatif (anionik) sementara *Rhodamine B* sebagai pembawa muatan positif. Kedua pewarna ini bersifat karsinogenik, memiliki toksisitas tinggi dan berpotensi menimbulkan ancaman serius terhadap ekosistem (Imam & Babamale, 2020; J. Wang et al., 2024). Sejauh ini, berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk menghilangkan CR dan RB dari lingkungan perairan (Kishor et al., 2021). Salah satu metode yang menjanjikan adalah teknologi fotokatalitik, yang menawarkan sejumlah keunggulan seperti ramah lingkungan, kemampuan untuk mendegradasi polutan secara efektif serta tidak menghasilkan polusi sekunder (F. Zhang et al., 2019).

Bahan fotokatalitik merupakan komponen utama dalam sistem fotokatalisis (J. Wang et al., 2024). Di antara berbagai jenis bahan, Titanium Dioxide (TiO_2) dianggap sebagai salah satu fotokatalisis yang paling banyak digunakan untuk degradasi polutan dalam larutan berair. TiO_2 memiliki sejumlah keunggulan seperti, stabilitas fotokatalitik yang tinggi, efisiensi dalam mengkatalisis reaksi, kemudahan produksi dan



yang relatif rendah serta aman bagi manusia dan lingkungan. Salah satu kelemahan utama dari TiO_2 adalah celah pita (band gap) yang lebar yaitu sekitar 3.2 eV, yang hanya mampu menyerap sekitar 3-5% dari spektrum sinar matahari, sehingga menyebabkan efisiensi aktivitas fotokatalitik TiO_2 di bawah sinar matahari langsung rendah (Khan et al., 2019).

Untuk mengatasi keterbatasan aktivitas fotokatalitik TiO_2 , berbagai strategi telah dikembangkan. Salah satu pendekatan yang efektif adalah

modifikasi secara fisik, seperti pengendalian ukuran partikel, peningkatan luas permukaan spesifik, perubahan morfologi dan pengembangan struktur berpori. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah situs aktif serta memperbaiki efisiensi transfer muatan selama proses fotokatalitik. Salah satu bentuk modifikasi yang menjanjikan adalah pembentukan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$. Nanokomposit ini menawarkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan TiO_2 murni, karena *graphene oxide* dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dan kemampuan adsorpsi, serta membantu mencegah rekombinasi pasangan *electron-hole* melalui transfer elektron terfotoeksitasi dari TiO_2 ke permukaan *graphene oxide*. Sintesis nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ dapat dilakukan melalui berbagai metode, antara lain metode sol-gel, hidrotermal, deposisi elektrokimia, *mechanical mixing* dan metode lainnya yang dapat disesuaikan dengan kondisi reaksi dan karakteristik material yang diinginkan (Humayun et al., 2018).

Penelitian sebelumnya oleh Velasco-Hernandez et al. (2020) melaporkan sintesis film tipis TiO_2 yang dimodifikasi dengan *graphene oxide* (TiO_2/GO) menggunakan metode sol-gel. Hasilnya menunjukkan performa terbaik dalam reaksi fotokatalitik terhadap degradasi *Methylene Blue* dicapai dengan penambahan *graphene oxide* dalam jumlah kecil, yaitu sebesar 1% dan 3%. Film tipis tersebut mampu mendegradasi *Methylene Blue* hingga 92% dalam waktu hampir 300 menit di bawah iradiasi sinar UV. Derajat degradasi menunjukkan urutan efektivitas sebagai berikut: 1% > 3% > 5% > 10% > TiO_2 murni. Penurunan efisiensi pada konsentrasi *graphene oxide* yang lebih tinggi disebabkan oleh efek pelindung GO yang menghambat penyerapan cahaya oleh TiO_2 , sehingga menurunkan aktivitas fotokatalitiknya (Velasco-Hernández et al., 2020).

Sementara itu, Nair et al. (2024) melaporkan bahwa komposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ (TiO_2/GO) dengan penambahan jumlah GO sebesar 0,1 g menunjukkan kinerja yang cukup tinggi dalam proses fotodegradasi antibiotik *levofloxacin* di bawah iradiasi sinar tampak. Efisiensi degradasi mencapai 74% dalam waktu 180 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa kehadiran *graphene oxide* dalam struktur komposit mampu memperluas respon fotokatalitik TiO_2 ke spektrum cahaya tampak melalui peningkatan transfer muatan dan penurunan rekombinasi pasangan *electron-hole*. Selain itu, keunggulan *graphene oxide* dalam meningkatkan luas permukaan spesifik turut berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan adsorpsi molekul polutan di permukaan fotokatalis, yang selanjutnya mempercepat proses degradasi (Nair et al., 2024).

Studi yang dilakukan oleh Wang et al. (2022) menunjukkan aplikasi fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ (TiO_2/GO) dalam degradasi polutan gas, khususnya Nitrogen



di degradasi tertinggi tercapai sebesar 81% di bawah iradiasi konsentrasi GO dalam komposit diatur pada nilai optimal sebesar efisiensi ini dapat ditingkatkan lebih lanjut hingga 88,6% dengan NH_3 ke dalam sistem, menggunakan rasio $\text{NH}_3:\text{NO}_x$ bahan NH_3 berperan sebagai donor elektron tambahan yang reduksi NO_x , menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dan

komposisi campuran reaktan juga memainkan peran penting dalam proses fotokatalitik (S. Q. Wang et al., 2022).

Sementara itu, Xu et al. (2022) mengevaluasi performa fotokatalitik komposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ (TiO_2/GO) dalam mendegradasi zat pewarna *Crystal Violet* (CV), yang dikenal sebagai salah satu polutan organik berbahaya dan sulit terurai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan konsentrasi GO sebesar 8% dan 10% mampu mendegradasi CV secara menyeluruh (100%) masing-masing dalam waktu 80 dan 90 menit. Efektivitas tersebut tercapai baik di bawah iradiasi sinar UV maupun sinar tampak, mengindikasikan bahwa struktur komposit yang dihasilkan mampu memfasilitasi eksitasi elektron secara efisien dalam berbagai kondisi pencahayaan. Kombinasi antara kemampuan fotokatalitik dan adsorptif dari GO dengan sifat semikonduktor TiO_2 menciptakan sinergi yang kuat dalam mempercepat proses degradasi polutan (Xu et al., 2022).

Berdasarkan uraian literatur sebelumnya, penelitian ini difokuskan pada aktivitas fotokatalitik nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ terhadap zat pewarna organik *Congo Red* dan *Rhodamine B*.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sintesis nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$?
2. Bagaimana aktivitas fotokatalitik nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ terhadap zat pewarna organik *Congo Red* dan *Rhodamine B*?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$.
2. Aktivitas fotokatalitik nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ terhadap zat pewarna organik *Congo Red* dan *Rhodamine B*.



BAB II METODE PENELITIAN

II.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilaksanakan dari bulan April-Juli 2025 bertempat di Laboratorium Material dan Energi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

II.2 Alat dan Bahan

II.2.1 Alat

1. Pisau *cutter*
2. Mortar dan alu
3. Botol sampel
4. *Hand scoon*
5. Gelas ukur 100 mL
6. Gelas ukur 500 mL
7. Silinder ukur 50 mL
8. Spatula
9. Pipet tetes
10. Ayakan 200 mesh
11. Cawan petri
12. Kertas pH
13. *Magnetic bar*
14. *Magnetic stirrer*
15. Timbangan digital
16. Botol sentrifugasi
17. Mesin sentrifugasi
18. Oven
19. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
20. *X-Ray Diffraction* (XRD)
21. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)
22. Spektrofotometer UV-Vis

II.2.2 Bahan

1. Pensil 2B
2. Asam Sulfat (H_2SO_4 98%)
3. Asam Fosfat (H_3PO_4 85%)
4. Kalium permanganat (KmnO_4)
5. Hidrogen peroksida (H_2O_2 30%)
6. Titanium dioksida (TiO_2)



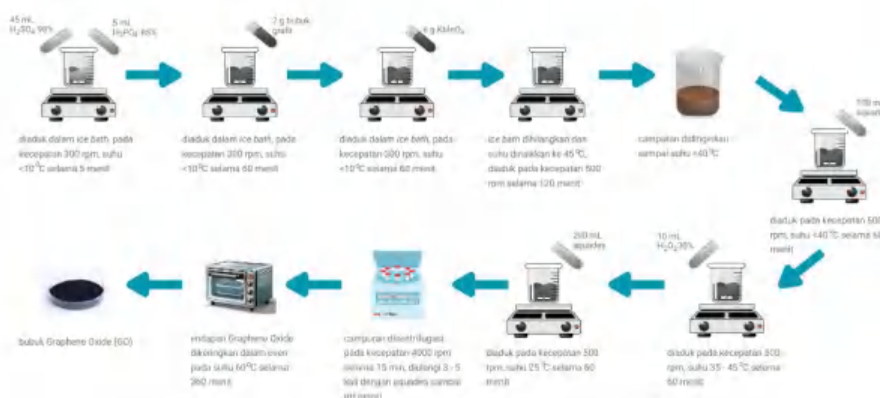
II.3 Prosedur Penelitian

II.3.1 Preparasi Material

II.3.1.1 Preparasi Grafit dari Pensil 2B

Menyiapkan beberapa pensil 2B, kemudian dipotong menggunakan pisau *cutter* untuk mengeluarkan batang grafit dari lapisan kayu. Setelah itu, grafit dimasukkan ke dalam mortar dan alu dan dihaluskan. Grafit yang sudah menjadi bubuk halus lalu diayak dengan menggunakan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam.

II.3.1.2 Sintesis *Graphene Oxide* (GO)



Gambar II.1 Sintesis *Graphene Oxide* dengan metode *improved* Hummer

Graphene Oxide (GO) disintesis dengan menggunakan metode *improved* Hummer. Sintesis GO dimulai dengan memasukkan sebanyak 45 mL asam sulfat pekat (H_2SO_4 98%) dan 5 mL asam fosfat pekat (H_3PO_4 85%) secara perlahan ke dalam gelas ukur 100 mL yang bersih dan kering. Campuran diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 300 rpm selama 5 menit, di dalam *ice bath* (suhu $0-10^\circ C$) untuk menghasilkan larutan homogen. Selanjutnya, sebanyak 2 g bubuk grafit ditambahkan ke dalam campuran asam tersebut secara perlahan sambil tetap diaduk pada kecepatan 300 rpm dalam *ice bath*. Campuran ini kemudian diaduk selama 30 menit hingga grafit terdispersi merata.

Setelah itu, sebanyak 6 g kalium permanganat ($KMnO_4$) ditambahkan secara bertahap (sekitar 0,5-1 g per tahap) sambil terus diaduk. Penambahan dilakukan dengan sangat hati-hati, karena reaksi bersifat eksotermik. Suhu campuran dijaga agar tidak melebihi $10^\circ C$. Selama penambahan $KMnO_4$, pengadukan tetap dijaga pada kecepatan 300 rpm di dalam *ice bath*. Setelah semua $KMnO_4$ ditambahkan, diaduk dengan kecepatan tetap pada 300 rpm dan dibiarkan secara langsung selama 60 menit pada suhu di bawah $10^\circ C$ di dalam *ice bath*. Setelah 60 menit, campuran dikeluarkan dari *ice bath* dan suhu dinaikkan ke $45^\circ C$ sambil tetap diaduk dengan kecepatan 500 rpm selama 50 menit. Setelah itu, 10 mL aquades ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran, sambil tetap diaduk pada kecepatan 500 rpm selama 50 menit.



60 menit. Proses ini dilakukan dengan sangat hati-hati agar suhu tetap terkendali. Kemudian, campuran didinginkan selama 15 menit hingga suhu stabil di 40°C.

Setelah itu, ditambahkan 5 mL larutan hidrogen peroksida 30% (H_2O_2 30%) untuk menghentikan reaksi oksidasi lanjutan. Setelah proses oksidasi, terbentuk suspensi *graphene oxide*. Selanjutnya, campuran disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 15 menit selama 3-5 kali dengan aquades hingga pH netral. Setelah proses pemurnian selesai, endapan *graphene oxide* dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 120 menit yang akan menghasilkan bubuk *graphene oxide*.

II.3.1.3 Sintesis Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$



Gambar II.2 Sintesis nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ dengan metode *Mechanical Mixing*

Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ disintesis menggunakan metode pencampuran mekanik (*mechanical mixing*). Sebanyak 0,1 g *Graphene Oxide* (GO) kering didispersikan ke dalam 15 mL aquades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 45°C dengan kecepatan 500 rpm selama 60 menit untuk memastikan penyebaran yang merata. Setelah GO terdispersi homogen, sebanyak 0,9 g serbuk TiO_2 ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam suspensi GO, diaduk dengan kecepatan tinggi (500-700 rpm) pada suhu 45°C selama 120 menit. Setelah pencampuran selesai, suspensi $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ didiamkan selama beberapa jam kemudian disentrifugasi dengan aquades pada kecepatan 4500 rpm selama 10 menit hingga pH netral untuk memperoleh padatan nanokomposit dan menghilangkan sisa ion yang tidak bereaksi. Setelah itu, endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 120 menit hingga menjadi serbuk padat berwarna abu



an. Serbuk hasil pengeringan kemudian digerus halus di dalam alu untuk mendapatkan ukuran partikel yang lebih kecil. Serbuk nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ disimpan dalam botol gelap dan digunakan sebagai fotokatalis untuk degradasi zat warna *Rhodamine B* di bawah iradiasi cahaya matahari.

II.4 Karakterisasi Material

Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ diteliti dengan berbagai teknik karakterisasi. *Scanning Electron Microscopy* Hitachi TM4000plus digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan ukuran partikel dari TiO_2 , *Graphene Oxide* dan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$. *X-Ray Diffraction* Shimadzu XRD-7000 digunakan untuk menentukan struktur kristal dari TiO_2 , *Graphene Oxide* dan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* Shimadzu IR Prestige-21 digunakan untuk identifikasi gugus fungsi pada nanostruktur TiO_2 , *Graphene Oxide* dan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$.

Sementara itu, aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 dan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ terhadap zat pewarna *Congo Red* (CR) dan *Rhodamine B* (RB) dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1800 guna menentukan efisiensi adsorpsi larutan pewarna dengan penambahan katalis TiO_2 ataupun katalis nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$.

II.5 Uji Aktivitas Fotokatalitik terhadap Zat Pewarna Organik



Gambar II.3 Uji aktivitas fotokatalitik TiO_2 dan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ terhadap zat pewarna *Congo Red* dan *Rhodamine B*

II.5.1 Uji Aktivitas Fotokatalitik terhadap *Congo Red* (CR)

Uji fotokatalitik dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan fotokatalitik TiO_2 dan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$ terhadap larutan pewarna *Congo Red* (CR) di bawah cahaya matahari. Tahap awal dimulai dengan pembuatan larutan 10 ppm, yaitu dengan melarutkan 10 mg bubuk *Congo Red* ke dalam 1 L aquades. Larutan ini kemudian diencerkan dengan mengambil 10 mL stok, kemudian ditambah aquades hingga volume larutan menjadi 100 mL, sehingga diperoleh larutan kerja dengan konsentrasi 10 ppm. Uji aktivitas fotokatalitik dilakukan terhadap tiga variasi sistem:



1. Tanpa katalis (kontrol)
2. Katalis TiO₂ murni
3. Katalis nanokomposit TiO₂/Graphene Oxide

Setiap sistem kemudian diberi kode sebagai berikut: 1) CR untuk sistem tanpa katalis (kontrol), 2) CT1-CT5 untuk sistem dengan katalis TiO₂ murni, dan 3) CTG1-CTG5 untuk sistem dengan katalis nanokomposit TiO₂/Graphene Oxide. Masing-masing campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan sedang (± 400 rpm) selama 15-20 menit dalam kondisi gelap untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi-desorpsi antara molekul CR dan permukaan katalis. Setelah proses tersebut, sebanyak 2 mL sampel diambil pada waktu 0 menit (kondisi gelap, sebelum penyinaran) dan disentrifugasi pada kecepatan 4500 rpm selama 10 menit. Larutan jernih hasil pemisahan kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400–700 nm. Nilai absorbansi awal (A_0) ditentukan pada panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) sebesar 465,5 nm, yang merupakan puncak serapan tertinggi dari larutan *Congo Red* pada kondisi pH 6.

Selanjutnya, sampel disinari di bawah cahaya matahari selama waktu tertentu, yaitu 30, 60, 90, dan 120 menit. Pengujian dilakukan di lab Material pada hari Senin, 21 Juli 2025 pukul 11.00 – 14.00 WITA. Data suhu udara (T2M) dan kelembapan relatif (RH2M) diperoleh dari layanan satelit NASA POWER. Berdasarkan data tersebut, rata-rata suhu udara selama pengujian adalah sebesar 28,51 °C, sedangkan rata-rata kelembapan relatif adalah 69,60 %. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengujian berlangsung pada suhu dan kelembapan yang relatif stabil, yang sesuai untuk mendukung aktivitas fotokatalitik, khususnya dalam pembentukan radikal hidroksil pada permukaan katalis.

Setelah setiap interval penyinaran, larutan kembali disentrifugasi pada kecepatan yang sama (4500 rpm selama 10 menit) untuk memisahkan katalis. Larutan hasil pemisahan kemudian diukur kembali menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-700 nm, dan nilai **absorbansinya (A_t)** dicatat pada $\lambda_{maks} = 466,5$ nm. Efisiensi degradasi *Congo Red* dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Degradasi (\%)} = \left(\frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \times 100 \quad (\text{II.1})$$

dengan A_0 sebagai absorbansi awal dan A_t sebagai absorbansi pada waktu tertentu selama iradiasi.

II.5.2 Uji Aktivitas Fotokatalitik terhadap *Rhodamine B* (RB)

Uji fotokatalitik dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan fotokatalitik TiO₂/Graphene Oxide terhadap larutan pewarna *Rhodamine B* di bawah cahaya matahari. Tahap awal dimulai dengan pembuatan larutan *Rhodamine B* 100 ppm, yaitu dengan melarutkan 10 mg bubuk *Rhodamine B* dalam 100 mL aquades. Larutan ini kemudian diencerkan dengan 10 mL larutan stok, kemudian ditambah aquades hingga mencapai 100 mL, sehingga diperoleh larutan kerja dengan



konsentrasi 10 ppm (0,01 mg/mL). Selanjutnya, sebanyak 0,05 g katalis ditambahkan ke dalam larutan RB 10 ppm. Pengujian dilakukan terhadap tiga variasi sistem:

1. Tanpa katalis (kontrol)
2. Katalis TiO_2 murni
3. Katalis nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$

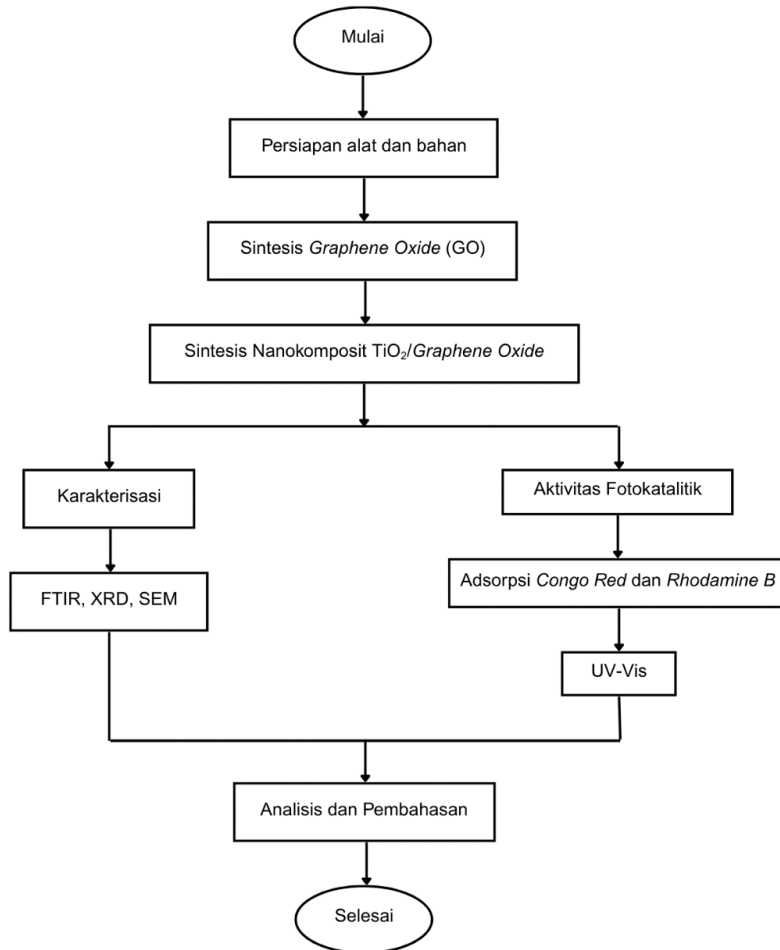
Setiap sistem kemudian diberi kode sebagai berikut: 1) RB untuk sistem tanpa katalis (kontrol), 2) RT untuk sistem dengan katalis TiO_2 murni, dan 3) RTG untuk sistem dengan katalis $\text{TiO}_2/\text{Graphene Oxide}$. Masing-masing campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan sedang (± 400 rpm) selama 15-20 menit dalam kondisi gelap untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi-desorpsi antara molekul RB dan permukaan katalis. Setelah proses tersebut, sebanyak 2 mL sampel diambil pada waktu 0 menit (kondisi gelap, sebelum penyinaran) dan disentrifugasi pada kecepatan 4500 rpm selama 10 menit. Larutan jernih hasil pemisahan kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400–700 nm. Nilai absorbansi awal (A_0) ditentukan pada panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) sebesar 543,5 nm, yang merupakan puncak serapan tertinggi dari larutan *Rhodamine B* pada kondisi pH 6.

Selanjutnya, sampel disinari di bawah cahaya matahari selama waktu tertentu, yaitu 30, 60, 90, dan 120 menit. Pengujian dilakukan di lab Material pada hari Senin, 22 Juli 2025 pukul 11.00 – 14.00 WITA. Data suhu udara (T_{2M}) dan kelembapan relatif (RH_{2M}) diperoleh dari layanan satelit NASA POWER. Berdasarkan data tersebut, rata-rata suhu udara selama pengujian adalah sebesar $28,61^\circ\text{C}$, sedangkan rata-rata kelembapan relatif adalah 71,03 %. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengujian berlangsung pada suhu dan kelembapan yang relatif stabil, yang sesuai untuk mendukung aktivitas fotokatalitik, khususnya dalam pembentukan spesies reaktif seperti radikal hidroksil dan radikal superoksida pada permukaan katalis.

Setelah setiap interval penyinaran, larutan kembali disentrifugasi pada kecepatan yang sama (4500 rpm selama 10 menit) untuk memisahkan katalis. Larutan hasil pemisahan kemudian diukur kembali menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-700 nm, dan nilai absorbansinya (A_t) dicatat pada $\lambda_{\text{maks}} = 543,5$ nm. Efisiensi degradasi dihitung menggunakan persamaan yang sama.



II.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar II.4 Bagan Alir Penelitian

