

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP
AKTIVITAS FOTOKATALIS NANOKOMPOSIT MnO_2 -rGO**

SKRIPSI

Oleh:
FITRI WULANDARI
NIM. 16640012



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP
AKTIVITAS FOTOKATALIS NANOKOMPOSIT MnO_2 -rGO**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**FITRI WULANDARI
NIM. 16640012**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP
AKTIVITAS FOTOKATALIS NANOKOMPOSIT MnO₂-rGO

SKRIPSI

Oleh:
Fitri Wulandari
NIM. 16640012

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 14 Desember 2020

Pembimbing I,



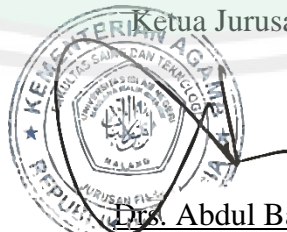
Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Pembimbing II,



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003





HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP
AKTIVITAS FOTOKATALIS NANOKOMPOSIT MnO₂-rGO

SKRIPSI

Oleh:
Fitri Wulandari
NIM. 16640012

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 14 Desember 2020

Penguji Utama	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 2003121 002	
Ketua Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Sekretaris Penguji	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,

~~Ketua~~ Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitri Wulandari

NIM : 16640012

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap
Aktivitas Fotokatalis Nanokomposit MnO₂-rGO

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 14 Desember 2020

Yang Membuat Pernyataan,



Fitri Wulandari

NIM. 16640012

MOTTO

أَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّهْدِ

(Tuntutlah ilmu sejak dari buaian sampai liang lahat)

خير الناس أنفعهم للناس

(Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lain)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT

Sholawat serta salam tertuju kepada Nabi Muhammad SAW

Skripsi ini ku persembahkan untuk

- Bapak (Kosim), Ibu (Rubinem) yang selalu sabar dan senantiasa menasehati, membimbing, menyemangati dan mendo'akanku.
- Kakak (Desi Kurniati) dan adik (Sukma Ayu Sekar Sari) yang turut serta menyemangati dan mendo'akanku.
- Ibu dosen pembimbing, yang tidak pernah lelah menasehati dan membimbing hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
- Teman terbaik yang selalu menyemangati

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini dengan baik. Proposal skripsi yang telah penulis susun ini berjudul **“Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap Aktivitas Fotokatalis MnO₂-rGO”**.

Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan penulisan proposal skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Segenap Dosen Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing, dan memberikan pengarahan selama perkuliahan.
6. Bapak, Ibu, kakak, adik dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga disetiap langkah penulis.
7. Segenap anggota teman-teman Material Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penyusunan skripsi ini.

8. Sahabat-sahabat fisika 2016 dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat kelak, aamiin. Penulis berharap semoga Proposal Skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca, dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 14 Desember 2020

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Limbah Tekstil	6
2.2 Zat Warna Rhodamin B	7
2.3 Fotokatalis	8
2.4 Material Semikonduktor MnO ₂	10
2.5 <i>Graphene</i>	13
2.5.1 <i>Graphene Oxide</i>	13
2.5.2 <i>Reduction Graphene Oxide (rGO)</i>	15
2.6 Metode Sol-Gel	16
2.7 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	18
2.8 UV-Vis	20
2.9 FTIR (<i>Fourier Transform Infra-Red</i>)	22
2.10 Integrasi Kajian Islam	24
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	26
3.3.1 Alat Penelitian	26
3.3.2 Bahan Penelitian	27
3.4 Digram Alir Penelitian	28
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.5.1 Pembuatan rGO Bulu Ayam	29
3.5.2 Sintesis Nanokomposit MnO ₂ -rGO	29
3.5.3 Karakterisasi Sampel	30
3.6 Teknik Pengumpulan Data	30
3.6.1 Analisis Fasa Menggunakan XRD	30
3.6.2 Analisis Gugus Fungsi Menggunakan FTIR	30

3.6.3 Analisis Energi Band Gap Menggunakan UV-Vis	31
3.6.4 Analisis Aktivitas Fotokatalis Menggunakan Spektrofotometer UV ..	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian	33
4.2 Pembahasan	48
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia Rhodamin-B	7
Gambar 2.2	Mekanisme Aktivitas Fotokatalis Nanokomposit MnO ₂ -rGO Di Bawah Radiasi Sinar Tampak.....	9
Gambar 2.3	Struktur Kristal MnO ₂	12
Gambar 2.4	Struktur Graphene.....	14
Gambar 2.5	Struktur Graphene Oxide (GO)	15
Gambar 2.6	Struktur Reduction Graphene Oxide (rGO)	16
Gambar 2.7	Skema Umum Proses Sol-Gel	17
Gambar 2.8	Pola XRD MnO ₂ dan MnO ₂ /rGO.....	21
Gambar 2.9	Spektrum absorpsi UV/Vis rGO dan rGO/MnO ₂	22
Gambar 2.10	Spektrum FTIR MnO ₂ dan MnO ₂ /rGO	24
Gambar 4.1	Difraktogram sampel MnO ₂ -rGO	33
Gambar 4.2	Grafik Rata-Rata Ukuran Kristal MnO ₂ -rGO	35
Gambar 4.3	Grafik FTIR MnO ₂ -rGO	36
Gambar 4.4	Plot $(\alpha h\nu)^2$ sebagai fungsi energi foton untuk menentukan Energi gap direct MnO ₂ -rGO dengan variasi temperatur kalsinasi (a) tanpa perlakuan (b) 400 °C (c) 450 °C (d) 500 °C (e) 550 °C (f) 600 °C.	38
Gambar 4.5	Plot $(\alpha h\nu)^{1/2}$ sebagai fungsi energi foton untuk menentukan energi gap indirect MnO ₂ -rGO dengan variasi temperatur kalsinasi (a) tanpa perlakuan (b) 400 °C (c) 450 °C (d) 500 °C (e) 550 °C (f) 600 °C.	39
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Waktu Fotokatalis Terhadap Penurunan Nilai Konsentrasi MnO ₂ -rGO menggunakan Variasi Temperatur Kalsinasi Tanpa Disinari Lampu UV	42
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Waktu Fotokatalis Terhadap Penurunan Nilai Konsentrasi MnO ₂ -rGO Menggunakan Variasi Temperatur Kalsinasi Dengan Disinari Lampu UV	43
Gambar 4.8	Grafik Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Tanpa Disinari Lampu UV	44
Gambar 4.9	Grafik Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Dengan Disinari Lampu UV	45
Gambar 4.10	Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Efisiensi Degradasi Rhodamin B Pada Kondisi Gelap.....	46
Gambar 4.11	Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Efisiensi Degradasi Rhodamin B Pada Kondisi Terang.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat-Sifat Fisik Mangan Dioksida.....	11
Tabel 3.1	Contoh Hasil Pengujian Menggunakan FTIR	30
Tabel 3.2	Contoh Tabel Data Hasil Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis ...	31
Tabel 3.3	Contoh Tabel Data Hasil aktivitas fotokatalis.....	31
Tabel 4.1	Rata-Rata Ukuran Kristal MnO ₂ -rGO	34
Tabel 4.2	Gugus Fungsi Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi	36
Tabel 4.3	Nilai band gap direct dan indirect sampel.....	40
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Konsentrasi Pewarna Tekstil Rhodamin B Tanpa Disinari Lampu UV.....	41
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Konsentrasi Pewarna Tekstil Rhodamin B Dengan Disinari Lampu UV	42
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Tanpa Disinari Lampu UV	44
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Dengan Disinari Lampu UV	45

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar Penelitian
- Lampiran 2 Data Dan Perhitungan Xrd
- Lampiran 3 Data Ftir
- Lampiran 4 Data Uv-Vis
- Lampiran 5 Kurva Standart Larutan Baku Standart Pewarna Tekstil Rhodamin-B
- Lampiran 6 Perhitungan Konsentrasi Fotokatalis Pewarna Tekstil Rhodamin-B
- Lampiran 7 Perhitungan Efisiensi Fotokatalis Terhadap Pewarna Tekstil Rhodamin-B



ABSTRAK

Wulandari, Fitri. 2020. **Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Aktivitas Fotokatalis Nanokomposit MnO₂-Rgo**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Kata kunci: MnO₂-rGO, Sol-gel, Fotokatalis, Rhodamin b

Zat warna merupakan salah satu pencemar dalam lingkungan perairan yang sangat berbahaya. Keberadaan limbah tekstil dalam perairan dapat mengganggu penetrasi sinar matahari sehingga kehidupan organisme dalam perairan akan terganggu. Fotodegradasi merupakan proses degradasi pewarna limbah tekstil menggunakan bahan semikonduktor dengan bantuan cahaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur kalsinasi terhadap sifat fisis dan aktivitas fotokatalis. Metode sol-gel digunakan untuk membuat serbuk katalis MnO₂-rGO menggunakan bahan rGO, KMnO₄ dan C₄H₄O₄. Gel yang terbentuk disaring, dioven lalu dilakukan kalsinasi dengan variasi temperatur 400°C, 450°C, 500°C, 550°C dan 600°C selama 3 jam. Hasil dari XRD yaitu sampel tanpa kalsinasi memiliki fasa δ-MnO₂ dan bertambah fasa α-MnO₂ mulai temperatur 400°C hingga 600°C. Nilai rata-rata ukuran kristal terkecil pada sampel 450°C yaitu 23.515 nm. Hasil uji FTIR memperjelas bahwa sampel memiliki gugus fungsi C=C pada bilangan gelombang 1508-1650 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya rGO dalam sampel. Pengujian aktivitas fotokatalis memiliki efisiensi degradasi rhodamin b tertinggi dengan waktu 30 menit penyinaran pada sampel tanpa kalsinasi, yaitu 16.51%.

ABSTRACT

Wulandari, Fitri. 2020. **Effect of Calcination Temperature on Photocatalyst Activity of MnO₂-rGO Nanocomposites**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisors: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Keywords: MnO₂-rGO, Sol-gel, Photocatalyst, Rhodamine b

The dye is one of the pollutants in the aquatic environment which is very dangerous. The existence of textile waste in waters can interfere with the penetration of sunlight so that the life of organisms in the waters will be disturbed. Photodegradation is a process of degradation of textile waste dyes using semiconductor materials with the help of light. This study aims to determine the effect of calcination temperature on physical properties and photocatalyst activity. The sol-gel method was used to make MnO₂-rGO catalyst powder using rGO, KMnO₄ and C₄H₄O₄ materials. The gel that was formed was filtered, oven and then calcined with temperature variations of 400°C, 450°C, 500°C, 550°C and 600°C for 3 hours. The result of XRD is that the sample without calcination has an δ -MnO₂ phase and an α -MnO₂ phase increases from a temperature of 400°C to 600°C. The average value of the smallest crystal size in a sample of 450°C is 23,515 nm. The FTIR test results make it clear that the sample has a functional group C = C at wave number 1508-1650 cm⁻¹ which indicates the presence of rGO in the sample. The photocatalyst activity test had the highest degradation efficiency of rhodamine b with 30 minutes of irradiation on the sample without calcination, namely 16.51%.

المستخلص

وولانداري، فطري. تأثير حرارة التكليل نحو نشاطة الحفز الضوئي من مركبة نانوية $\text{MnO}_2\text{-rGO}$. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: (1) إرنا هاستوتي، الماجستير؛ (1) عبد الباسط، الماجستير

الكلمات المفتاحية: $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ ، محلول-هلام، الحفز الضوئي، رودامين ب

تعتبر صباغ لون نوعا من أنواع الملوثات في محيط المياه المضررة. وجود نفايات المنسوجات في المياه تسحوذ على ولوج ضياء الشمس وتؤدي إلى تنقل حياة عضويات المياه. يمكن علاجها باستخدام التدرج الضوئي، وهو عملية تدهور الصباغ من نفايات المنسوجات باستخدام شبه الموصل بإعانة الضياء. يهدف هذا البحث إلى معرفة تأثير حرارة التكليل نحو السمات الذاتية ونشاطة الحفز الضوئي. تستخدم عملية محلول-هلام لتشكيل مسحوق الحفز الضوئي باستخدام KMnO_4 ، $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ ، rGO . يتصفى الهلام المشكل ثم يوضع في الفرن ويتم التكليل مع دراجة مئوية 400، 450، 500، 550، و 600 لمدة ثلاث ساعات. نتيجة انعراج أشعة، وهي العينات دون التكليل، يتم بحالة $\delta\text{-MnO}_2$ وزيادة بحالة $\alpha\text{-MnO}_2$ بدأ من حرارة 400—600 المئوية. فالقيمة المتوسطة من أصغر حجم البلور في عينات 450 درجة مئوية هي 23.515 نانومتر. وأكدت نتيجة اختبار تحويل فورييه الأشعة دون الحمراء بأن للعينات مجموعة وظيفية $\text{C}=\text{C}$ في عدد الموج 1508—1650 سنتيمتر-1 التي تدل على وجود rGO في العينات. اختبار نشاطة الحفز الضوئي له دلالية التدهور الأعلى لرودامين ب بمدة الإضاءة 30 دقيقة نحو العينات دون التكليل، وهي 16.51%.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zat warna merupakan salah satu pencemar dalam lingkungan perairan yang dihasilkan dari berbagai aktivitas industri seperti kertas, makanan, kosmetik, cat dan tekstil. Industri tekstil merupakan salah satu penyebab banyaknya limbah yang sangat berpotensi mencemari lingkungan. Sebagian besar bahan yang terdapat dalam limbah tekstil adalah zat warna, terutama pewarna sintetik. Zat warna sintetik merupakan bahan pencemar yang sangat kompleks dan intensitas warnanya tinggi. Keberadaan limbah tekstil dalam perairan dapat mengganggu penetrasi sinar matahari sehingga kehidupan organisme dalam perairan akan terganggu (Haryono et al, 2018).

Pencemaran lingkungan menjadi masalah serius bagi kelangsungan hidup dan rusaknya ekosistem di lingkungan yang terjadi merupakan akibat dari ulah manusia. Sebagaimana Allah telah berfirman dalam QS. Asy-Syu'ara' ayat 151-152 yang berbunyi:

وَلَا تُطِيعُوا أَمْرَ الْمُسْرِفِينَ {151} الَّذِينَ يُفْسِدُونَ فِي الْأَرْضِ وَلَا يُصْلِحُونَ {152}

“Dan janganlah kamu mentaati perintah orang-orang yang melewati batas, yang membuat kerusakan di muka bumi dan tidak mengadakan perbaikan” (QS. Asy-Syu'ara' : 151-152).

Ayat di atas menegaskan tentang larangan untuk terus mendukung atau melakukan hal-hal yang dapat mencemari lingkungan (perusakan) tanpa memperdulikan dan melampaui kadar batas dari ekosistem lingkungan serta tidak ada upaya untuk melakukan perbaikan setelahnya. Quraish Shihab (2002) dalam buku tafsirnya

menjelaskan bahwa yang dimaksud perusakan adalah barang yang dihasilkan (produk) dengan memiliki nilai dan manfaat bagi manusia, akan tidak ada artinya apabila dalam pengerjaannya merusak dari keadaan lingkungan di sekitarnya. Oleh karena itu manusia diwajibkan untuk senantiasa menjaga, merawat dan melestarikan lingkungan sebagaimana manusia diciptakan untuk memenuhi salah satu tugas sebagai khalifah.

Pembuangan limbah zat warna tekstil tanpa melalui proses pengolahan yang benar dapat mengakibatkan dampak yang sangat fatal. Beberapa upaya penanganan limbah tekstil secara konvensional seperti penggunaan lumpur aktif (*active sludge*), koagulasi, sedimentasi dan adsorpsi dinilai kurang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut (Ernawati et al, 2020). Cara adsorpsi dinilai kurang efektif karena adsorbat yang terakumulasi di dalam adsorben, pada akhirnya akan menimbulkan masalah baru (Elias and Zainal, 2000). Untuk menangani hal tersebut dalam penelitian ini digunakan proses fotodegradasi. Fotodegradasi merupakan salah satu metode degradasi warna dari lingkungan perairan yang banyak dikembangkan karena memiliki kelebihan diantaranya, dapat digunakan untuk mengolah limbah non-biodegradable, biaya pengoperasian dan instalasi sistem yang murah (Neolaka et al, 2019).

Dalam industri tekstil, Rhodamin B merupakan salah satu zat warna yang sering digunakan, karena harganya murah dan mudah diperoleh (Sibarani et al, 2018), akan tetapi senyawa dalam rhodamin B mengandung racun dan tahan terhadap biodegradasi dan fotolisis (Neolaka et al. 2019). Proses degradasi pewarna rhodamin B telah dilakukan dengan berbagai macam katalis seperti, CaTiO_3 (Ernawati et al, 2020), TiO_2 (Leksono, 2012), MnO_2 (Sun, 2017) dan lain-lain.

Mangan dioksida (MnO_2) banyak digunakan sebagai katalis karena murah, ramah lingkungan dan dapat diaplikasikan untuk skala lingkungan (Gagrani et al, 2018). Setiap material MnO_2 terdiri atas struktur tunnel, maka bahan ini banyak digunakan sebagai penukar ion, penukar molekul dan selektif katalis yang baik untuk mendegradasi zat warna rhodamin B (Saridewi et al, 2015).

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Saridewi et al (2015) telah membuat material $\beta\text{-MnO}_2$ dari KMnO_4 dan $\text{Mn}(\text{HO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (2:3) dengan variasi suhu 90, 120, dan 150°C menggunakan metode bebas pelarut. Material terbaik diperoleh pada suhu 120 °C dengan nilai kristalinitas mencapai 14.08nm. (Chan et al, 2016)) membuat partikel $\beta\text{-MnO}_2$ dari kalium permanganat dan mangan (II) sulfat (2:3) menggunakan metode sol-gel. Fotodegradasi larutan Rhodamin B (RhB) menggunakan nanotube $\beta\text{-MnO}_2$ di bawah iradiasi tampak lebih efisien 90,3% setelah penyinaran selama 120 menit.

MnO_2 lebih efektif dimanfaatkan sebagai fotokatalis jika dibuat nanokomposit menggunakan rGO. Chhabra et al (2019) membuat nanokomposit $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ menggunakan metode hidrotermal untuk mendegradasi pewarna dengan membandingkan aktifitas fotokatalis pada katalis dan polutan yang berbeda. Katalis MnO_2 kurang efektif untuk mendegradasi larutan polutan, akan tetapi dengan penambahan rGO diperoleh hasil sebesar 94% dalam waktu 90 menit.

Dewi (2018) telah melakukan penelitian mengenai pembuatan rGO dari bulu ayam menggunakan metode *chemical exfoliation*. Bulu ayam dioven dengan suhu 250°C selama 30 menit, dikalsinasi pada suhu 400 °C selama 5 jam, disonikasi selama 5 jam dengan suhu ruang lalu dikeringkan. Diperoleh nilai adsorben yang baik pada penggunaan larutan aquades daripada penggunaan H_2SO_4 .

Berdasarkan penguraian latar belakang diatas, maka dalam penelitian ini dilakukan pembuatan nanokomposit MnO_2 -rGO menggunakan metode sol-gel. Dalam penelitian ini rGO yang digunakan sesuai dengan yang telah dilakukan Dewi (2018), diharapkan dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis MnO_2 . Variasi temperatur kalsinasi (400°C , 450°C , 500°C , 550°C dan 600°C) dilakukan untuk mendapatkan material yang tepat, sifat fisis dan aktivitas fotokatalis yang terbaik. Karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya *X-Ray Diffraction* (XRD), *UV-Visible*, dan *Fourrier Transform Infrared* (FTIR).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur kalsinasi terhadap (fasa yang terbentuk, gugus fungsi dan energi gap) nanokomposit MnO_2 -rGO?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur kalsinasi terhadap aktivitas fotokatalis nanokomposit MnO_2 -rGO?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur kalsinasi terhadap sifat fisis (fasa yang terbentuk, gugus fungsi dan energi gap) nanokomposit MnO_2 -rGO
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur kalsinasi terhadap aktivitas fotokatalis nanokomposit MnO_2 -rGO

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Nanokomposit MnO_2 -rGO disintesis menggunakan metode sol-gel
2. Variasi suhu kalsinasi 400°C , 450°C , 500°C , 550°C dan 600°C

3. Karakterisasi sampel menggunakan XRD, FTIR, UV-Vis
4. Uji aktivitas fotokatalis dilakukan menggunakan fotoreaktor untuk mengamati degradasi pewarna tekstil Rhodamin-B selama 3 jam.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui cara mensintesis nanokomposit MnO_2 -rGO menggunakan metode sol gel. Dilakukan variasi temperatur kalsinasi untuk mendapatkan material dengan hasil aktivitas fotokatalis terbaik.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

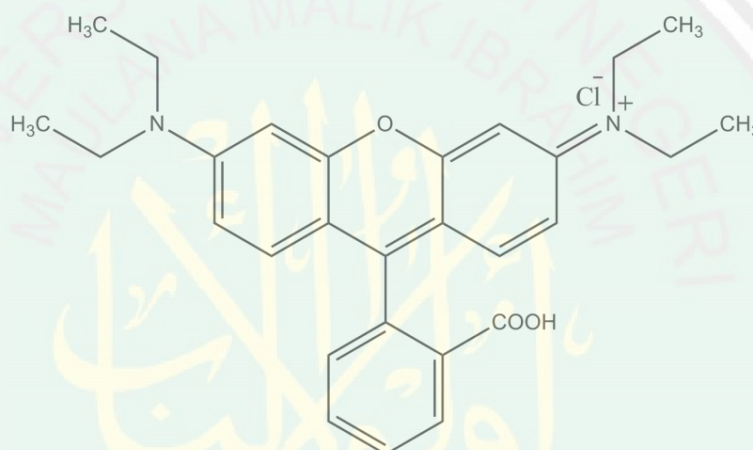
2.1 Limbah Tekstil

Perkembangan teknologi tekstil semakin lama berkembang pesat. Dalam proses yang berlangsung dalam industri tekstil ini banyak membutuhkan air, pewarna, dan bahan-bahan kimia. Dari bahan-bahan tersebut, maka hasil akhir dari proses ini banyak diperoleh limbah. Limbah tekstil ini akan sangat berbahaya bagi lingkungan apabila dibuang begitu saja tanpa diolah terlebih dahulu. Khusus industri tekstil yang di dalam proses produksinya mempunyai unit Finishing-Pewarnaan mempunyai potensi sebagai penyebab pencemaran air dengan kandungan amoniak yang tinggi (Hasan, 2016).

Air limbah pabrik tekstil rata-rata mengandung pewarna, Chemical oxygen demand, bahan-bahan kimia berbahaya, asam, garam anorganik, dan kandungan amoniak yang tinggi (Verma, Dash, and Bhunia 2012). Dari berbagai macam bahan yang terkandung dalam limbah tekstil ini, limbah zat pewarna tekstil merupakan limbah yang paling membahayakan dan yang menjadi sumber dari kontaminasi. Apabila limbah ini dibuang secara sembarang dan bercampur dengan air bersih. Hal ini bisa menyebabkan terkontaminasinya air bersih tersebut sehingga mengandung bahan-bahan kimia yang berbahaya serta penurunan kadar oksigen ((Duarte et al. 2013); (Wang et al. 2009)). Selain itu limbah pabrik tekstil ini juga sangat beracun untuk kehidupan flora dan fauna yang ikut menggunakan air yang sudah terkontaminasi tersebut (Wang et al. 2009).

2.2 Zat Warna Rhodamin B

Rhodamin B termasuk warna golongan xanthenes dyes. Rhodamin B adalah bahan kimia yang digunakan untuk pewarna merah pada industri tekstil dan plastik. Pada makanan, rhodamin B dan *metanil yellow* sering dipakai mewarnai kerupuk, makanan ringan, terasi, kembang gula, sirup, biskuit, sosis, makaroni goreng, minuman ringan, cendol, manisan, gipang dan ikan asap. Makanan yang diberi zat pewarna ini biasanya berwarna lebih terang dan memiliki rasa agak pahit (Kusumawardani, 2008).



Gambar 2.1 Struktur Kimia Rhodamin-B (Al 2018)

Rhodamin B adalah pewarna sintetis yang berasal dari *metanilinilat* ini dan *dipanel alanin* yang berbentuk serbuk kristal berwarna kehijauan, merah keunguan dalam bentuk terlarut pada konsentrasi tinggi dan warna merah terang pada konsentrasi rendah. Rhodamin B sering disalahgunakan untuk pewarna pangan seperti kerupuk makanan ringan dan minuman yang sering dijual di sekolah serta kosmetik dengan tujuan menarik perhatian konsumen. Rhodamin B dengan nama kimia $C_{28}N_{31}N_2O_3Cl$ merupakan bahan kimia sebagai pewarna dasar untuk berbagai kegunaan, semula zat ini digunakan untuk kegiatan histologi

dan sekarang berkembang untuk berbagai keperluan yang berhubungan dengan sifatnya yang ber fluoresensi dalam sinar matahari.

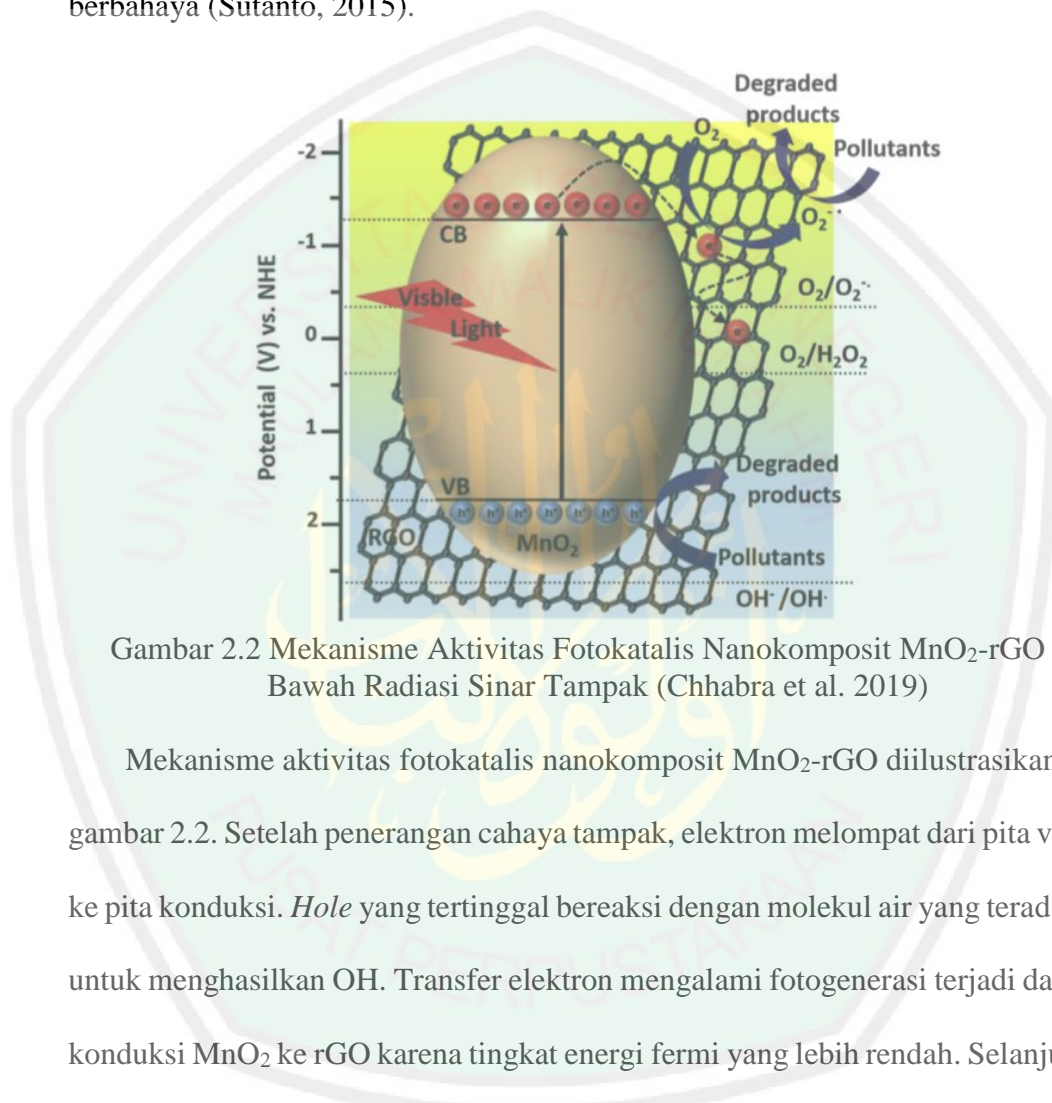
Rhodamin B termasuk senyawa atau molekul yang memberikan warna akibat adanya gugus kromofor. Dimana gugus kromofor tersebut yaitu quinoid kuantitas warna yang ditimbulkan rhodamin b sangat tajam hal ini disebabkan oleh adanya dua gugus auksokrom. Gugus auksokrom tersebut adalah dimethylamine proses pembuatan zat warna sintetik biasanya melalui perlakuan pemberian asam sulfat dan asam nitrat yang seringkali terkontaminasi oleh logam seperti arsen atau logam berat lain yang bersifat racun pada pembuatan zat pewarna organik sebelum mencapai produk akhir harus melalui suatu senyawa antara dulu yang kadang-kadang berbahaya seringkali dalam proses reaksi tersebut terbentuk senyawa baru yang berbahaya yang lebih tertinggal sebagai residu dalam bahan pewarna tersebut.

2.3 Fotokatalis

Fotokatalis secara umum di definisikan sebagai proses reaksi kimia yang dibantu oleh cahaya dan katalis (Arutanti et al, 2009). Fotokatalisis sendiri adalah suatu proses yang dibantu oleh adanya cahaya dan material katalis. Katalis adalah suatu material 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, 1994).

Reaksi fotokatalis melibatkan pasangan elektron dan *hole* (e^- dan h^+) yang berperan sebagai agen oksidasi dan reduksi dalam reaksi fotokatalis. Elektron dan *hole* (e^- dan h^+) memanfaatkan cahaya untuk mengaktifkan katalis yang kemudian

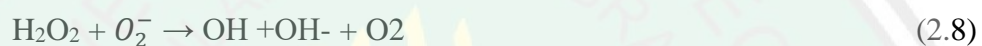
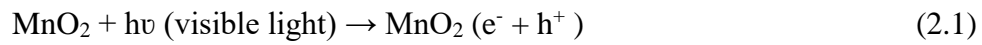
bereaksi dengan senyawa kimia di dekat ataupun di permukaan katalis. Cahaya yang digunakan harus memiliki energi lebih besar dari celah energi material katalis (semikonduktor). Hal ini bertujuan agar material semikonduktor dapat menghasilkan elektron dan hole yang kemudian mendegradasi senyawa-senyawa berbahaya (Sutanto, 2015).



Gambar 2.2 Mekanisme Aktivitas Fotokatalis Nanokomposit MnO_2 -rGO Di Bawah Radiasi Sinar Tampak (Chhabra et al. 2019)

Mekanisme aktivitas fotokatalis nanokomposit MnO_2 -rGO diilustrasikan pada gambar 2.2. Setelah penerangan cahaya tampak, elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi. *Hole* yang tertinggal bereaksi dengan molekul air yang teradsorpsi untuk menghasilkan OH^\cdot . Transfer elektron mengalami fotogenerasi terjadi dari pita konduksi MnO_2 ke rGO karena tingkat energi fermi yang lebih rendah. Selanjutnya, elektron dari rGO dan juga dari pita konduksi MnO_2 bereaksi dengan oksigen dan molekul air menghasilkan O_2 dan H_2O_2 , untuk pembentukan OH^\cdot . Akhirnya, OH^\cdot dan O_2 yang dihasilkan ini bereaksi dengan polutan yang teradsorpsi untuk menghasilkan produk yang terdegradasi. Berikut merupakan persamaan reaksi

kimia fotokatalis nanokomposit $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ dalam mendegradasi polutan menggunakan radiasi sinar tampak (Chhabra et al. 2019):



2.4 Material Semikonduktor MnO_2

Semikonduktor adalah material dengan konduktivitas berada diantara isolator dan konduktor. Konduktivitas memegang peranan penting dalam proses pergerakan elektron atau hole pada material semikonduktor. Tingkat fermi pada material semikonduktor bergantung dari jenis bahan semikonduktor tersebut. Semikonduktor tipe-n (mayoritas pembawa muatannya elektron) posisi tingkat fermi berdekatan dengan pita konduksi dan semikonduktor tipe-p (mayoritas pembawa muatannya hole) posisi tingkat fermi berdekatan dengan pita valensi (Ningsih, 2012).

Di antara logam transisi yang lain, mangan merupakan salah satu logam yang memiliki struktur kristal oksida, oksid-hidroksida dan hidroksida yang berbeda dalam jumlah terbesar serta mempunyai aksesibilitas yang mudah, kepadatan energi

yang besar dan biaya yang rendah (Ozoemena dkk, 2016). Untuk menjelaskan struktur mangan yang kompleks ini, melibatkan dua faktor utama yaitu terkait struktur elektronik ion Mn^{+} (efek Jahn-Teller) dan terkait dengan banyaknya reaksi redoks yang terlibat dalam sistem Mn-O-H₂O (Bricker, 1965). Dalam sistem periodik unsur, mangan berada dalam bilangan oksidasi +2, +3, +4 +6 dan +7 dimana oksidasi yang paling stabil adalah antara 2 dan 4 (Li et al, 2016).

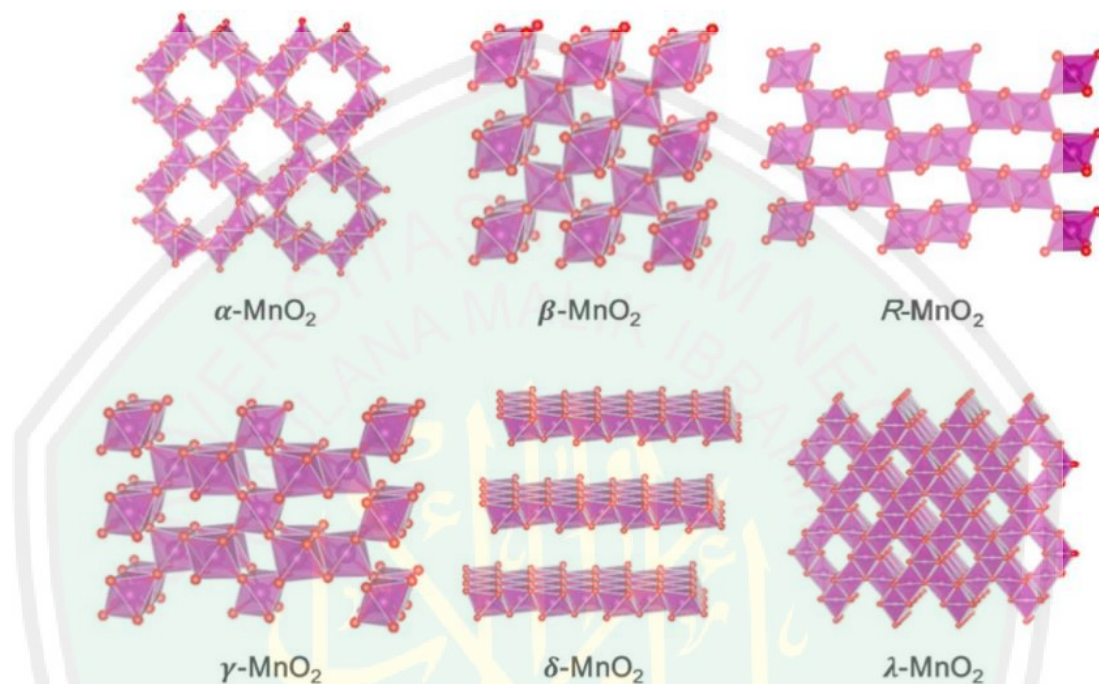
Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisik Mangan Dioksida (Khopkar, 1990).

Ciri-ciri Fisik	
Fase	Padat
Warna	Hitam-Kecokelatan
Massa jenis cair pada titik lebur	5,95 g/cm ³
Titik Lebur	1519°C
Titik Didih	2061 °C
Kapasitas Kalor (Suhu Ruang)	26,32 J/(mol °K)
Massa Jenis (Sekitar suhu kamar)	7,21 g/cm ³
Spesific Gravity	5,026 (Air=1)

Mangan dioksida (MnO₂) merupakan material yang memiliki berbagai polimorf struktur kristal, seperti β -MnO₂ (pyrolusite), α -MnO₂ (hollandite), R-MnO₂ (ramsdellite), δ -MnO₂ (Birnessite), dan γ -MnO₂ (nsutite). Setiap material oksida mangan ini terdiri atas suatu struktur tunnel. Dengan struktur tunnel yang dimiliki oleh material oksida mangan ini, maka ia banyak digunakan sebagai selektif katalis, penukar ion, dan penukar molekul (Saridewi dkk, 2008).

Struktur MnO₂ dengan ukuran rongga yang lebih besar adalah α - MnO₂. Mineral yang dapat ditemukan di alam adalah hollandite (Ba_xMn₈O₁₆) dan cryptomelane (K_xMn₈O₁₆). α -MnO₂ memiliki simetri tetragonal dengan parameter sel: a = 9,8776 Å dan c = 2,8654 Å. Struktur terdistorsi ketika terjadi penyisipan

kation, maka mineral hollandite biasanya memiliki simetri monoklinik. Struktur Hollandite terdiri dari rantai ganda MnO_6 oktahedral, membentuk channel 2x2 (0,46 nm x 0,46 nm) yang merambat sepanjang sumbu c tetragonal sel satuan (Mohamed, 2015).



Gambar 2.3 Struktur Kristal MnO_2 (Shin et al. 2020)

$\beta\text{-MnO}_2$ adalah bentuk MnO_2 terpadat dan paling stabil. $\beta\text{-MnO}_2$ mengkristal dalam bentuk tetragonal ($a = 4,3983 \text{ \AA}$ dan $c = 2,873 \text{ \AA}$) dengan $Z = 2$ (Khopkar, 1990). Struktur kristal $\beta\text{-MnO}_2$ bertipe rutil. MnO_6 oktahedral tepi membentuk rantai tunggal yang tak terhingga dan sejajar dengan sumbu c. Masing-masing saluran ini terhubung dengan empat rantai oktahedral sekelilingnya untuk membentuk channel 1x1. Struktur ini dapat dijelaskan oleh susunan heksagonal oksigen yang rapat menjadi oktahedral di mana sedikit terdistorsi satu dari dua yang ditempati oleh Mn^{4+} (Greenwood and Earnshaw, 1984).

2.5 Graphene

Penemuan terbaru pada kelompok struktur nano karbon adalah *graphene*. *Graphene* adalah material setebal satu atom yang terdiri dari karbon ikatan sp^2 dengan struktur sarang lebah (kisi heksagonal) dengan jarak karbon-karbon 0,142 nm (Hal tersebut menyerupai molekul polyaromatik besar dengan ukuran semi tak terbatas. Dalam lima tahun terakhir, bahan nano berbasis *graphene* telah menjadi fokus tidak hanya oleh ilmuwan material tetapi juga insinyur dan ilmuwan medis. Sifat-sifat menarik dari lembaran *graphene* layer tunggal diantaranya seperti kekuatan mekanik yang tinggi, elastisitas tinggi, konduktivitas termal, mobilitas elektron pada suhu kamar yang sangat tinggi, sifat optik dan band gap yang dapat diatur membawa kemajuan dalam bidang ilmiah terutama di bidang material, fisika, kimia dan ilmu kedokteran (Talat dan Srivasta, 2014).



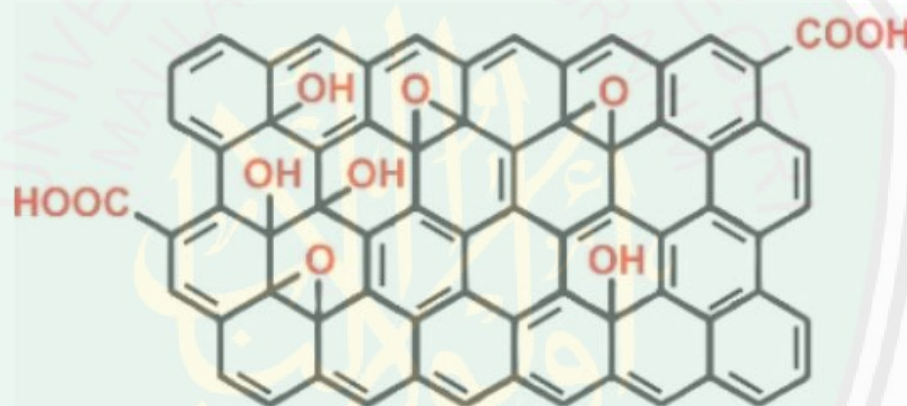
Gambar 2.4 Struktur *Graphene* (Tadyszak et al, 2018).

2.5.1. *Graphene Oxide*

Graphene Oxide (GO) merupakan modifikasi preparasi graphene secara kimiawi dengan oksidasi dan eksfoliasi yang disertai dengan modifikasi oksidatif dari bidang basal. Oksida grafena mempunyai struktur berlapis seperti grafit hanya posisi atom karbon dalam oksida grafena ditambah dengan kehadiran

kelompok atom oksigen yang tidak hanya memperluas jarak antar lapisan tapi juga membuat lapisan atom yang tebal dan bersifat hidrofilik. Bagaimanapun juga, bentuk ini sering direduksi secara kimiawi ataupun elektrokimia sebelum digunakan. Sebagai hasilnya, oksidasi lapisan ini dapat berinteraksi dengan air dibawah perlakuan ultrasonifikasi (Novoselov et al, 2004).

Skalabilitas merupakan faktor penting untuk sintesis graphen, dan salah satu pendekatan paling populer terhadap eksfoliasi grafit adalah penggunaan zat pengoksidasi yang kuat untuk mendapatkan *Graphene-oxide* (GO), yaitu bahan karbon yang hidrofilik dan nonkonduktif (Alam et al, 2017).



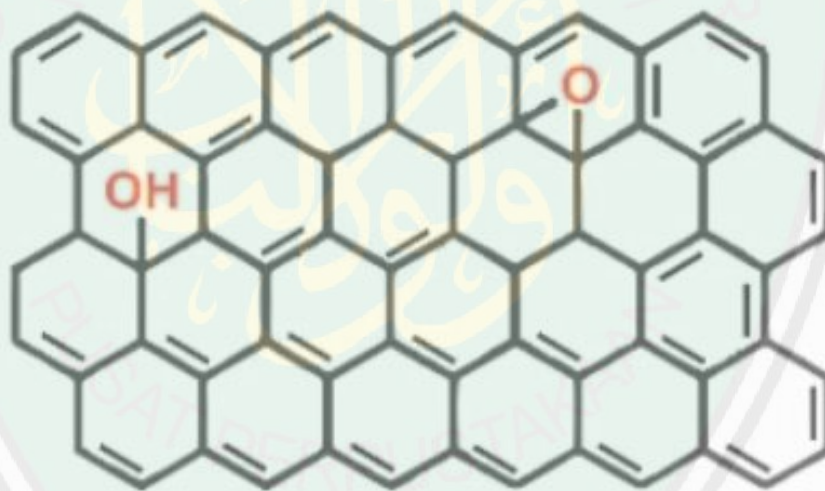
Gambar 2.5 Struktur *Graphene-Oxide* (GO) (Tadyszak et al, 2018).

Menurut Li et al (2014) terdapat dua masalah utama dalam memperoleh graphen. Masalah pertama adalah tentang bagaimana dapat menghasilkan lembaran graphen pada skala yang cukup. Seperti telah diketahui bahwa graphite, meskipun harganya murah dan tersedia dalam jumlah banyak, graphite tidak mudah terkelupas untuk menghasilkan lembaran graphen satu lapis. Masalah kedua adalah bahwa lembaran graphen sulit digabungkan dan didistribusikan secara homogen ke berbagai matriks untuk aplikasi. Sebagai solusi, GO yang mengandung banyak kelompok berbasis oksigen dapat diperoleh dengan mudah

dari oksidasi graphite. GO dipandang sebagai pendahulu untuk menghasilkan graphen (mengurangi GO) dengan reaksi kimia dan termal.

2.5.2. *Reduction Graphene Oxide (rGO)*

Reduksi adalah reaksi yang paling dipahami dan paling jelas di mana GO dapat terlibat. Larutan GO yang dengan cepat mengubah warnanya dari kuning coklat menjadi hitam, menandakan pemulihan jaringan sp^2 terkonjugasi dan pembentukan struktur grafis. Namun, dengan ciri khas GO, jaringan graphen asli tidak sepenuhnya pulih. Hal ini karena GO sendiri sudah sangat rusak karena defect yang ada tidak dapat diperbaiki selama proses reduksi. Dua jenis spesies yang berbeda tetap pada rGO setelah reduksi yaitu hole dan beberapa fungsi oksigen (Eigler dan Dimiev, 2017).



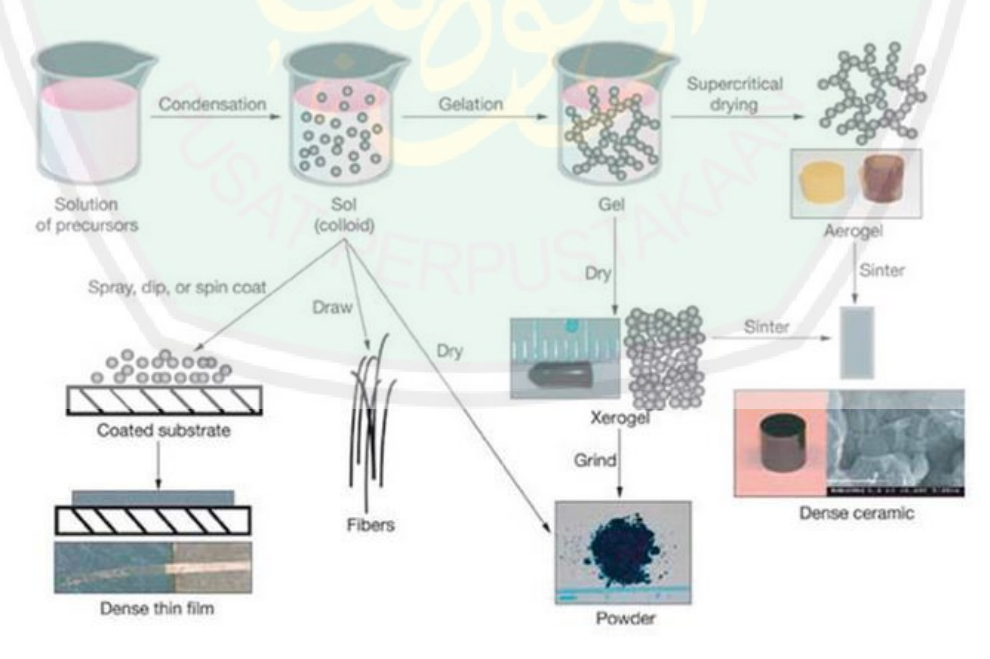
Gambar 2.6 Struktur *Reduction Graphene Oxide (rGO)* (Tadyszak et al, 2018).

Pengurangan bahan kimia tidak pernah menghasilkan bahan seperti graphen yang sangat konduktif karena sifat rGO yang sangat rusak dan keberadaan fungsi oksigen yang tersisa. Untuk meningkatkan konduktivitas, rGO yang diperoleh harus dianil pada sekitar 900°C - 1000°C . Setelah anil, konduktivitas dapat meningkat dua atau tiga kali lipat dan mencapai nilai $200\text{-}300\text{ Scm}^{-1}$. Ini terjadi

karena rekonstruksi jaringan karbon yang signifikan pada suhu tinggi. Konduktivitas rGO tidak hanya tergantung pada efektivitas metode reduksi, tetapi juga pada kualitas (densitas cacat) dari prekursor GO. Inilah sebabnya mengapa, untuk membandingkan keefektifan agen pereduksi yang berbeda, seseorang perlu memasukkan prekursor GO yang sama ke agen pereduksi yang berbeda (Eigler dan Dimiev, 2017).

2.6 Metode Sol-Gel

Sol-gel merupakan salah satu metode yang berhasil dalam preparasi material oksida logam berukuran nano. Sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk padat dan fasa pendispersinya berbentuk cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoxi dan dihidrolisis dengan air sehingga menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksi yang terbentuk adalah reaksi hidrolisis (Paveena et al, 2010).



Gambar 2.7 Skema Umum Proses Sol-Gel (Aguilar, 2018)

Gel (*gelation*) dibentuk oleh jaringan kontinu tiga dimensi, yang mengandung fase cair, atau dengan bergabungnya rantai polimer. Dalam gel koloid, jaringan dibangun dari aglomerat partikel koloid. Sedangkan dalam gel polimer, partikel memiliki substruktur polimer yang terdiri dari agregat partikel sub-koloid. Secara umum, gaya Van Der Waals atau ikatan hidrogen mendominasi interaksi antara partikel sol. Selama sintesis, dalam kebanyakan sistem gel, interaksi tipe kovalen mendominasi, dan proses gel tidak dapat diubah. Proses gelasi dapat reversibel jika ada interaksi lain yang terlibat (Aguilar, 2018).

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu “*wet method*” atau karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Metode ini cocok untuk preparasi thin film dan material berbentuk serbuk. Tujuannya agar suatu material dapat memiliki fungsional khusus (elektrik, optik, magnetik, dll). Metode sol gel memiliki keuntungan antara lain (Abdullah et al, 2008):

1. Mudah dalam kontrol komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik)
2. Temperatur proses rendah
3. Biaya murah.

Pada umumnya, tahapan proses sol gel terbagi atas dua bagian, yaitu hidrolisis dan kondensasi. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 yang merupakan proses sol gel. Proses dimulai dengan reaksi hidrolisis dan kondensasi dari prekursor untuk membentuk gel diikuti oleh penuaan, ekstraksi pelarut, dan akhirnya pengeringan. Reaksi-reaksi ini dapat dikatalisis dengan penambahan asam atau basa, yang masing-masing akan menghasilkan jaringan padat atau difus, dengan mengubah kinetika hidrolisis. Pada langkah gelasi, kondensasi dihasilkan dari prekursor gel

dalam larutan berair yang dihidrolisis dan dipolimerisasi melalui alkohol atau air. Ketika memulai gelasi, ketika ukuran rata-rata konglomerat sangat kecil, mereka dimodelkan dengan pendekatan pada tingkat atom (Aguilar, 2018).

Pada tahap berikutnya, sinergi dapat terjadi selama penuaan gel, yang merupakan pengusiran pelarut karena kontraksi matriks gel. Proses pengeringan gel terdiri dari menghilangkan air dari sistem gel, dengan runtuhnya struktur gel secara simultan, dalam kondisi suhu konstan, tekanan, dan kelembaban. Biasanya, gel kering diberikan perlakuan kalsinasi untuk mengubahnya menjadi bahan kristal. Reaksi berikut biasanya terjadi: desorpsi pelarut dan air secara fisik diserap dari dinding mikropori (100-200°C), dekomposisi gugus organik residu menjadi karbon dioksida (300-500°C), keruntuhan pori-pori kecil (400-500°C), kolapsnya pori-pori yang lebih besar (700-900°C), dan polikondensasi lanjutan (100-700°C). Fenomena sintering dan densifikasi dihasilkan melalui mekanisme yang berbeda seperti kondensasi oleh penguapan, difusi permukaan, batas butir, dan difusi massa (Aguilar, 2018).

2.7 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang sudah ada sejak lama dan masih digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Rojikhi, 2011).

Sinar X adalah gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit logam tersebut

terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi tinggi yang lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar- X. Adapun radiasi elektromagnetik sinar-X berada pada panjang gelombang 0,5-2,5 Å dan energi $+10^7$ eV. Dasar metode ini adalah adanya kekhasan jarak antar bidang kristal (d) pada setiap kristal yang berbeda. Alat Uji XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Rojikhi, 2011). Kisi kristal ditentukan berdasarkan persamaan Bragg (Rojikhi, 2011):

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2.10)$$

dimana :

λ = panjang gelombang sinar-X

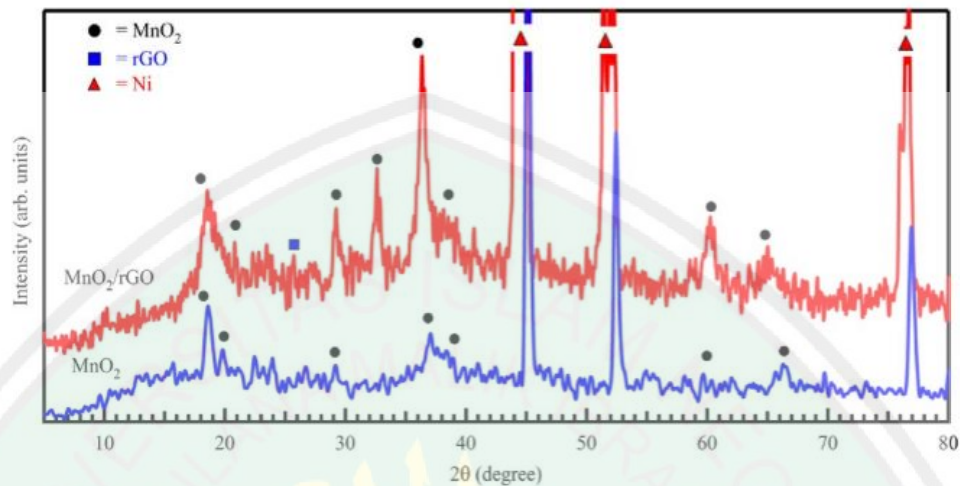
d = jarak antara dua bidang sisi

θ = sudut antara sinar datang dengan bidang normal

n = bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan

Prinsip kerja XRD secara umum adalah sebagai berikut : XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti dan detektor sinarX. Sinar-X dihasilkan di tabung sinar-X yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar X dan mengolahnya dalam bentuk grafik. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa

intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).



Gambar 2.8 Pola XRD MnO_2 dan MnO_2/rGO (Ali et al. 2018)

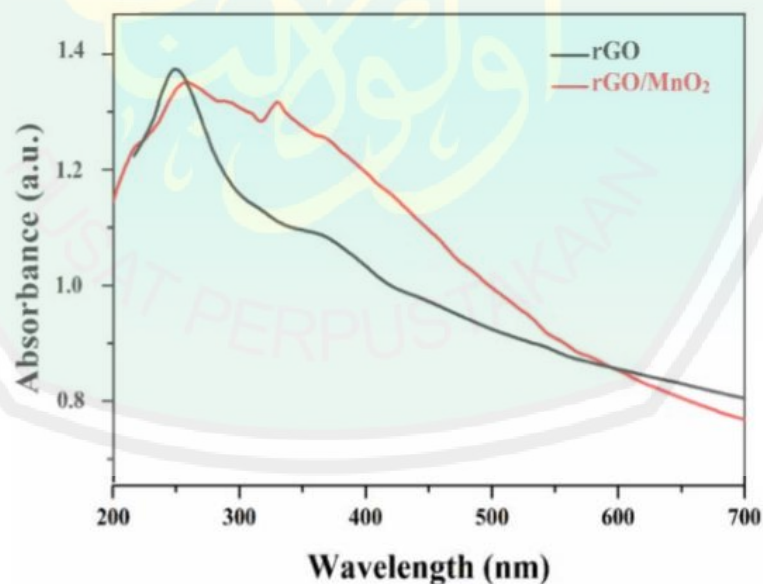
Gambar 2.8 merupakan pola XRD MnO_2 dan MnO_2/rGO yang telah dilakukan (Ali et al. 2018)). Diperoleh puncak difraksi yang menunjukkan pembentukan fase MnO_2 ramsdellite di MnO_2 dan $\text{MnO}_2 / \text{rGO}$, menurut ICCD (96-900-1168). Puncak intensitas rendah tambahan di sudut 26° untuk $\text{MnO}_2 / \text{rGO}$ dapat dikaitkan dengan bidang graphene (002). Derajat grafitisasi yang rendah disebabkan oleh tutupan permukaan oleh spesies MnO_2 . Menurut persamaan Scherrer, ukuran kristal MnO_2 dihitung menjadi 37 dan 19 nm untuk MnO_2 dan $\text{MnO}_2 / \text{rGO}$. Ukuran kristal yang lebih kecil di $\text{MnO}_2 / \text{rGO}$ dapat dikaitkan dengan GO sheets yang menyediakan platform untuk distribusi partikel Mn_3O_4 , sebelum konversi siklus potensial.

2.8 UV-Vis

Dalam analisis kimia dikenal berbagai macam cara untuk mengetahui data kualitatif dan kuantitatif baik yang menggunakan suatu peralatan optik (instrumen) atau dengan cara basah. Salah satu metode sederhana untuk menentukan zat organik

dan anorganik secara kualitatif dan kuantitatif seperti contoh air laut, yaitu dengan metode spektrofotometri Ultra-violet dan sinar tampak (Triyati, 1985).

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis yaitu apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap, sebagian dipantulkan, dan sebagian lagi dipancarkan. Aplikasi rumus tersebut dalam pengukuran kuantitatif dilaksanakan dengan cara komparatif menggunakan kurva kalibrasi dari hubungan konsentrasi deret larutan alat untuk analisa suatu unsur yang berkadar rendah baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif, pada penentuan secara kualitatif berdasarkan puncak-puncak yang dihasilkan spektrum dari suatu unsur tertentu pada panjang gelombang tertentu, sedangkan penentuan secara kuantitatif berdasarkan nilai absorbansi yang dihasilkan dari spektrum dengan adanya senyawa pengompleks sesuai unsur yang dianalisisnya (Yanlinastuti, 2016).



Gambar 2.9 Spektrum absorpsi UV/Vis rGO dan rGO/MnO₂ (Kumar et al. 2018)

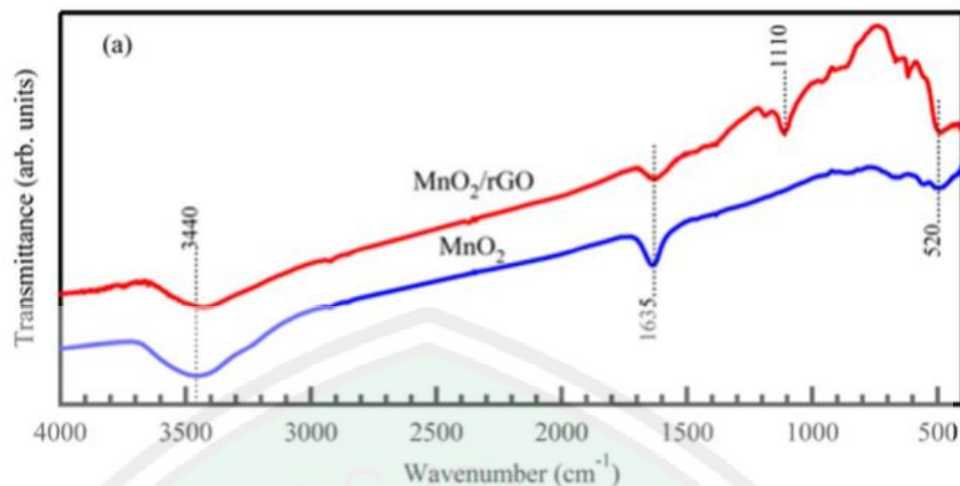
Gambar 2.9 merupakan hasil analisis UV/Vis yang telah dilakukan oleh (Kumar et al. 2018). Diperoleh spektrum UV-Vis rGO dan rGO / MnO₂. Spektrum

UV rGO menunjukkan pita karakteristik pada 260 nm karena transisi π - π dari ikatan C-C aromatik yang menunjukkan pemulihan jaringan karbon sp^2 terkonjugasi yang luas di rGO.

2.9 FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)

FTIR merupakan singkatan dari *Forier Transform Infra-Red*. Dimana FTIR ini adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, fotokonduktivitas atau Raman Scattering dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindrayawati, 2010).

prinsip kerja FTIR didasarkan pada besarnya frekuensi sinar infrared yang diserap dengan tingkat energi tertentu melewati sebuah senyawa yang diselidiki, maka energi dari frekuensi tersebut akan ditransfer ke senyawa tersebut yang menyebabkan terjadinya perubahan amplitude vibrasi molekuler Terdapat dua macam vibrasi yaitu vibrasi ulur dan tekuk. Vibrasi ulur merupakan suatu gerakan berirama sepanjang sumbu ikatan sehingga jarak antar atom akan bertambah atau berkurang. Vibrasi tekuk terjadi Karena perubahan sudut-sudut ikatan antara ikatan-ikatan pada sebuah atom. Informasi absorpsi infrared pada umumnya diberikan dalam bentuk spektrum dengan panjang gelombang atau bilangan gelombang (cm^{-1}) sebagai absis x dan intensitas absorpsi atau persen transmittan sebagai ordinat y. Intensitas pita dapat dinyatakan dengan transmittan (T) atau absorban (A) (Nufus et al, 2015)



Gambar 2.10 Spektrum FTIR MnO_2 dan MnO_2/rGO (Ali et al. 2018)

Identifikasi pita absorpsi khas yang disebabkan oleh berbagai gugus fungsi merupakan dasar penafsiran spektrum inframerah. Hadirnya sebuah puncak serapan dalam daerah gugus fungsi dalam sebuah spektrum inframerah hampir selalu merupakan petunjuk pasti bahwa beberapa gugus fungsi tertentu terdapat dalam senyawa cuplikan. Demikian pula, tidak adanya puncak dalam bagian tertentu dari daerah gugus fungsi sebuah spektrum inframerah biasanya berarti bahwa gugus tersebut yang menyerap pada daerah itu tidak ada (Pine, 1980).

Gambar 2.10 Merupakan hasil analisis FTIR yang telah dilakukan oleh (Ali et al. 2018)). Dijelaskan bahwa setelah terjadi transfer elektron antara GO dan Mn_3O_4 , interaksi dapat diamati di mana pita serapan tambahan dapat ditemukan pada 1110cm^{-1} untuk sampel $\text{MnO}_2 / \text{rGO}$, yang dapat dikaitkan dengan getaran tekukan C-OH yang digabungkan dengan atom-atom. Interaksi ini tidak dapat dilihat Sampel MnO_2 . Selain itu, hilangnya pita getaran peregangan C=O (1720cm^{-1}) di $\text{MnO}_2 / \text{rGO}$ juga menunjukkan keberhasilan reduksi elektrokimia GO menjadi rGO.

2.10 Kajian Integrasi Islam

Zat pewarna merupakan salah satu pencemar dalam lingkungan perairan yang dihasilkan dari berbagai aktivitas industri. Industri tekstil menjadi salah satu penyebab banyaknya limbah yang sangat berpotensi untuk mencemari lingkungan terutama pada perairan. Dimana hal tersebut sangat dibenci Allah SWT. Sesuai dengan firman Allah (Q.S Ar-Rum:41) yang menyatakan tentang kerusakan alam.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ {14}

"Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)."

Ayat diatas menjelaskan tentang larangan untuk mencemari lingkungan. Quraish Shihab (2002) menjelaskan bahwa telah terlihat kebakaran, kekeringan, kerusakan, kerugian perniagaan dan ketertenggelaman yang disebabkan oleh kejahatan dan dosa-dosa yang diperbuat manusia. Allah menghendaki untuk menghukum manusia di dunia dengan perbuatan-perbuatan mereka, agar mereka bertobat dari kemaksiatan.

Bulu ayam dan KMnO_4 membutuhkan beberapa perlakuan khusus untuk menghasilkan suatu material baru. Hal ini dijelaskn dalam Q.S Ar-Rad ayat 17:

أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَةٌ بِقَدَرِهَا فَاحْتَمَلَ السَّيْلُ زَبَدًا رَابِيًا ۚ وَمِمَّا يُوقِدُونَ عَلَيْهِ فِي النَّارِ ابْتِغَاءَ

حَلِيَّةٍ أَوْ مَتَاعٍ زَبَدٌ مِثْلُهُ ۚ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْحَقَّ وَالْبَاطِلَ ۚ فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً ۚ وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ

فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ ۚ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ {17}

"Allah telah menurunkan air (hujan) dari langit, maka mengalirlah ia (air) di lembah-lembah menurut ukurannya, maka arus itu membawa buih yang mengambang. Dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api untuk membuat

perhiasan atau alat-alat, ada (pula) buihnya seperti (buih arus) itu. Demikianlah Allah membuat perumpamaan tentang yang benar dan yang batil. Adapun buih, akan hilang sebagai sesuatu yang tidak ada gunanya; tetapi yang bermanfaat bagi manusia, akan tetap ada di bumi. Demikianlah Allah membuat perumpamaan.”

Firman Allah diatas menunjukkan bahwa segala sesuatu bahan apapun itu akan menjadi barang berguna jika diolah dengan baik. Hal tersebut dapat kita ambil contoh dari kalimat yang memiliki arti berikut “...dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api untuk dijadikan perhiasan atau alat – alat...”. Ayat tersebut menjelaskan bahwa dari bahan dasar logam yang diolah dengan cara meleburnya dalam api maka akan menghasilkan perhiasan yang mahal dan alat – alat yang berguna (Al-Mahalli, 2008). Hal tersebut juga berlaku untuk pembuatan material MnO₂-rGO berbahan dasar bulu ayam. Bulu ayam perlu diberi perlakuan seperti pemanasan dan proses eksfoliasi agar menghasilkan material rGO dengan sifat fisis dan dapat digunakan sebagai katalis yang baik.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan termasuk jenis eksperimen untuk membuat lapisan tipis dengan menggunakan bahan dasar yaitu rGO dari bulu ayam dan mangan dioksida (MnO_2) lalu divariasikan temperatur kalsinasinya. Selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan menggunakan aktivitas fotokatalis, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *UV-Visible*, dan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Januari 2019 di Laboratorium Riset Material Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian yaitu:

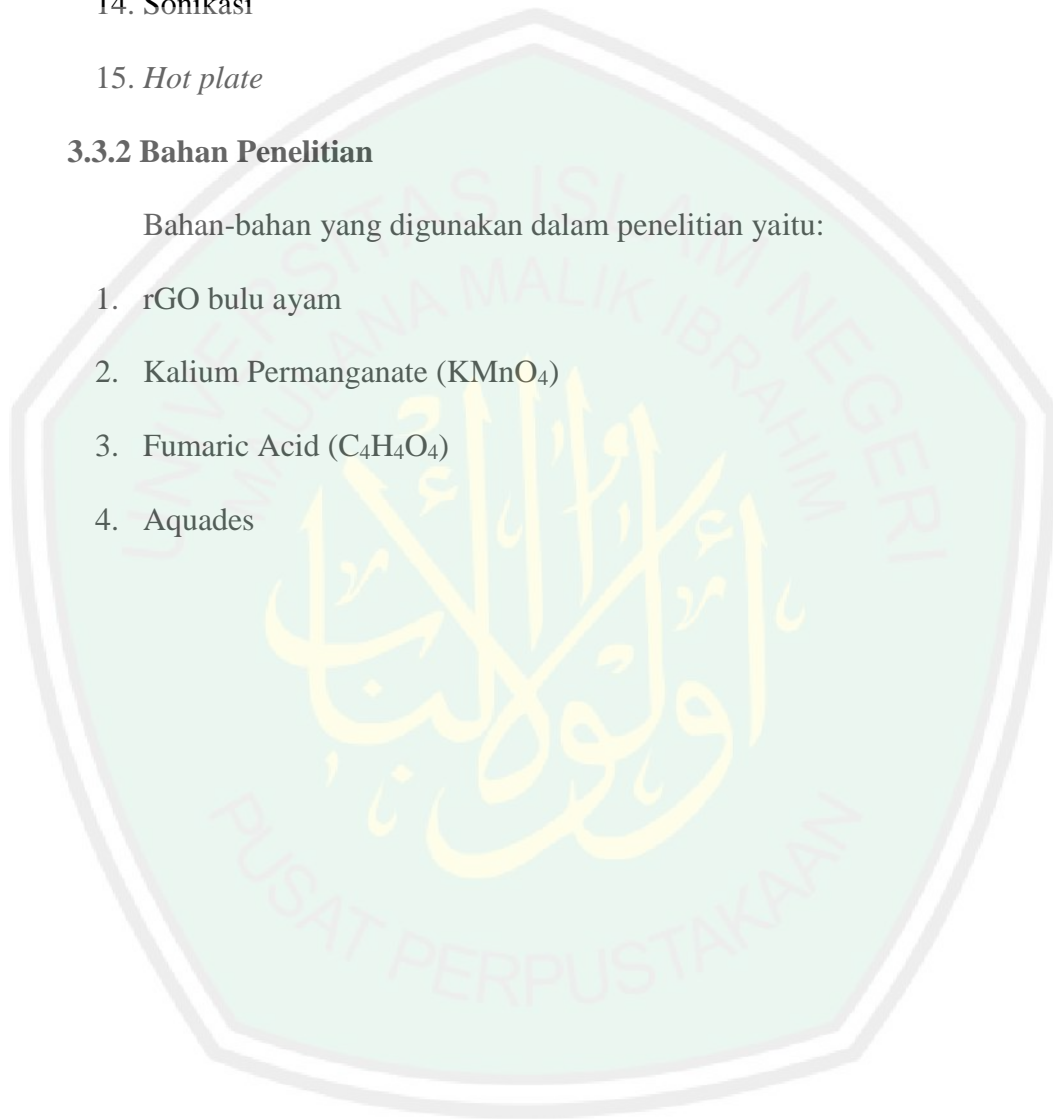
1. Oven
2. Alumunium foil
3. Mortar dan alu
4. Neraca digital
5. Magnetic stirrer
6. Ayakan 250 mesh
7. Beaker glass
8. Krusibel
9. Gelas ukur

10. Pipet
11. Spatula
12. Vial
13. Cawan petri
14. Sonikasi
15. *Hot plate*

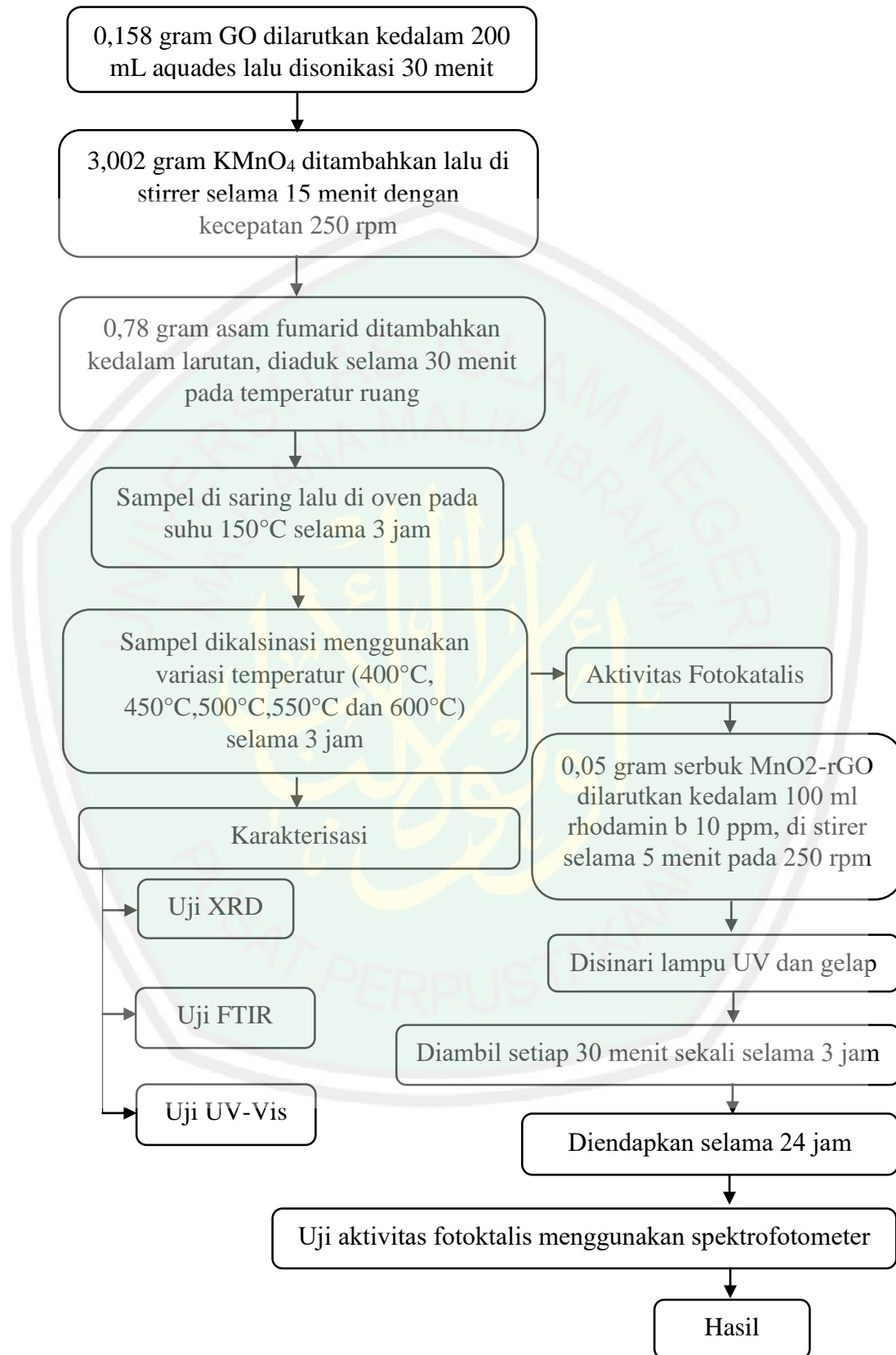
3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu:

1. rGO bulu ayam
2. Kalium Permanganate (KMnO_4)
3. Fumaric Acid ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$)
4. Aquades



3.4 Diagram Alir Penelitian



3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pembuatan rGO dari bulu ayam, sintesis nanokomposit MnO₂-rGO menggunakan metode sol-gel, membuat lapisan tipis dan karakterisasi sampel.

3.5.1 Pembuatan GO Bulu Ayam

1. Bulu ayam yang sudah dicuci dikeringkan dibawah sinar matahari.
2. Dimasukkan kedalam oven dengan menggunakan suhu 250°C selama 1 jam.
3. Karbon bulu ayam dihaluskan dan diayak dengan ukuran 250 mesh.
4. Karbon bulu ayam dipanaskan kembali menggunakan furnace dengan temperatur 400°C dengan waktu penahanan 5 jam untuk mengoksidasi sampel.
5. Karbon dihaluskan dan diayak kembali hingga mencapai ukuran 250 mesh.
6. Diperoleh serbuk GO.

3.5.2 Sintesis Nanokomposit MnO₂-rGO

1. 0,158 gram GO dilarutkan kedalam 200 mL aquades lalu disonikasi selama 30 menit.
2. 3,002 gram KMnO₄ ditambahkan lalu diaduk selama 15 menit dengan kecepatan 250 rpm.
3. 0,78 gram asam fumarid ditambahkan kedalam larutan lalu diaduk selama 30 menit pada suhu ruang.
4. Diperoleh sampel berbentuk gel.
5. Diendapkan selama 1 jam, lalu disaring.
6. Dioven menggunakan suhu 150°C selama 3 jam, lalu dilakukan variasi suhu kalsinasi (400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C dan 600 °C) selama 3 jam.

7. Diperoleh serbuk nanokomposit MnO₂-rGO

3.5.3 Karakterisasi Sampel

1. Sampel diuji menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk identifikasi fasa dan struktur sampel.
2. Sampel diuji menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk menghitung nilai energi gap sampel.
3. Sampel diuji menggunakan reaktor fotokatalis untuk mengetahui aktivitas fotokatalis sampel dengan variasi waktu (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit).
4. Sampel diuji menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi sampel.

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah data pengujian fisis. Pengujian sifat fisis didapatkan data struktur, fasa yg terbentuk, energi gap dan gugus fungsi dari sampel.

3.6.1 Analisis Fasa Menggunakan XRD

Setelah data hasil pengujian menggunakan alat *X-ray Diffraction* (XRD). Data dianalisis menggunakan bantuan aplikasi *Match3!* untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari sampel dengan teknik pencocokan database struktur.

3.6.2 Analisis Gugus Fungsi Menggunakan FTIR

Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mendeteksi gugus fungsi, senyawa dan menganalisis campuran dari sampel. Data yang diperoleh berupa grafik yang menginformasikan data gugus fungsi. Data tersebut kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui pengaruh variasi suhu kalsinasi.

Tabel 3.1 Contoh Hasil Pengujian Menggunakan FTIR

No.	Sampel	Bilangan Gelombang (1/cm)	Gugus Fungsi
1.	MnO ₂ -rGO TK		
2.	MnO ₂ -rGO 400 °C		
3.	MnO ₂ -rGO 450 °C		
4.	MnO ₂ -rGO 500 °C		
5.	MnO ₂ -rGO 550 °C		
6.	MnO ₂ -rGO 600°C		

3.6.3 Analisis Energi Band Gap Menggunakan UV-Vis

Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah data pengujian sifat fisis. Analisa data dilakukan dengan menggunakan data pengujian UV-Vis untuk mengetahui nilai energi gap dari sampel. Cara menganalisa data meliputi:

1. Hasil uji spektrofotometer UV-Vis berupa spektrum absorpsi dan panjang gelombang
2. Data panjang gelombang (λ) digunakan untuk mencari photon energy ($h\nu$) dengan menggunakan persamaan :

$$h\nu = 1240/\lambda \quad (3.1)$$

3. Data absorbansi (A) digunakan untuk mengetahui nilai α pada persamaan:

$$\alpha = 2,303 \times A \quad (3.2)$$

4. Data α dan $h\nu$ kemudian dimasukkan kedalam persamaan band gap direct dan indirect. Pada band gap direct:

$$(\alpha h\nu)^2 \quad (3.3)$$

5. Pada band gap indirect:

$$(\alpha h\nu)^{1/2} \quad (3.4)$$

6. Dibuat plot grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(\alpha h\nu)^2$ untuk band gap direct dan plot grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(\alpha h\nu)^{1/2}$ untuk band gap indirect.

Tabel 3.2 Contoh Tabel Data Hasil Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis.

Sampel	Energi Gap Direct (eV)	Energi Gap Indirect (eV)
MnO ₂ -rGO TK		
MnO ₂ -rGO 400°C		
MnO ₂ -rGO 450°C		
MnO ₂ -rGO 500°C		
MnO ₂ -rGO 550°C		
MnO ₂ -rGO 600°C		

3.6.4 Analisis Aktivitas Fotokatalis Menggunakan Spektrofotometer UV

Hasil dari pengukuran aktivitas fotokatalis menggunakan reaktor fotokatalis adalah degradasi pewarna tekstil rhodamin-B yang dievaluasi dengan mengukur nilai absorbansinya menggunakan variasi waktu pengambilan (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit).

Tabel 3.3 Contoh Tabel Data Hasil Aktivitas Fotokatalis

Menit ke-	Hasil Perhitungan Konsentrasi (ppm)					
	TK	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
0						
30						
60						
90						
120						
150						
180						

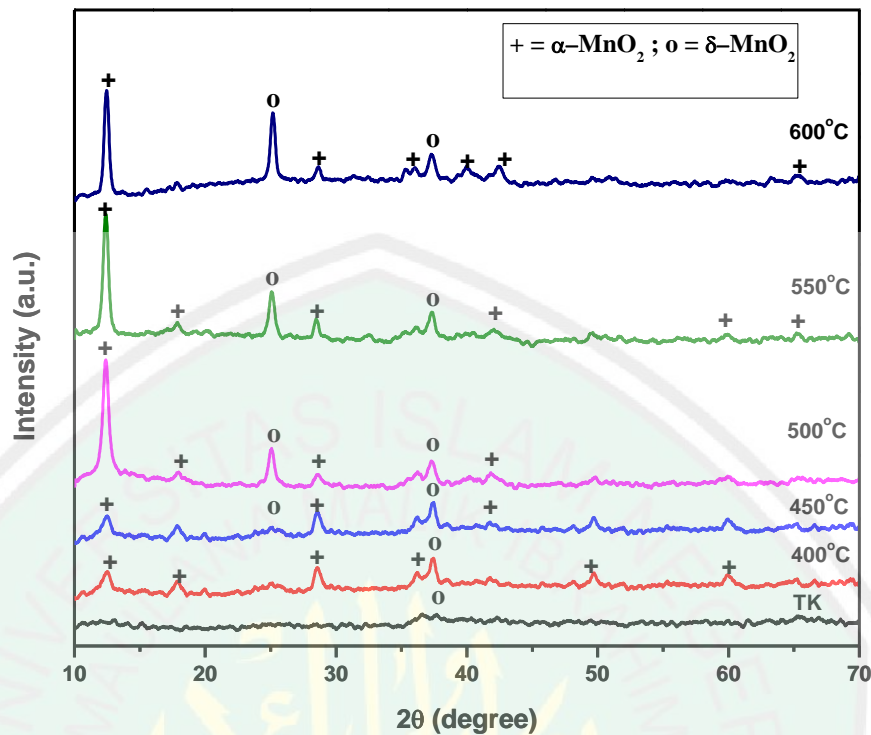
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini dibuat material $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ menggunakan KMnO_4 , $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ dan GO. Metode yang digunakan yaitu sol-gel dengan variasi temperatur kalsinasi tanpa kalsinasi, 400°C , 450°C , 500°C , 550°C dan 600°C .

Tahap pertama yang dilakukan yaitu 0,158 gr GO dilarutkan dalam 200 ml aquades, lalu disonikasi selama 30 menit untuk mereduksi ukuran partikel. Selanjutnya 3,002 gr KMnO_4 dicampurkan menggunakan magnetic stirrer selama 15 menit dengan kecepatan 250 rpm dalam suhu kamar, lalu $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ dimasukkan secara perlahan dan diaduk selama 1 jam hingga menjadi sol. Sampel didiamkan selama 1 jam agar terbentuk gel, kemudian disaring dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 jam. Tahapan terakhir, sampel dikalsinasi pada variasi temperatur (tanpa kalsinasi, 400°C , 450°C , 500°C , 550°C dan 600°C) selama 3 jam untuk meningkatkan kristalinitas serbuk $\text{MnO}_2\text{-rGO}$.

Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh November. Gelombang yang digunakan yaitu Cu_K-alpha 1,54 Å dengan rentang pengukuran 2θ $10^\circ\text{-}70^\circ$. Hasil pengujian XRD berupa grafik intensitas terhadap sudut difraksi dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Difraktogram Sampel $\text{MnO}_2\text{-rGO}$

Pada gambar 4.1 pola difraksi sampel $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ yang menunjukkan bahwa dengan bertambahnya temperatur kalsinasi yang digunakan menyebabkan peningkatan puncak intensitas. Sampel tanpa kalsinasi tidak terlihat puncak yang signifikan, hal tersebut menunjukkan bahwa sampel berupa amorf. Pada temperatur 400°C puncak yang diperoleh semakin meningkat hingga temperatur 600°C. Untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada variasi temperatur kalsinasi dilakukan analisis menggunakan program *Match!3*. Didapatkan beberapa fase yang terbentuk dalam sampel yaitu $\alpha\text{-MnO}_2$ dan $\delta\text{-MnO}_2$. $\alpha\text{-MnO}_2$ terdapat pada 2θ 12°, 17°, 28°, 36°, 39°, 41°, 42°, 49°, 59° dan 65° berdasarkan data JCPDS 44-0141 (Chhabra et al, 2019; Gautam et al, 2016). $\delta\text{-MnO}_2$ hanya terdapat pada 2θ 25°, 37° berdasarkan data JCPDS 80-1098 (Saroyan et al, 2019). Pada sampel tanpa kalsinasi kalsinasi

fasa yang terbentuk hanya δ saja. Pada temperatur kalsinasi 450°C mulai terbentuk fasa α .

Dari data XRD dapat dihitung rata-rata ukuran kristal untuk mengetahui pengaruh temperatur kalsinasinya. Dilakukan perhitungan menggunakan persamaan Debye Scherrer sesuai dengan persamaan 4.2 sebagai berikut :

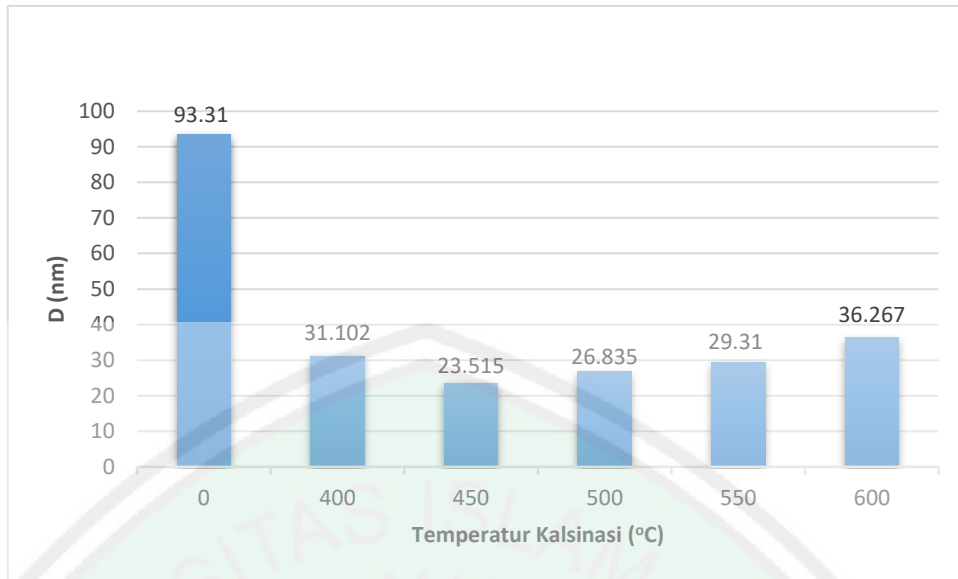
$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \quad 4.2$$

Dimana D adalah ukuran kristal (\AA), K adalah konstanta dimensi kristal (untuk dimensi kristal 3D = 0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan dalam uji XRD yaitu 1.54056 \AA , B adalah lebar $\frac{1}{2}$ puncak pada difratogram (FWHM) dan θ adalah posisi sudut terbentuknya puncak. Hasil perhitungan rata-rata ukuran kristal pada sampel tanpa kalsinasi (TK) dan variasi temperatur kalsinasi ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Rata-Rata Ukuran Kristal MnO₂-rGO

Sampel MnO ₂ -rGo	D (nm)
TK	93,31
400 °C	31,102
450 °C	23,515
500 °C	26,835
550 °C	29,310
600 °C	36,267

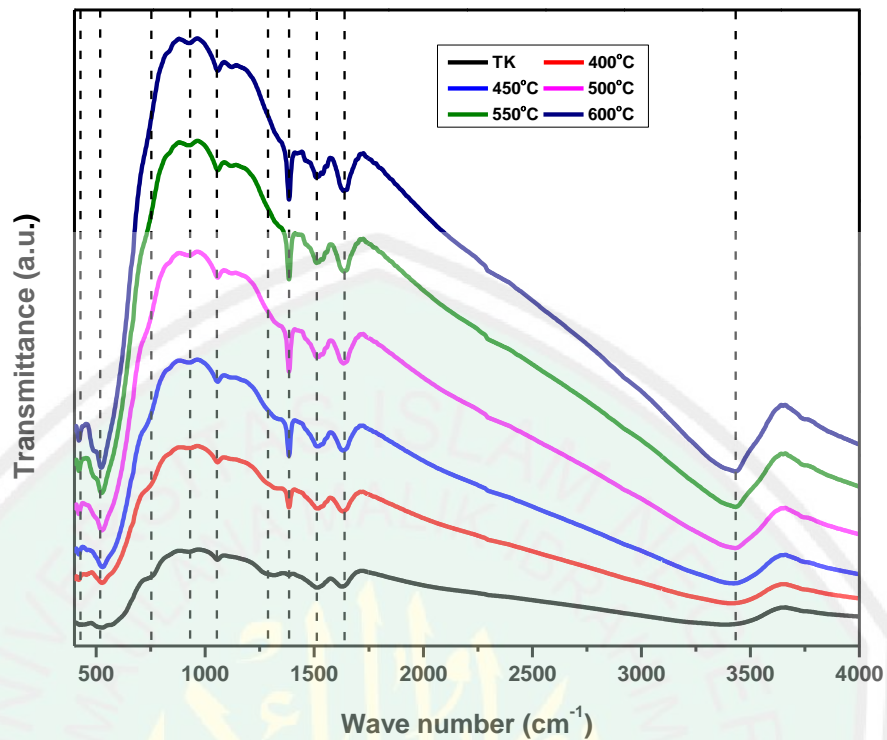
Dari hasil perhitungan dibuat grafik untuk memperjelas rata-rata ukuran kristal MnO₂-rGO pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Rata-Rata Ukuran Kristal MnO₂-rGO

Gambar 4.2 menunjukkan penurunan rata-rata ukuran kristal. Rata-rata ukuran kristal terkecil terdapat pada temperatur 450°C yaitu 23,515 nm. Semakin tinggi tempertur menyebabkan rata-rata ukuran kristal meningkat.

Fasa rGO tidak terlihat dari uji XRD, sehigga dilakukan pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dari setiap sampel. Data hasil yang digunakan adalah panjang gelombang dan transmitansi. Panjang gelombang dari FTIR menunjukkan vibrasi struktur kimia yang terkandung dalam sampel, sedangkan transmitansi menunjukkan korelasi linier dengan variasi komposisi dari sampel. Grafik hasil pengujian gugus fungsi disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik FTIR MnO₂-rGO

Spektrum FTIR MnO₂-rGO dengan variasi temperatur kalsinasi terdapat pada panjang gelombang antara 400cm⁻¹ - 4000cm⁻¹. Hasil pembacaan spektrum menggunakan FTIR disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Gugus Fungsi Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi

TK	Bilangan Gelombang (1/cm)					Gugus Fungsi
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	
429,897	419,165	419,165	421,124	422,297	421,175	Mn-O
529,452	526,820	531,243	521,963	520,682	518,361	Mn-O
923,337	932,027	929,727	925,894	922,061	925,894	C-H
1055,719	1059,025	1057,689	1056,984	1060,051	1058,462	C-H
1315,636	1383,953	1383,804	1384,233	1383,892	1386,425	C-O
1510,811	1517,717	1521,474	1508,341	1523,850	1513,884	C=C
1627,247	1648,801	1636,457	1649,754	1650,042	1649,928	C=C
3386,618	3431,629	3442,903	3434,160	3434,675	-	O-H

Berdasarkan tabel 4.2 nanokomposit MnO₂-rGO dengan variasi temperatur kalsinasi menunjukkan bahwa sampel memiliki gugus fungsi dan puncak-puncak

transmitansi yang hampir sama. Puncak transmitansi pada gugus fungsi Mn-O pada bilangan gelombang 419-531 menunjukkan adanya MnO₂ pada sampel (Wang et al, 2007). Gugus fungsi C-H terdeteksi pada bilangan gelombang 923-1059 cm⁻¹ menunjukkan adanya keratin pada sampel (Sun et al, 2017). Gugus fungsi C-O terdapat pada bilangan gelombang 1315-1386 cm⁻¹ menunjukkan adanya keratin (Saravana et al, 2017). Gugus fungsi C=C menyatakan terdapat vibrasi karbon pada bilangan gelombang 1508-1650 cm⁻¹ serta menunjukkan adanya rGO (Fathia, 2018). Dan gugus fungsi O-H terdapat pada setiap sampel, tetapi menguap pada temperatur 600°C (Yugambica 2017).

Penentuan nilai band gap pada nanokomposit MnO₂-rGO dilakukan menggunakan pengujian UV-Vis. Data yang diperoleh berupa nilai panjang gelombang (λ) dan absorbansi (A) kemudian dimasukkan kedalam persamaan 4.3 - 4.6:

$$hv = \frac{1240}{\lambda} \quad 4.3$$

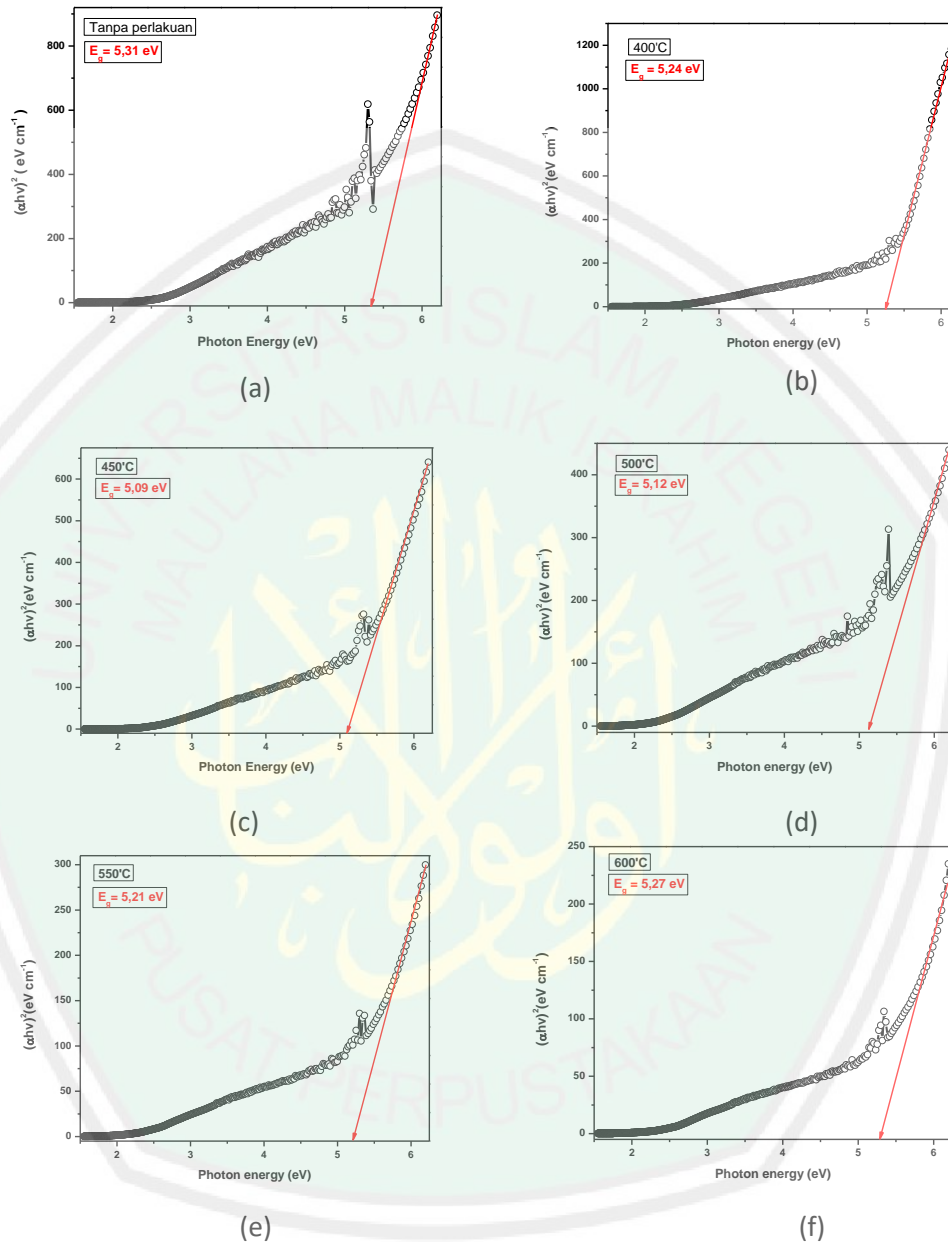
$$\alpha = 2,303 \times A \quad 4.4$$

$$Direct = (\alpha hv)^2 \quad 4.5$$

$$Indirect = (\alpha hv)^{1/2} \quad 4.6$$

Setelah data dimasukkan ke dalam persamaan 4.3 – 4.6, selanjutnya dibuat plot grafik hubungan antara hv dengan $(\alpha hv)^2$ untuk energi gap *direct* dan hv dengan $(\alpha hv)^{1/2}$ untuk *indirect*. Masing-masing plot grafik akan menunjukkan garis lurus pada daerah tertentu. Ekstrapolasi dari garis lurus tersebut yang akan mengintersepsi pada sumbu hv untuk memberikan nilai energi gap dari sampel. Energi foton yang menunjukkan nilai dibawah 6 menandakan bahwa sampel termasuk bahan semikonduktor. Semikonduktor memiliki 2 kasifikasi energi gap,

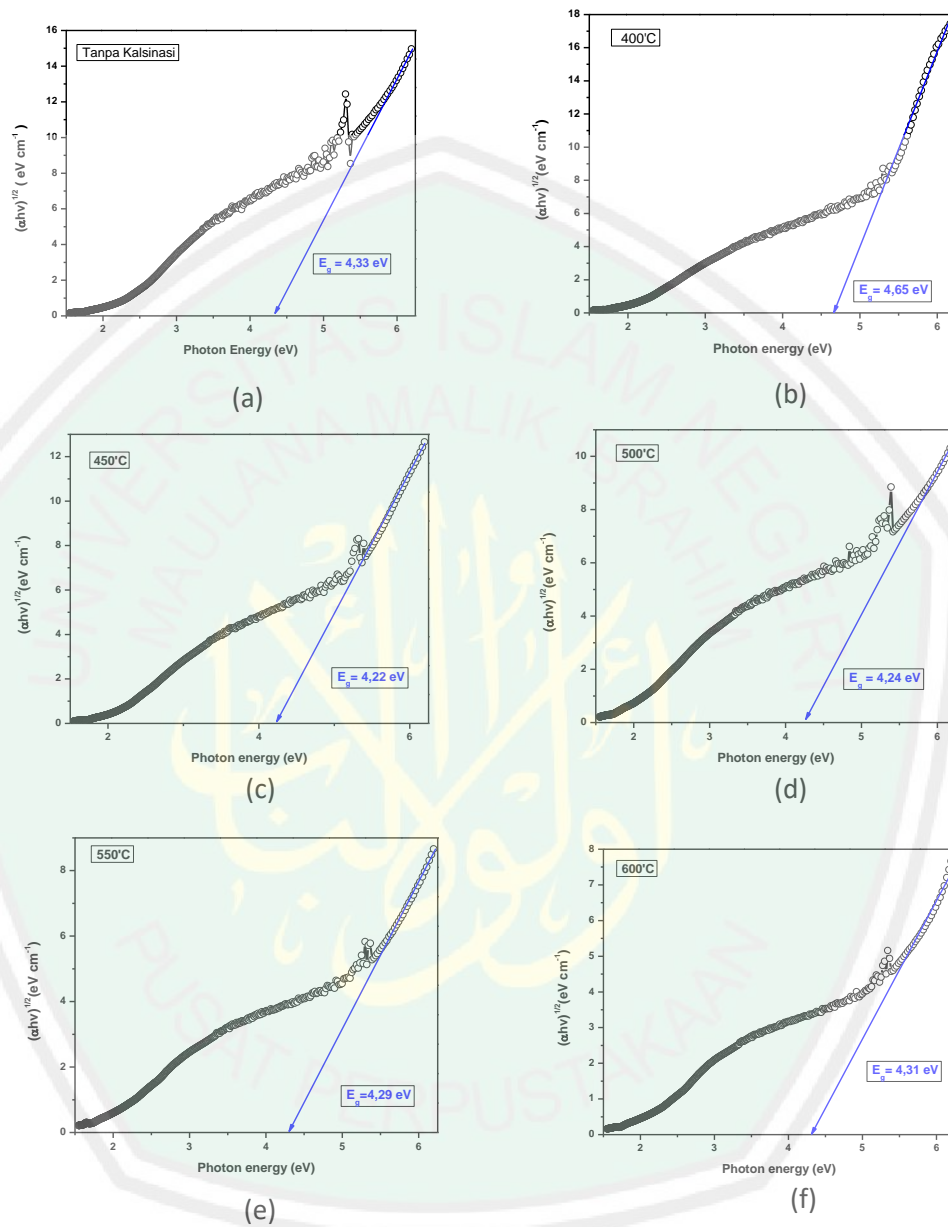
direct dan indirect. Plot band gap direct dan indirect dapat dilihat pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4 Plot $(\alpha h\nu)^2$ sebagai fungsi energi foton untuk menentukan energi gap direct $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ dengan variasi temperatur kalsinasi (a) tanpa kalsinasi (b) 400 °C (c) 450 °C (d) 500 °C (e) 550 °C (f) 600 °C.

Garis ekstrapolasi ditunjukkan dengan warna merah. Garis ditarik pada sumbu x untuk mengetahui nilai band gap. Nilai energi gap direct terendah sampel

MnO₂-rGO pada temperatur kalsinasi 500 °C dan tertinggi pada temperatur 600 °C, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3.



Gambar 4.5 Plot $(\alpha h\nu)^{1/2}$ sebagai fungsi energi foton untuk menentukan energi gap indirect MnO₂-rGO dengan variasi temperatur kalsinasi (a) tanpa kalsinasi (b) 400°C (c) 450°C (d) 500°C (e) 550°C (f) 600°C.

Plot pada gambar 4.5 menunjukkan energi gap indirect optik pada sampel karbon. Nilai $(\alpha h\nu)^{1/2}$ pada indirect band gap lebih rendah dibanding direct band gap. Hal ini dipengaruhi oleh nilai $(\alpha h\nu)^n$ dimana n pada energi direct bernilai 2

dan indirect n bernilai $\frac{1}{2}$. Energi gap terendah pada indirect band gap juga dimiliki oleh sampel MnO₂-rGO pada temperatur 500 °C. Nilai energi gap direct dan indirect seluruh sampel dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Band Gap Direct Dan Indirect Sampel

Sampel	Energi Gap Direct (eV)	Energi Gap Indirect (eV)
MnO ₂ -rGO TK	5.26	4.24
MnO ₂ -rGO 400°C	5.20	4.68
MnO ₂ -rGO 450°C	5.09	4.22
MnO ₂ -rGO 500°C	5.12	4.24
MnO ₂ -rGO 550°C	5.21	4.30
MnO ₂ -rGO 600°C	5.43	4.53

Pengujian aktivitas fotokatalis menggunakan reaktor fotokatalis dengan sumber cahaya berasal dari lampu UV. Luas ukuran reaktor fotokatalis sebesar 0,16 m² dengan intensitas lampu UV yang digunakan sebesar 119 lux. Larutan Rhodamin B yang telah di degradasi dengan katalis diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer (*Visible Spectrofotometer*, AMTAST AMV01). Hasil dari absorbansi digunakan untuk mencari nilai persentase degradasi dan konsentrasi pewarna tekstil Rhodamin-B.

Langkah pertama yang dilakukan dalam aktivasi fotokatalis yaitu membuat larutan standart pewarna Rhodamin-B dari konsentrasi 15 ppm, 10 ppm, 8 ppm, 5 ppm dan 3 ppm. Selanjutnya absorbansi dari larutan standart digunakan untuk mendapatkan kurva standart dengan nilai regresi yang berupa persamaan 4.7 - 4.8, yaitu:

$$y = 0,1791x - 0,0397 \quad 4.7$$

$$x = \frac{y+0,0397}{0,1791} \quad 4.8$$

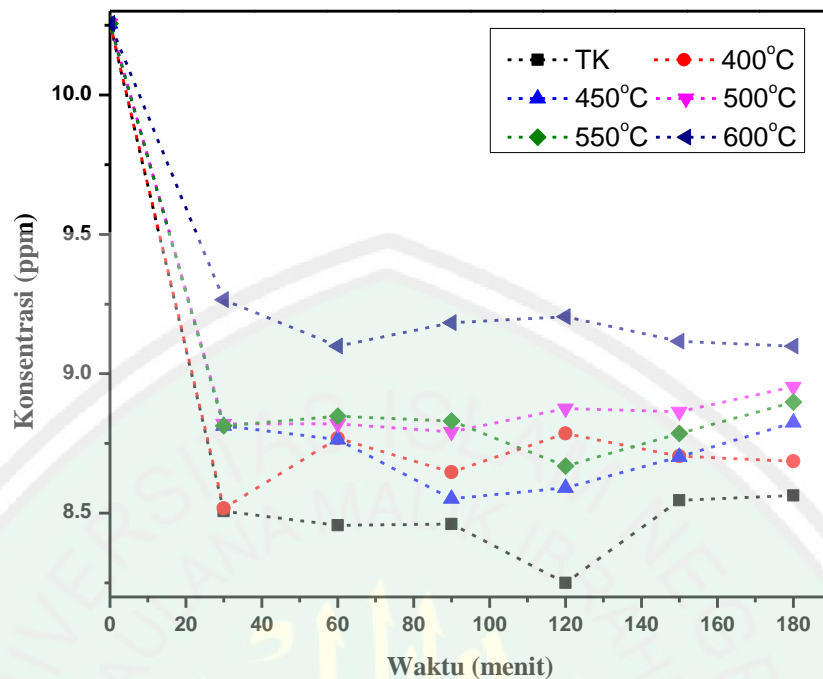
Dimana x merupakan konstansi larutan, sedangkan y adalah absorbansi larutan.

Langkah selanjutnya pada aktivitas fotokatalis dilakukan proses degradasi pada rhodamin b 10 ppm sebanyak 100 ml menggunakan katalis 0.05 gr serbuk $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ selama 180 menit dengan pengambilan sampel setiap 30 menit. Pengujian tersebut dilakukan dua tahap yaitu, pengujian sampel pewarna tekstil Rhodamin-B dengan lampu UV dan tanpa lampu. Konsentrasi pewarna tekstil diketahui dari nilai absorbansi dengan menggunakan persamaan 4.7 – 4.8.

Tabel 4.4 Hasil Penurunan Konsentrasi Pewarna Tekstil Rhodamin B Tanpa Disinari Lampu UV

Menit ke-	Penurunan Konsentrasi (ppm)					
	TK	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
0	10.255	10.255	10.255	10.255	10.255	10.255
30	8.568	8.825	8.814	8.82	8.814	9.266
60	8.457	8.769	8.764	8.82	8.848	9.099
90	8.462	8.647	8.552	8.792	8.831	9.183
120	8.25	8.786	8.591	8.876	8.669	9.205
150	8.546	8.705	8.702	8.864	8.786	9.116
180	8.563	8.686	8.825	8,954	8.898	9.099

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa, material $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ dengan variasi temperatur tanpa kalsinasi, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C dan 600 °C dapat mendegradasi zat warna Rhodamin-B tanpa disinari lampu UV mencapai 8.25 ppm, 8.64 ppm, 8.55 ppm, 8.79 ppm, 8.83 ppm dan 9.09 ppm secara berturut-turut. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



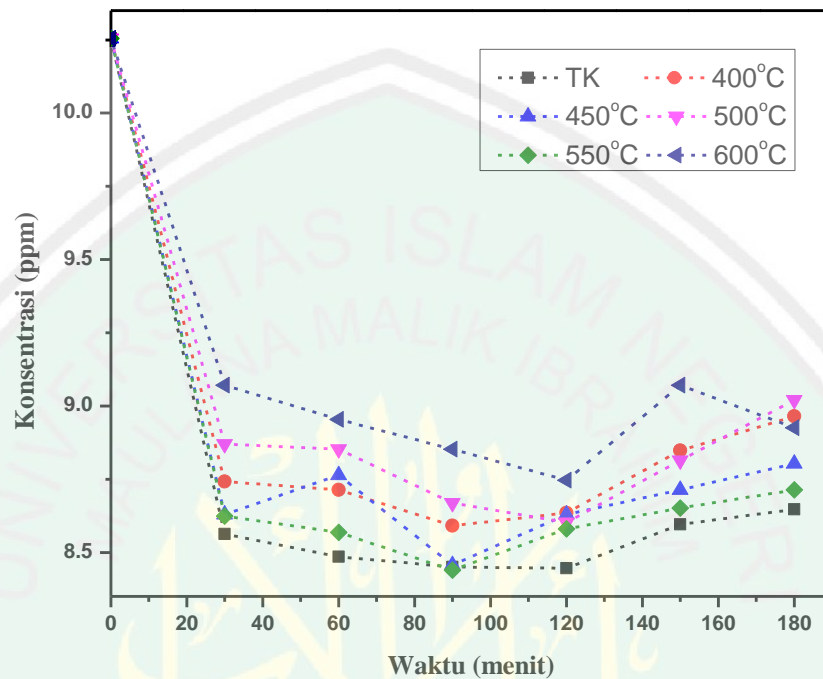
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Waktu Fotokatalis Terhadap Penurunan Konsentrasi Rhodamin-B MnO₂-rGO Menggunakan Variasi Temperatur Kalsinasi Tanpa Disinari Lampu UV

Tabel 4.5 Hasil Penurunan Konsentrasi Pewarna Tekstil Rhodamin B Dengan Disinari Lampu UV

Menit ke-	Penurunan Konsentrasi (ppm)					
	TK	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
0	10.255	10.255	10.255	10.255	10.255	10.255
30	8.563	8.742	8.63	8.87	8.624	9.071
60	8.485	8.714	8.764	8.853	8.568	8.954
90	8.451	8.591	8.457	8.669	8.44	8.853
120	8.446	8.635	8.63	8.602	8.58	8.747
150	8.596	8.848	8.714	8.814	8.652	9.071
180	8.647	8.965	8.803	9.021	8.714	8.926

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa, material MnO₂-rGO dengan variasi temperatur tanpa kalsinasi, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C dan 600 °C dapat mendegradasi zat warna Rhodamin-B dengan disinari lampu UV mencapai 8.44

ppm 8.59 ppm, 8.45 ppm, 8.60 ppm, 8.44 ppm dan 8.85 ppm secara berturut-turut. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Waktu Fotokatalis Terhadap Nilai Konsentrasi Rhodamin-B MnO_2 -rGO Menggunakan Variasi Temperatur Kalsinasi Dengan Disinari Lampu UV

Absorbansi yang didapatkan, selain digunakan menghitung konsentrasi pewarna tekstil juga dapat digunakan menghitung efisiensi fotokatalis pewarna dalam bentuk persen (%) dengan menggunakan persamaan 4.8:

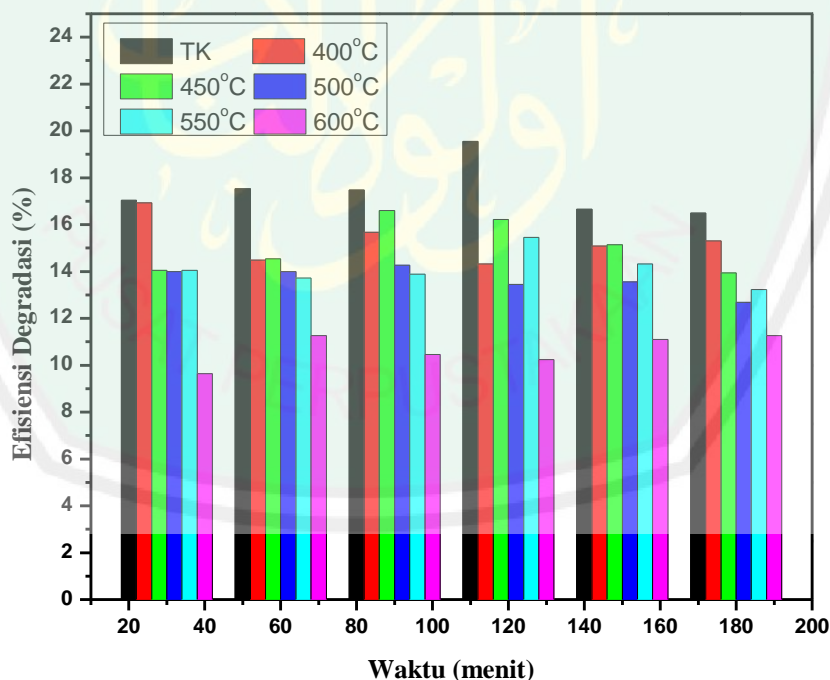
$$\eta = \frac{c_0 - ct}{c_0} \times 100\% \quad 4.8$$

dengan η adalah efisiensi, c_0 adalah absorbansi awal sebelum diuji aktivasi fotokatalis dan ct adalah absorbansi akhir setelah diuji aktivasi fotokatalis. Hasil perhitungan efisiensi aktivasi fotokatalis ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Tanpa Disinari Lampu UV

Menit ke-	Hasil Uji Efisiensi Fotokatalis (%)					
	TK	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
30	16.442	13.938	14.046	13.992	14.046	9.636
60	17.531	14.482	14.5369	13.992	13.72	11.27
90	17.477	15.68	16.605	14.264	13.883	10.453
120	19.545	14.319	16.224	13.448	15.462	10.235
150	16.66	15.081	15.135	13.556	14.319	11.106
180	16.496	15.299	13.938	12.685	13.23	11.27

Hasil uji absorbansi tanpa disinari lampu UV yang ditunjukkan pada tabel 4.6 menyatakan bahwa, efisiensi $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ variasi temperatur yaitu tanpa kalsinasi, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C dan 600°C adalah 19.54%, 16.93%, 16.6%, 14.26%, 15.46 % dan 11.27% sehingga efisiensi tertinggi pada tanpa temperatur kalsinasi. Seperti yang tertera pada gambar 4.8.

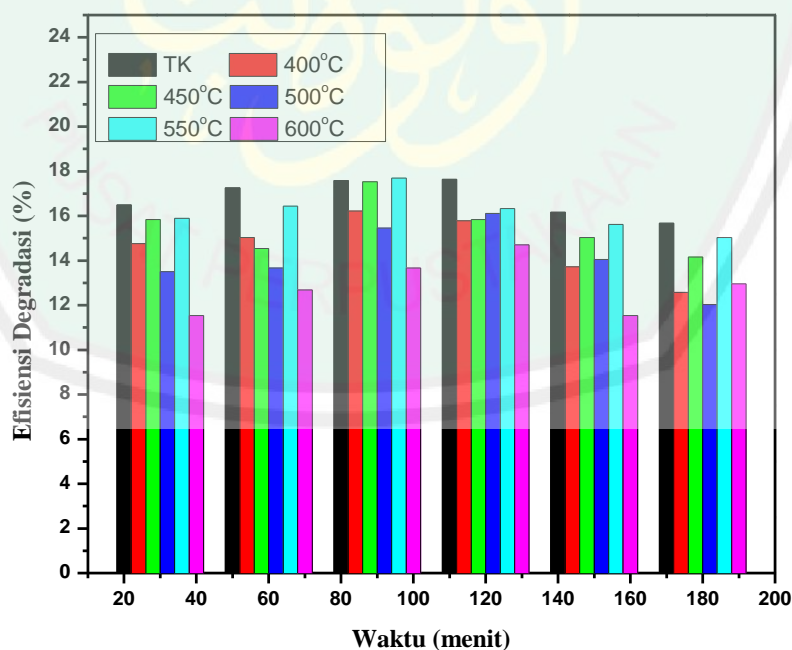


Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Tanpa Disinari Lampu UV

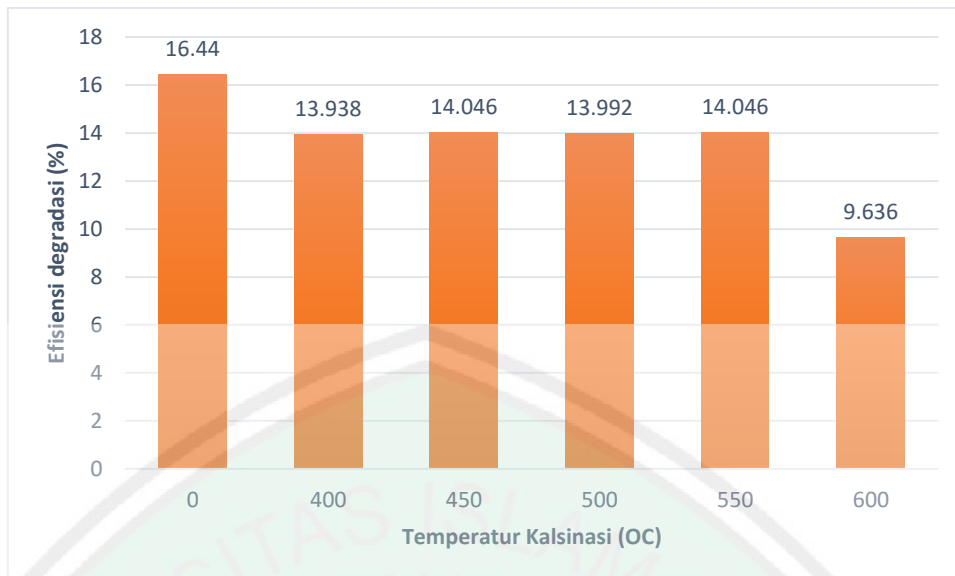
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Dengan Disinari Lampu UV

Menit ke-	Hasil Uji Efisiensi Fotokatalis (%)					
	TK	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
30	16.51	14.754	15.843	13.5	15.9	11.54
60	17.26	15.026	14.536	13.67	16.44	12.69
90	17.59	16.224	17.531	15.46	17.69	13.67
120	17.64	15.789	15.843	16.12	16.33	14.7
150	16.17	13.72	15.026	14.05	15.63	11.54
180	15.68	12.576	14.155	12.03	15.03	12.96

Hasil uji absorbansi dengan disinari lampu UV yang ditunjukkan pada tabel 4.7 menyatakan bahwa, efisiensi $\text{MnO}_2\text{-rGO}$ variasi temperatur yaitu tanpa kalsinasi, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C dan 600°C adalah 17.64%, 16.22%, 17.53%, 16.12%, 17.69 % dan 14.7% sehingga efisiensi tertinggi pada tanpa temperatur kalsinasi. Seperti yang tertera pada gambar 4.9.

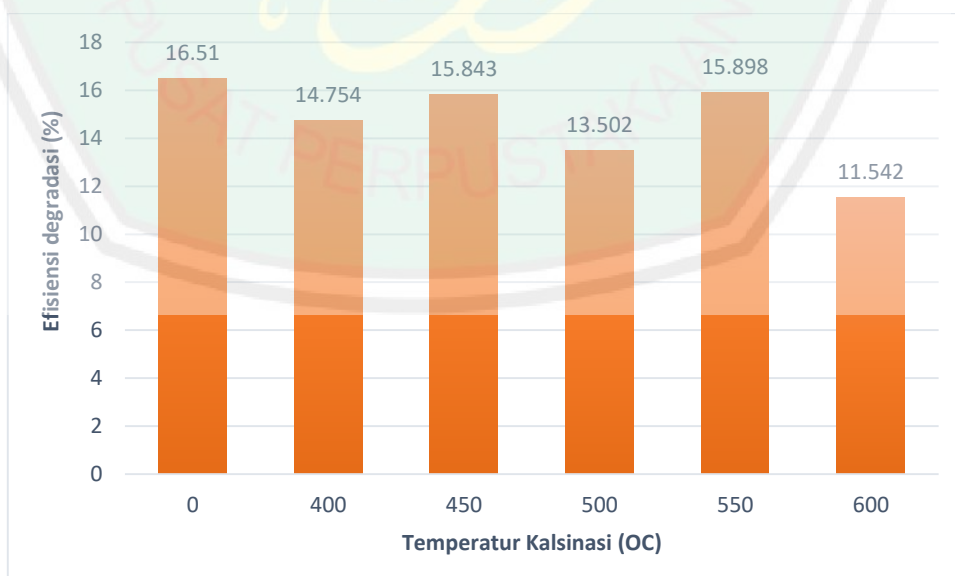


Gambar 4.9 Grafik Efisiensi Aktivitas Fotokatalis Pada Pewarna Tekstil Rhodamin B Dengan Disinari Lampu UV



Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Efisiensi Degradasi Rhodamin B Pada Kondisi Gelap

Gambar 4.10 memaparkan data mengenai pengaruh variasi temperatur terhadap efisiensi degradasi rhodamin b pada waktu 30 menit. Dari grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa variasi temperatur mempengaruhi efisiensi degradasi dari setiap sampel. Semakin tinggi temperatur kalsinasi yang digunakan maka semakin rendah nilai efisiensi degradasi yang didapatkan. Dimana efisiensi degradasi tertinggi terdapat pada sampel tanpa kalsinasi, yaitu 16.44 %.



Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Efisiensi Degradasi Rhodamin B Pada Kondisi Terang

Gambar 4.11 memaparkan data mengenai pengaruh variasi temperatur terhadap efisiensi degradasi rhodamin b pada waktu 30 menit. Dari grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa variasi temperatur mempengaruhi efisiensi degradasi dari setiap sampel. Semakin tinggi temperatur kalsinasi yang digunakan maka semakin rendah nilai efisiensi degradasi yang didapatkan. Dimana efisiensi degradasi tertinggi terdapat pada sampel tanpa kalsinasi, yaitu 16.51 %.

4.2. Pembahasan

Aktivitas fotokatalis merupakan proses degradasi limbah zat warna berbahaya, salah satunya adalah Rhodamin-B yang banyak digunakan dalam pewarna kain. Fotodegradasi dilakukan dengan menggunakan bahan semikonduktor MnO_2 -rGO sebagai katalis. MnO_2 -rGO dibuat dalam bentuk serbuk yang disintesis menggunakan metode sol-gel dengan variasi temperatur kalsinasi 400°C , 450°C , 500°C , 550°C dan 600°C .

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa material MnO_2 -rGO menggunakan variasi temperatur kalsinasi memiliki dua fasa. Fasa yang terbentuk yaitu α - MnO_2 dan δ - MnO_2 sesuai dengan JCPDS 44-0141 dan 80-1098. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi MnO_2 tersebar merata dan bereaksi dengan baik.

Secara umum, variasi temperatur kalsinasi menyebabkan pergeseran puncak-puncak difraksi seperti gambar 4.1. Pergeseran puncak dapat terjadi akibat adanya cacat (*vacancy*) pada sampel. Pada temperatur kalsinasi 600°C memiliki nilai intensitas tertinggi dan FWHM paling kecil. Hal ini disebabkan pada temperatur tinggi panas yang tersimpan semakin besar, sehingga energi yang dimiliki oleh atom meningkat dan menyebabkan atom dapat bergerak.

Pengaruh variasi temperatur kalsinasi juga menyebabkan perubahan nilai FWHM. Semakin kecil nilai FWHM semakin baik kualitas kristal, sehingga *strain*

pada sampel semakin kecil (Rietveld, 1969). Pada spektrum XRD diketahui bahwa, semakin tinggi temperatur kalsinasi yang digunakan maka dapat meningkatkan nilai FWHM dari setiap sampel. Adanya pelebaran FWHM juga menunjukkan bahwa terjadi cacat kristal pada sampel. Nilai FWHM digunakan untuk mengidentifikasi rata-rata ukuran kristal pada setiap sampel. Ukuran kristal yang diperoleh telah dipaparkan pada tabel 4.1. Dimana rata-rata ukuran kristal yang diperoleh naik turun. Rata-rata ukuran kristal terkecil terdapat pada sampel 450°C dan tertinggi tanpa kalsinasi yaitu, 23.515 dan 93.31.

Fasa rGO tidak terdeteksi pada hasil XRD karena termasuk material yang amorf, sehingga dilakukan pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR. Analisa data FTIR menunjukkan bahwa variasi temperatur kalsinasi MnO₂-rGO memiliki gugus fungsi yaitu Mn-O, C-H, C-O, C=C dan O-H. Gugus fungsi Mn-O menyatakan bahwa semua sampel mengandung MnO₂. Variasi temperatur kalsinasi dapat mempengaruhi pita serapan pada sampel MnO₂-rGO. Gugus fungsi C=C pada bilangan gelombang 1508-1650 cm⁻¹ menunjukkan bahwa sampel merupakan rGO (Fathia, 2018). Pada gugus fungsi O-H terdeteksi bahwa semakin tinggi temperatur maka gugus tersebut hilang karena terjadi penguapan.

Setelah diperoleh data XRD dan FTIR dapat diketahui bahwa material yang telah disintesis merupakan nanokomposit MnO₂-rGO. Menurut Sun (2017) MnO₂ merupakan material semikonduktor. Hasil analisis UV-Vis dapat menunjukkan bahwa sampel MnO₂-rGO dengan variasi temperatur kalsinasi merupakan material semikonduktor, seperti yang sudah tertera pada tabel 4.3. Naiknya temperatur 400°C ke 450°C dapat memperkecil energi gap *direct* maupun *indirect*. Menurunnya energi gap dikarenakan peningkatan temperatur kalsinasi juga

mengakibatkan rata-rata ukuran kristal menurun pada sampel, serta naiknya energi gap pada temperatur 500°C ke 600°C dikarenakan adanya cacat kristal yang terbentuk.

Berdasarkan perhitungan nilai band gap yang diperoleh, menunjukkan bahwa MnO₂-rGO merupakan material semikonduktor dan dapat efektif digunakan sebagai katalis pada pengujian aktivitas fotokatalis. Hasil uji aktivitas fotokatalis MnO₂-rGO dilakukan dengan dua tahap, yaitu terang dan gelap. Tahap terang yaitu sampel disinari dengan lampu UV dan gelap sampel tidak disinari dengan lampu UV. Pada gambar 4.10 dan 4.11 merupakan grafik pengambilan larutan pada waktu 30 menit sudah dapat terdeteksi, dan dengan penambahan waktu hasilnya tidak berubah secara signifikan. Hasil efisiensi yang diperoleh menunjukkan bahwa sampel tanpa kalsinasi memiliki efisiensi yang tinggi pada kondisi gelap dan terang, yaitu 16.44 dan 16.51 %. Secara keseluruhan dari hasil perhitungan efisiensi pada sampel tanpa kalsinasi mempunyai nilai yang besar dan lebih baik ketika disinari dengan lampu uv, dikarenakan sampel tersebut mempunyai fasa δ -MnO₂ yang amorf. Sehingga mempunyai peluang lebih besar untuk lebih efisien dalam mendegradasi rhodamin b.

Fotokatalis merupakan salah satu upaya pendegradasian limbah berbahaya yang dapat mengancam ekosistem lingkungan menjadi limbah ramah lingkungan dengan bantuan cahaya dan katalis berupa bahan semikonduktor. Dalam proses fotokatalis memanfaatkan cahaya sebagai pemicu terjadinya reaksi dan katalis semikonduktor berupa MnO₂-rGO bahan alam yang ramah lingkungan. Allah telah menciptakan matahari dengan sinarnya beserta bahan alam yang memiliki fungsi dan diharapkan manusia dapat mempelajari akan ciptaan-Nya agar dapat

dimanfaatkan dengan baik. Berbagai ciptaan tersebut diberikan untuk manusia sebagai nikmat dan memikirkannya, maka manusia dapat bersyukur kepada-Nya. Disamping itu Allah SWT menyeru manusia untuk mensyukuri atas nikmat-Nya, sebagaimana yang telah dijelaskan dalam firman Allah QS. Al-Jasyiah (45): 13:

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِنْهُ ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ {13}

“Dia telah menundukkan utukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir” (QS. Al-Jasyiah (45): 13).

Dalam surah Jasyiah ayat 13, Allah berfirman tentang nikmat yang ada di langit dan bumi, ayat ini menyatakan bahwasannya Allah menundukkan semua kenikmatan sebagai rahmat-Nya bagi manusia yang mau berpikir. Walau demikian manusia masih yang tidak mensyukuri dan merusak atas nikmat-Nya, dengan merusak atau mencemari lingkungan tanpa memperdulikan dampak dari perbuatannya. Bentuk rasa syukur tersebut dapat berupa pemanfaatan ciptaan Allah yang ada di langit dan bumi dijalan yang benar dan baik bagi kehidupan makhluk hidup dan alam. Pada pembuatan fotokatalis, peneliti memanfaatkan material MnO₂-rGO sebagai katalis untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sinar UV yang merupakan konsep dari sinar matahari dan digunakan sebagai pendegradasi limbah berbahaya bagi lingkungan menjadi limbah yang lebih ramah lingkungan khususnya pada pencemaran air. Hal tersebut menunjukkan bahwasannya adanya upaya pemanfaatan terhadap ciptaan Allah SWT. Seperti firman Allah dalam QS. As-Shaad ayat 27:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ۗ ذَلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا ۗ فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ {27}

“Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka.” (QS. Shaad: 27).

Dari ayat tersebut menjelaskan bahwa nikmat Allah akan hikmah yang diberikan kepada manusia amat lah besar. Sebagai manusia yang berakal haruslah mensyukuri nikmat tersebut dan memanfaatkannya pada jalan yang benar serta mempelajari dari manfaat dan dampaknya bagi makhluk hidup maupun terhadap alam. Hal tersebut merupakan salah satu bentuk tindakan rasa tanggung jawab manusia sebagai khalifatullah fi al'ardh atau wakil Allah yang ditugaskan untuk menjaga, mengelola, melindungi dan memanfaatkan secara lestari demi kemaslahatan manusia serta makhluk hidup lainnya.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Variasi temperatur pada proses kalsinasi berpengaruh pada sifat fisis dari sampel. Fasa yang terbentuk pada sampel tanpa kalsinasi hanya δ -MnO₂, dan muncul α -MnO₂ mulai temperatur 400°C hingga 600°C. Nilai rata-rata ukuran kristal terkecil pada sampel 450°C yaitu 23.515 nm. Hasil FTIR menunjukkan bahwa rGO dapat diketahui pada bilangan gelombang 1508-1386 cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi C=C. Energi gap tertinggi dimiliki oleh sampel temperatur kalsinasi 600°C yaitu 5.43 eV yang menunjukkan sampel merupakan material semikonduktor dan baik untuk diaplikasikan sebagai katalis.
2. Variasi temperatur pada proses kalsinasi berpengaruh pada aktivitas fotokatalis. Nilai efisiensi degradasi tertinggi pada pengambilan 30 menit yaitu sampel tanpa kalsinasi 16.51% pada kondisi terang dengan fasa yang terbentuk hanya δ -MnO₂.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, pada proses aktivitas fotokatalis disarankan untuk mencoba pewarna limbah tekstil yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M Yudistira, V, Nirmin dan Khairurrijal. 2008. Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. Vol. 1, Pp. 33-57.
- Aguilar, G. Valverde. 2018. Introductory Chapter: A Brief Semblance of the Sol-Gel Method in Research. DOI: 10.5772/intechopen.82487.
- Al, Ali H. 2018. "Third Order Nonlinear Properties of Rhodamine B Dye Doped PVA Polymer Determined by Eclipsing Scan Technique." 11(2):8.
- Alam Syed N., Sharma N., Kumar L. 2017. Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO). *Graphene* (6) : 1-18.
- Ali, Gomaa A. M., Mashitah M. Yusoff, H. Algarni, and Kwok Feng Chong. 2018. "One-Step Electrosynthesis of MnO₂/rGO Nanocomposite and Its Enhanced Electrochemical Performance." *Ceramics International* 44(7):7799–7807. doi: 10.1016/j.ceramint.2018.01.212.
- Arutanti, Mikrajuddin, Khairurrijal, & Mahfudz. 2009. Penjernian Air dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO₂). *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. Edisi Khusus: 53-55.
- Bricker O., (1965). "The American Mineralogist pp." 1296.
- Chan, Yim-Leng, Swee-Yong Pung, Srimala Sreekantan, and Fei-Yee Yeoh. 2016. "Photocatalytic Activity of β-MnO₂ Nanotubes Grown on PET Fibre under Visible Light Irradiation." *Journal of Experimental Nanoscience* 11(8):603–18. doi: 10.1080/17458080.2015.1102342.
- Chhabra, Tripti, Ajay Kumar, Ashish Bahuguna, and Venkata Krishnan. 2019. "Reduced Graphene Oxide Supported MnO₂ Nanorods as Recyclable and Efficient Adsorptive Photocatalysts for Pollutants Removal." *Vacuum* 160:333–46. doi: 10.1016/j.vacuum.2018.11.053.
- Dewi, Rindu Laksmitha. 2018. "Pengaruh Variasi Konsentrasi H₂SO₄ Terhadap Karakteristik Material Graphene Oksida Tereduksi (rGO) Dari Bulu Ayam Dengan Metode Chemical Exfoliation." *Jurusan Fisika, UIN Malang*.
- Duarte, Filipa, V. Morais, F. J. Maldonado-Hódar, and Luis M. Madeira. 2013. "Treatment of Textile Effluents by the Heterogeneous Fenton Process in a Continuous Packed-Bed Reactor Using Fe/Activated Carbon as Catalyst." *Chemical Engineering Journal* 232:34–41. doi: 10.1016/j.cej.2013.07.061.
- Efelina, V. 2015. Kajian pengaruh konsentrasi urea dalam sifat optik nanofiber graphene oxide/PVA (Polyvinyl Alcohol) yang difabrikasi menggunakan

teknik electrospinning (Thesis Master). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

Eigler dan Dimiev. 2017. "Graphene Oxide: Fundamentals and Applications. First Edition." New York: John Wiley & Sons.

Elias, Suhaimi, and Zulkarnain Zainal. 2000. "Penyingkiran Fenol terlarut dalam air melalui fotodegradasi menggunakan Titanium Dioksida(TiO_2)." 6.

Ernawati, Lusi, Ruri Agung Wahyuono, Inggit Kresna Maharsih, Ade Wahyu Yusariarta, Andromeda Dwi Laksono, Christina Wahyu Kartikowati, and Asep Bayu Dani Nandiyanto. 2020. "Fotodegradasi Zat Pewarna Tekstil (Rhodamin B) Menggunakan Adsorben Berbasis Material Komposit Kalsium Titanate (CaTiO_3)." *Jurnal Teknik Kimia* 14(2):32–39. doi: 10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2023.

Fathia, Azka and WS. Brams, Dwandaru (2018) *Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide Terkombinasi Nanopartikel Perak Dalam Fase Cair*. S1 thesis, FMIPA.

Fatimah dan Karna. 2005. "Sintesis TiO_2 /Zeolit Sebagai Fotokatalis Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi Fotodegradasi." Lab Kimia jurusan Ilmu Kimia FMIPA UII Yogyakarta.

Gagrani, Ankita, Jingwei Zhou, and Takuya Tsuzuki. 2018. "Solvent Free Mechanochemical Synthesis of MnO_2 for the Efficient Degradation of Rhodamine-B." *Ceramics International* 44(5):4694–98. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.12.050.

Geim, A. K. dan Novoselov, K. S. 2007. "The rise of graphene. Nature Material. 6. 3." (183-191): 1476-1122.

Greenwood, N.N. dan Earnshaw, A., 1984." Chemistry on the Elements." Oxford: Pergamon Press.

Haryono, Haryono, Muhammad Faizal D, Christi Liamita N, and Atiek Rostika. 2018. "Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektroflotasi." *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)* 3(1):94. doi: 10.30870/educhemia.v3i1.2625.

Hasan, Kevino. 2016. "Pengolahan Limbah Tekstil Dengan Teknologi Membran." <https://www.researchgate.net/publication/303736772>

Hashemzadeh, Fatemeh, M. Mehdi Kashani Motlagh, and Amir Maghsoudipour. 2009. "A Comparative Study of Hydrothermal and Sol–Gel Methods in the Synthesis of MnO_2 Nanostructures." *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 51(2):169–74. doi: 10.1007/s10971-009-1978-2.

- Hindrayawati, N dan Alimuddin. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. Vol. 7, No. 2. Hlm. 75-77.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : UI Press.
- Kumar, Anurag, M. S. Aathira, Ujjwal Pal, and Suman L. Jain. 2018. "Photochemical Oxidative Coupling of 2-Naphthols Using a Hybrid Reduced Graphene Oxide/Manganese Dioxide Nanocomposite under Visible-Light Irradiation." *ChemCatChem* 10(8):1844–52. doi: 10.1002/cctc.201701470.
- Kusumawardani, R. 2008. "Pengaruh Surfaktan Dedosilamin Pada Sintesis Lempung Terpilar SiO₂/TiO₂ Serta Aplikasinya Fotokatalis Degradasi Rhodamin." Skripsi, Jurusan Kimia, FMIPA Undip, Semarang.
- Leksono, Vridayani Anggi. 2012. "Pengolahan Zat Warna Tekstil Rhodamine B Menggunakan Bentonit Terpilar Titanium Dioksida (TiO₂)." Jurusan Kimia, Universitas Airlangga.
- Lemmens dan Wulijarni-Suetjipto, 1999, *Sumber Daya Nabati Asia Tenggara No.3 "Tumbuhan Penghasil Pewarna Dan Tanin"*, Balai Pustaka, Jakarta.
- Li, D.; Li, W.; Deng, Y.; Wu, X.; Han, N.; Chen, Y." Effective Ti doping of δ MnO₂ Via Anion Route for Highly Active Catalytic Combustion of Benzene." *J. Phys. Chem. C*. 2016, 120, 10275–10282.
- Li, J., Xiangqiong Zeng, Tianhui Ren, dan Emile Van der Heide. 2014. "The Preparation of Graphene Oxide and Its Derivatives and Their Application in Bio-Tribological Systems." *Lubricants* Vol.2 (3): 137-161
- Manurung, R. Hasibuan, R., Irvan, 2004, "Perombakan Zat Warna Azo Secara Anaerob-Aerob," Fakultas Teknik, USU.
- Mohamed, Abdel Megeed Ibrahim. 2015." Synthesis, Grain Growth and Physical Properties of Nanoparticulate Manganese Oxides." Department of Chemistry, Philipps University.
- Neolaka, Yantus A. B., Zakarias S. Ngara, Yosep Lawa, Johnson N. Naat, Didi Prasetyo Benu, Ahmed Chetouani, Hicham Elmsellem, Handoko Darmokoesoemo, and Heri Septya Kusuma. 2019. "Simple Design and Preliminary Evaluation of Continuous Submerged Solid Small-Scale Laboratory Photoreactor (CS4PR) Using TiO₂/NO₃-@TC for Dye Degradation." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7(6):103482. doi: 10.1016/j.jece.2019.103482.
- Ningsih, Sherly Kusuma Warda. 2013. Pengaruh Aditif pada Sintesis Nanopartikel Mn₂O₃ Melalui Proses Sol-Gel." *Jurnal Kimia* 07, no.01.

Ningsih, T.S., "Sintesis dan Karakteristik Fotokatalis Ni²⁺-ZnO Berbasis Zeolit Alam", Skripsi S1, Universitas Indonesia, 2012.

Nufus, Tatun H., Armansyah H Tambunan, Radite Praeko As, Wawan Hermawan. 2015. "Analysis Influence Intensity Electromagnetic Fields Of Characteristics Biodiesel". Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.

Otmer dan Kirk, 1994. Encyclopedia of Chemical Tecnology, vol. 18 ed.14, 592-593 and 820-834.

Oyekanmi, Adeleke Abdulrahman, Akil Ahmad, Kaizar Hossain, and Mohd Rafatullah. 2019. "Adsorption of Rhodamine B Dye from Aqueous Solution onto Acid Treated Banana Peel: Response Surface Methodology, Kinetics and Isotherm Studies" edited by D. Rittschof. PLOS ONE 14(5):e0216878. doi: 10.1371/journal.pone.0216878.

Ozoemena, Kenneth I., Chen, Shaowei. 2016. "Nanomaterials In dvanced Batteries and Supercapacitors." USA:Springer.

Paveena, A.Z. Tachan, M. Boutbara. 2010. "The Effect of Substrate Temperature on Structural and Physical Properties of Ultrasonically Sprayed Cds Film." Material Chemistry and Physics. Vol. 94, Pp. 103-108

Pine, S. 1998." Kimia Organik." Bandung: Terbitan Keempat. Penerbit ITB.

Rietveld, H.(1969) "A Profile refinement method for nuclear and magnetic structure "Journal of applied Crystallography. International Union of Crystallography, 2(2), hal.65-71

Rojikhi. 2011." Pemanfaatan Hasil Pirolisis Bulu Ayam Sebagai bsorben Ion Na dan Fe dalam Larutan Simulasi." Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.

Saravanan, R., Francisco Gracia, and A. Stephen. 2017. "Basic Principles, Mechanism, and Challenges of Photocatalysis." Pp. 19–40 in Nanocomposites for Visible Light-induced Photocatalysis, Springer Series on Polymer and Composite Materials, edited by M. M. Khan, D. Pradhan, and Y. Sohn. Cham: Springer International Publishing.

Saridewi, Nanda, Syukri Arif, and Admin Alif. 2015. "Sintesis Nanomaterial Mangan Oksida dengan Metode Bebas Pelarut." *Jurnal Kimia VALENSI* 117–23. doi: 10.15408/jkv.v0i0.3147.

Shin, Jaewook, Joon Kyo Seo, Riley Yaylian, An Huang, and Ying Shirley Meng. 2020. "A Review on Mechanistic Understanding of MnO₂ in Aqueous Electrolyte for Electrical Energy Storage Systems." *International Materials Reviews* 65(6):356–87. doi: 10.1080/09506608.2019.1653520.

- Sibarani J., Dina L. P., Iryanti E. S., Manuntun M. 2016. "Fotodegradasi Rhodamin B Menggunakan ZnO/ Uv/Reagen Fenton". *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)* Volume 4, Nomor 1.
- Sun, Hang. 2017. "MnO₂ Aerogels for Highly Efficient Oxidative Degradation of Rhodamine B." *RSC Advances* 6.
- Sutanto, Heri. 2008. "Deposisi Lapisan Tipis ZnO : Ag dan Aplikasinya untuk Degradasi Polutan Organik". *Diponegoro*: 3(17).
- Tadyszak, Krzysztof, Jacek Wychowaniec, and Jagoda Litowczenko. 2018. "Biomedical Applications of Graphene-Based Structures." *Nanomaterials* 8(11):944. doi: 10.3390/nano8110944.
- Talat, M. dan Srivastava, O. N. 2014. *Advanced Carbon Materials and Technology*. Scrivener Publishing LLC: 1-34.
- Triyati, Ety. 1985. "Spektrofotometer Ultra-Violet Dan Sinar Tampak Serta Aplikasinya Dalam Oseanologi." *Oseana*, Volume X, Nomor 1: 39 – 47.
- Verma, Akshaya Kumar, Rajesh Roshan Dash, and Puspendu Bhunia. 2012. "A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters." *Journal of Environmental Management* 93(1):154–68. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.09.012.
- Waite, T.D., 2006, "Toxic Organic Destruction By Electron Beam Irradiation An Innovative Technology For Developing Countries", University of Miami Coral Gables, Florida.
- Wang, Hongen, Zhouguang Lu, Dong Qian, Yujie Li, and Wei Zhang. 2007. "Single-Crystal α -MnO₂ Nanorods: Synthesis and Electrochemical Properties." *Nanotechnology* 18(11):115616. doi: 10.1088/0957-4484/18/11/115616.
- Wang, Qi, Zhaokun Luan, Ning Wei, Jin Li, and Chengxi Liu. 2009. "The Color Removal of Dye Wastewater by Magnesium Chloride/Red Mud (MRM) from Aqueous Solution." *Journal of Hazardous Materials* 9.
- Widyawati, N. 2012." Analisa Pengaruh Heating Rate terhadap tingkat Kristal dan Ukuran Butir. Lapisan BZT yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel." *Surakarta: Universitas Sebelas Maret*.
- Yanlinastuti, Fatimah S. 2016." Pengaruh Konsentrasi Pelarut Untuk Menentukan Kadar Zirkonium Dalam Paduan U-Zr Dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Uv-Vis." No. 17.

Yugambica, S. 2017. "SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MnO₂/RGO NANOCOMPOSITE FOR SUPERCAPACITORS." 04(02):6.

Zhang, Bo, Peng Wei, Zhixiang Zhou, and Taotao Wei. 2016. "Interactions of Graphene with Mammalian Cells: Molecular Mechanisms and Biomedical Insights." *Advanced Drug Delivery Reviews* 18.



The logo is a shield-shaped emblem with a light green background and a white border. It features the text "UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM" in a light green font at the top and "PUSAT PERPUSTAKAAN" at the bottom. In the center, there is a yellow calligraphic emblem. The word "LAMPIRAN" is written across the center in a large, bold, black serif font.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 GAMBAR PENELITIAN



Bulu ayam



GO bulu ayam



Proses sonikasi
GO



Proses sol MnO_2 -
rGO



Proses gel MnO_2 -
rGO



Proses penyaringan
 MnO_2 -rGO



Proses oven
 MnO_2 -rGO



Sampel MnO_2 -rGO
setelah di oven

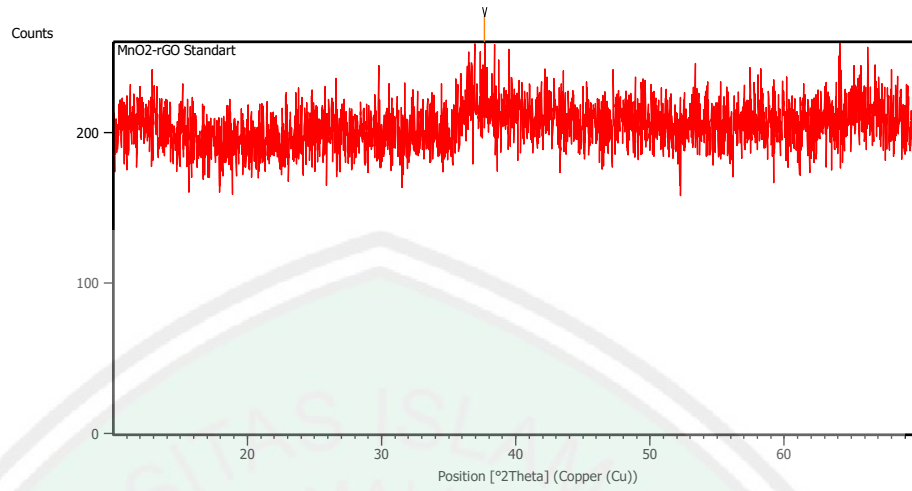


Sampel MnO_2 -rGO
setelah di kalsinasi

LAMPIRAN 2 DATA DAN PERHITUNGAN XRD

Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	10.0084
End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	69.9844
Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

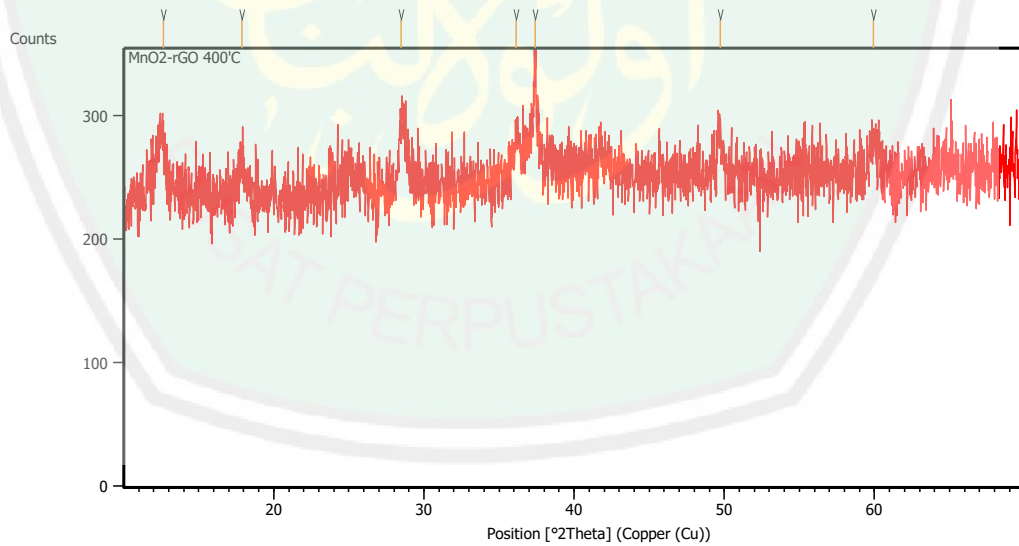
1. Tanpa kalsinasi



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.6684	50.50	0.0900	2.38608	100.00

2. Temperatur kalsinasi 400°C

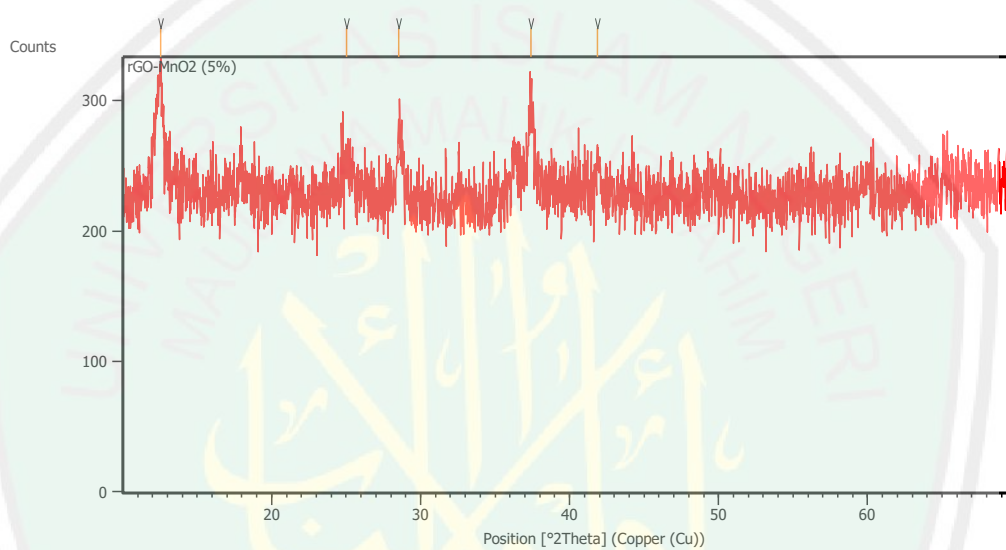


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.6392	44.32	0.4684	7.00380	51.03

17.8538	36.17	0.5353	4.96820	41.64
28.4945	61.79	0.2676	3.13253	71.14
36.1547	37.61	0.4015	2.48448	43.30
37.4073	86.86	0.1338	2.40412	100.00
49.7420	32.60	0.4015	1.83305	37.53
59.9118	30.47	0.4015	1.54393	35.08

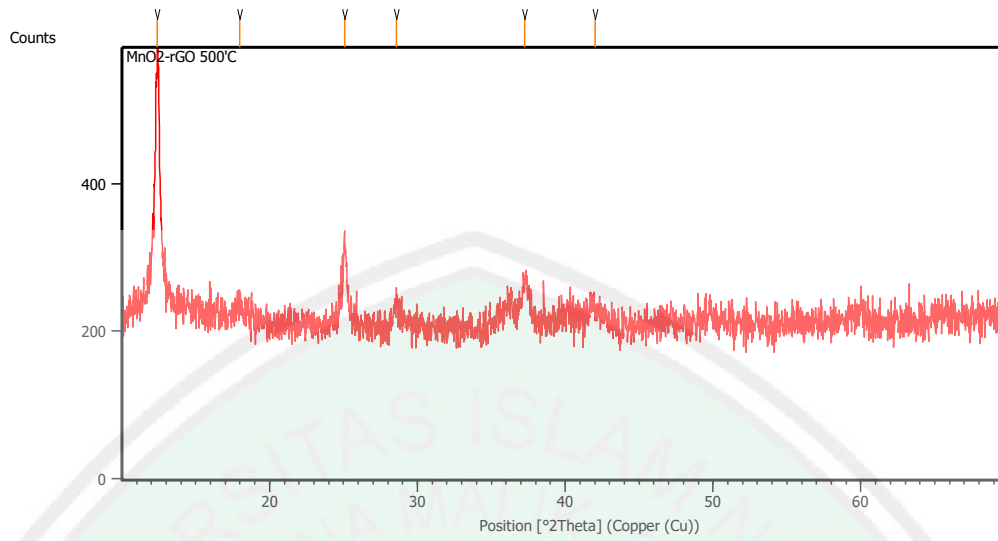
3. Temperatur kalsinasi 450°C



Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
12.5701	82.55	0.4015	7.04213	100.00
25.0468	23.45	0.8029	3.55535	28.41
28.5257	51.50	0.3346	3.12918	62.39
37.4086	59.51	0.2007	2.40404	72.09
41.8905	23.69	0.4015	2.15662	28.70

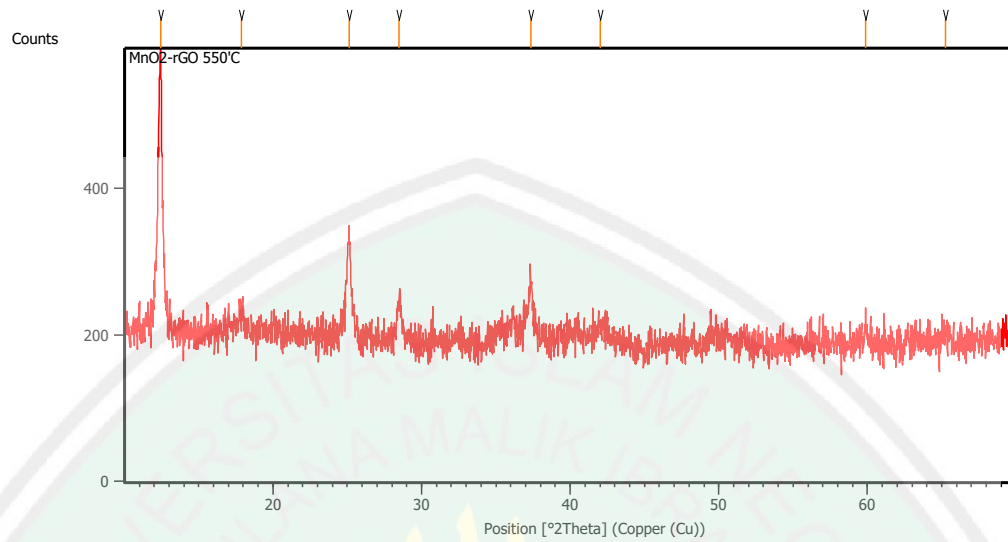
4. Temperatur kalsinasi 500°C



Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
12.4187	342.77	0.1171	7.12764	100.00
17.9893	20.11	0.8029	4.93108	5.87
25.0741	119.29	0.1673	3.55155	34.80
28.5600	31.27	0.4015	3.12550	9.12
37.2738	50.86	0.3346	2.41242	14.84
42.0349	19.89	0.8029	2.14954	5.80

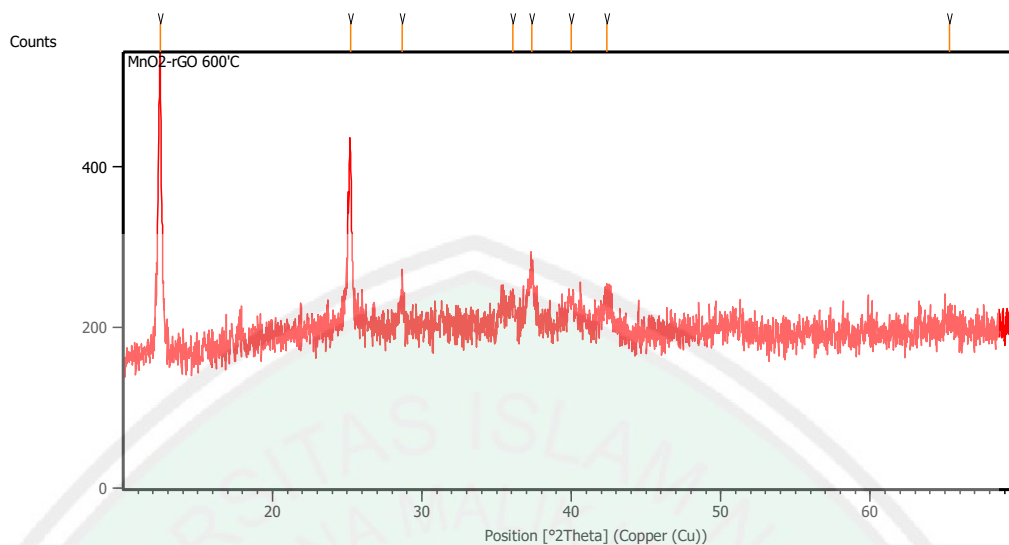
5. Temperatur kalsinasi 550°C



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.4526	347.23	0.1171	7.10830	100.00
17.8662	29.59	0.5353	4.96478	8.52
25.1389	136.82	0.2007	3.54254	39.40
28.4887	59.90	0.2676	3.13315	17.25
37.3730	70.56	0.2007	2.40625	20.32
42.0065	20.83	0.9368	2.15093	6.00
59.8848	14.65	0.8029	1.54456	4.22
65.2668	16.54	0.5353	1.42961	4.76

6. Temperatur kalsinasi 600°C



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.4848	368.44	0.0836	7.09007	100.00
25.2402	195.90	0.1338	3.52854	53.17
28.6726	44.62	0.2007	3.11348	12.11
36.0680	31.23	0.4015	2.49025	8.48
37.3516	75.59	0.4015	2.40758	20.52
39.9949	40.83	0.4015	2.25434	11.08
42.3896	45.07	0.4684	2.13237	12.23
65.3258	17.02	0.8029	1.42847	4.62

Rata-rata ukuran kristal (D)

$$D = \frac{K\lambda}{\beta_1 \cos \theta_1}$$

1) Tanpa temperatur

θ_1	β_1	K	λ	D (nm)
18.8342	0.00157	0.9	0.15406	93.31082
Rata-rata				93.31082

2) Temperatur kalsinasi 400°C

θ_1	β_1	K	λ	D (nm)
6.3196	0.008175	0.9	0.15406	17.06417
8.9269	0.009338	0.9	0.15406	16.33861
14.24725	0.004668	0.9	0.15406	30.64479
18.07735	0.007004	0.9	0.15406	20.82449
18.70365	0.002334	0.9	0.15406	62.71654
24.871	0.007004	0.9	0.15406	30.6339
29.9559	0.007004	0.9	0.15406	39.48788
Rata-rata				31.10148

3) Temperatur 450°C

θ_1	β_1	K	λ	D (nm)
6.28505	0.00700394	0.9	0.15406	19.91626
12.5234	0.01400614	0.9	0.15406	10.14079
14.26285	0.00583691	0.9	0.15406	24.5102
18.7043	0.0035011	0.9	0.15406	41.81119
20.94525	0.00700394	0.9	0.15406	21.19722
Rata-rata				23.51513

4) Temperatur 500°C

θ_1	β_1	K	λ	D (nm)
6.20935	0.00204274	0.9	0.15406	68.27689
8.99465	0.01400614	0.9	0.15406	10.02276
12.53705	0.00291846	0.9	0.15406	48.66987
14.28	0.00700394	0.9	0.15406	20.4205
18.6369	0.00583691	0.9	0.15406	29.85193
21.01745	0.01400614	0.9	0.15406	10.60505
Rata-rata				26.83529

5) Temperatur 550°C

θ_1	β_1	K	λ	D (nm)
6.2263	0.00204274	0.9	0.15406	68.27909
8.9331	0.00933801	0.9	0.15406	15.03066
12.56945	0.0035011	0.9	0.15406	40.57546
14.24435	0.00466813	0.9	0.15406	30.64439

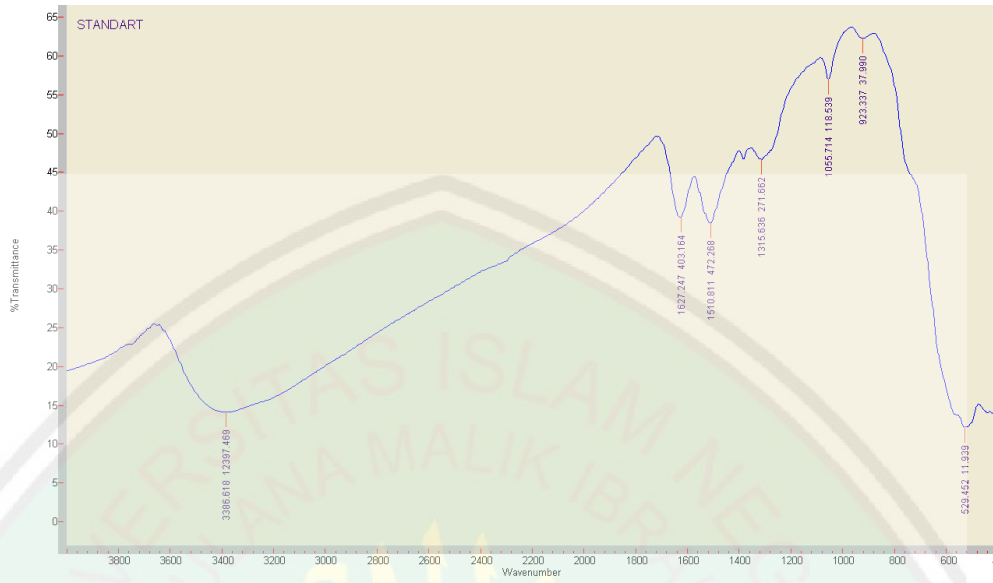
18.6865	0.0035011	0.9	0.15406	41.80679
21.00325	0.01634196	0.9	0.15406	9.088372
29.9424	0.01400614	0.9	0.15406	11.42435
32.6334	0.00933801	0.9	0.15406	17.63172
Rata-rata				29.3101

6) Temperatur 600°C

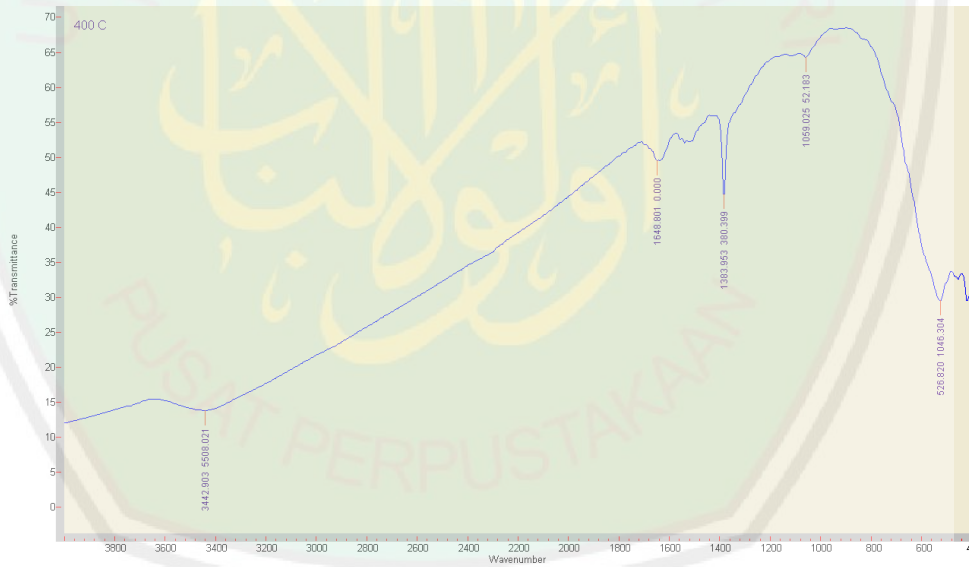
θ_1	β_1	K	λ	D (nm)
6.2424	0.00145836	0.9	0.15406	95.64267
12.6201	0.00233407	0.9	0.15406	60.87521
14.3363	0.0035011	0.9	0.15406	40.8759
18.034	0.00700394	0.9	0.15406	20.81935
18.6758	0.00700394	0.9	0.15406	20.89687
19.99745	0.00700394	0.9	0.15406	21.06672
21.1948	0.00817098	0.9	0.15406	18.20021
32.6629	0.01400614	0.9	0.15406	11.75989
Rata-rata				36.2671

LAMPIRAN 3 DATA FTIR

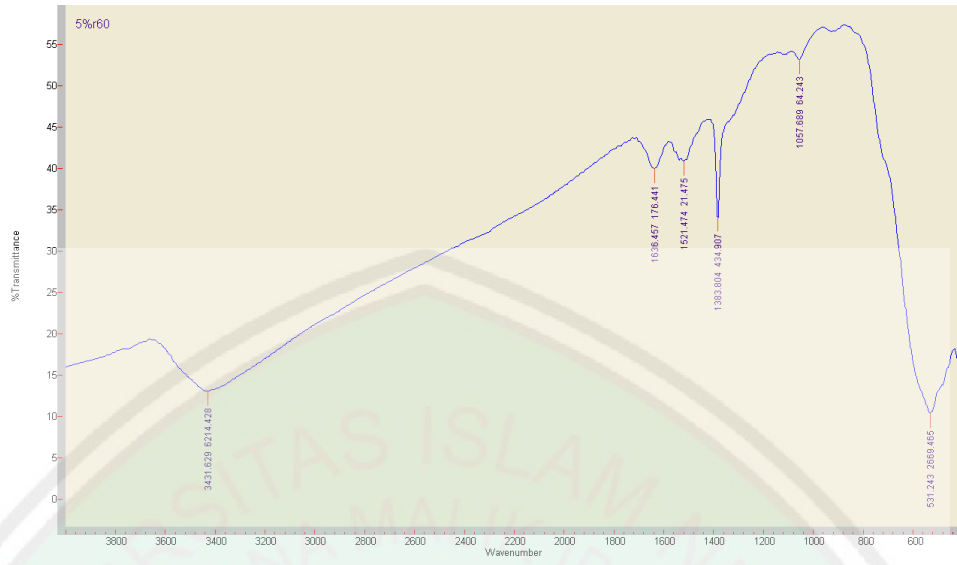
1. Tanpa kalsinasi



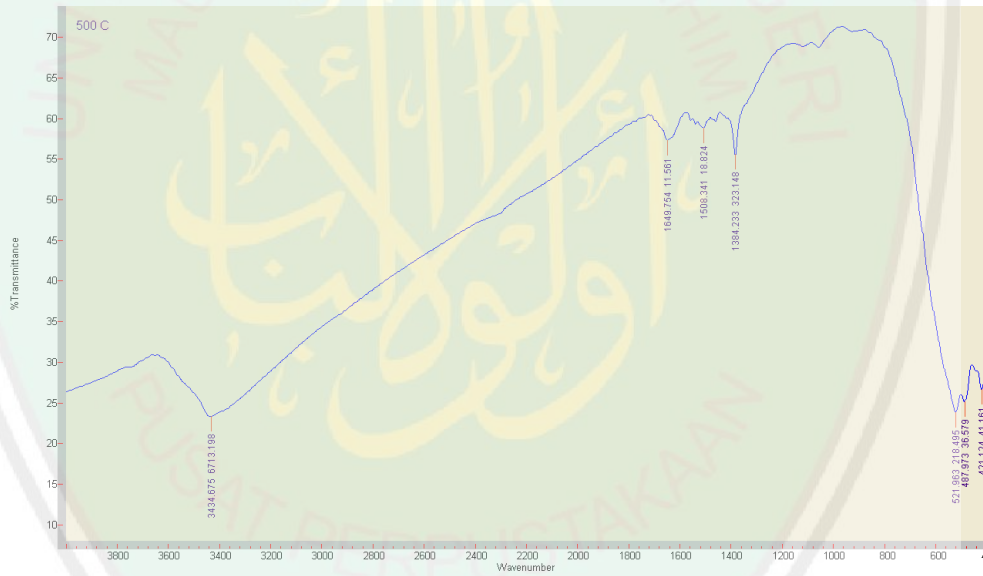
2. Temperatur kalsinasi 400°C



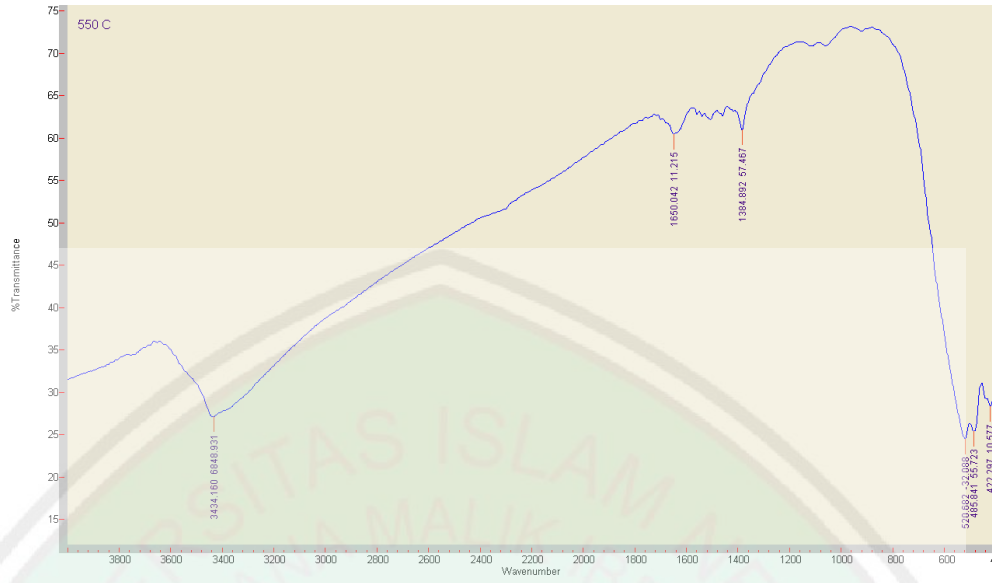
3. Temperatur kalsinasi 450°C



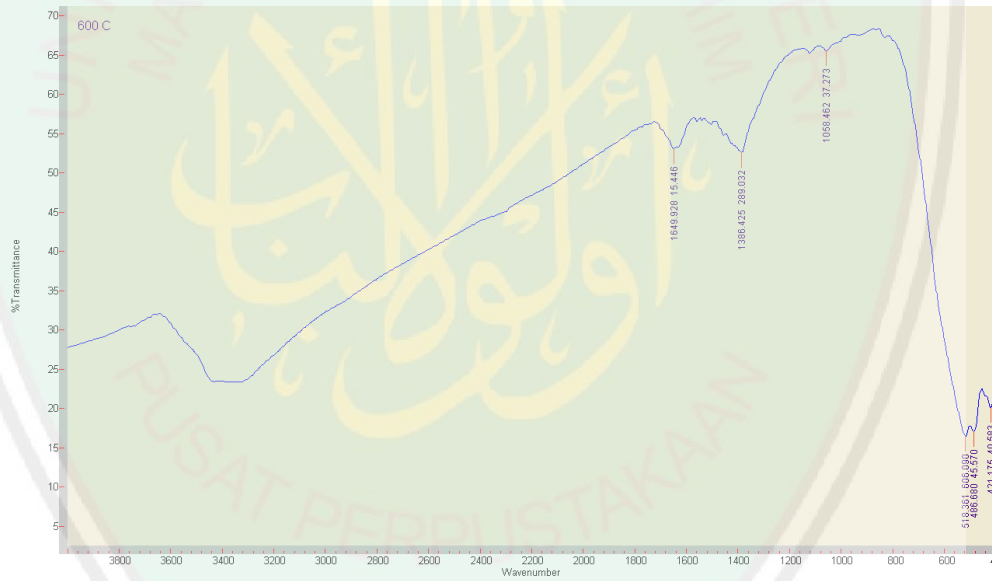
4. Temperatur kalsinasi 500°C



5. Temperatur kalsinasi 550°C

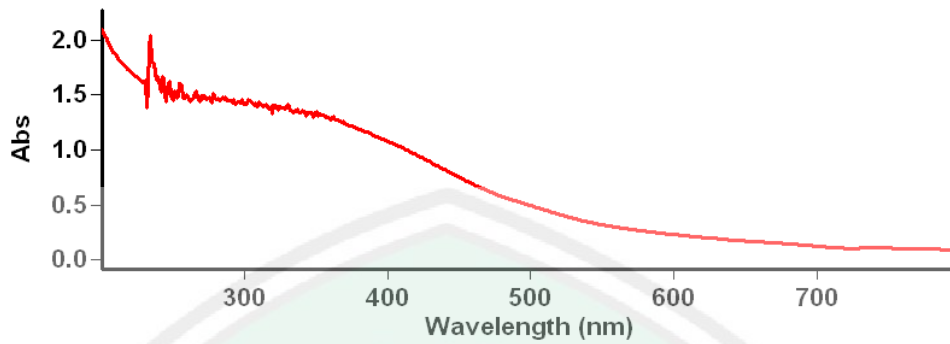


6. Temperatur kalsinasi 600°C



LAMPIRAN 4 DATA UV-VIS

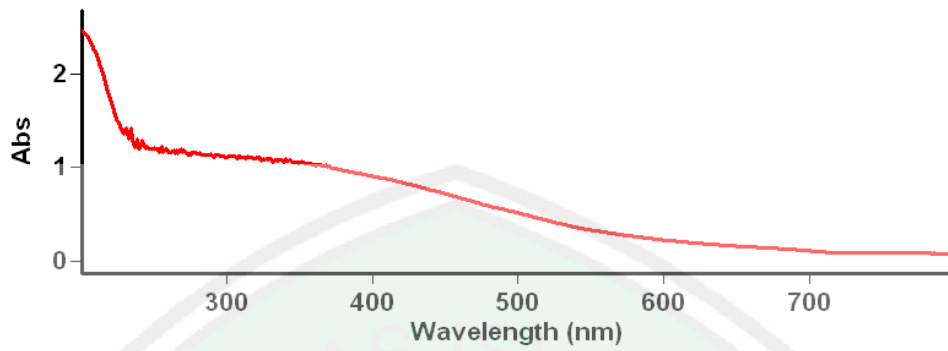
1. Lamdha maks tanpa kalsinasi



Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs
362.1	1.302	286.1	1.479
353.1	1.330	284.0	1.484
349.9	1.355	281.0	1.475
345.0	1.338	278.1	1.516
342.0	1.356	275.1	1.487
340.0	1.360	271.0	1.496
337.0	1.373	268.9	1.495
335.0	1.364	266.0	1.538
330.0	1.421	259.0	1.509
325.0	1.392	255.0	1.599
320.0	1.405	251.0	1.535
318.0	1.395	247.0	1.624
315.0	1.421	241.9	1.668
310.0	1.434	239.0	1.669
307.0	1.428	234.0	2.038
302.0	1.461	230.0	1.638
298.0	1.456		
295.0	1.443		
292.0	1.458		
287.9	1.463		

2. Lamdha maks temperatur kalsinasi

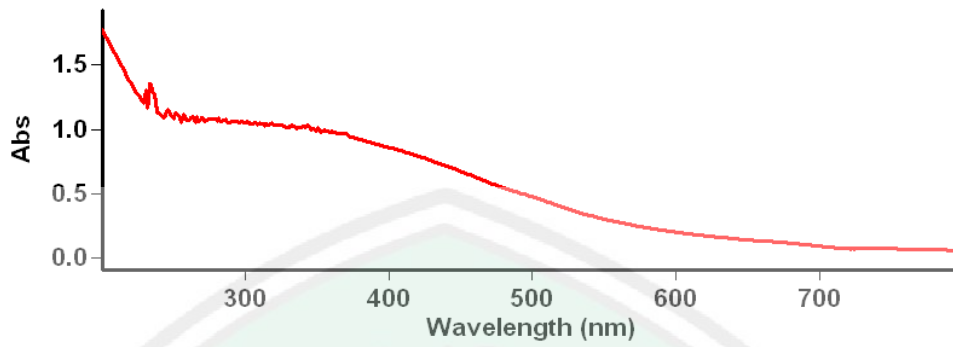
400°C



Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs
351.0	1.071	257.9	1.206
342.9	1.080	255.0	1.224
340.0	1.091	249.9	1.210
335.9	1.082	245.1	1.235
334.1	1.085	241.0	1.297
325.0	1.100	238.0	1.307
322.0	1.112	234.0	1.428
313.9	1.122	230.0	1.424
308.0	1.124		
304.1	1.127		
294.0	1.140		
289.0	1.145		
284.0	1.143		
276.0	1.162		
270.0	1.191		
268.0	1.200		
265.0	1.183		
263.0	1.187		

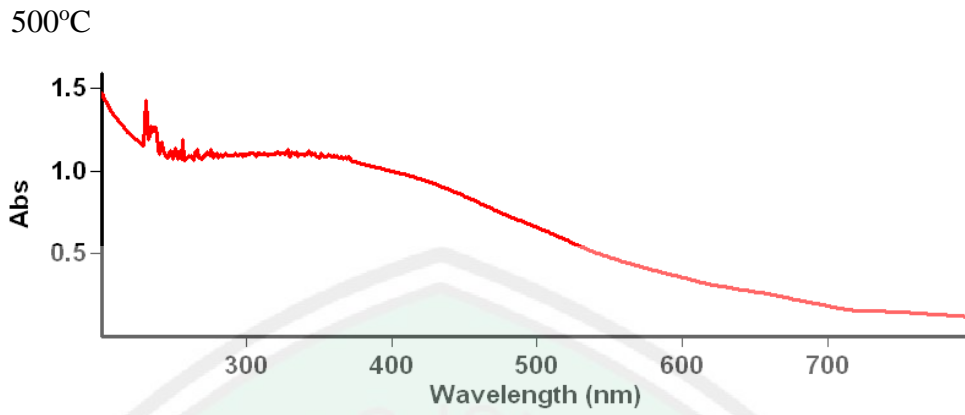
3. Lamdha maks temperatur kalsinasi

450°C



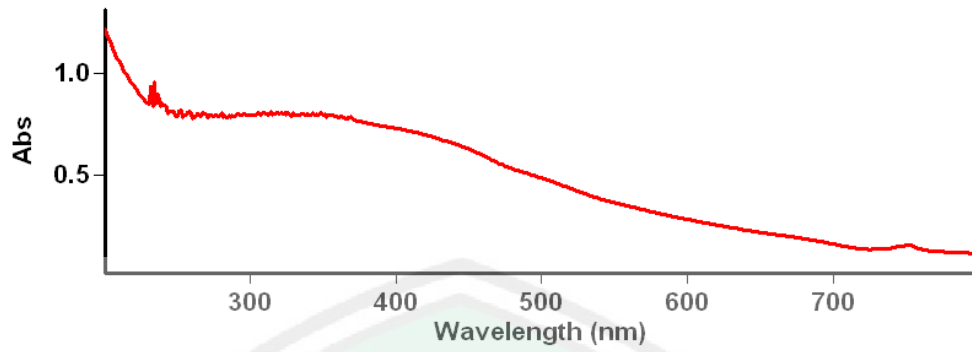
Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs
360.0	0.987	251.0	1.128
355.1	1.000	246.0	1.156
349.9	1.013	233.0	1.355
347.0	1.007	230.0	1.304
342.9	1.030		
332.0	1.031		
330.0	1.028		
318.0	1.050		
310.0	1.050		
305.9	1.055		
290.0	1.066		
286.1	1.076		
281.0	1.091		
275.1	1.081		
270.0	1.090		
266.0	1.100		
263.0	1.102		
257.0	1.117		

4. Lamdha maks temperatur kalsinasi



Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs
370.0	1.087	279.0	1.106
368.0	1.083	275.1	1.131
356.0	1.097	273.0	1.111
351.0	1.105	266.0	1.130
347.0	1.108	262.0	1.094
342.9	1.120	256.1	1.186
338.0	1.101	253.1	1.114
334.1	1.112	251.0	1.134
330.9	1.111	247.0	1.122
328.0	1.126	241.0	1.177
321.0	1.114	236.0	1.265
319.1	1.107	234.0	1.272
309.1	1.109	230.0	1.426
303.0	1.110		
295.0	1.100		
292.0	1.108		
285.0	1.110		
282.0	1.102		

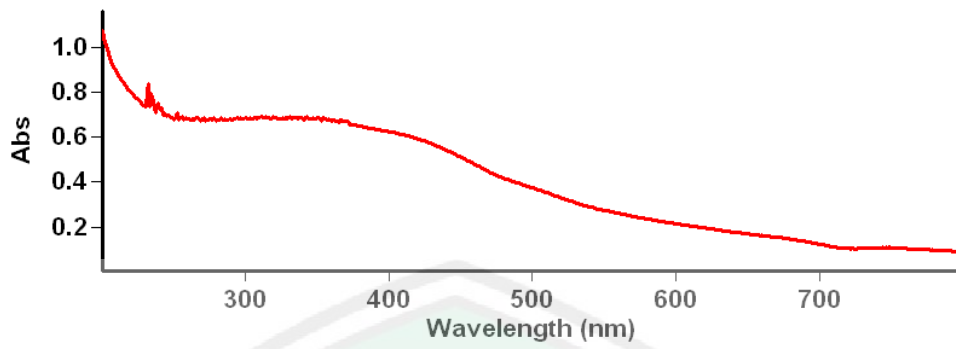
5. Lamdha maks temperatur kalsinasi 550°C



Wavelength (nm) Abs

752.0	0.159
369.0	0.788
353.1	0.797
348.1	0.807
342.9	0.806
329.1	0.806
325.9	0.806
318.0	0.810
313.9	0.810
305.0	0.806
285.0	0.795
279.9	0.804
267.1	0.805
257.9	0.811
252.0	0.819
239.0	0.857
236.0	0.895
234.0	0.955
231.0	0.935

6. Lamdha maks temperatur kalsinasi 600°C

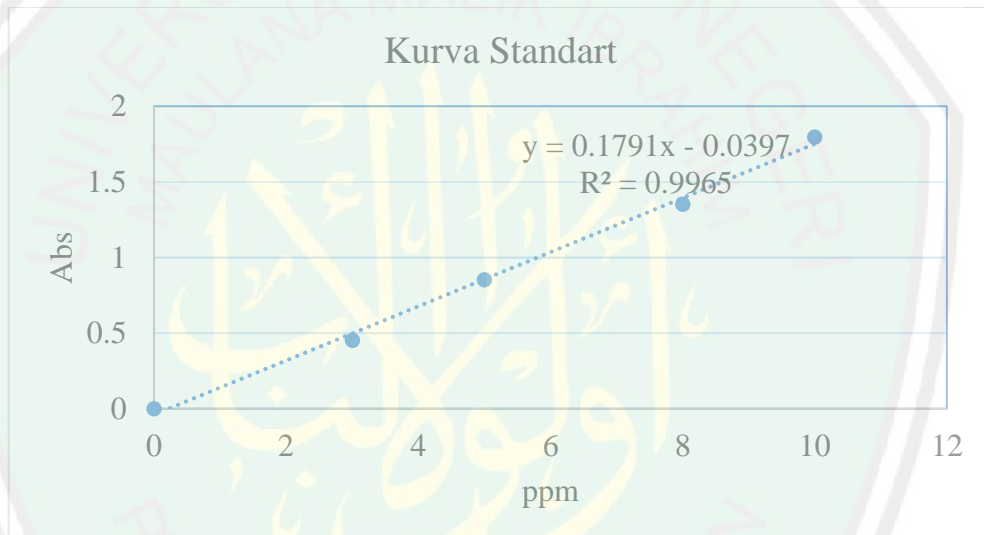


Wavelength (nm) Abs

354.0	0.685
342.9	0.691
330.9	0.691
319.1	0.692
313.9	0.691
278.1	0.688
271.0	0.685
266.0	0.688
256.1	0.694
252.0	0.707
239.0	0.749
234.0	0.796
232.1	0.838

**LAMPIRAN 5 KURVA STANDART LARUTAN BAKU STANDART
PEWARNA TEKSTIL RHODAMIN-B**

ppm	abs
0	0
3	0.454
5	0.853
8	1.354
10	1.797



LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN KONSENTRASI FOTOKATALIS PEWARNA TEKSTIL RHODAMIN-B

Menggunakan Persamaan Regresi Baku Standart:

$$y = 0.1791x - 0.0397$$

$$x = \frac{y + 0.0397}{0.1791}$$

Dimana:

y = Absorbansi

x = Konsentrasi

a. Gelap

1. Tanpa kalsinasi

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.25516471
30	1.495	0.0397	0.1791	8.568955891
60	1.475	0.0397	0.1791	8.457286432
90	1.476	0.0397	0.1791	8.462869905
120	1.438	0.0397	0.1791	8.250697934
150	1.491	0.0397	0.1791	8.546621999
180	1.494	0.0397	0.1791	8.563372418

2. Temperatur kalsinasi 400°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.25516471
30	1.541	0.0397	0.1791	8.825795645
60	1.531	0.0397	0.1791	8.769960916
90	1.509	0.0397	0.1791	8.647124511
120	1.534	0.0397	0.1791	8.786711334
150	1.52	0.0397	0.1791	8.708542714
180	1.516	0.0397	0.1791	8.686208822

3. Temperatur kalsinasi 450°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.25516471
30	1.539	0.0397	0.1791	8.814628699
60	1.53	0.0397	0.1791	8.764377443
90	1.492	0.0397	0.1791	8.552205472
120	1.499	0.0397	0.1791	8.591289782
150	1.519	0.0397	0.1791	8.702959241
180	1.541	0.0397	0.1791	8.825795645

4. Temperatur kalsinasi 500°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.25516471
30	1.54	0.0397	0.1791	8.820212172
60	1.54	0.0397	0.1791	8.820212172
90	1.535	0.0397	0.1791	8.792294807
120	1.55	0.0397	0.1791	8.876046901
150	1.548	0.0397	0.1791	8.864879955
180	1.564	0.0397	0.1791	8.954215522

5. Temperatur kalsinasi 550°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.25516471
30	1.539	0.0397	0.1791	8.814628699
60	1.545	0.0397	0.1791	8.848129537
90	1.542	0.0397	0.1791	8.831379118
120	1.513	0.0397	0.1791	8.669458403
150	1.534	0.0397	0.1791	8.786711334
180	1.554	0.0397	0.1791	8.898380793

6. Temperatur kalsinasi 600°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.25516471
30	1.62	0.0397	0.1791	9.266890006
60	1.59	0.0397	0.1791	9.099385818

90	1.605	0.0397	0.1791	9.183137912
120	1.609	0.0397	0.1791	9.205471803
150	1.593	0.0397	0.1791	9.116136237
180	1.59	0.0397	0.1791	9.099385818

b. Terang

1. Tanpa kalsinasi

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.2551647
30	1.494	0.0397	0.1791	8.56337242
60	1.48	0.0397	0.1791	8.4852038
90	1.474	0.0397	0.1791	8.45170296
120	1.473	0.0397	0.1791	8.44611949
150	1.5	0.0397	0.1791	8.59687326
180	1.509	0.0397	0.1791	8.64712451

2. Temperatur kalsinasi 400°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.2551647
30	1.526	0.0397	0.1791	8.74204355
60	1.521	0.0397	0.1791	8.71412619
90	1.499	0.0397	0.1791	8.59128978
120	1.507	0.0397	0.1791	8.63595757
150	1.545	0.0397	0.1791	8.84812954
180	1.566	0.0397	0.1791	8.96538247

3. Temperatur kalsinasi 450°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.2551647
30	1.506	0.0397	0.1791	8.63037409
60	1.53	0.0397	0.1791	8.76437744
90	1.475	0.0397	0.1791	8.45728643
120	1.506	0.0397	0.1791	8.63037409
150	1.521	0.0397	0.1791	8.71412619
180	1.537	0.0397	0.1791	8.80346175

4. Temperatur kalsinasi 500°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.255165
30	1.549	0.0397	0.1791	8.8704634
60	1.546	0.0397	0.1791	8.853713
90	1.513	0.0397	0.1791	8.6694584
120	1.501	0.0397	0.1791	8.6024567
150	1.539	0.0397	0.1791	8.8146287
180	1.576	0.0397	0.1791	9.0212172

5. Temperatur kalsinasi 550°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.255165
30	1.505	0.0397	0.1791	8.6247906
60	1.495	0.0397	0.1791	8.5689559
90	1.472	0.0397	0.1791	8.440536
120	1.497	0.0397	0.1791	8.5801228
150	1.51	0.0397	0.1791	8.652708
180	1.521	0.0397	0.1791	8.7141262

6. Temperatur kalsinasi 600°C

Menit	abs	regresi		Konsentrasi
0	1.797	0.0397	0.1791	10.255165
30	1.585	0.0397	0.1791	9.0714685
60	1.564	0.0397	0.1791	8.9542155
90	1.546	0.0397	0.1791	8.853713
120	1.527	0.0397	0.1791	8.747627
150	1.585	0.0397	0.1791	9.0714685
180	1.559	0.0397	0.1791	8.9262982

**LAMPIRAN 7 PERHITUNGAN EFISIENSI FOTOKATALIS TERHADAP
PEWARNA TEKSTIL RHODAMIN-B**

Menggunakan Persamaan:

$$\eta = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Dimana:

C_0 = konsentrasi awal

C_t = konsentrasi akhir

a. Gelap

1. Tanpa kalsinasi

C_0	C_t	η
10.25516	10.25516471	0
10.25516	8.568955891	16.44253
10.25516	8.457286432	17.53144
10.25516	8.462869905	17.477
10.25516	8.250697934	19.54592
10.25516	8.546621999	16.66031
10.25516	8.563372418	16.49698

2. Temperatur kalsinasi 400°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.25516471	0
10.25516	8.825795645	13.93804
10.25516	8.769960916	14.4825
10.25516	8.647124511	15.6803
10.25516	8.786711334	14.31916
10.25516	8.708542714	15.0814
10.25516	8.686208822	15.29918

3. Temperatur kalsinasi 450°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.25516471	0
10.25516	8.814628699	14.04693
10.25516	8.764377443	14.53694
10.25516	8.552205472	16.60587
10.25516	8.591289782	16.22475
10.25516	8.702959241	15.13584
10.25516	8.825795645	13.93804

4. Temperatur kalsinasi 500°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.25516471	0
10.25516	8.820212172	13.99249
10.25516	8.820212172	13.99249
10.25516	8.792294807	14.26471
10.25516	8.876046901	13.44803
10.25516	8.864879955	13.55692
10.25516	8.954215522	12.6858

5. Temperatur kalsinasi 550°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.25516471	0
10.25516	8.814628699	14.04693
10.25516	8.848129537	13.72026
10.25516	8.831379118	13.8836
10.25516	8.669458403	15.46251
10.25516	8.786711334	14.31916
10.25516	8.898380793	13.23025

6. Temperatur kalsinasi 600°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.25516471	0
10.25516	9.266890006	9.636849
10.25516	9.099385818	11.27021
10.25516	9.183137912	10.45353
10.25516	9.205471803	10.23575
10.25516	9.116136237	11.10688
10.25516	9.099385818	11.27021

b. Terang

1. Tanpa kalsinasi

C_0	C_t	η
10.25516	10.2551647	0
10.25516	8.56337242	16.49698
10.25516	8.4852038	17.25921
10.25516	8.45170296	17.58589
10.25516	8.44611949	17.64033
10.25516	8.59687326	16.17031
10.25516	8.64712451	15.6803

2. Temperatur kalsinasi 400°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.2551647	0
10.25516	8.74204355	14.754723
10.25516	8.71412619	15.026950
10.25516	8.59128978	16.224750
10.25516	8.63595757	15.789187
10.25516	8.84812954	13.720259
10.25516	8.96538247	12.576904

3. Temperatur kalsinasi 450°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.2551647	0
10.25516	8.63037409	15.84363
10.25516	8.76437744	14.53694
10.25516	8.45728643	17.53144
10.25516	8.63037409	15.84363
10.25516	8.71412619	15.02695
10.25516	8.80346175	14.15582

4. Temperatur kalsinasi 500°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.255165	0
10.25516	8.8704634	13.50248
10.25516	8.853713	13.66581
10.25516	8.6694584	15.46251
10.25516	8.6024567	16.11586
10.25516	8.8146287	14.04693
10.25516	9.0212172	12.03245

5. Temperatur kalsinasi 550°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.255165	0
10.25516	8.6247906	15.89808
10.25516	8.5689559	16.44253
10.25516	8.440536	17.69478
10.25516	8.5801228	16.33364
10.25516	8.652708	15.62585
10.25516	8.7141262	15.02695

6. Temperatur kalsinasi 600°C

C_0	C_t	η
10.25516	10.255165	0
10.25516	9.0714685	11.54244
10.25516	8.9542155	12.6858
10.25516	8.853713	13.66581
10.25516	8.747627	14.70028
10.25516	9.0714685	11.54244
10.25516	8.9262982	12.95802

