

**BIOSINTESIS KOMPOSIT GRAFENA OKSIDA
TEREDUKSI/SnO₂ MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN
MATOA (*Pometia pinnata*) UNTUK DEGRADASI
FOTOKATALITIK BIRU METILENA**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mencapai Gelar Sarjana Sains
(S.Si) Program Studi Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam**

Universitas Islam Indonesia Yogyakarta



Diajukan oleh :

Febrian Sujatmiko

No Mahasiswa : 16612015

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2020

**BIOSINTESIS KOMPOSIT GRAFENA OKSIDA
TEREDUKSI/ SnO_2 MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN
MATAO (*Pometia pinnata*) UNTUK DEGRADASI
FOTOKATALITIK BIRU METILENA**

SKRIPSI

Oleh :

FEBRIAN SUJATMIKO

No Mahasiswa : 16612015

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Skripsi Program Studi Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Tanggal : 16 Juli 2020

Dewan Penguji

Tanda Tangan

1. Prof. Dr. Is Fatmahan, S. Si., M. Si.

2. Wiyogo Prió Wicaksono, S. Si., M. Si.

3. Febi Indah Fajarwati, S. Si., M. Sc.

4. Imam Sahroni, S. Si., M. Sc.

Mengetahui

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



Prof. Riyanto, S. Pd., M. Si., Ph. D.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Febrian Sujatmiko

NIM : 16612015

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi Saya dengan judul Biosintesis Komposit Grafena Oksida Tereduksi/ SnO_2 Menggunakan Ekstrak Daun Matoa (*Pometia pinnata*) Untuk Degradasi Fotokatalitik Biru Metilena bersifat asli dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan didalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan didalam skripsi ini. Apabila kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab

Yogyakarta, Juli 2020

Yang Menyatakan,



Febrian Sujatmiko

NIM.16612015

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“ Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang ”

Alhamdulillah rabbil alamin atas rahmatNya skripsi ini dapat terselesaikan, sebuah karya ini saya persembakan untuk

Kedua orang tua saya yaitu Bapak Sri Irianta dan Ibu Iswanti, beserta keluarga besar.

Terimakasih untuk segala pengorbanan baik moril, maupun materil.

Terimakasih untuk segala doa yang tiada henti tercurahkan.

Terimakasih untuk segala semangat

Semoga Allah membalas kebaikan dan senantiasa memberikan RahmatNya untuk kedua orang tua saya beserta keluarga besar.

MOTTO

“ Barang siapa yang berbuat kebaikan (sebesar biji dzarrah), niscahya dia akan melihat (balasan) nya. Dan barang siapa yang berbuat kejahatan (sebesar biji dzarrah), niscahya dia akan melihat (balasan) nya pula. ”

(QS. AZ-Zalzalah: 7-8)

“ Allah tempat meminta segala sesuatu ”

(QS. Al-Ikhlâs : 2)

“ Tuhanmu tidak meninggalkan engkau (Muhammad) dan tidak (pula) membencimu, ”

(QS. Ad- Dhuha)

“ Jangan gunakan kefasihan bicaramu (mendebat) di hadapan ibumu yang dahulu mengajarimu berbicara.”

-Ali bin Abi Thalib-

KATA PENGANTAR



Puji syukur senantiasa penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga proposal skripsi yang berjudul **“Biosintesis Komposit Grafena Oksida Tereduksi/SnO₂ Menggunakan Ekstrak Daun Matoa (*Pometia pinnata*) Untuk Degradasi Fotokatalitik Biru Metilena”** ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafa'atnya di yaumul akhir nanti.

Skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material maupun non material, pada kesempatan ini penulis ucapkan beribu terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Prof. Dr. Is Fatimah, S.Si, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Dwiarso Rubiyanto, S.Si., M.Si selaku Ketua Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
5. Ibu Prof. Dr. Is Fatimah, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, dan menerima keluh kesah penulis selama melakukan perencanaan, penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Kimia, staff pengajar, laboran, dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

7. Seluruh tim riset MEE (*Material for Energy and Environment*). Putwi, Fitri, dan rekan-rekan sahabat saya, serta teman-teman yang senantiasa membantu, yang tidak bisa saya tuliskan satu persatu nama nya di sini, semoga Allah memudahkan jalan kita semua dalam meniti karir kesuksesan.
8. Dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada Wara dan Pita yang senantiasa mengingatkan dan memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini. Pras, Taufik, Fauzi Mustofa, Nurintan Widiastuti, Yusti, Fauzi Kurnia Djati, Ozagga Rio Gumelar Agustinus Bimo, Faishal, Reza, Helmi, Nasri dan DJA60AN terimakasih yang sebesar-besarnya karena telah mewarnai hari-hariku selama masa perkuliahan ini. Semoga kesuksesan selalu menyertai kita semua Aamiin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, baik dari segi penyusunan maupun penyajian yang disebabkan keterbatasan pengalaman dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan guna peningkatan kualitas penulis yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat terkhusus bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, Juli 2020

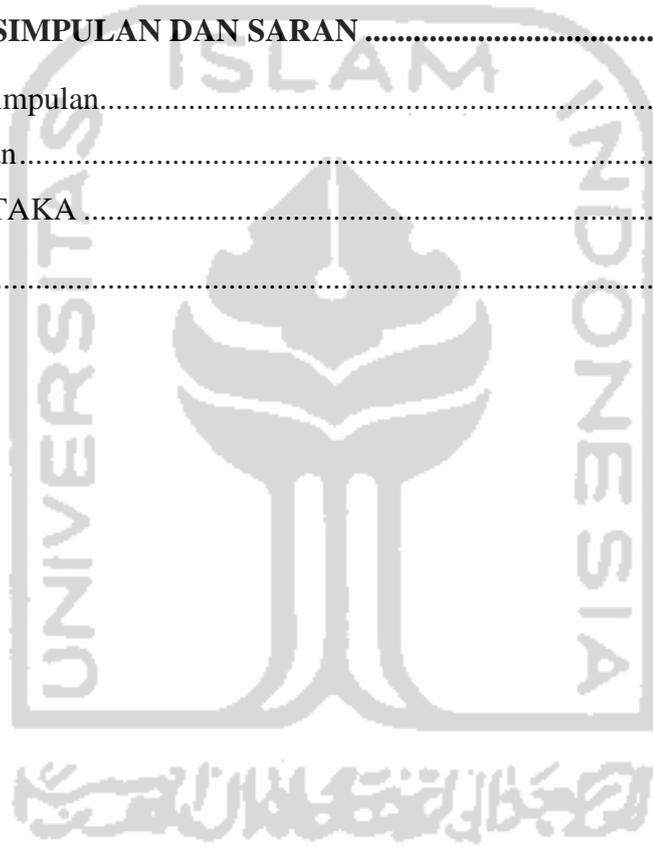
Febrian Sujatmiko

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
INTISARI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Sintesis Komposit rGO/SnO ₂	7
2.2. Hipotesis Penelitian.....	10
BAB III DASAR TEORI.....	12
3.1. Matoi.....	12
3.2. Graphene	14
3.3. Tin Oksida (SnO ₂).....	15
3.4. Metilen Biru	15
3.5. <i>Green Chemistry</i> (Kimia Hijau)	17
3.6. Spektrofotometer UV-Vis	18
3.7. X-ray Diffraction (XRD).....	21
3.8. SEM-EDX	22
3.9. Transmission Electron Microscope (TEM).....	24

3.10. Fotokatalis	26
3.11. Fotodegradasi	28
3.12. Kinetika Reaksi.....	28
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	31
4.1. Alat dan Bahan	31
4.1.1. Alat	31
4.1.2. Bahan	31
4.2. Cara Kerja	31
4.2.1. Sintesis graphene oxide	31
4.2.2. Preparasi Ekstrak Daun Matoa	32
4.2.3. Reduksi graphene oxide.....	32
4.2.4. Preparasi rGO/SnO ₂	32
4.2.5. Pembuatan larutan sampel Metilen Biru (MB) 10 ppm.....	32
4.2.6. Karakterisasi	33
4.2.7. Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan rGO/SnO ₂ dengan penambahan H ₂ O ₂	33
4.2.8. Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan rGO/SnO ₂ tanpa penambahan H ₂ O ₂	33
4.2.9. Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan rGO dengan penambahan H ₂ O ₂	34
4.2.10. Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan rGO tanpa penambahan H ₂ O ₂	34
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	35
5.1. Sintesis <i>graphene oxide</i> (GO).....	35
5.2. Preparasi ekstrak daun matoa.....	36
5.3. Reduksi <i>graphene oxide</i>	37
5.4. Preparasi komposit rGO/SnO ₂	39
5.5. Karakterisasi komposit rGO/SnO ₂ dengan XRD.....	40
5.6. Karakterisasi komposit rGO/SnO ₂ dengan SEM-EDX.....	42
5.7. Karakterisasi komposit rGO/SnO ₂ dengan TEM	45

5.8. Aplikasi komposit rGO/SnO ₂ untuk degradasi zat warna MB	45
5.9. Studi kinetika fotodegradasi Biru Metilena dengan komposit rGO/SnO ₂ dan rGO tanpa penambahan H ₂ O ₂	47
5.10. Studi kinetika fotodegradasi Biru Metilena dengan komposit rGO/SnO ₂ dan rGO dengan penambahan H ₂ O ₂	51
5.11. Persen perbandingan degradasi MB tanpa dan dengan penambahan H ₂ O ₂	53
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	56
6.1. Kesimpulan.....	56
6.2. Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Daun Matoa.....	13
Gambar 2.	Struktur Metilen Biru.....	16
Gambar 3.	Spektrum absorbansi GO dan rGO	20
Gambar 4.	Spektra UV-Vis dari GO, rGO, dan ekstrak daun <i>Eucalyptus</i>	20
Gambar 5.	Serapan UV-Vis rGO sintesis dan rGO Sigma Aldrich.....	21
Gambar 6.	Instrumen SEM	23
Gambar 7.	Prinsip kerja TEM.....	25
Gambar 8.	Skema fotokatalis.....	26
Gambar 9.	Grafik reaksi orde nol.....	29
Gambar 10.	Grafik reaksi orde satu.....	30
Gambar 11.	Grafik reaksi orde dua.....	30
Gambar 12.	Warna dari larutan dan endapan GO.....	36
Gambar 13.	Ekstrak daun matoa.....	37
Gambar 14.	Warna larutan dan padatan rGO	38
Gambar 15.	Spektra UV-Vis GO dan rGO.....	39
Gambar 16.	Difaktogram GO, rGO, dan rGO/SnO ₂	41
Gambar 17.	Hasil analisis SEM rGO/SnO ₂	43
Gambar 18.	Hasil analisis EDX rGO/SnO ₂	44
Gambar 19.	Hasil analisis TEM rGO dan rGO/SnO ₂	45
Gambar 20.	Spektrum serapan UV-Vis dari larutan MB setelah dilakukan penyinaran sinar UV selama 90 menit tanpa penambahan H ₂ O ₂	46
Gambar 21.	Fotodegradasi MB tanpa penambahan H ₂ O ₂	48
Gambar 22.	Fotodegradasi MB menggunakan rGO/SnO ₂ , rGO dengan penambahan H ₂ O ₂	52

Gambar 23. Perbandingan % degradasi MB tanpa dan dengan penambahan
H₂O₂..... 54

Gambar 24. Perubahan warna MB dengan variasi material dan tanpa penambahan
H₂O₂..... 55



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian yang pernah dilakukan untuk sintesis rGO/SnO ₂ dan aplikasinya	9
Tabel 2. Nilai 2θ dari hasil analisis XRD untuk GO, rGO, dan rGO/SnO ₂ ...	42
Tabel 3. Komposisi unsur penyusun rGO/SnO ₂	44
Tabel 4. Data orde reaksi fotodegradasi tanpa penambahan H ₂ O ₂	50
Tabel 5. Data orde reaksi fotodegradasi dengan penambahan H ₂ O ₂	53



**BIOSINTESIS KOMPOSIT GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI/ SnO₂
MENGUNAKAN EKSTRAK DAUN MATOA (*Pometia pinnata*) UNTUK
DEGRADASI FOTOKATALITIK BIRU METILENA**

FEBRIAN SUJATMIKO

16612015

INTISARI

Pesatnya perkembangan perindustrian terutama industri tekstil dapat meningkatkan produksi limbah yang dihasilkan. Salah satu limbah yang mendapat perhatian paling besar adalah limbah zat warna, dari beberapa zat warna yang reaktif biru metilena (MB) merupakan zat warna yang banyak digunakan dalam perindustrian. Rendahnya kecepatan penguraian menyebabkan zat warna ini menjadi berbahaya bila mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensistesis material komposit grafena oksida tereduksi/SnO₂ yang dapat mendegradasi limbah zat warna biru metilena melalui metode fotokatalisis. Lembaran grafena yang diimbakan menggunakan SnO₂ (rGO/SnO₂) dipreparasikan melewati reaksi redoks antara grafena oksida (GO) dan SnCl₂ menggunakan ekstrak daun *Pometia pinnata*. Grafena oksida (GO) direduksi menjadi grafena oksida tereduksi (rGO) dan Sn²⁺ dioksidasi menjadi SnO₂ selama reaksi redoks berlangsung. rGO/SnO₂ dikarakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis, XRD, SEM-EDX, dan TEM. Komposit rGO/SnO₂ menunjukkan peningkatan aktivitas degradasi fotokatalitik terhadap zat warna biru metilena bila dibandingkan dengan rGO. Hasil yang didapatkan menuntun kita untuk mempercayai bahwa komposit rGO/SnO₂ dapat digunakan untuk fotodegradasi zat warna organik lainnya.

**BIOSYNTHESIS OF REDUCED GRAPHENE OXIDE/ SnO₂
COMPOSITES USING MATOA (*POMETIA PINNATA*) LEAF EXTRACT
FOR METHYLENE BLUE PHOTODEGRADATION**

FEBRIAN SUJATMIKO

16612015

ABSTRACT

The rapid development of industry especially the textile industry can increase the production of waste produced. One of the wastes that received the most attention was dyestuff, from several reactive dyes methylene blue (MB) which is a widely used dye in industry. The low rate of decomposition causes these dyes to become dangerous when polluting the environment. This study aims to synthesis the reduced graphene oxide / SnO₂ composite material which can degrade methylene blue dyes through the photocatalysis method. Graphene sheets decorated with SnO₂ (rGO/SnO₂) were prepared via redox reaction between graphene oxide (GO) and SnCl₂ using *Pometia pinnata* leaf extract. Graphene oxide (GO) was reduced to reduced graphene oxide (rGO) and Sn²⁺ was oxidized to SnO₂ during the redox reaction, leading to a homogeneous distribution of SnO₂ on rGO sheets. Characterization of rGO/SnO₂ was performed using UV-Vis Spectroscopy, XRD, SEM-EDX, and TEM. The rGO/SnO₂ composite showed enhanced photocatalytic degradation activity for the organic dye methylene blue compared to rGO. This result lead us to believe that the rGO/SnO₂ composite could be used in catalytic photodegradation of other organic dyes.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki banyak industri, baik di bidang industri tekstil, industri kertas, industri kulit, industri percetakan, industri kosmetik, industri elektro-plating, industri makanan, dan industri farmasi. Pesatnya perkembangan industri tersebut tidak hanya menyebabkan dampak yang positif, tetapi juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan selain menghasilkan produk industri juga berkontribusi dalam peningkatan produksi limbah. Limbah adalah sisa dari suatu usaha maupun kegiatan yang mengandung bahan berbahaya atau beracun yang karena sifat, konsentrasi, dan jumlahnya, baik yang secara langsung maupun tidak langsung dapat membahayakan lingkungan, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk lainnya (Mahida, 1984).

Industri yang menghasilkan cukup banyak limbah salah satunya adalah industri tekstil. Dimana industri tersebut menggunakan zat warna dalam jumlah yang sangat besar dan merupakan sumber utama pencemaran air. Sebagian besar zat warna tekstil diketahui bersifat racun, karsinogenik, dan dapat menyebabkan mutasi genetik. Limbah zat warna juga memiliki struktur kimia berupa gugus kromofor yang terbuat dari berbagai macam bahan sintesis sehingga dapat membuatnya resisten terhadap proses degradasi saat masuk ke dalam lingkungan perairan (Suwarsa, 1998). Zat warna pada industri tekstil diketahui dapat mempengaruhi kualitas air dan dapat membahayakan sumber daya alam serta kondisi kesehatan masyarakat di sekelilingnya apabila langsung dibuang ke lingkungan tanpa adanya proses pengolahan yang baik dan benar.

Biru metilena/ *Methylene blue* (MB) merupakan salah satu limbah zat warna cair yang banyak dihasilkan oleh industri tekstil. Keberadaannya dalam perairan dapat menghalangi sinar matahari menembus lingkungan akuatik, sehingga dapat mengganggu proses biologis yang terjadi di dalamnya. Dosis tinggi MB dapat

menyebabkan mual, muntah, nyeri pada perut dan dada, sakit kepala, keringat berlebihan, dan hipertensi. Selain itu, MB juga dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit (Hamdoui, 2006).

Banyak penelitian telah dilakukan untuk menghilangkan polutan organik termasuk zat warna tekstil di dalam air diantaranya dengan metode ozonasi, klorinasi, biodegradasi, koagulasi, oksidasi kimia, adsorpsi, dan osmosis balik (Wijaya dkk, 2006). Diantara metode-metode tersebut, metode adsorpsi dianggap merupakan metode yang tepat untuk menghilangkan polutan kimia berbahaya dan beracun yang larut dalam air. Namun metode adsorpsi masih dirasa kurang efektif karena zat warna tekstil yang diadsorpsi masih dapat terakumulasi di dalam adsorben yang digunakan sehingga akan menimbulkan masalah baru kedepannya. Oleh karena itu perlu dikembangkan sebuah metode baru yang efektif, murah, mudah diaplikasikan yaitu metode fotodegradasi menggunakan bantuan sinar UV dan bahan fotokatalis. Dengan metode fotodegradasi zat warna akan diuraikan menjadi komponen yang lebih sederhana seperti CO_2 dan H_2O . Bahan fotokatalis yang dapat digunakan diantaranya adalah ZnO , TiO_2 , Fe_3O_4 , $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan SnO_2 . Bahan-bahan tersebut digunakan karena memiliki sifat semikonduktor dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi (Choi dkk, 2009). Dalam penelitian ini akan digunakan semikonduktor SnO_2 . *Tin dioxide* (SnO_2) merupakan bahan semikonduktor *n-type* yang unggul dengan lebar band gap 3,6 eV yang dapat digunakan secara luas dalam baterai ion-lithium, peralatan elektrokromik, sensor gas, katalis. Sebagai tambahan, SnO_2 memperlihatkan sifat fotokatalitik yang baik dalam mendegradasi zat warna di bawah sinar UV, karena transfer elektron antara SnO_2 dan aditif berjalan sangat baik (Zhao, 2011).

Kemajuan teknologi menyebabkan banyaknya pengembangan material kimia dalam berbagai disiplin ilmu. Salah satu material baru yang berkembang akhir-akhir ini dan dapat dijadikan sebagai aditif atau pengemban adalah *graphene*. *Graphene* adalah lapisan tunggal (satu lapisan) atom karbon yang terikat erat dalam kisi sarang lebah berbentuk heksagonal. *Graphene* merupakan alotrop

karbon dalam bentuk bidang atom yang terikat sp^2 dengan panjang ikatan molekul 0,142 nanometer. Lapisan *graphene* ditumpuk di atas satu sama lain dengan jarak antarplanar 0,335 nanometer. Luas permukaan dari satu lapisan *graphene* mencapai $2630 \text{ m}^2/\text{g}$. Lapisan terpisah *graphene* dalam grafit disatukan oleh ikatan *Van der Waals*. Berdasarkan sifatnya yang unik, *graphene* telah banyak digunakan secara luas dalam pengembangan material nanokomposit untuk aplikasi yang berbeda seperti superkapasitor, sensor, solar panel, dan sebagai adsorben (Zhu dkk, 2010). Meski telah banyak penelitian mengenai *graphene*, di Indonesia masih belum banyak dilakukan pengembangan material ini.

Graphene oxide/ grafena oksida (GO) merupakan salah satu bentuk turunan dari *graphene* yang memiliki sifat seperti *graphene*. Secara umum, terdapat tiga metode yang dapat digunakan untuk mensintesis GO secara oksidasi kimia, seperti metode Hummer, metode Staudenmaier's, dan metode Brodie's. Brodie dan Staudenmaier menggunakan kombinasi kalium klorat (KClO_3) dengan asam nitrat (HNO_3) untuk mengoksidasi *graphite*, sementara metode Hummers menggunakan kalium permanganat (KMnO_4) dan asam sulfat (H_2SO_4). GO terdiri dari lembaran grafena yang memiliki gugus fungsi epoksi dan hidroksil. GO memiliki struktur berlapis yang mirip dengan *graphene*, tetapi bidang atom karbon dalam GO lebih berat karena adanya atom oksigen, yang tidak hanya memperluas jarak interlayer tetapi juga mengakibatkan lapisan atom hidrofilik lebih tebal. Hasilnya, GO larut dengan mudah dalam air dan dapat larut dalam berbagai pelarut (Pei, 2012).

Metode Hummers merupakan metode yang paling umum digunakan untuk menghasilkan GO. GO dapat direduksi menjadi bentuk GO yang tereduksi (*reduced graphene oxide*, rGO). Bahan kimia yang digunakan dalam pembuatan rGO secara kimia yaitu hidrazine dan turunannya, hidrokuinon, asam amino, sodium borohidrat, sodium hidroksida, dan asam askorbat. *Graphene* yang dikonversi secara kimia biasanya diperoleh dari reduksi GO dengan hidrazin atau turunannya. Sayangnya, hidrazin dan turunannya sangat beracun dan tidak stabil sehingga perlu ditangani dengan sangat hati-hati (Lee, 2013). Oleh karena itu,

perlu adanya pengembangan untuk mensintesis GO yang ramah lingkungan dan tidak menggunakan bahan kimia beracun. Dalam beberapa artikel mulai dikembangkan penggantian agen pereduksi dengan bahan yang alami seperti melatonin, vitamin C, dan gula untuk menggantikan hidrazin yang beracun. Reduksi secara biologi dari GO menggunakan mikroorganisme dan tanaman banyak disarankan sebagai alternatif metode kimia yang ramah lingkungan. Metode yang berbasis tanaman untuk mereduksi GO memiliki kelebihan tertentu dibandingkan metode berbasis mikroorganisme. Metode berbasis tanaman menghilangkan kebutuhan pemeliharaan sel kultur yang tinggi dan dapat digunakan untuk produksi dengan skala lebih besar (Agharkar, 2014).

Matoa (*Pometia pinnata*) merupakan jenis pohon endemik yang tumbuh dengan cepat di daerah tropis dan subtropis termasuk di Indonesia. Buah matoa sudah sangat terkenal sebagai antioksidan karena kaya akan vitamin C dan E. Ekstrak n-heksana, etil asetat, dan etanol dari daun matoa telah diteliti aktivitas antioksidannya dan ditemukan bahwa aktivitas antioksidan dari ekstrak etanol hampir sama dengan vitamin C. Namun, sejauh ini ekstrak daun matoa ini masih digunakan sebagai obat herbal. Penggunaan ekstrak daun matoa sebagai agen pereduksi GO belum pernah dilaporkan.

Dalam penelitian ini dilakukan pendekatan yang lebih ramah lingkungan untuk mereduksi GO membentuk rGO, yaitu menggunakan ekstrak daun matoa sebagai agen pereduksi. Untuk dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis timah (IV) oksida (SnO_2) maka akan dilakukan pengembangan menggunakan rGO. Material rGO/ SnO_2 diharapkan dapat mendegradasi zat warna MB lebih cepat, efektif, efisien, dan ramah lingkungan. Kajian secara detail dari uji aktivitas juga mempelajari variasi kondisi fotodegradasi dengan dan tanpa penambahan H_2O_2 . Material rGO/ SnO_2 yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, *X-Rays Diffraction* (XRD), *transmission electron microscopy* (TEM), dan *scanning electron microscopy-energy disersive xray* (SEM-EDX).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik rGO/SnO₂ yang dipreparasi dari rGO hasil biosintesis menggunakan ekstrak daun matoa sebagai agen pereduksi?
2. Bagaimana kemampuan rGO/SnO₂ sebagai fotokatalis pada degradasi zat warna MB?
3. Bagaimana kemampuan fotodegradasi metilen biru menggunakan rGO/SnO₂ dengan bantuan lampu UV pada variasi kondisi (tanpa H₂O₂ dan dengan penambahan H₂O₂) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik komposit rGO/SnO₂ yang dipreparasi dari rGO hasil biosintesis menggunakan ekstrak daun matoa sebagai agen pereduksi.
2. Mengetahui kemampuan komposit rGO/SnO₂ sebagai fotokatalis dalam mendegradasi zat warna MB.
3. Mengetahui kemampuan fotodegradasi metilen biru menggunakan komposit rGO/SnO₂ dengan bantuan lampu UV pada variasi kondisi (tanpa H₂O₂ dan dengan penambahan H₂O₂).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukan penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai cara kerja, prinsip, dan proses sintesis rGO/SnO₂ dari ekstrak daun matoa sebagai agen pereduksi.
2. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pada upaya memproduksi komposit untuk fotodegradasi zat warna.

3. Penelitian diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan khususnya pencemaran air dengan mewujudkan konsep kimia hijau dalam mensintesis material yang digunakan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sintesis Komposit rGO/SnO₂

Sintesis rGO banyak dikembangkan di dunia penelitian saat ini dengan berbagai metode dengan hasil dan efektifitas yang berbeda-beda. Beberapa metode sintesis rGO telah memikirkan sintesis yang murah serta aman terhadap lingkungan. Material rGO merupakan bentuk turunan yang identik dengan GO yang memiliki gugus oksigen lebih sedikit daripada GO. Lapisan dari rGO mengandung lebih sedikit ikatan oksigen akibat reduksi yang dapat dilakukan dengan pengelupasan menggunakan ultrasonik (Fu, 2013). GO merupakan bahan dasar dalam pembentukan rGO dengan reduksi kimia dan reduksi termal.

GO adalah material turunan dari *graphene* yang merupakan bentuk allotrop dari karbon. GO merupakan hasil modifikasi preparasi *graphene* secara kimiawi dengan oksidasi dan ekfoliasi yang disertai dengan modifikasi oksidatif bidang basal. GO disusun oleh lapisan tunggal berisi oksigen yang lebih banyak dari pada *graphene*. Bentuk ini sering direduksi secara kimiawi ataupun elektrokimia sebelum digunakan (Elsevier, 2013).

Chengyang dkk (2017) dalam percobaannya telah menggunakan ekstrak daun *eucalyptus* untuk mereduksi GO. Hasilnya, karakterisasi GO pada pengujian UV-Vis menunjukkan adanya puncak absorpsi pada 233,5 nm yang sesuai dengan transisi $\pi - \pi^*$ untuk aromatik gugus C-C, sedangkan puncak absorpsi rGO terjadi pergeseran merah (*redshift*) pada 273,5 nm. Moosa dan Jaafar (2017) telah menggunakan ekstrak daun teh hitam untuk mereduksi GO, sedangkan Wang dkk (2011) telah menggunakan ekstrak teh hijau untuk mereduksi GO karena bahan kimia antioksidan hadir dalam ekstrak teh hijau terutama polifenol.

Pada tahun 2013, Lee dan Kim menemukan bahwa ekstrak daun cherry (*Prunus serrula*) merupakan ekstrak daun tanaman yang paling optimal di antara ketujuh ekstrak daun tanaman (*cherry, magnolia, platanus, persimmon, pine,*

maple, dan *ginkgo*) dalam mereduksi GO. Waktu reaksi yang digunakan yaitu 12 jam pada temperature 95°C dengan kadar ekstrak mencapai 16,7% v/v. Thakur dan Karak (2012) juga mensintesis rGO menggunakan ekstrak daun *Colocasia esculenta*, ekstrak daun *Mesua ferrea* Linn dan ekstrak kulit jeruk (*Citrus sinensis*). Sementara itu Firdhouse dan Lalitha (2013) telah melaporkan biosintesis sederhana dan ramah lingkungan dari *graphene* menggunakan ekstrak *Amaranthus dubius* sebagai agen pereduksi menggunakan metode reflux dan didapatkan ukuran hasil sintesis dari *nanographene* sekitar 5nm. Dalam percobaan tersebut diketahui juga bahwa ekstrak *Amaranthus dubius* dapat berfungsi sebagai agen *capping*.

Selanjutnya, Kartick dkk (2013) mereduksi GO menggunakan air kelapa (*Cocos nucifera* L.), sementara Haghighi dan Tabrizi (2013) mensintesis *reduced graphene oxide nanosheets* (rGONs) satu layer dengan mereduksi dan menstabilkan GO terkelupas menggunakan air mawar. Material rGONs yang dihasilkan ini dapat diaplikasikan sebagai sensor dan biosensor.

Perkembangan dunia sains saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Berbagai penelitian dilakukan untuk menemukan material-material baru yang memiliki kualitas tinggi. Salah satu produk hasil penelitian yang masih dikembangkan hingga saat ini adalah material komposit rGO/SnO₂. Komposit rGO/SnO₂ merupakan kombinasi campuran material yang menghasilkan material baru yang diharapkan mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang baru pula. Komposit banyak digunakan dalam bidang seperti peralatan rumah tangga, industri serta digunakan sebagai katalis dan adsorben. Material komposit dapat diaplikasikan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi suatu limbah cair. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas proses sintesis rGO/SnO₂ dengan berbagai metode. Baru-baru ini penelitian dengan metode kimia hijau (*green synthesis*) sedang dikembangkan untuk menghasilkan hasil sintesis yang terbaik dengan efektivitas yang tinggi dalam aplikasinya terutama degradasi terhadap suatu zat warna. Tabel 1 menyajikan beberapa penelitian sintesis rGO/SnO₂ dan aplikasinya termasuk sebagai material fotokatalis.

Tabel 1. Penelitian yang pernah dilakukan untuk mensintesis rGO/SnO₂ dan aplikasinya

No	Judul	Metode	Hasil	Peneliti, Tahun
1	<i>One –Step synthesis SnO₂-reduced graphene oxide (SOG) composites for efficient removal of organic dyes from wastewater</i>	Metode hidrothermal	Hasil dari percobaan menunjukkan bahwa nanokomposit SOG memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai agen pengadsorp untuk menghilangkan kontaminan dalam air. Komposit SOG dapat digunakan kembali untuk mengadsorp lebih dari sepuluh kali.	Yin dan Huaqiang, 2013
2	<i>Photocatalytic activity of reduced graphene oxide/SnO₂ nanocomposites prepared in ionic liquid</i>	Metode <i>microwave</i>	Nanopartikel SnO ₂ diembankan pada permukaan rGO secara cepat (10 menit) menggunakan bantuan <i>microwave</i> dan tanpa bantuan agen pereduksi. Aktivitas fotokatalitik dari komposit rGO/SnO ₂ (GTC) lebih baik daripada	Tang dan Nguyen dkk, 2015

			nanopartikel SnO ₂ di bawah penyinaran sinar UV.	
3	<i>A comparative study of reduced graphene oxide modified TiO₂, ZnO, and Ta₂O₅ in visible light photocatalytic/photocemical oxidation of methylene blue</i>	Metode hidrothermal	G/Ta ₂ O ₅ menunjukkan peningkatan efisiensi degradasi di bawah penyinaran sinar UV-Vis. G/TiO ₂ menunjukkan keefektifan degradasi MB di bawah sinar visible. Komposit yang paling efektif dalam degradasi MB menggunakan G/TiO ₂ di bawah sinar visible menggunakan penambahan H ₂ O ₂ .	Sun dan Liu dkk, 2013

2.2 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka maka hipotesis dari penelitian ini adalah :

1. Sintesis komposit rGO/SnO₂ dengan konsep kimia hijau menggunakan ekstrak daun matoa (*Pometia pinnata*) diharapkan dapat dilakukan sehingga dapat digunakan dalam fotodegradasi zat warna MB.
2. Penambahan H₂O₂ dalam proses fotodegradasi MB diharapkan dapat meningkatkan aktivitas rGO/SnO₂ untuk mendegradasi MB.
3. Penggunaan variasi material yang di embankan maupun tanpa pengembanan diharapkan mampu menjadi perbandingan pada proses

fotodegradasi zat warna MB, baik dengan penambahan H_2O_2 maupun tanpa penambahan H_2O_2 sehingga diperoleh presentase perbandingan kemampuan fotodegradasinya.



BAB III

DASAR TEORI

3.1 Matoa

Pometia pinnata atau dikenal dengan matoa merupakan jenis tanaman famili *Sapindaceae* yang tersebar di wilayah Asia Tenggara (Malaysia dan Indonesia) dan dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai obat-obatan tradisional dan buahnya dapat dimakan. Tanaman ini juga dapat ditemukan di Sri Lanka dan Kepulauan Andaman melalui Asia Tenggara sampai Fiji dan Samoa (Thomson and Thaman, 2006). Matoa juga terdapat di beberapa daerah seperti Sumatra, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, P. Sumbawa (NTB), Maluku, dan Papua (Sudarmono, 2000). Matoa dapat hidup dari dataran rendah hingga ketinggian ± 1700 mdpl. Matoa tumbuh baik pada daerah dengan curah hujan yang diperlukan lebih dari 1200 mm per tahun (Hermanto dkk, 2013).

Kedudukan tanaman matoa dalam taksonomi tumbuhan adalah sebagai berikut:

- Divisi : *Magnilophyta* (berbunga)
Sub Divisi : *Spermatophyta* (menghasilkan biji)
Kelas : *Magnoliopsida* (dikotil)
Famili : *Sapindaceae*
Genus : *Pometia*
Spesies : *Pometia pinnata*

Pohon matoa tergolong pohon yang besar dengan tinggi rata-rata 12-20 m (39-66 kaki) dengan diameter rata-rata 10-20 m (33-66 kaki), akarnya termasuk akar tunggang. Spesies yang paling besar ditemukan dengan ketinggian mencapai 50 m (165 kaki). Batangnya berbentuk silindris dan berdiri tegak dengan permukaan kasar berwarna putih kecoklatan. Batangnya mempunyai percabangan

yang banyak sehingga pohon matoa ini menjadi rimbun. Daunnya termasuk daun majemuk yang tersusun berselang seling. Warna daun matoa yang masih muda berwarna merah cerah dan setelah tua menjadi hijau. Daunnya berbentuk jorong dengan panjang 12-30 cm (5-12 inch) dan lebar 4-10 cm (1,6-4 inch). Permukaan daun umumnya kasar, namun daun yang masih muda biasanya ditutupi rambut kecoklatan (Thomson and Thaman, 2006). Daun matoa disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Daun Matoa (Thomson and Thaman, 2006)

Beberapa penelitian terkait tanaman matoa yang telah dilakukan diantaranya adalah oleh Kuspradini dan Kusuma (2016) menguji aktivitas antioksidan dan antibakteri ekstrak daun *P. pinnata*, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun *P. pinnata* mengandung alkaloid, tannin, dan kumarin. Martiningsih (2016) menyatakan, aktivitas antioksidan ekstrak etanol daun matoa mengandung senyawa flavonoid dan tanin. Hasil penelitian mengatakan bahwa ekstrak daun matoa mampu menghambat virus HIV-1 IN karena mengandung senyawa flavonoid (Suedee, 2012). Penelitian yang dilakukan oleh Mataputun dkk (2013) juga menyatakan bahwa ekstrak polar kulit batang matoa mengandung senyawa fenolik golongan flavonoid. Berdasarkan penelitian Rahimah (2013) tentang karakterisasi senyawa flavonoid pada daun matoa diperoleh hasil bahwa senyawa yang diperoleh adalah senyawa golongan flavonoid. Penelitian mengenai ekstrak kulit buah matoa dinyatakan mengandung tanin, saponin, dan alkaloid (Faustina and Santoso, 2014)

Berdasarkan literatur, dinyatakan bahwa ekstrak tanaman yang diperoleh dari berbagai sumber seperti daun, kulit, atau bagian lain dari tanaman dapat digunakan sebagai agen pereduksi dan capping. Komponen kimia yang terlibat

dalam proses bio-reduksi, pembentukan dan stabilisasi dari nanopartikel adalah termasuk kelompok biomolekul seperti protein, asam amino, polisakarida, alkaloid, turunan alkohol, senyawa polifenol, vitamin dan agen pengkhelat (Agharkar et al, 2014).

3.2 Graphene

Graphene merupakan modifikasi struktural karbon yang tersusun dalam bentuk dua dimensi (2D) di mana setiap atom karbon memiliki ikatan kovalen dengan kisi kristal berbentuk sarang lebah. *Graphene* ditemukan pada tahun 2004 oleh A.K Geim dan Novoselov K.S dari *University of Manchester* menggunakan teknik scotch tape pada lapisan terluar unsur karbon (Novoselov dkk, 2004).

Graphene memiliki sifat yang unik dan unggul dibandingkan dengan material lain. *Graphene* tidak memiliki *band gap*, luas permukaan spesifik yang besar ($2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$), mobilitas elektron yang tinggi ($200.000 \text{ cm}^2\text{v}^{-1}\text{s}^{-1}$) (Morozov et al, 2008), modulus Young yang tinggi ($\sim 1.0 \text{ Tpa}$) (Lee et al, 2008). Keunggulan lain dari sifat yang dimiliki *graphene* yaitu konduktivitas termal yang sangat tinggi ($\sim 5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) (Balandin et al, 2008) dan transparansi optik yang baik ($\sim 97,7\%$). Keunggulan sifat dari material *graphene* dapat dimanfaatkan untuk memproduksi berbagai komponen listrik seperti kapasitor dan transistor, sensor, konduksi film transparan, perangkat penyimpanan energi seperti sel surya, nanokomposit *graphene-polymer* (Zhu et al, 2010).

Graphite oxide memiliki struktur berlapis yang mirip dengan grafit, tetapi bidang atom karbon dalam *graphite oxide* sangat berat karena tidak hanya mengandung atom karbon tetapi juga mengandung kelompok oksigen, yang tidak hanya memperlebar jarak antar interlayer tetapi juga membuat lapisan atom hidrofilik semakin tebal. Hasilnya, lapisan teroksidasi ini dapat dengan mudah terkelupas di dalam air menggunakan metode ultrasonifikasi. Jika lembaran yang terkelupas hanya mengandung satu atau beberapa lapisan atom karbon seperti *graphene* maka lembaran inilah yang dinamakan *graphene oxide* (GO). Sifat yang paling menarik dari GO adalah dapat dengan mudah direduksi menjadi lembaran

mirip graphene dengan melepas kelompok atom yang mengandung oksigen melalui pemulihan struktur terkonjugasi. Lembaran GO yang direduksi (rGO) merupakan salah satu turunan dari graphene (Pei, 2012). GO digunakan sebagai bahan dasar dalam pembentukan rGO dengan cara reduksi kimia dan reduksi termal. Lapisan rGO mengandung lebih sedikit ikatan oksigen akibat reduksi yang dapat dilakukan dengan pengelupasan menggunakan ultrasonik (Fu, 2013).

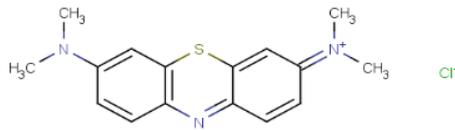
3.3 Tin Oksida (SnO₂)

Timah atau *Stannum* (Sn) merupakan unsur golongan IVA (grup 14) dan periode 5 dalam tabel periodik, bersama dengan karbon, silikon, germanium, dan timbal. Timah memiliki nomor atom 50 dan masa atom relatif 118,71 sma. Timah dalam bentuk senyawanya memiliki tingkat oksidasi +2 dan +4, tingkat oksidasi +4 lebih stabil dari pada +2. Pada tingkat oksidasi +4, timah menggunakan seluruh elektron valensinya, yaitu $5s^25p^2$ dalam ikatan, sedangkan pada tingkat oksidasi +2, timah hanya menggunakan elektron valensi $5p^2$ saja. Tetapi perbedaan energi antara kedua tingkat ini rendah.

Logam transisi oksida seperti ZnO, TiO₂, WO₃, dan SnO₂ telah menarik minat peneliti karena sifat fisik dan kimianya yang unik dan beragam aplikasi potensial dalam bidang optik dan elektronik. Tin oksida (SnO₂) dengan struktur rutil merupakan material semikonduktor *n-type* yang menjanjikan dengan lebar celah energi 3,65 eV pada 300K sehingga dapat diaplikasikan sebagai sensor gas, solar sel, elektroda, transistor. Nanokristal SnO₂ juga dapat digunakan sebagai katalis dalam fotodegradasi berbagai zat warna (Bhattacharjee, A et al, 2015)

3.4 Metilen Biru

Metilen biru (MB) memiliki rumus kimia C₁₆H₁₈ClN₃S merupakan senyawa karbon aromatik heterosiklik yang beracun dan merupakan salah satu jenis zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang kuat. Metilen biru memiliki berat molekul 319, 86 gr/mol, dengan titik lebur di 105°C dan daya larut sebesar 4,36 x 104 mg/L (Endang Palupi, 2006). Struktur metilen biru tertera pada **Gambar 2**



Gambar 2. Struktur Metilen Biru

Metilen biru merupakan zat warna sintetik yang diperoleh dari proses pencelupan (dyeing) dalam industri tekstil (Atmaji dkk, 1999). Dalam pewarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya yaitu 95% akan dibuang ke lingkungan sebagai limbah. Selain berasal dari industri tekstil, senyawa ini biasanya juga digunakan dalam pewarnaan makanan, kertas, kosmetik, dan beberapa industri lainnya (Sarioglu and Atay, 2006). Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan jika melampaui ambang batas yang diperbolehkan.

Pada lingkungan, kandungan MB yang pekat dapat menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam perairan dan mengganggu ekosistem serta dapat menaikkan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Hal ini dapat merusak keseimbangan ekosistem lingkungan yang ditandai dengan matinya organisme perairan di sekitar lokasi pembuangan limbah. Pada manusia, dosis tinggi dari MB dapat menyebabkan sulit bernafas, mual, muntah, nyeri pada perut dan dada, sakit kepala, keringat berlebihan, kebingungan mental dan methemoglobinemia (Tan et al, 2007). Selain itu MB juga dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit (Hamdaoui and Chiha, 2006).

Warna dari limbah muncul disebabkan karena adanya gugus kromofor dalam zat warna. Selain kromofor sebagai pembawa zat warna, molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh. Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik antara lain senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen (Manurung dkk, 2004). Menurut Al-kdasi (2004) berdasarkan struktur kimianya gugus kromofor

dibagi menjadi bermacam-macam, antara lain: nitroso, nitro, azo, stilben, difenil metana, trifenil metana, akridin, kinolin, indigoida, aminokinon, anin, dan indofenol. Kromofor zat warna reaktif biasanya merupakan sistem azo dan antrakuinon dengan berat molekul relatif kecil dan daya serap terhadap serat tidak besar. Sehingga zat warna yang tidak bereaksi dengan serat mudah dihilangkan. Gugus-gugus penghubung dapat mempengaruhi daya serap dan ketahanan zat warna terhadap asam atau basa. Gugus-gugus reaktif merupakan bagian-bagian dari zat warna yang mudah lepas. Dengan lepasnya gugus reaktif ini, zat warna menjadi mudah bereaksi dengan serat kain. Pada umumnya agar reaksi dapat berjalan dengan baik maka diperlukan penambahan alkali atau asam sehingga mencapai pH tertentu (Manurung dkk, 2004).

3.5 Green Chemistry (Kimia Hijau)

Pengertian secara umum *green chemistry* adalah suatu metode untuk mengurangi bahaya bahan kimia, disamping memproduksi produk dengan cara lebih efisien dan lebih hemat (Kenneth and James, 2004). Menurut Anastas dan Warner (1998), *green chemistry* adalah teknik dan metode secara kimia untuk mengurangi atau mengeliminasi penggunaan bahan dasar, produk, produk samping, pelarut, pereaksi yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan masalah lingkungan. *Green chemistry* mulai dikenal secara global setelah Environmental Protection Agency (EPA) mengeluarkan Pollution Prevention Act yang merupakan kebijakan nasional mencegah atau mengurangi polusi. *Green chemistry* merupakan pendekatan untuk mengatasi masalah lingkungan baik dari segi bahan kimia yang dihasilkan, proses ataupun tahapan reaksi yang digunakan.

Anastas dan Warner (1998) mengusulkan “The Twelve Principles Of Green Chemistry” yang digunakan sebagai acuan oleh para peneliti untuk melakukan penelitian yang ramah lingkungan. Berikut adalah ke-12 prinsip kimia hijau yang diusulkan oleh Anastas dan Warner :

1. Mencegah timbulnya limbah dalam proses
2. Mendesain produk bahan kimia yang aman

3. Mendesain proses sintesis yang aman
4. Menggunakan bahan baku yang dapat terbarukan
5. Menggunakan katalis
6. Menghindari derivatisasi dan modifikasi sementara dalam reaksi kimia
7. Memaksimalkan atom ekonomi
8. Menggunakan pelarut yang aman
9. Meningkatkan efisiensi energi dalam reaksi
10. Mendesain bahan kimia yang mudah terdegradasi
11. Penggunaan metode analisis secara langsung untuk mengurangi polusi
12. Meminimalisasi potensi kecelakaan

3.6 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri adalah suatu metode analisis yang berdasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu lajur larutan berwarna pada panjang gelombang yang spesifik dengan menggunakan monokromator prisma atau kisi difraksi dan detector *vacum phototube* dengan memakai instrumen spektrofotometer (Harjadi, 1990). Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang (Sartini, 2019). Prinsip kerja dari spektrofotometer UV-Vis sesuai dengan hukum Lambert-Beer yaitu sinar melewati larutan akan diserap dan besarnya serapan sebanding dengan besarnya absorbansi (Sastrohamidjojo, 2001). Prinsip perhitungan hukum Lambert-Beer yaitu menyatakan hubungan linieritas antara besar absorbansi (A) yang terukur dengan konsentrasi larutan analit yang dinyatakan dengan rumus $A = \epsilon b C$.

Komponen-komponen penting yang terdapat dalam suatu instrument spektrofotometer UV-Vis adalah:

1. Sumber cahaya

Sumber cahaya yang biasa adalah lampu wolfram. Selain lampu wolfram, lampu yang dapat digunakan adalah lampu hydrogen atau lampu deuterium. Kelebihan lampu wolfram adalah energi radiasi yang dibebaskan tidak bervariasi pada berbagai gelombang (stabil) (Khopkar, 1990).

2. Monokromator

Monokromator berfungsi untuk memperoleh sinar yang monokromatis. Alat yang digunakan dapat berupa prisma atau *grating* (Khopkar, 1990).

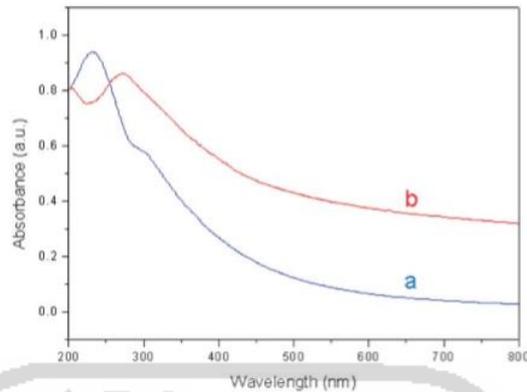
3. Kuvet

Kuvet merupakan wadah sampel dan blanko di dalam spektrofotometer UV-Vis. Kuvet yang biasa digunakan terbuat dari sel kuarsa dengan tebal 10mm (Khopkar, 1990).

4. Detektor

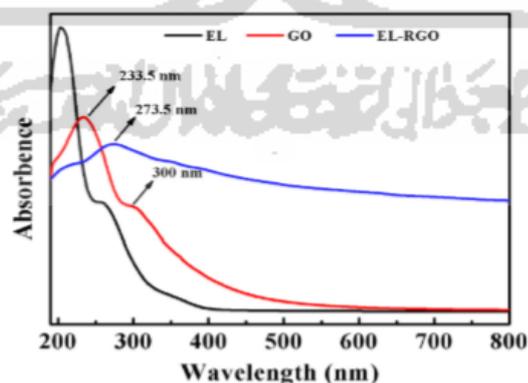
Detektor berfungsi untuk memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang (Khopkar, 1990).

Spektrofotometer UV-Vis merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk pengkarakterisasian material. Terdapat beberapa karakterisasi material *graphene oxide* dan *reduced graphene oxide* menggunakan UV-Vis yang telah dilakukan. Hasil karakterisasi material rGO ditunjukkan pada **Gambar 3**.



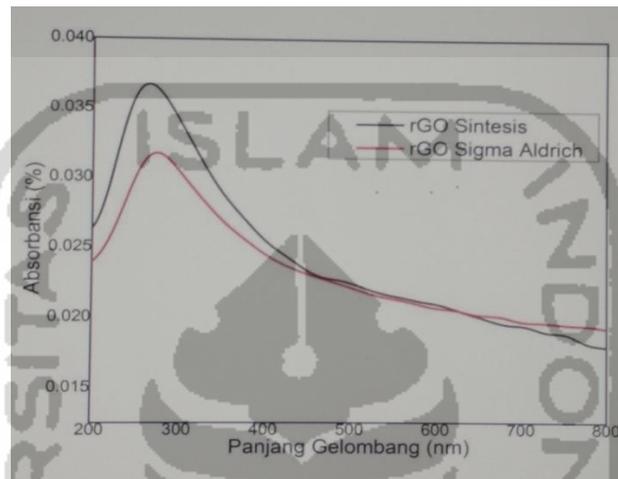
Gambar 3. Spektrum absorbansi GO (a) dan rGO (b) (Lee and Beom, 2013)

Pada **Gambar 3** menunjukkan spektrum absorpsi UV-Vis dari *graphene oxide* dan *reduced graphene oxide*. Puncak absorpsi dari GO adalah pada panjang gelombang 232 nm dan untuk rGO terdapat puncak absorpsi pada panjang gelombang 272 nm (Lee and Beom, 2013). Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis yang dilakukan oleh Li et al (2017) dalam mensintesis *reduced graphene oxide* menggunakan ekstrak daun *Eucalyptus* dapat dilihat pada gambar 4. Karakterisasi GO pada pengujian UV-Vis adalah adanya puncak absorpsi pada 233,5 nm, sesuai dengan transisi $\pi-\pi^*$ untuk gugus aromatik C-C, sedangkan puncak absorpsi rGO terjadi pergeseran redshift pada 273,5 nm.



Gambar 4. Spektra UV-Vis dari GO, rGO, dan ekstrak daun *Eucalyptus* (Li et al, 2017)

Hasil karakterisasi tersebut dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Rafitasari (2016) yang menunjukkan data absorbansi dari rGO hasil sintesis dibandingkan dengan rGO yang dibeli dari Sigma Aldrich. Hasil UV-Vis terlihat hanya memiliki satu puncak pada panjang gelombang 270 nm yang merupakan transisi elektron pada orbital $\pi - \pi^*$.



Gambar 5. Serapan UV-Vis rGO sintesis dan rGO Sigma Aldrich (Rafitasari, 2016)

3.7 X-ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction (XRD) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin. Bahan yang dapat dianalisa berupa padatan tanah halus, homogen, dan rata-rata komposisi massal ditentukan (Ratnasari, 2009). Sinar X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi, dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam, biasanya tembaga (Cu). Difraksi sinar X dapat memperlihatkan distribusi kerapatan elektron dari atom penyusun suatu kristal dan dapat memberikan data mengenai sudut difraksi tersebut (Glusker dkk, 1985).

Prinsip dari instrumen *X-ray Diffraction* (XRD) adalah difraksi sinar X yang mengalami *scattering* setelah saling bertumbukan dengan atom kristal. Pola difraksi yang dihasilkan menjelaskan struktur kristal uji setelah dibandingkan

dengan parameter uji dapat ditentukan ukuran material, parameter kisi material, serta ukuran partikel kristal (Riyanto, 2009). Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg:

$$N\lambda = 2 d \sin \theta$$

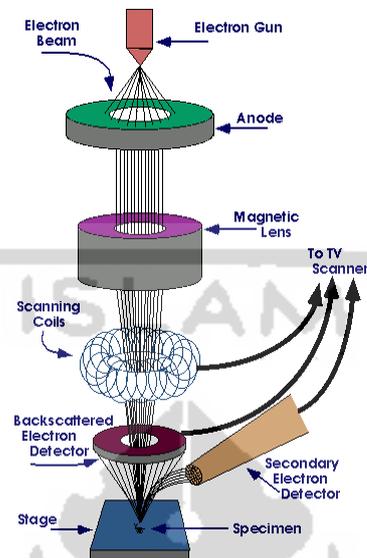
Dengan; n : orde difraksi d : jarak kisi
 λ : panjang sinar-X θ : sudut difraksi

3.8 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope-(SEM) merupakan jenis mikroskop elektron yang berfungsi untuk mengetahui permukaan morfologi suatu sampel uji mikro dari suatu material. Pemindaian yang dilakukan menggunakan SEM menggunakan pancaran tinggi elektron (Rajaratham, 2006), elektron yang berinteraksi dengan atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang sampel dari permukaan (topografi), komposisi dan sifat lainnya seperti daya konduksi listrik. Hasil karakterisasi SEM berupa pencitraan topografi material yang memiliki perbedaan bentuk dan warna.

Prinsip kerja dari SEM yaitu dengan menembakkan sampel dengan suatu sinar elektron berenergi tinggi yang berasal dari *electron gun*, biasanya dengan energi 1-20 keV, secara kontinu yang dipercepat di dalam kumparan elektromagnetik yang dihubungkan dengan tabung sinar katoda. Deteksi elektron yang dihamburkan oleh sampel memberikan informasi mengenai keadaan permukaan suatu sampel senyawa. Sinar elektron yang ditembakkan melewati sampel dan kemudian mendeteksi "*secondary electron*" dan "*backscattered electron*" yang dikeluarkan (Gergely, 2010). "*Secondary electron*" berasal dari 5-15 nm dari permukaan sampel dan memberikan informasi berupa topografi dan untuk tingkat yang kurang, pada variasi unsur dalam sampel. "*Backscattered electron*" terlepas dari daerah sampel yang lebih dalam dan memberikan

informasi terutama pada jumlah atom rata-rata dari sampel (Saleha, 2015). Instrumentasi SEM disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Instrumen SEM

Berikut ini adalah beberapa bagian penyusun dari instrumen SEM:

1. *Electron Gun* (Penembak elektron berkecepatan tinggi)
2. *Condencer lenses*
3. *Objective Len*
4. *Scanning Coils*
5. *Sampel holder* (wadah sampel)
6. *Detector*
7. *Amplifier*
8. *Monitor*

SEM sendiri tidak dapat menganalisis kandungan unsur total yang terdapat pada suatu material. Untuk itu SEM pasti dilengkapi dengan alat khusus untuk melihat kandungan unsur pada suatu material yaitu *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dianalisis.

Prinsip kerja EDX yaitu sinar energi yang tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton, atau berkas sinar X, difokuskan ke specimen yang akan diteliti. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam dan mengeluarkannya dari kulit, sehingga terdapat lubang elektron dimana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari kulit yang berenergi tinggi kemudian mengisi lubang dan perbedaan energi antara kulit yang berenergi tinggi dengan kulit yang berenergi lebih rendah dan dapat dirilis dalam bentuk sinar X. Energi sinar X yang dihasilkan adalah karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit serta karakteristik struktur atom dari unsur yang terpecah, sehingga memungkinkan komposisi unsur dan specimen diukur.

Hasil analisis EDX adalah berupa presentasi kemunculan unsur total pada suatu material yang di analisis dengan SEM-EDX. Tidak semua material dapat di analisis menggunakan SEM-EDX, beberapa syarat yang harus dipenuhi agar sampel dapat di analisis menggunakan SEM-EDX yaitu:

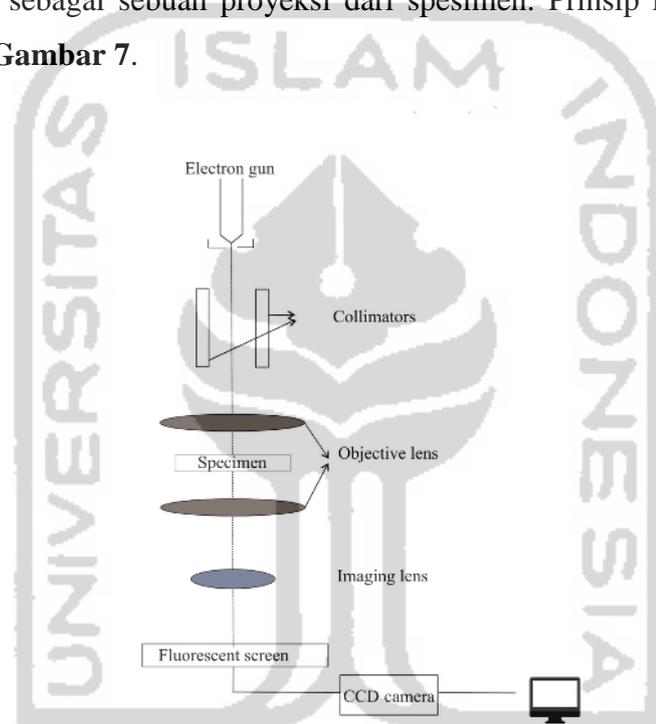
1. Sampel kering, homogen, konduktor, dan stabil.
2. Bila sampel powder/polimer, harus direkatkan dengan selotip karbon pada sampel holder.
3. Bila sampel berupa cairan, sampel tersebut harus dipadatkan dengan cara dibekukan kemudian dianalisis.
4. Bila sampel biologis, sampel tersebut diberi *dry agents* kemudian dianalisis.

3.9 Transmission Electron Microscope (TEM)

Transmission Electron Microscope (TEM) merupakan suatu teknik mikroskopis dimana sejumlah elektron ditransmisikan melalui specimen tipis dan berinteraksi dengan specimen yang dilewati. Informasi mengenai komposisi struktur dalam sampel tersebut dapat terdeteksi dari analisis sifat tumbukan, pantulan, maupun fase sinar elektron yang menembus lapisan tipis tersebut. Bahkan dari analisa lebih detail, bisa diketahui deretan struktur atom dan ada tidaknya cacat (*defect*) pada struktur tersebut. Gambar terbentuk dari interaksi

elektron yang ditransmisikan melalui spesimen. Gambar kemudian diperbesar dan difokuskan ke perangkat visual, seperti layar fluoresen atau yang akan dideteksi oleh sensor seperti kamera CCD.

Teknik pencitraan, spektroskopi, dan difraksi adalah tiga teknik utama yang terlibat dalam TEM. Prinsip kerja dari TEM secara singkat adalah sinar elektron mengiluminasi spesimen dan menghasilkan sebuah gambar di atas layar pospor. Gambar dilihat sebagai sebuah proyeksi dari spesimen. Prinsip kerja dari TEM disajikan pada **Gambar 7**.



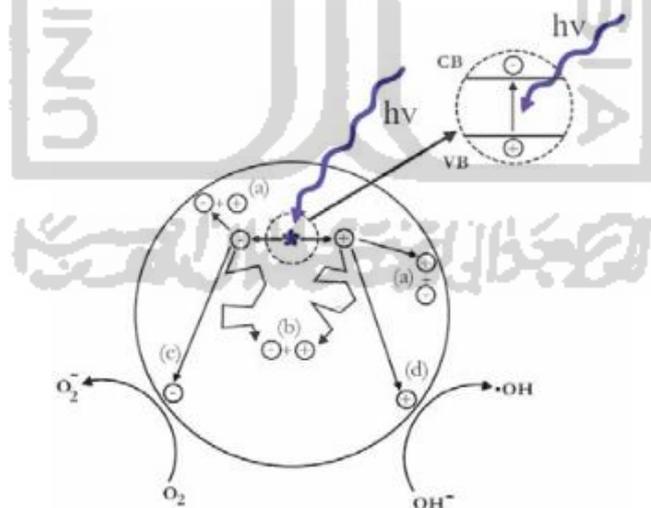
Gambar 7. Prinsip kerja TEM (Kumar, S.P dkk, 2019)

Dalam pengoperasian TEM, salah satu tahap yang sulit adalah mempersiapkan sampel. Sampel harus dibuat setipis mungkin sehingga dapat ditembus elektron. Sampel ditempatkan di atas grid TEM yang terbuat dari tembaga atau karbon. Jika sampel berbentuk partikel, biasanya partikel didispersi di dalam zat cair yang mudah menguap seperti etanol lalu ditetaskan ke atas grid TEM. Jika sampel berupa komposit partikel di dalam material lunak seperti polimer, komposit tersebut harus diiris tipis (beberapa nanometer). Alat pengiris yang digunakan adalah *microtome*.

3.10 Fotokatalis

Fotokatalis merupakan perpaduan reaksi antara fotokimia dan katalis. Reaksi fotokimia melibatkan suatu cahaya (foton). Fotokatalis sendiri adalah suatu proses yang dibantu oleh adanya cahaya dan material katalis. Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi atau dengan fotoproduk utamanya, tergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut (Otmer dan Kirk, 1992).

Proses fotokatalis diawali dengan penyerapan foton yang mengakibatkan eksitasi elektron ke pita konduksi dan membentuk lubang pada pita valensi. Pada permukaan partikel, elektron *fotogenerasi* dapat mereduksi oksigen menjadi anion super-oksida dan lubang fotogenerasi dapat mengoksidasi OH^- atau air untuk membentuk radikal hidrosil. Rekombinasi elektron-hole dapat terjadi pada permukaan semikonduktor atau di bulk semikonduktor (Palupi, 2006). Skema fotokatalis disajikan pada **Gambar 8**.

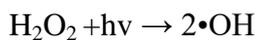
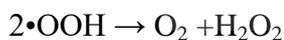
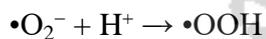
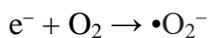
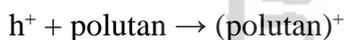
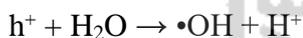
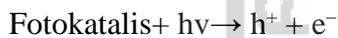


Gambar 8. Skema fotokatalis

Mekanisme reduksi dan oksidasi melalui terbentuknya *hole* dan elektron dimanfaatkan dalam proses degradasi substrat yang bersinggungan dengan

permukaan fotokatalis. Baik elektron atau *hole* mampu menghasilkan ion reaktif yang dapat dimanfaatkan dalam proses deaktivasi dan penguraian kontaminan atau mikroorganisme merugikan. Elektron dalam hal ini akan berinteraksi dengan udara atau oksigen (O_2) menghasilkan radikal superoksida ($\bullet O_2^-$), sedangkan *hole* dapat berinteraksi dengan molekul air (H_2O) membentuk radikal aktif hidroksil ($OH\bullet$) dan H_2O^+ . Radikal-radikal ini akan terus dapat dihasilkan selama material fotokatalis diinduksi oleh sinar atau foton dan akan menguraikan senyawa organik menjadi molekul-molekul kecil seperti CO_2 , H_2O dan asam mineral.

Fotokatalis memanfaatkan semikonduktor sebagai katalis yang diaktifkan dengan bantuan sinar ultraviolet (UV) untuk menguraikan senyawa organik menjadi mineral-mineralnya (Mills dan Hunte, 1997). Proses pembentukan radikal aktif oleh material fotokatalis secara umum dapat ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut :



3.11 Fotodegradasi

Fotodegradasi adalah suatu proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Prinsipnya adalah loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya *hole* (lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut air membentuk radikal.

3.12 Kinetika Reaksi

Kinetika reaksi adalah ilmu yang mempelajari jalannya suatu reaksi sedangkan laju reaksi adalah perubahan konsentrasi per satuan waktu (Dogra, 1984). Suatu reaksi kimia ditentukan oleh tinjauan termodinamika dan kinetika. Termodinamika akan memberikan informasi mengenai perubahan kimia baik spontan maupun tidak sedangkan kinetika membahas mengenai laju reaksi dan mekanisme reaksi (Khotimah, 2008).

Laju reaksi adalah laju pengurangan reaktan tiap satuan waktu atau laju pembentukan produk tiap satuan waktu. Laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti sifat dan keadaan zat, konsentrasi, temperatur, dan katalisator. Secara stoikiometri ditulis

$$v_A = -d[A]/dt = -d[B]/dt$$

Laju reaksi terukur sebanding dengan konsentrasi reaktan dengan suatu pangkat tertentu. Misal $A+B \rightarrow AB$ $v = k[A][B]$. K = konstanta laju yang tidak bergantung pada konsentrasi tetapi bergantung pada suhu. Orde reaksi atau tingkat reaksi terhadap suatu komponen adalah pangkat dari konsentrasi komponen itu dalam hukum laju.

$$\text{Misal : } v = k[A]^{1/2}[B]$$

Artinya reaksi mempunyai orde setengah terhadap A dan orde satu

Untuk reaksi orde nol, laju reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Laju} = k[A]^0$$

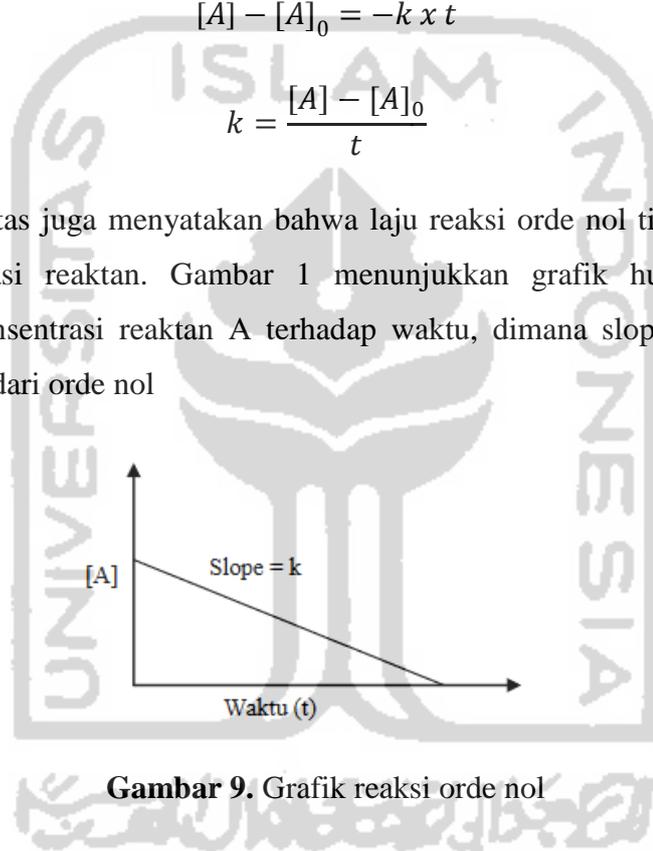
$$\frac{-d[A]}{dt} = k[A]^0$$

$$d[A] = -k \times dt$$

$$[A] - [A]_0 = -k \times t$$

$$k = \frac{[A] - [A]_0}{t}$$

Persamaan di atas juga menyatakan bahwa laju reaksi orde nol tidak bergantung pada konsentrasi reaktan. Gambar 1 menunjukkan grafik hubungan antara pengurangan konsentrasi reaktan A terhadap waktu, dimana slope k merupakan nilai konstanta dari orde nol



Gambar 9. Grafik reaksi orde nol

Orde satu

Reaksi orde satu mempunyai laju yang berbanding langsung dengan konsentrasi reaktan.

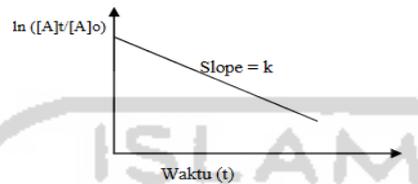
$$\frac{-d[A]}{dt} = k[A]$$

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -k \times t$$

$$\ln[A]_t - [A]_0 = -k \cdot t$$

$$k = \frac{1}{t} \times \ln \frac{[A]_0}{[A]}$$

Grafik hubungan $\ln [A]$ terhadap t merupakan suatu garis lurus seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik reaksi orde satu

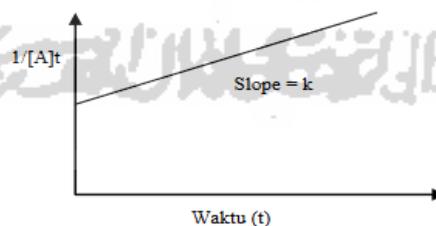
Orde dua

Dalam reaksi orde dua, laju reaksi berbanding langsung dengan kuadrat konsentrasi

$$\frac{-d[A]}{dt} = k[A]^2$$

Bila diintegrasikan :

$$\frac{1}{[A]_t} = \frac{1}{[A]_0} + k \cdot t$$



Gambar 11. Grafik reaksi orde dua

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

4.1.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah blender, seperangkat alat gelas kimia merk pyrex, kaca arloji, spatula, cawan porselen, sendok sungu, pengaduk kaca, propipet, penangas es, termometer, magnetik stirrer, corong, timbangan analitik, batu didih, oven memmert, seperangkat alat fotokatalis, autoklaf, seperangkat alat refluks, tabung reaksi, rak tabung reaksi, labu ukur 5mL, pipet tetes, mikropipet, pipet tip, spektrofotometer UV-Vis *double beam* Hitachi UH53000, *X-Rays Diffraction* (XRD) (Bruker D2 Phaser), *transmission electron microscopy* (TEM), dan *scanning electron microscopy-energy disersive xray* (SEM-EDX) (Phenom ProX).

4.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk grafit, H₂SO₄ (95-98% Merck), KMnO₄ (Merck), akuades, H₂O₂ (30% Merck), SnCl₂.2H₂O (Merck), daun matoa, kertas saring.

4.2 Cara Kerja

4.2.1 Sintesis *graphene oxide* (GO)

GO disintesis dari serbuk grafit menggunakan metode Hummers yang telah dimodifikasi. Sebanyak 3 g serbuk grafit dilarutkan dalam 69 mL H₂SO₄ pekat dan diaduk pelan di dalam penangas es. Selanjutnya ditambahkan 9 g KMnO₄ secara bertahap dan pelan-pelan ke dalam campuran. Campuran diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 30 menit. Setelah 30 menit, kedalam campuran ditambahkan 140 mL akuades dan dipanaskan selama 15 menit, kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruangan. Campuran dicuci dengan akuades sebanyak 210 mL. Untuk menghilangkan sisa KMnO₄, campuran

ditambahkan 3 mL H_2O_2 . Selanjutnya campuran diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 15 menit. Campuran disaring menggunakan kertas saring kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu $100^\circ C$ selama 2 jam. Untuk melakukan pengelupasan dari oksida grafit menjadi grafena oksida dilakukan sonifikasi selama 15 menit terhadap 0,005 gram oksida grafit dalam 10 mL akuades. Kemudian dioven bersuhu $90^\circ C$ selama satu jam.

4.2.2 Preparasi ekstrak daun matoa

Daun matoa dikumpulkan dari area Univeritas Islam Indonesia. Sebanyak 100 g daun matoa diblender hingga menjadi potongan kecil-kecil kemudian ditambahkan 100 mL aquadest. Campuran direfluks pada suhu $\pm 100^\circ C$ selama satu jam kemudian disaring menggunakan kertas saring.

4.2.3 Reduksi *graphene oxide* (rGO)

Sebanyak 100 mL ekstrak daun matoa ditambahkan ke dalam 100 mL larutan GO yang telah dihomogenkan (40 mg/mL), kemudian direfluk pada suhu $90^\circ C$ selama 12 jam. Setelah 12 jam, campuran didinginkan hingga suhu ruangan, kemudian disaring dan dioven hingga kering.

4.2.4 Preparasi komposit *reduced graphene oxide*/timah (IV) oksida (rGO/SnO₂)

Sebanyak 0,08 gram $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ dan 0,4 rGO ditimbang kemudian dicampur dan dilarutkan dalam 30 mL akuades. Campuran dimasukkan dalam autoklaf dan dipanaskan pada suhu $150^\circ C$ selama 5 jam. Campuran hasil pemanasan dibuka, kemudian dipindahkan ke cawan porselen dan diuapkan. Padatan yang diperoleh dari hasil penguapan dikalsinasi pada $400^\circ C$ selama 4 jam.

4.2.5 Pembuatan larutan sampel metilen biru (MB) 10 ppm

Pembuatan larutan sampel MB 10 ppm dilakukan dengan mengencerkan larutan MB 200 ppm yang sudah tersedia. Sebanyak 12,5 mL larutan MB 200

ppm diambil dan dimasukkan kedalam labu ukur 250 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas.

4.2.6 Karakterisasi komposit rGO/SnO₂

Karakterisasi yang dilakukan pada material komposit rGO/SnO₂ meliputi karakterisasi menggunakan XRD untuk menentukan kristalinitas suatu padatan, TEM dan SEM-EDX untuk melihat morfologi dan topografi pada material komposit serta komposisi unsur dari suatu senyawa, spektrofotometer UV-Vis untuk melihat pergeseran panjang gelombang sebelum dan setelah direduksi dan untuk menentukan panjang gelombang pada sampel.

4.2.7 Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan komposit rGO/SnO₂ dengan penambahan H₂O₂

Sebanyak 250 mL larutan sampel MB dimasukkan kedalam tabung reaktor fotokatalis kemudian ditambah dengan 0,1 gram rGO/SnO₂ dan ditambah dengan H₂O₂ sebanyak 1 mL. Reaktor fotokatalis yang dilengkapi dengan lampu UV dinyalakan selama 90 menit. Pada selang 0, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit sebanyak 1 mL larutan diambil dan dimasukkan kedalam labu ukur 5 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas untuk diukur panjang gelombang dari MB menggunakan spektrofotometer UV-Vis *double beam* dengan blanko akuades.

4.2.8 Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan komposit rGO/SnO₂ tanpa penambahan H₂O₂

Sebanyak 250 mL larutan sampel MB dimasukkan kedalam tabung reaktor fotokatalis kemudian ditambah dengan 0,1 gram rGO/SnO₂ tanpa penambahan H₂O₂. Reaktor fotokatalis yang dilengkapi dengan lampu UV dinyalakan selama 90 menit. Pada selang 0, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit sebanyak 1 mL larutan diambil dan dimasukkan kedalam labu ukur 5 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas untuk diukur panjang gelombang dari MB menggunakan spektrofotometer UV-Vis *double beam* dengan blanko akuades.

4.2.9 Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan rGO dengan penambahan H₂O₂

Sebanyak 250 mL larutan sampel MB dimasukkan ke dalam tabung reaktor fotokatalis kemudian ditambah dengan 0,1 gram rGO dan ditambah dengan H₂O₂ sebanyak 1 mL. Reaktor fotokatalis yang dilengkapi dengan lampu UV dinyalakan selama 90 menit. Pada selang 0, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit sebanyak 1 mL larutan diambil dan dimasukkan ke dalam labu ukur 5 mL, kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas untuk diukur panjang gelombang dari MB menggunakan spektrofotometer UV-Vis *double beam* dengan blanko akuades.

4.2.10 Uji aktivitas fotokatalis MB menggunakan rGO tanpa penambahan H₂O₂

Sebanyak 250 mL larutan sampel MB dimasukkan ke dalam tabung reaktor fotokatalis kemudian ditambah dengan 0,1 gram rGO tanpa penambaha H₂O₂. Reaktor fotokatalis yang dilengkapi dengan lampu UV dinyalakan selama 90 menit. Pada selang 0, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit sebanyak 1 mL larutan diambil dan dimasukkan ke dalam labu ukur 5 mL, kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas untuk diukur panjang gelombang dari MB menggunakan spektrofotometer UV-Vis *double beam* dengan blanko akuades.

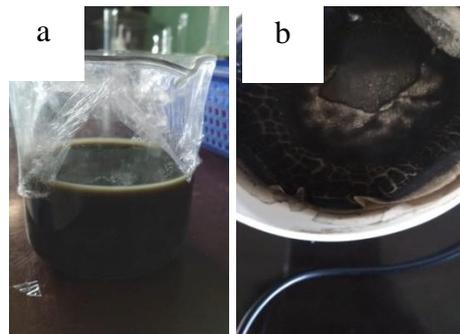
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai preparasi komposit rGO/SnO₂ dan karakterisasinya, serta aplikasinya sebagai fotokatalis pada proses degradasi zat warna MB dengan variasi material yang digunakan serta variasi dengan dan tanpa penambahan H₂O₂. Metode sintesis jalur hijau dipilih untuk mensintesis komposit rGO/SnO₂ karena memiliki keunggulan yaitu lebih aman untuk lingkungan, mudah diaplikasikan dan biaya sintesis lebih murah. Pada penelitian ini digunakan SnCl₂.2H₂O sebagai prekursor dan ekstrak daun matoa yang akan digunakan sebagai agen pereduksi. Karakterisasi material dilakukan menggunakan beberapa instrumen, diantaranya adalah Spektrofotometer UV-Vis, XRD, SEM, dan TEM. Hasil dari sintesis rGO/SnO₂ pada penelitian ini akan diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna MB dan perubahan konsentrasi MB sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis *double beam*.

5.1 Sintesis grafen oksida (GO)

Penelitian ini menggunakan metode Hummers termodifikasi untuk mempersiapkan GO. Pada modifikasi metode Hummers penggunaan NaNO₃ dihilangkan. Penghilangan ini bertujuan untuk menghindari terbentuknya gas beracun NO₂ dan N₂O₄ yang terbentuk selama proses oksidasi. Prinsip kerja dari preparasi GO adalah mengoksidasi serbuk grafit dalam campuran H₂SO₄ pekat menggunakan oksidator kuat KMnO₄ sehingga diperoleh grafit interkalasi. Interkalasi ini menyebabkan jarak antar lapisan grafena membesar dan interaksi antar lapisan melemah (Azizah dan Susanti, 2014). Sisa ion MnO₄ dan MnO₂ dihilangkan dengan menambahkan H₂O₂ ke dalam campuran tersebut sehingga menjadi mangan sulfat terlarut sambil terus diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama beberapa menit (Khadifah, 2017). Proses tersebut menghasilkan larutan berwarna kuning kecoklatan seperti yang terlihat pada **Gambar 12a**.



Gambar 12. Warna dari larutan GO (a) dan endapan GO (b)

Larutan tersebut didiamkan selama satu hari agar endapan terkumpul di dasar gelas piala sehingga mudah untuk dipisahkan. Setelah satu hari, endapan dipisahkan dengan cara disaring menggunakan vakum dan dibilas menggunakan larutan HCl 5% untuk menghilangkan sisa garam Mg dan akuades untuk menghilangkan sisa asam (Li dkk, 2017). Endapan yang didapatkan dioven hingga kering untuk menghilangkan kadar air. Endapan GO yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 12b**. Untuk mendapatkan grafena oksida sebanyak 0,005 gram oksida grafit di larutkan dalam 10 mL akuades yang kemudian disonifikasi selama 15 menit. Sonifikasi bertujuan agar grafit oksida terkelupas. Pengelupasan ini dapat terjadi karena adanya gelombang ultrasonik, sehingga pengelupasan dari grafit oksida menjadi grafena oksida dilakukan secara mekanik.

5.2 Preparasi ekstrak daun matoa

Daun matoa yang digunakan diambil dari lingkungan kampus terpadu UII kemudian diblender hingga menjadi potongan-potongan kecil yang berfungsi untuk menambah luas permukaan dari daun matoa. Selanjutnya daun matoa direfluks menggunakan pelarut akuades untuk diambil senyawa metabolit sekunder yang terkandung di dalamnya. Prinsip dari metode reluks adalah pelarut yang digunakan akan menguap pada suhu tinggi, namun akan didinginkan dengan kondensor dan turun lagi ke dalam wadah reaksi sehingga pelarut akan tetap ada selama reaksi berlangsung. Kelebihan metode refluks yaitu waktu yang dibutuhkan lebih singkat daripada maserasi dan lebih efisien. Penelitian yang dilakukan oleh Putra dkk (2014) menyatakan bahwa untuk dua pelarut yaitu

pelarut air dan aseton lebih cocok menggunakan metode refluks dibandingkan metode maserasi dan sokletasi karena pada metode refluks ekstrak pelarut air dan aseton rendemennya lebih tinggi dibandingkan dengan metode maserasi dan sokletasi. Adanya pengaruh perlakuan panas pada refluks dapat meningkatkan kemampuan pelarut untuk mengekstraksi senyawa-senyawa yang tidak larut di dalam kondisi suhu kamar, sehingga aktivitas penarikan senyawa lebih maksimal atau memberikan peningkatan rendemen (Harbone, 1987).

Proses refluks ini mempercepat dalam proses pengambilan senyawa metabolit sekunder. Pelarut yang digunakan adalah akuades karena senyawa polifenol dalam ekstrak daun matoa memiliki sifat kepolaran yang sama dengan akuades yaitu sama-sama bersifat polar selain itu penggunaan pelarut akuades dimaksudkan agar sesuai dengan prinsip dari kimia hijau yaitu penggunaan air sebagai pengganti pelarut organik agar tidak membahayakan lingkungan (Ozsoy et al, 2008). Ekstrak daun matoa yang diperoleh dapat dilihat pada **Gambar 13**.



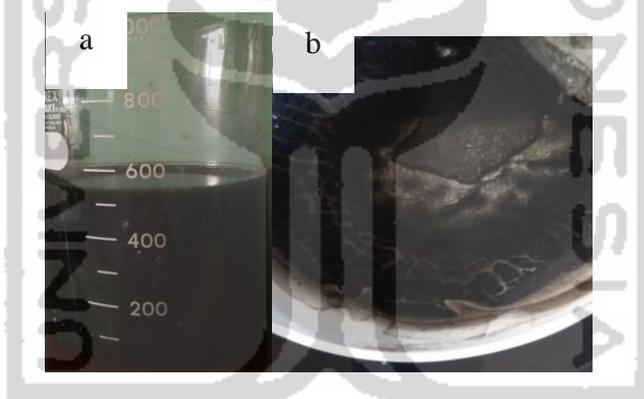
Gambar 13. Ekstrak daun matoa

5.3 Reduksi grafen oksida

Pada penelitian ini ekstrak daun matoa berfungsi sebagai agen pereduksi yang digunakan untuk mensintesis rGO. Senyawa yang berperan dalam proses reduksi terdiri dari beberapa jenis senyawa metabolit sekunder tumbuhan, seperti senyawa terpenoid, alkaloid, flavonoid, lalu keton, aldehida, amida, dan asam karboksilat. Pada daun matoa terdapat kandungan senyawa fenolik seperti proantosianidin A2, epikatekin, kaemferol-3-O-rhamnoside, dan kuersetin-3-O-

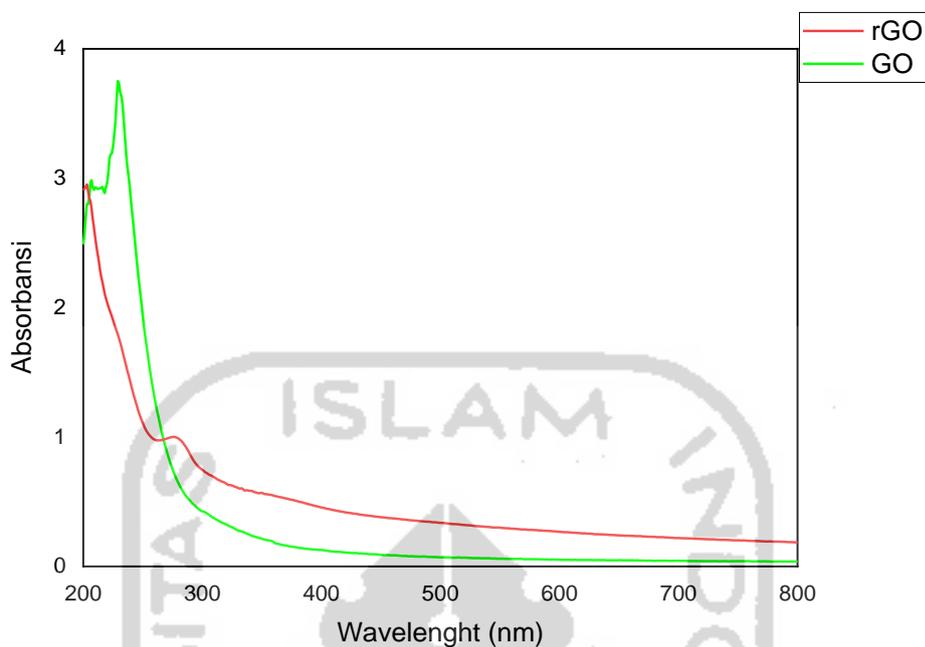
rhamnoside (Suedee dkk, 2013). Senyawa ini berperan aktif sebagai agen pereduksi karena memiliki elektron bebas sehingga mampu untuk mendonorkan elektronnya.

Ekstrak daun matoa ditambahkan ke dalam GO yang telah dilarutkan menggunakan akuades kemudian campuran direfluks selama 12 jam. Warna larutan berubah dari kuning kecoklatan menjadi hitam selama proses refluk berlangsung. Perubahan warna larutan dari kuning kecoklatan menjadi hitam dapat menjadi indikasi bahwa proses reduksi telah berjalan (Li dkk, 2017). Setelah direfluks larutan menjadi berwarna hitam pekat seperti terlihat pada **Gambar 14a**. Larutan kemudian disaring dan dioven hingga kering. Pada tahap ini rGO yang dihasilkan berbentuk serbuk dengan warna hitam seperti terlihat pada **Gambar 14b**.



Gambar 14. Warna larutan rGO (a) dan padatan rGO (b)

Untuk mengetahui keberhasilan ekstrak daun matoa dalam mereduksi GO dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Hasil spektra yang didapatkan dapat dilihat pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Spektra UV-Vis dari larutan GO dan rGO

Gambar 15 menunjukkan spektra penyerapan dari GO sebelum dan sesudah direduksi. Puncak serapan UV untuk GO menunjukkan penyerapan maksimum pada 230 nm yang dapat dikaitkan dengan aktivitas transisi ikatan $\pi-\pi^*$ untuk gugus aromatik C=C. Sedangkan puncak serapan UV untuk rGO menunjukkan penyerapan maksimum pada 276 nm. Telah terjadi pergeseran *redshift* pada puncak serapan yang mengindikasikan bahwa GO telah berhasil di reduksi menjadi rGO dan terjadi restorasi konjugasi elektronik dari lembaran rGO (Li dkk, 2017).

5.4 Preparasi komposit rGO/SnO₂

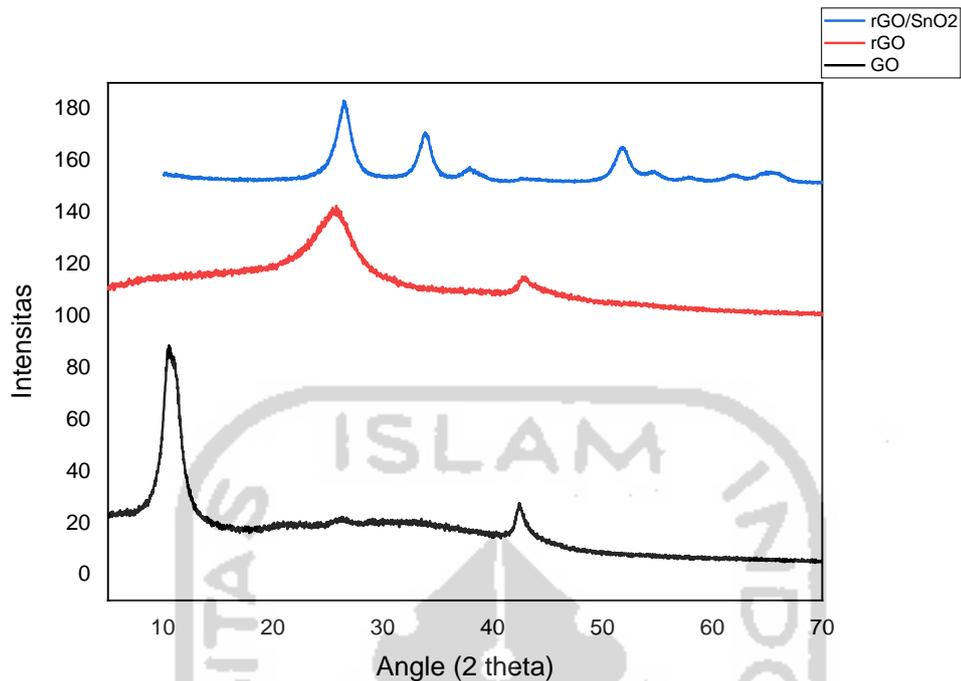
Pada tahap ini sumber timah (prekursor) yang digunakan adalah timah (II) klorida dihidrat (SnCl₂•2H₂O). Prinsip kerjanya adalah rGO dicampurkan dengan SnCl₂•2H₂O yang dilarutkan dalam akuades dan dimasukkan dalam autoklaf kemudian dipanaskan selama 5 jam. Hasilnya dibuka dan dipindah ke cawan porselen, diuapkan. Hasil padatan yang didapatkan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam. SnO₂ yang diembankan pada rGO disintesis melalui reaksi redoks antara rGO dan SnCl₂•2H₂O. Ion logam Sn²⁺ dari prekursor SnCl₂ akan direduksi

menjadi logam Sn^0 yang tidak stabil oleh senyawa dari metabolit sekunder dari ekstrak daun matoa yang terdapat dalam rGO. Reaksi reduksi ini dapat terjadi karena adanya elektron dari senyawa metabolit sekunder ekstrak daun matoa yang akan mendonorkan elektronnya untuk mengubah Sn^{2+} menjadi Sn^0 .

Fungsi kalsinasi sendiri adalah untuk mengoksidasi Sn menjadi SnO_2 yang diembankan pada lembaran grafena. Penggunaan temperatur kalsinasi 400°C merujuk pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Widodo (2014), yang menyatakan bahwa pada suhu kalsinasi tersebut akan terbentuk kristal nanopartikel SnO_2 . Sn merupakan elemen yang sangat reaktif, keberadaan Sn dalam keadaan logam hanya terjadi untuk waktu yang singkat, sehingga akan sangat mudah berubah menjadi SnO_2 selama proses kalsinasi. Proses kalsinasi merupakan proses pemanasan pada temperatur tertentu dalam kondisi terdapat gas oksigen sehingga spesi logam akan mudah teroksidasi menjadi bentuk oksida logamnya. Komposit rGO/ SnO_2 yang dihasilkan berbentuk serbuk hitam pekat yang menandakan bahwa adanya proses oksidasi pada tahapan kalsinasi.

5.5 Karakterisasi komposit rGO/ SnO_2 dengan XRD

Karakterisasi dengan XRD pada material rGO/ SnO_2 dilakukan untuk mengidentifikasi apakah proses pengembunan SnO_2 pada rGO telah berhasil dilakukan atau tidak. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi XRD ini adalah difaktogram yang berupa data gambar yang memberikan informasi puncak-puncak sudut difraksi 2θ yang dapat digunakan untuk mengetahui mengenai perubahan jarak interlayer dan kristalinitas dari material yang terbentuk. Hasil karakterisasi GO, rGO, dan rGO/ SnO_2 dengan XRD dapat dilihat pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Difaktogram GO, rGO, dan rGO/SnO₂

Dari **Gambar 16** menunjukkan perbandingan pola difraktogram material GO, rGO, dan rGO/SnO₂. Gambar tersebut menunjukkan bahwa proses reduksi dari GO menjadi rGO telah berhasil dilakukan ditandai dengan adanya pergeseran nilai 2θ sebelum dan sesudah direduksi. Pola XRD dari kristal GO ditunjukkan dengan adanya puncak difraksi yang diperluas disekitar $2\theta=10,5^\circ$ dengan jarak interlayer (d) 8,37Å. Reduksi kimia dari GO menjadi rGO ditunjukkan dari perluasan dan pergeseran puncak XRD menjadi sekitar $2\theta=25^\circ$ dengan jarak interlayer 3,49Å. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Krishnamoorthy dkk (2011), Li dkk (2017) dan Cooper dkk (2011) menyatakan bahwa grafit dan rGO memiliki pita 2θ pada 25-28°, sedangkan grafena oksida memiliki pita 2θ pada 10-12°. Hilangnya puncak difaktogram pada sudut $2\theta=10,5$ menunjukkan bahwa telah terjadi pengelupasan lapisan serta jarak interlayer yang mengecil mengindikasikan bahwa telah terjadi pengurangan oksida grafit (Yang dkk, 2009).

Proses pengembunan SnO₂ terhadap rGO juga telah berhasil dilakukan ditunjukkan dengan adanya beberapa refleksi yang menandakan adanya kehadiran

SnO₂. Hal tersebut dapat dilihat dari refleksi yang menunjukkan keberadaan dari SnO₂ yang disesuaikan dengan *Joint Committee of Powder Diffraction Standards* (JCPDS) No. 41-1445, seperti yang disajikan pada **Tabel 2** :

Tabel 2. Nilai 2θ dari hasil analisis XRD untuk GO, rGO, dan rGO/SnO₂

No	Nilai 2θ GO	Nilai 2θ rGO	Nilai 2θ rGO/SnO ₂	JCPDS Standard SnO ₂ No. 41-1445
1	9,080°	5,372°	26,502°	26,63°
2	10,290°	20,704°	33,874°	33,95°
3	10,553°	24,628°	51,025°	51,88°
4	11,035°	25,433°	-	-
5	42,453°	42,836°	-	-

Berdasarkan data dari Tabel 2 refleksi yang menunjukkan keberadaan dari tin oksida yaitu pada refleksi sudut 2-theta 26,502° , 33,874° , dan 51,025° yang diindikasikan memiliki kemiripan dengan (110), (101), dan (211) untuk difraksi bidang tetragonal dari SnO₂.

5.6 Karakterisasi komposit rGO/SnO₂ dengan SEM-EDX

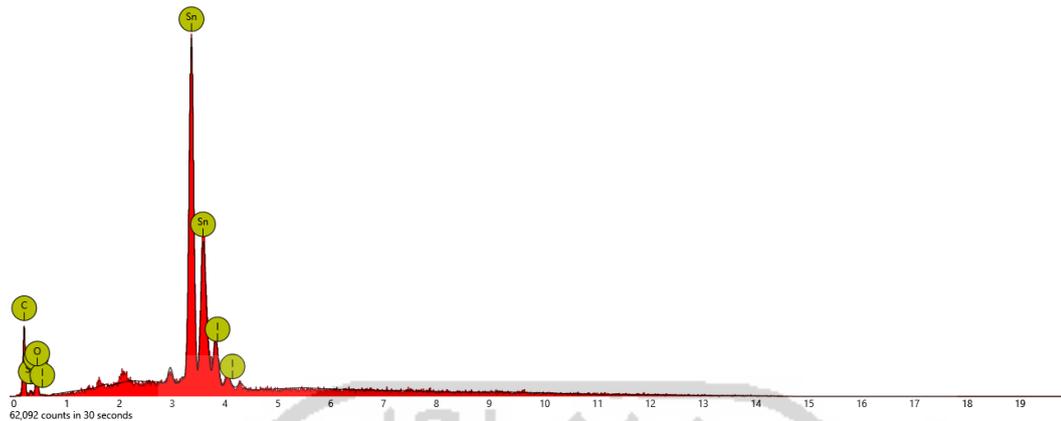
Karakterisasi material padat menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi material yang telah disintesis, sedangkan EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur dari material. Hasil analisis SEM material rGO/SnO₂ ditunjukkan pada **Gambar 17**.



Gambar 17. Hasil analisis SEM rGO/SnO₂

Hasil analisis permukaan rGO/SnO₂ menggunakan SEM pada **Gambar 17** menunjukkan bahwa timah dioksida (SnO₂) telah berhasil diimbakan secara merata pada permukaan lembaran rGO dengan bentuk kristal rGO yang tidak teratur. Percobaan yang dilakukan oleh Tang dkk (2015) memberikan hasil SnO₂ terdeposisi dengan sempurna pada permukaan rGO yang kusut. Sedangkan percobaan yang dilakukan oleh Tuan dkk (2018) memberikan hasil struktur permukaan dari SnO₂/rGO berbentuk *core-shell*, dengan ukuran SnO₂ 15-20 nm yang terselimuti oleh rGO.

Untuk mengetahui unsur yang terkandung pada rGO/SnO₂ dilakukan analisis menggunakan EDX yang hasil ujinya disajikan pada **Gambar 18**.



Gambar 18. Hasil analisis EDX rGO/SnO₂

Berdasarkan data hasil analisis EDX dapat diketahui unsur atau elemen penyusun dari rGO/SnO₂ yang disajikan pada **Tabel 3**.

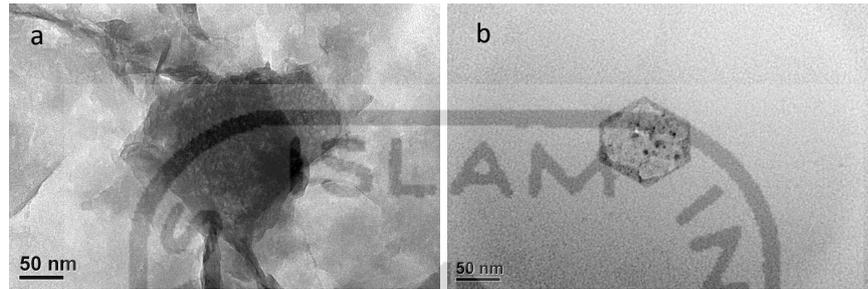
Tabel 3. Komposisi unsur penyusun rGO/SnO₂

No	Unsur	Nama Unsur	Kandungan (%)
1	Sn	Timah	47,3
2	O	Oksigen	25,06
3	C	Karbon	26,97
4	I	Iodin	0,05

Hasil EDX menunjukkan bahwa komposisi unsur yang berada pada rGO/SnO₂ adalah timah (Sn) sebanyak 47,3%, oksigen (O) sebanyak 25,06%, karbon (C) sebanyak 26,97%, dan iodin (I₂) sebanyak 0,05%. Dari hasil tersebut terindikasi adanya unsur Iodin yang menunjukkan bahwa masih terdapat pengotor pada fotokatalis rGO/SnO₂. Penelitian yang dilakukan oleh Seema dkk (2012) memberikan hasil komposisi dari rGO/SnO₂ adalah karbon (C) sebanyak 21,53%, oksigen (O) sebanyak 54,20% dan timah (Sn) sebanyak 24,28%.

5.7 Karakterisasi komposit rGO/SnO₂ dengan TEM

Karakterisasi menggunakan TEM dilakukan untuk mengetahui morfologi material yang telah disintesis. **Gambar 19** menunjukkan analisis TEM dari rGO dan komposit rGO/SnO₂.



Gambar 19. Hasil analisis TEM rGO(a) dan rGO/SnO₂(b)

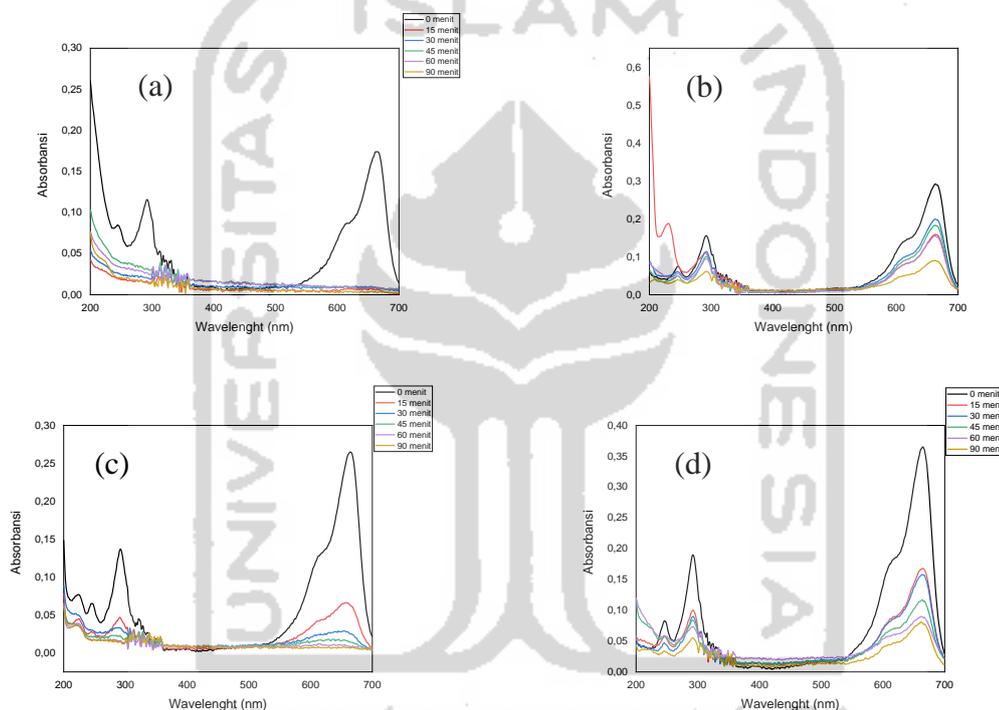
Dari **Gambar 19a** menunjukkan hasil analisis rGO yang memberikan gambaran struktur lembaran tunggal dari GO yang kusut seperti kertas dan terkelupas dengan baik serta hilangnya beberapa gugus fungsi oksigen akibat dari reduksi yang dilakukan. **Gambar 19b** mengindikasikan bahwa SnO₂ berhasil diimbankan pada permukaan rGO ditandai dengan adanya bintik-bintik berwarna putih yang menempel pada permukaan lembaran GO pada gambar tersebut. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yin dkk (2013) yang memberikan hasil morfologi dari rGO adalah seperti kertas kusut serta SnO₂ terdispersi secara merata pada lembaran nano grafena. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Tang dkk (2015) memberikan hasil nanopartikel SnO₂ terdistribusi secara merata pada lembaran grafena dengan rata-rata ukuran partikel 5 nm.

5.8 Aplikasi komposit rGO/SnO₂ untuk degradasi zat warna MB

MB memiliki karakteristik serapan UV-Vis pada panjang gelombang maksimum sebesar 665 nm. Panjang gelombang maksimum adalah suatu panjang gelombang dimana pada panjang gelombang tersebut suatu senyawa mengalami serapan (absorbansi) maksimum. Absorbansi ini berbanding lurus dengan konsentrasi dari senyawa tersebut (Huda dan Tantri, 2018). Pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimum MB berfungsi untuk menganalisis

pengaruh penambahan fotokatalis komposit rGO/SnO₂ dalam waktu tertentu terhadap penurunan konsentrasi MB. Pada penelitian fotodegradasi MB ini dilakukan variasi penggunaan material dan variasi perlakuan. Material yang digunakan adalah rGO dan rGO/SnO₂ sedangkan variasi perlakuan yang dimaksud adalah dengan penambahan H₂O₂ dan tanpa penambahan H₂O₂.

Gambar 20 menyajikan hasil degradasi MB dengan variasi material dan variasi perlakuan.



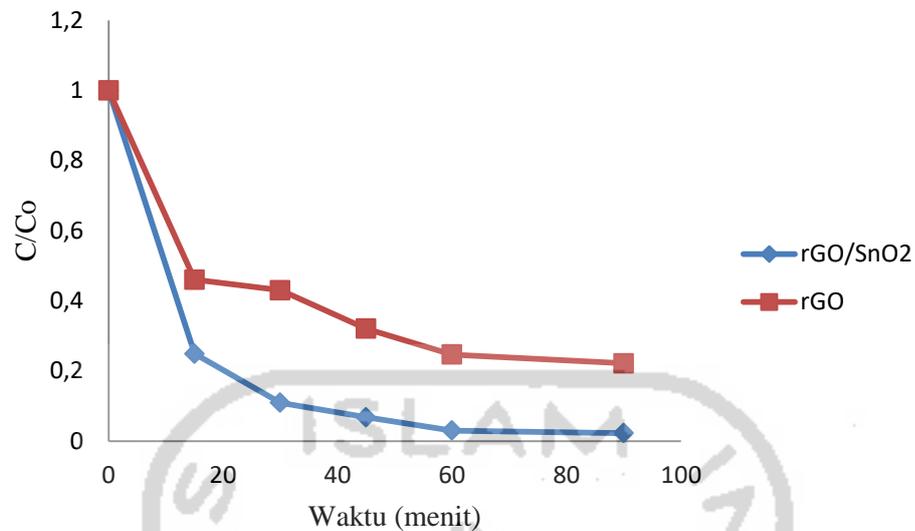
Gambar 20. Spektrum serapan UV-Vis dari larutan MB setelah dilakukan penyinaran sinar UV selama 90 menit dengan komposit (a) rGO/SnO₂ dan (b) rGO dengan penambahan H₂O₂; (c) rGO/SnO₂ dan (d) rGO tanpa penambahan H₂O₂ yang diukur pada selang waktu 0, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit.

Dari **Gambar 20** memperlihatkan spektrum serapan larutan MB dengan puncak serapan pada 664 nm dengan kehadiran rGO/SnO₂ dan rGO baik dengan penambahan H₂O₂ maupun tanpa penambahan H₂O₂. Terjadi penurunan secara bertahap dengan pergeseran hipokromik dan hampir benar-benar mendekati nol setelah dilakukan penyinaran dengan bantuan sinar UV dan dengan kehadiran rGO/SnO₂ dan rGO selama 90 menit.

Fotodegradasi MB 10 ppm menunjukkan nilai absorbansi MB ketika digunakan komposit rGO/SnO₂ dengan penambahan H₂O₂ sebesar 0,003 yang ditunjukkan pada **Gambar 20a** sedangkan untuk penggunaan komposit rGO/SnO₂ tanpa penambahan H₂O₂ memiliki nilai absorbansi 0,006 yang ditunjukkan pada **Gambar 20c**. Selanjutnya, untuk penggunaan material rGO dengan penambahan H₂O₂ memiliki nilai absorbansi 0,09 ditunjukkan pada **Gambar 20b**, sedangkan untuk penggunaan material rGO tanpa penambahan H₂O₂ memiliki absorbansi 0,081 ditunjukkan pada **Gambar 20d**. Komposit rGO/SnO₂ menunjukkan aktivitas fotokatalisis yang lebih tinggi dibandingkan dengan rGO. Hal ini menunjukkan bahwa transfer elektron dari SnO₂ berjalan efisien dengan bantuan grafena (Tang dkk, 2015). Penambahan H₂O₂ sendiri berfungsi sebagai agen oksidator yang dapat meningkatkan aktivitas fotodegradasi MB sehingga absorbansi MB dengan penambahan H₂O₂ memiliki nilai absorbansi yang lebih kecil dibandingkan dengan tanpa penambahan H₂O₂.

5.9 Studi kinetika fotodegradasi biru metilena dengan komposit rGO/SnO₂ dan rGO tanpa penambahan H₂O₂

Pengujian pertama dilakukan fotodegradasi MB menggunakan komposit rGO/SnO₂ dan material rGO dilakukan tanpa penambahan H₂O₂. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan kemampuan material komposit rGO/SnO₂ dan rGO sehingga akan didapatkan material yang lebih efektif untuk degradasi MB. Fotodegradasi MB menggunakan reaktor fotokatalis dengan bantuan sinar UV yang berasal dari lampu UV, di mana proses fotodegradasi menggunakan komposit rGO/SnO₂ dan material rGO sebanyak 0,1 gram. Penyinaran dilakukan selama 90 menit dan pada waktu penyinaran 0, 15, 30, 45, dan 90 menit diambil 1 mL kemudian diencerkan hingga 5 mL untuk diukur absorbansinya pada rentang 200-700 nm. Lamanya penyinaran akan mempengaruhi hasil fotodegradasi dari MB. Hasil analisis spektra UV-Vis untuk reaksi fotodegradasi MB menggunakan komposit rGO/SnO₂ dan material rGO tanpa penambahan H₂O₂ disajikan pada **Gambar 21**.

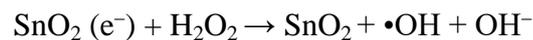
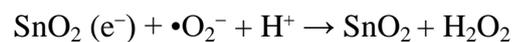
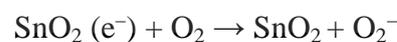
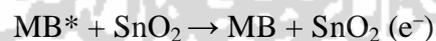
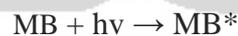
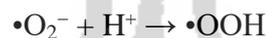
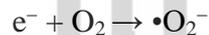
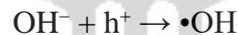
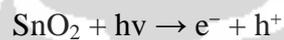


Gambar 21. Fotodegradasi MB tanpa penambahan H_2O_2

Berdasarkan **Gambar 21** sumbu X merupakan variasi lamanya penyinaran UV dan sumbu Y merupakan C/C_0 dimana C adalah konsentrasi awal dan C_0 adalah konsentrasi akhir dari MB. Informasi yang diperoleh adalah kinerja dari fotokatalis MB oleh material rGO meningkat setelah adanya katalis SnO_2 yang diimbangkan pada rGO. Katalis tersebut bekerja secara efektif dalam mendegradasi MB karena SnO_2 bersifat semikonduktor didukung dengan adanya pori yang dimiliki oleh material rGO sehingga intensitas pertemuan molekul zat warna dengan material rGO/ SnO_2 dengan menjadi lebih sering. Hal tersebut menyebabkan proses fotodegradasi berjalan lebih cepat bila dibandingkan dengan material tunggal rGO. Interaksi hidrofobik dapat terjadi antara bidang basal hidrofobik pada rGO/ SnO_2 dengan cincin aromatik dari zat warna. Penurunan konsentrasi zat warna MB saat dilakukan fotodegradasi selama 90 menit menunjukkan bahwa material rGO/ SnO_2 dapat berperan dalam mendegradasi zat warna MB (Yin dan Huaqiang, 2013).

Peran SnO_2 dalam mendegradasi MB adalah sebagai semikonduktor tipe n yang akan mengalami eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi saat dikenai sinar UV, sehingga di pita valensi akan terjadi hole atau lubang elektron yang akan bereaksi dengan molekul air membentuk $\bullet OH$ sehingga dapat

mendegradasi MB. Prinsip fotodegradasi MB tanpa penambahan H_2O_2 adalah ketika permukaan katalis semikonduktor ditembak dengan sinar UV yang menghasilkan energi yang lebih besar daripada energi *band-gap* nya sendiri, maka elektron (e^-) akan berpindah dari pita valensi dan tereksitasi ke pita konduksi sehingga meninggalkan hole (h^+). Hole (h^+) bertindak sebagai agen pengoksidasi dan akan mengoksidasi polutan secara langsung atau air untuk membentuk OH radikal ($\bullet\text{OH}$). Elektron pada pita konduksi bertindak sebagai agen pereduksi dan akan mereduksi O_2 dan membentuk radikal superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$). Senyawa MB akan diserang oleh oksidator dan reduktor secara terus-menerus sehingga akan menghasilkan senyawa CO_2 dan H_2O serta beberapa asam dengan konsentrasi yang rendah yang aman untuk dibuang ke lingkungan. Reaksi fotodegradasi menggunakan semikonduktor SnO_2 adalah sebagai berikut:



Studi kinetika reaksi pada fotodegradasi MB dengan komposit rGO/SnO₂ dan rGO tanpa penambahan H₂O₂ ditentukan orde reaksinya dengan melihat koefisien determinasi (R²). Penentuan orde reaksi masing-masing variasi dilakukan dengan melihat hasil R² pada setiap orde, nilai R² tertinggi dan mendekati 1 merupakan orde dari masing-masing variasi. Penentuan orde reaksi berfungsi untuk mengetahui aktifitas molekul saat mengalami tumbukan dengan molekul yang lain. Orde masing-masing konsentrasi disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Data orde reaksi fotodegradasi tanpa penambahan H₂O₂

Variasi Material	rGO/ SnO ₂			rGO		
	R ²	Slope	Intersep	R ²	Slope	Intersep
Orde 1	0,8953	-0,0411	-0,6178	0,8413	-0,0155	-0,3257
Orde 2	0,9428	0,5167	-2,9736	0,9451	0,0389	1,3054
Orde 3	0,8534	22,721	-347,96	0,9592	0,2249	0,6049

Berdasarkan data pada **Tabel 4** diketahui bahwa fotodegradasi zat warna MB menggunakan material rGO/SnO₂ mengikuti reaksi orde 2 karena memiliki nilai koefisien determinasi (R²) 0,9428. Nilai tersebut merupakan nilai R² terbesar dan mendekati 1 apabila dibandingkan dengan nilai koefisien determinasi (R²) pada orde 1 dan 3. Hal ini dapat terjadi karena besar radikal bebas dari hasil proses fotokatalis rGO/SnO₂ lebih besar dari molekul-molekul yang terdapat pada larutan zat warna MB sehingga proses fotodegradasi zat warna berjalan cepat dengan laju reaksi 0,5167 menit⁻¹. Konstanta laju reaksi ini menunjukkan seberapa cepat rGO/SnO₂ mendegradasi zat warna MB. Sementara itu, orde reaksi pada variasi material rGO mengikuti reaksi orde 3 karena memiliki nilai koefisien determinasi (R²) 0,9592. Nilai tersebut merupakan nilai R² terbesar dan mendekati 1 apabila dibandingkan dengan nilai koefisien determinasi (R²) pada orde 1 dan 2. Konstanta laju reaksi pada material rGO sebesar 0,2249 yang berarti material rGO akan mendegradasi zat warna MB sebanyak 0,2249 per menit.

5.10 Fotodegradasi Metilen Biru dengan komposit rGO/SnO₂ dan rGO dengan penambahan H₂O₂

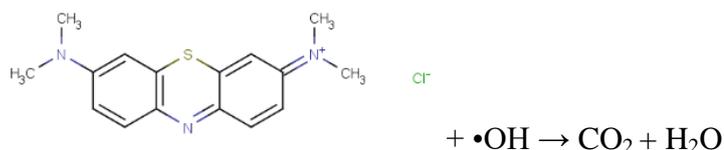
Pada pengujian kedua dilakukan fotodegradasi MB menggunakan rGO/SnO₂ dan rGO dengan penambahan H₂O₂. Fotodegradasi MB menggunakan reaktor fotokatalis dengan bantuan sinar UV yang berasal dari lampu UV, proses fotodegradasi menggunakan material rGO/SnO₂ dan rGO masing-masing sebanyak 0,1 gram dengan penambahan H₂O₂ sebanyak 1 mL. Penyinaran dilakukan selama 90 menit dan pada waktu penyinaran 0,15,30,45, dan 90 menit diambil 1 mL kemudian diencerkan hingga 5 mL untuk diukur absorbansinya pada rentang 200-700 nm. Penambahan H₂O₂ bertujuan untuk mengetahui apakah dengan adanya penambahan oksidator H₂O₂ dapat menghasilkan perbedaan yang signifikan. Penambahan H₂O₂ pada proses fotodegradasi dapat meningkatkan konsentrasi radikal hidroksil (•OH). Radikal ini dapat menghambat rekombinasi berdasarkan reaksi :



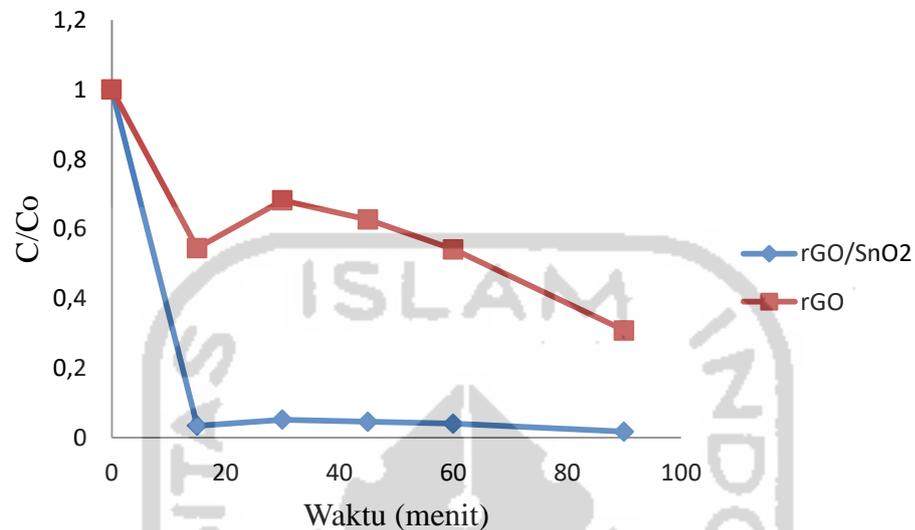
H₂O₂ mempunyai dua fungsi dalam proses degradasi, yaitu H₂O₂ selain mengikat elektron sehingga terjadi pemisahan muatan juga berfungsi membentuk radikal •OH dengan reaksi sebagai berikut :



Penambahan H₂O₂ terbukti dapat meningkatkan kecepatan degradasi melalui pemisahan elektron/hole (Palupi, 2006) Reaksi yang terjadi pada proses fotodegradasi dengan penambahan H₂O₂ adalah :



Hasil analisis fotodegradasi MB penambahan H_2O_2 terhadap waktu disajikan pada **Gambar 22**.



Gambar 22. Fotodegradasi MB menggunakan rGO/SnO₂, rGO dengan penambahan H₂O₂

Berdasarkan **Gambar 22** yang merupakan kurva konsentrasi mula-mula (C) MB ke konsentrasi akhir (Co) terhadap waktu menunjukkan informasi yang sama seperti pengujian pertama bahwa penggunaan fotokatalis SnO₂ yang diimbangkan pada grafena yang bersifat sebagai adsorben akan menambah kinerja fotokatalis tersebut. Dengan adanya penambahan H₂O₂ maka proses fotodegradasi zat warna MB berjalan lebih baik bila dibandingkan dengan tanpa penambahan H₂O₂. Kinetika reaksi pada fotodegradasi MB dengan rGO/SnO₂ dan rGO dengan penambahan H₂O₂ dihasilkan orde reaksi masing-masing dengan melihat **Tabel 5**. Penentuan orde reaksi masing-masing variasi dilakukan dengan melihat nilai R² pada setiap orde, nilai R² tertinggi dan mendekati 1 merupakan orde dari masing-masing variasi. Penentuan orde reaksi ini berfungsi untuk mengetahui aktivitas dari setiap molekul saat terjadi tumbukan dengan molekul yang lain.

Tabel 5. Data orde reaksi fotodegradasi dengan penambahan H₂O₂

Variasi Material	rGO/ SnO ₂			rGO		
	R ²	Slope	Intersep	R ²	Slope	Intersep
Orde 1	0,542	-0,0322	-1,4937	0,7657	-0,0104	-0,1269
Orde 2	0,7183	0,4852	6,2468	0,7522	0,0203	1,02
Orde 3	0,6427	30,118	-259,6	0,7032	0,0879	0,3193

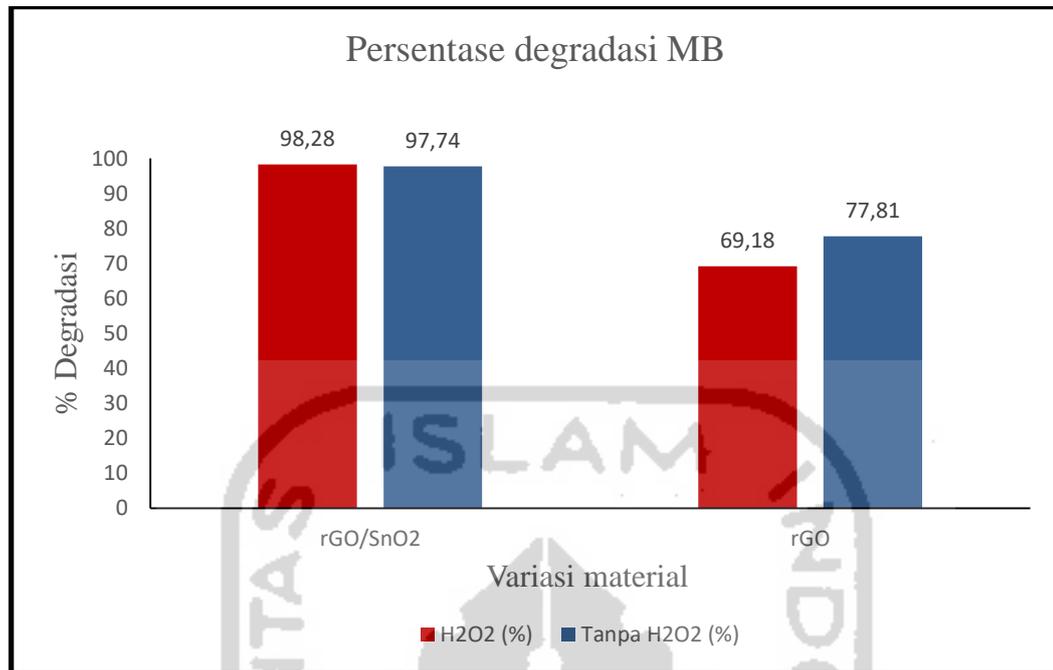
Berdasarkan data pada **Tabel 5** zat warna MB pada material rGO/SnO₂ memiliki orde 2 yang memberikan nilai R² sebesar 0,7183. Hal ini dikarenakan radikal bebas dari hasil proses fotokatalisis rGO/SnO₂ lebih besar dari molekul-molekul dalam larutan zat warna MB serta didukung dengan adanya molekul-molekul H₂O₂ sehingga proses fotodegradasi zat warna berjalan dengan cepat dengan laju reaksi 0,4852 menit⁻¹. Sedangkan pada material rGO memiliki kinetika orde 1 yang memberikan nilai R² sebesar 0,7657 dengan laju reaksi 0,0104 menit⁻¹. Hal ini dapat terjadi karena radikal bebas dari hasil fotokatalis rGO/SnO₂ dengan molekul-molekul yang terdapat dalam zat warna MB memiliki persamaan yang linier atau berbanding lurus sehingga apabila konsentrasi dari zat warna MB ditambahkan atau diturunkan akan menyebabkan perubahan laju reaksinya juga.

5.11 Persen perbandingan degradasi MB tanpa dan dengan penambahan H₂O₂

Presentase keberhasilan fotodegradasi MB tanpa dan dengan penambahan H₂O₂ dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C \text{ awal} - C \text{ akhir}}{C \text{ awal}} \times 100\%$$

Sehingga dari rumus tersebut dihasilkan % degradasi MB dengan variasi adsorben rGO/SnO₂ dan rGO yang disajikan pada **Gambar 23**.



Gambar 23. Perbandingan % degradasi MB tanpa dan dengan penambahan H₂O₂

Pada Grafik (lihat **Gambar 23**) dibuktikan bahwa % degradasi terbaik yaitu pada saat dilakukan penambahan H₂O₂ dengan material rGO/SnO₂ dengan presentase sebesar 98,28%. Dapat dilihat juga bahwa % degradasi MB menggunakan material rGO/SnO₂ tanpa penambahan H₂O₂ masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan % degradasi MB menggunakan rGO baik tanpa penambahan H₂O₂ maupun dengan penambahan H₂O₂ dengan nilai presentase sebesar 97,74%. Pada penelitian ini hasil presentase degradasi menggunakan material rGO/SnO₂ lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan material rGO dan bertambah efektif saat dilakukan penambahan H₂O₂. Penggunaan material rGO/SnO₂ memberikan hasil yang signifikan karena material semikonduktor yaitu SnO₂ yang telah diombankan akan meningkatkan kinerja dalam mendegradasi MB ditambah dengan adanya penambahan H₂O₂ yang merupakan penghasil radikal tambahan yang akan membantu degradasi zat warna MB. Hal ini dapat dibuktikan dengan analisis kualitatif dengan cara melihat hasil fisik perubahan warna setiap variasi material yang digunakan. Perubahan zat warna MB dengan dan tanpa penambahan H₂O₂ dapat dilihat pada **Gambar 24**.



Gambar 24. Perubahan warna MB dengan variasi adsorben dan tanpa penambahan H_2O_2

Gambar 24a dan **Gambar 24c** merupakan kenampakan warna dari MB 10 ppm setelah melalui proses fotokatalisis menggunakan rGO/SnO_2 dan rGO selama 90 menit tanpa penambahan H_2O_2 . Sedangkan **Gambar 24b** dan **Gambar 24d** merupakan kenampakan warna dari MB 10 ppm setelah melalui fotokatalisis menggunakan rGO/SnO_2 dan rGO selama 90 menit dengan penambahan H_2O_2 . Secara fisik terlihat sangat jelas terjadi perubahan warna dari kebiruan menjadi bening dan bahkan menjadi tak berwarna. Dari penggunaan dua material adsorben, fotodegradasi menggunakan rGO/SnO_2 dengan penambahan H_2O_2 menunjukkan hasil yang paling bening dibandingkan dengan larutan yang lain.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Karakteristik dari rGO/SnO₂ yang dihasilkan adalah memiliki nilai 2θ sebesar 26, 502°, 33, 874°, dan 51, 025°. Permukaan dari kristal rGO/SnO₂ mempunyai susunan yang tidak teratur dengan komposisi unsur penyusun timah (Sn) sebanyak 47,3%, oksigen (O) sebanyak 25,06%, karbon (C) sebanyak 26,97%. SnO₂ berhasil diembankan pada rGO sehingga membentuk rGO/SnO₂ yang ditandai dengan adanya bintik berwarna putih yang menempel pada permukaan rGO pada analisis menggunakan TEM.
2. Kinetika dari rGO/SnO₂ dengan dan tanpa penambahan H₂O₂ mengikuti orde 2. Pada orde 2 laju reaksi dipengaruhi oleh zat warna MB dan agen oksidator dalam penelitian ini yaitu H₂O₂.
3. Kemampuan fotodegradasi rGO/SnO₂ tanpa penambahan H₂O₂ sebesar 97,74% sedangkan kemampuan fotodegradasi rGO/SnO₂ dengan penambahan H₂O₂ sebesar 98,28%.

6.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan pengujian terhadap variasi berat, variasi konsentrasi, variasi jenis lampu yang digunakan serta dilakukan pengulangan untuk material yang sudah digunakan untuk mengetahui maksimal pemakaian dari material tersebut sehingga fotokatalis rGO/SnO₂ dapat langsung diaplikasikan pada industri kecil serta industri rumahan yang berada di Indonesia dengan metode fotodegradasi yang efektif, murah, dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Agharkar, M., Sachin, K., Slah, H., and Musibau, A.A., 2014, Trends in green reduction of graphene oxides, issues and challenges: A review, *Materials Research Bulletin* 59, 323-328.

Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K. Dan Guan, C. T., 2004. Treatment of Textile Wastewater by Advanced Oxidation Processes, *Global Nest the Int. J.* 6, 222-230.

Anastas, P. T & Warner, J. C., 1998, *Green Chemistry : Theory and practices*, New York : Oxford University Press.

Azizah, L. N dan D. Susanti., 2014, Pengaruh Variasi Kadar Zn dan Temperatur Hydrotermal Terhadap Struktur dan Nilai Konduktivitas Material Graphene, *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 3, no. 2, pp. 209-214

Balandin, A. A., S. Ghosh, W. Z. Bao, I. Calizo, D. Teweldebrhan, F. Miao, C. N. Lau., 2008, *Nano Lett.*, 8, 902.

B. Haghghi., M. A. Tabrizi., 2013, Green-synthesis of reduced graphene oxide nanosheets using rose water and a survey on their characteristics and applications, *RSC Adv.* 3, 13365-13371.

B. Kartick., S. K. Srivastava., I. Srivastava, 2013, Green synthesis of grephene, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 13, 4320-4324.

Bhattacharjee, A., M. Ahmaruzzaman, and T. Sinha., 2015. *A novel approach for the synthesis of SnO₂ nanoparticles and its application as a catalyst in the reduction and photodegradation of organic compounds.* Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Bimolecular Spectroscopy. 136: p. 751-760.

Choi, J., Park, H., dan Hofnman, M.R., 2009, Combinatorial Doping of TiO₂ with Platinum (Pt), Chromium (Cr), Vanadium (V), and Nickel (Ni) to Achieve Enhanced Photocatalytic Activity with Visible Light Irradiation, *Journal of Material Research*, Vol. 25 hlm. 149-158

Cooper, D. R., B. D. Anjou, N. Ghattamaneni, B. Harrack, M. Hilke, A. Horth, N. Majlis, M. Massicotte, L. Vandsburger, E. Whiteway, and V. Yu., 2011. Experimental Review of Graphene. Montreal.

Elsevier., 2013, All in the graphene family – A recommended nomenclature for two-dimensional carbon materials, *Elsevier CARBON*, 65 , 1-6.

Faustina, F.C and Filiana, S., 2014, Extraction of Fruit Peels of *Pometia pinnata* and its Antioxidant and Antimicrobial Activities, *J Pascapenen*, 11(2),80-88.

Fu, Changjing, et al., 2013, Evaluation and Characterization of reduced Graphene Oxide Nanosheets as Anode Materials for Lithium-Ion Batteries, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8,6269-6280.

Geim, A.K., dan K.S. Novoselov., 2004, *The Rise of Graphene*, United Kingdom: University of Manchester.

Gergely, 2010, Preparation and Characterization of Hydroxyapatite from Eggshell, *Journal of Ceramics International*, 36(2010): 803-806.

Glusker, J., and Trueblood, K, 1985, *Crystal Structure Analysis : A primer 3rd Edition*, New York: Oxford University Press.

Harbone, J. B., 1987, *Metode fitokimia, penuntun cara modern menganalisa tumbuhan*, diterjemahkan oleh K. Padmawinata. Bandung : ITB Press

Harjadi, W., 1990, *Ilmu Kimia Analitik Dasar*, PT. Gramedia Pustaka, Jakarta.

Hermanto, C., Indriani, N. L. P., dan Hadiati, S., 2013, Keragaman dan Kekayaan Buah Tropika Nusantara, *J Invest Dermatol*, 2696.

Huda, T dan Tantri, K. Y., 2018, Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Selulosa dari Alang-alang. *Ind. J. Chem. Anal.*, Vol. 1, No 01, pp. 09-19.

Jannath M. Firdhouse, P. Lalitha, Eco-friendly synthesis of graphene using the aqueous extract of *Amaranthus dubius*, *Carbon Sci. Technol.* 5, 253-259.

Kenneth, W. L., 1989, *Macroscale & microscale organic experiments*, Toronto: DC Health and Company Lexington.

Khadifah, F.M., 2017. Sintesis Graphene Berbasis Arang Tempurung Kelapa Dengan Metode Hummers Termodifikasi. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Khopkar, 1990, *Bagian Spektrofotometer UV-Vis*, UI-Press, Jakarta.

Khopkar, S. M., 2008, *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.

Kirk, R.E and Othmer, D.F., 1992, *Encyclopedia of Chemical Technology 3rd edition*, vol. 16, Interscience Publishing Inc., New York.

Krishnamoorthy, K., R. Veeravandian, R. Mohan, and S. J. Kim., 2011. Investigation of Raman and Photoluminescence of Reduced Graphene Oxide Sheets. *Applied Physics A*. Vol. 106, pp. 501-506.

Kumar, S.P., Pavithra, K.G., dan Mu, M., 2019, Characterization techniques for nanomaterials, *Nanomaterials for Solar Cell Applications*, hal. 110.

Kuspradini, H., Pasedan, W.F., Kusuma, I. W., 2016, Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri Ekstrak daun *Pometia pinnata*, *Jurnal Jamu Indonesia*, 1(1),26-34.

- Lee, C., X. D. Wei, J. W. Kysar, J. Hone., 2008, *Science*, 321-385.
- Lee, G., and Beom, S.K., 2013, Biological Reduction of Graphene Oxide Using Plant Leaf Extracts. *Biotechnol. Prog.*, Vol. 30, No.2.
- Li, C., Zachao Z, Xiaoying J, Zuliang C., 2017, A facile and green preparation of reduced graphene oxide using Eucalyptus leaf extract, *J Applied Surface Science* 422,469-474.
- Mahida, U. N., 1984, Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri, Radjawali, Jakarta.
- Manurung, R., R. Hasibuan., dan H. Irvan., 2004, Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob, *E-USU Repository* Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Martiningsih, N.W., Widana, G., Kristiyanti, P. 2016., Skrining Fitokimia dan Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Matoa (*Pometia pinnata*) dengan Metode DPPH. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*, FMIPA Undiksha, 332-338.
- Mataputun, S.P., Rorong, J.A., Julius, P., 2013, Aktivitas Inhibitor α -Glukosidase Ekstrak Kulit Batang Matoa (*Pometia pinnata*) Sebagai Agen Antihiperlemik, *Jurnal MIPA Unstrat*, 2(2), 119-123.
- Mills, A and Le Hunte, S., 1997, An overview of semiconductor photocatalysis, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, A: Chemistry, 108, 1-35.
- Moosa, A. A. and Jaafar, N. J., 2017, Green Reduction of Graphene Oxide Using Tea Leaves Extract with Applications to Lead Ions Removal from Water, *Nanoscience and Nanotechnology*, 7(2), 38-47.
- Morozov, S. V., K. S. Novoselov, M. I. Katsnelson, F. Schedin, D. C. Elias, J. A. Jaszczal, A. K. Geim., 2008, *Phys. Rev. Lett.*, 100, 016602.
- O. Hamdaoui., Chiha, M., 2006, Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran, *Acta Chim. Slov*, 54, 407-418.
- Palupi, E., 2006, *Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂*, Skripsi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Pei, Songfeng and Hui-Ming Cheng., 2012, The reduction of graphene oxide, *J carbon*, 3210-3228.
- P.P. Atmaji., Wahyu. dan P. Edi., 1999, Daur Ulang Limbah Hasil Pewarnaan Industri Tekstil, *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia.*, 1(4), 1-5.
- Putra, A. A. B., N. W. Bogoriani, N. P., Diantariani., dan Ni Luh Utari Sumadewi., 2014, Ekstraksi Zat Warna Alami Dari Bonggol Tanaman Pisang

Dengan Metode Maserasi, Refluks, Dan Sokletasi, *JURNAL KIMIA* 8(1) : 113-119

Rafitasari, Yeti, dkk., 2016, Sintesis Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide, *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016* <http://snf-unj.ac.id/kumpulan-prosiding/snf2016/>.

Rahimah, E., Sayekti, A., Jayuska., 2013., Karakterisasi Senyawa Flavonoid Hasil Isolat dari Fraksi Etil Asetat Daun Matoa (*Pometia pinnata* J.R.Forst & G. Forst), *Jurnal Kimia Khatulistiwa (JKK)*, 2(2), 84-89.

Rajaritham, 2006, *Instrumental Chemical Analysis: Basic Principles and Techniques*, Singapore: National University of Singapore.

Ratnasari, D, 2009, *Tugas Kimia Fisik X-Ray Diffraction (XRD)*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Riyanto, A., Ginting, O. M., dan Sembiring, S., 2009, *Pengaruh Suhu Kalinasi Terhadap Pembentukan Gugus Borosilikat (B-O-Si) Bahan Keramik Borosilikat Berbasis Silika Sekam Padi*, Prosiding SN SMAP 09.

Saleha, 2015, Sintesis dan Karkterisasi Hidroksiapatit dari Nanopartikel Kalsium Oksida (CaO) Cangkang Telur untuk Aplikasi Dental Implan. *Prosding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY*, 1(1): 124-127.

Sarioglu, M. and U.A. Atay, 2006., Removal of methylene blue by using biosolid, *J. Global.NEST*, 8, 113-120.

Sartini, 2019, *Sintesis Graphene Oxide dan Carbon Nanodots Berbahan Dasar Limbah Daun Pisang Kering Dengan Metode Liquid Sonification Exfoliation dan Pemanasan Oven*, Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta.

Sastrohamidjojo, H., 2001, *Spektroskopi*, CV. Liberty, Yogyakarta.

Seema, H., K. Christian. K., Vimlesh, C., and Kwang, S.K., 2012. Graphene-SnO₂ composites for highly efficient photocatalytic degradation of methylene blue under sunlight. *Nanotechnology* 23. 355705

Sudarmono., 2000, Matoa (*Pometia pinnata* J. R. Forst & G. Forst): Keragaman Jenis dan Potensi, *Proseding Seminar Sehari menggali Potensi dan Meningkatkan Prospek Tanaman Hortikultura Menuju Ketahanan Pangan*, Kebun Raya Bogor, LIPI.

Suedee, A., Supinya, T., Pharkphoom, P., 2013, Anti-HIV-1 integrase compound from *Pometia pinnata* leaves, *Pharmaceutical Biology*, ISSN 1388-0209, Songkhla: Prince of Songkla University.

Sun, H., Shizhen, L., Shaomin, L., dan Shaobin, W., 2013, A comparative study of reduced graphene oxide modified TiO₂, ZnO, and Ta₂O₅ in visible light

photocatalytic/photochemical oxidation of methylene blue, *Appl. Catal. B: Environ.*

Supratman, U., 2010, *Equilibrium Penentuan Senyawa Organik*, Padjajaran, Bandung.

Suwarsa, 1998, Penyerapan Zat Warna Tekstil BR Red HE oleh Jerami Padi, *Jurnal Matematika dan Sains*, Vol 3, No1, 32-40.

Tan, I. A., Ahmad, A. L., & Hameed, B., 2007, Adsorption of basic dye on high surface area activated carbon prepared from coconut husk: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies, *Journal of Hazardous Materials*, 337-346.

Tang, L., Van, H. N., Yong, R. L., Jihoe, K., dan Jae, J. S., 2015, Photocatalytic activity of reduced graphene oxide/SnO₂ nanocomposites prepared in ionic liquid, *Synthetic Metals*, 201, Hal. 54-60.

Thakur, S. and Niranjana, K., 2012, Green reduction of graphene oxide by aqueous phytoextracts, *Carbon* 50, 5331-5339.

Thomson, Lex A.J and Randolph R. Thaman., 2006, *Pometia pinnata* (tava), ver 2.1. In : Elevitch, C.R. (ed.). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawaii <http://www.traditionaltree.org>.

Tuan, V. P., Le, T. H., Tran, N. K., Chu, M. H., Nguyen, D. H., Tran, T. Q. H., dan Pham, T. H., 2018, Hydrothermal synthesis, structure, and photocatalytic properties of SnO₂/rGO nanocomposites with different GO concentrations. *Material Research Express*, Volume. 5, Issue. 9

Wang, Y., Shi, Z., & Yin, J., 2011, Facile synthesis of soluble graphene via green reduction of graphene oxide in tea solution and its biocomposites, *ACA applied materials & interfaces.*, 3(4), 1127-1133.

Widodo Slamet dan Tony Kristiantoro. Pembuatan Serbuk Timah Oksida Nano Kristalin Dengan Metode Sol Gel Dan Karakterisasinya. Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Pendidikan Sains IX, Fakultas Sains Dan Matematika, UKSW. Hal.5, ISSN : 2008-0922

Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., dan Kurniyasih, D., 2006, Utilisasi TiO₂ Zeolit Dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *Berkala MIPA*, Hal. 27-35.

Yin, W dan Huaqiang, C., 2013, One-Step synthesis SnO₂-reduced graphene oxide (SOG) composites for efficient removal of organic dyes from wastewater, *J. Name*, 00, 1-3.

Zhao, S. X., Jintao, Z., and Zhigang, X., 2011. Graphene metal oxide composites for the degradation of dyes under visible light irradiation. *J. Mater. Chem.*, 21, 3634

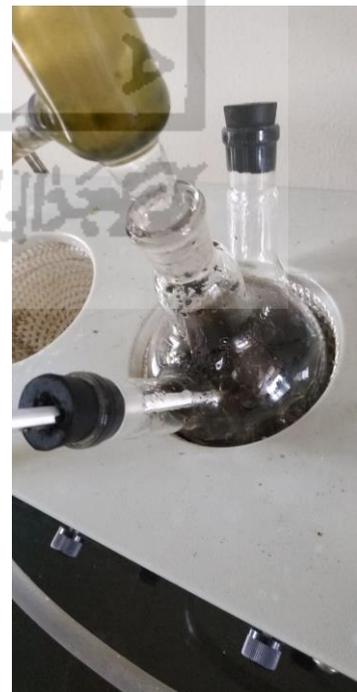
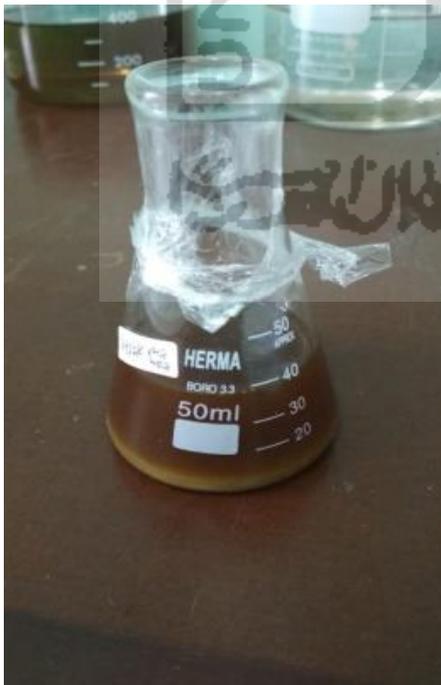
Zhu, Y., Shanti, M., Weiwei, C., Xuesong, L., Ji, W. S., Jeffrey R. P., and Rodney, S. R., 2010. Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications, *Adv. Mater.*, 22, 3906-3924.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian

1.1 Preparasi rGO/SnO₂





1.2 Uji Aktivitas rGO/SnO₂ untuk Fotodegradasi zat warna MB dengan Penambahan H₂O₂

1.2.1 Hasil fotodegradasi MB 10 ppm menggunakan rGO selama 90 menit



1.2.2 Hasil fotodegradasi MB 10 ppm menggunakan rGO/SnO₂ selama 90 menit



1.3 Uji Aktivitas rGO/SnO₂ untuk Fotodegradasi zat warna MB tanpa Penambahan H₂O₂

1.3.1 Hasil fotodegradasi MB 10 ppm menggunakan rGO selama 90 menit



1.3.2 Hasil fotodegradasi MB 10 ppm menggunakan rGO/SnO₂ selama 90 menit



Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan Zat Warna MB 10 ppm 250 mL dari Larutan MB 200 ppm

$$200 \text{ ppm} \times x \text{ mL} = 10 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}$$

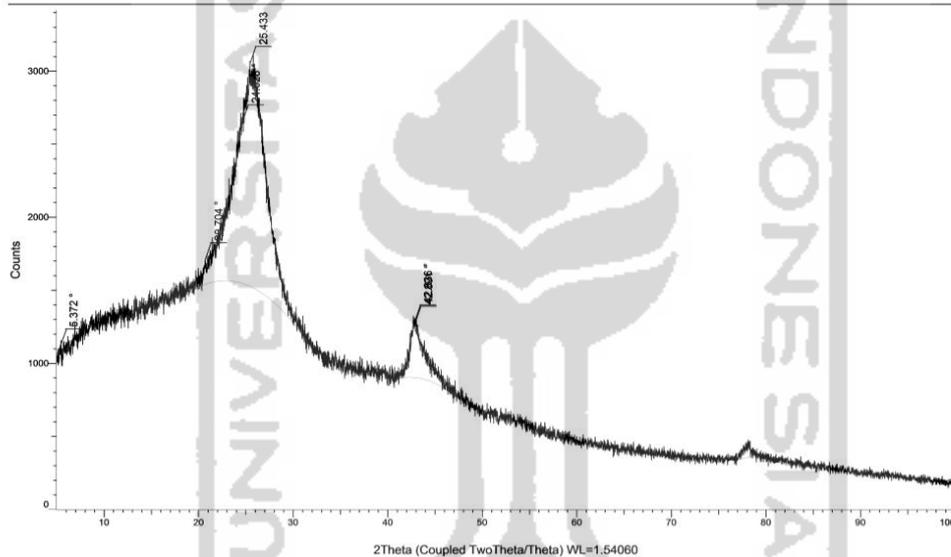
$$x = \frac{10 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}}{200 \text{ ppm}}$$

$$x = 12,5 \text{ mL}$$

Lampiran 3. Hasil Karakterisasi rGO dengan XRD

3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw, 9/2/2019 2:12:07 PM

(Coupled TwoTheta/Theta)



3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw, 9/2/2019 2:12:07 PM

Peak List #1

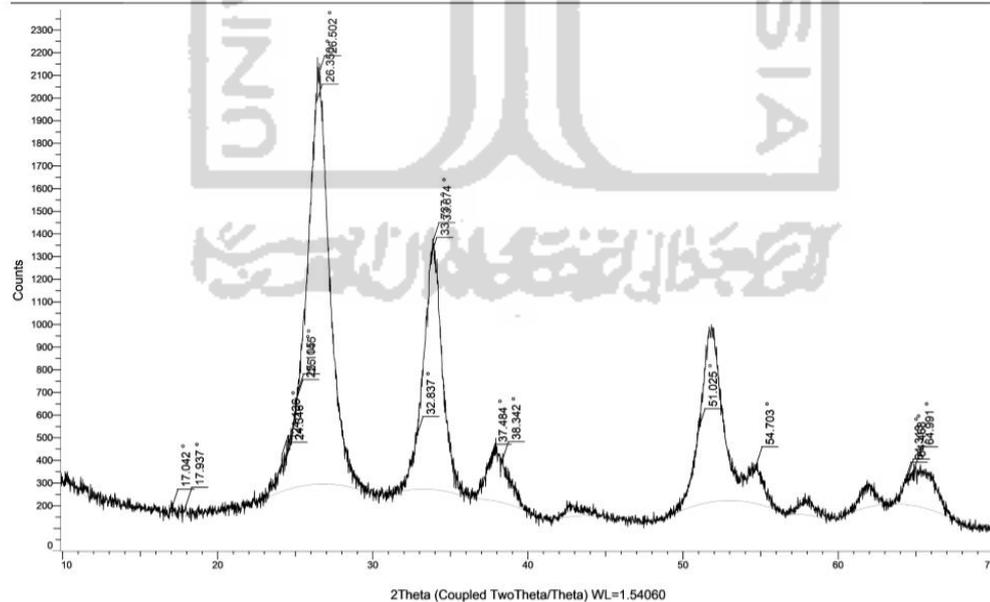
Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan	Angle
Yes	█	█	1	Peak #1	Peak List #1	5.372 °	3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw #1	5.372 °
Yes	█	█	2	Peak #2	Peak List #1	20.704 °	3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw #1	20.704 °
Yes	█	█	3	Peak #3	Peak List #1	24.628 °	3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw #1	24.628 °
Yes	█	█	4	Peak #4	Peak List #1	25.433 °	3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw #1	25.433 °
Yes	█	█	5	Peak #5	Peak List #1	42.836 °	3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw #1	42.836 °
Yes	█	█	6	Peak #6	Peak List #1	42.891 °	3017-3 RGO Ekstrak Mataoa.raw #1	42.891 °

d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
16.43760 Å	84.2	1119	5.5%	n.a.	No
4.28670 Å	168	1708	11.0%	n.a.	No
3.61187 Å	1105	2651	72.5%	n.a.	No
3.49936 Å	1525	3051	100.0%	n.a.	No
2.10942 Å	391	1283	25.0%	n.a.	No
2.10686 Å	372	1274	24.4%	n.a.	No

Lampiran 4. Hasil Karakterisasi rGO/SnO₂ dengan XRD

200231 rGo_SnO2.raw, 3/23/2020 1:03:48 PM

(Coupled TwoTheta/Theta)

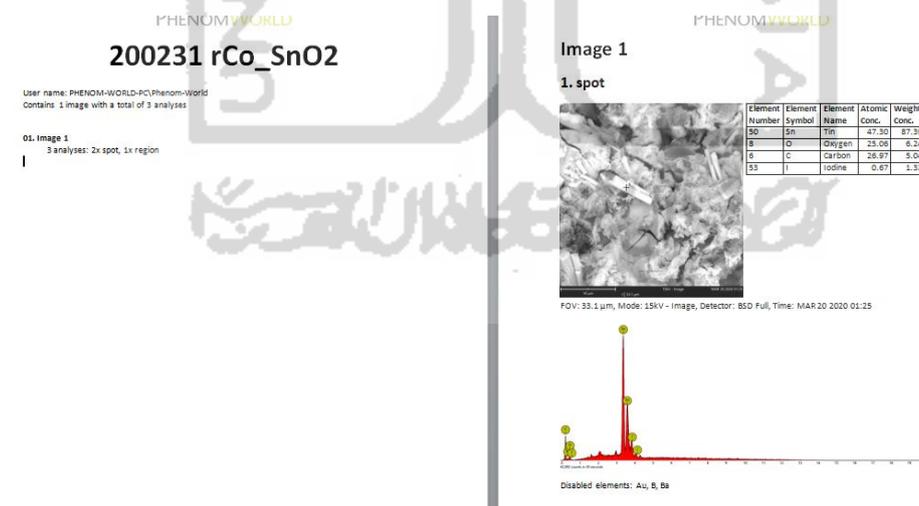


200231 rGo_SnO2.raw, 3/23/2020 1:03:48 PM

Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan	Angle
Yes		■	1	Peak #1	Peak List #1	17.042 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	17.042 °
Yes		■	2	Peak #2	Peak List #1	17.937 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	17.937 °
Yes		■	3	Peak #3	Peak List #1	24.136 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	24.136 °
Yes		■	4	Peak #4	Peak List #1	24.346 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	24.346 °
Yes		■	5	Peak #5	Peak List #1	25.105 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	25.105 °
Yes		■	6	Peak #6	Peak List #1	25.145 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	25.145 °
Yes		■	7	Peak #7	Peak List #1	26.350 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	26.350 °
Yes		■	8	Peak #8	Peak List #1	26.502 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	26.502 °
Yes		■	9	Peak #9	Peak List #1	32.837 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	32.837 °
Yes		■	10	Peak #10	Peak List #1	33.737 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	33.737 °
Yes		■	11	Peak #11	Peak List #1	33.874 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	33.874 °
Yes		■	12	Peak #12	Peak List #1	37.484 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	37.484 °
Yes		■	13	Peak #13	Peak List #1	38.342 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	38.342 °
Yes		■	14	Peak #14	Peak List #1	51.025 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	51.025 °
Yes		■	15	Peak #15	Peak List #1	54.703 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	54.703 °
Yes		■	16	Peak #16	Peak List #1	64.313 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	64.313 °
Yes		■	17	Peak #17	Peak List #1	64.468 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	64.468 °
Yes		■	18	Peak #18	Peak List #1	64.991 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	64.991 °
Yes		■	19	Peak #19	Peak List #1	73.504 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	73.504 °
Yes		■	20	Peak #20	Peak List #1	75.829 °	200231 rGo_SnO2.raw #1	75.829 °

d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
5.19876 Å	32.2	191	1.8%	n.a.	No
4.94120 Å	45.8	199	2.5%	n.a.	No
3.68429 Å	164	426	9.1%	n.a.	No
3.65300 Å	132	399	7.3%	n.a.	No
3.54427 Å	393	675	21.7%	n.a.	No
3.53873 Å	417	700	23.1%	n.a.	No
3.37955 Å	1684	1979	93.0%	n.a.	No
3.36062 Å	1811	2106	100.0%	n.a.	No
2.72528 Å	239	511	13.2%	n.a.	No
2.65457 Å	1031	1303	57.0%	n.a.	No

Lampiran 5. Hasil Karakterisasi rGO/SnO₂ dengan SEM-EDX

Lampiran 6. Hasil Karakterisasi rGO dengan TEM



Lampiran 7. Hasil Karakterisasi rGO/SnO₂ dengan TEM

