

**AKTIVITAS FOTOKATALIS NANO TiO₂
TERIMOBILISASI MEMBRAN POLIURETAN DALAM
REAKSI FOTODEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU**

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

**Annisa Annur Agustania
NIM. 180704024**

**Mahasiswa Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M / 1443 H**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

**AKTIVITAS FOTOKATALIS NANO TiO₂
TERIMOBILISASI MEMBRAN POLIURETAN DALAM
REAKSI FOTODEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Prodi Kimia

Oleh :

ANNISA AMNUR AGUSTANIA

NIM. 180704024

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Kimia**

Disetujui Oleh:

Pembimbing I,



Khairun Nisah, M.Si.
NIDN. 2016027902

Pembimbing II,



Cut Nuzlia, M.Sc.
NIDN. 2014058702

Mengetahui:
Ketuan Program Studi Kimia,



Khairun Nisah, M.Si.
NIDN. 2016027902

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI

**AKTIVITAS FOTOKATALIS NANO TiO₂ TERIMOBILISASI
MEMBRAN POLIURETAN DALAM REAKSI FOTODEGRADASI ZAT
WARNA METILEN BIRU**

SKRIPSI

Telah diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Prodi Kimia

Pada Hari/Tanggal: Rabu/13 Juli 2022
13 Dzulhijjah 1443

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,


Khairun Nisah, M.Si.
NIDN. 2016027902

Sekretaris,


Cut Nuzlia, M.Sc.
NIDN. 2014058702

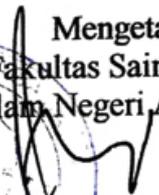
Penguji I,


Bhayu Gita Bhernama, M.Si.
NIDN. 2023018901

Penguji II,


Muammar Yulian, M.Si.
NIDN. 2030118401

Mengetahui:
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. H. Azhar Amsal, M.Pd.
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH/SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Annisa Amnur Agustania

NIM : 180704024

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi :Aktivitas Fotokatalis Nano TiO_2 Terimobilisasi Membran Poliuretan dalam Reaksi Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan;
2. Tidak melakukan plagiat terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya dan telah ditemukan bukti yang dapat dipertanggung jawabkan dan memang benar adanya bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenakan sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 7 Juli 2022

Yang menyatakan,



(Annisa Amnur Agustania)

ABSTRAK

Nama : Annisa Amnur Agustania
NIM : 180704024
Program Studi : Kimia
Judul : Aktivitas Fotokatalis Nano TiO₂ Terimobilisasi Membran Poliuretan dalam Reaksi Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru
Tanggal Sidang : 13 Juli 2022
Tebal Skripsi : 73 Lembar
Pembimbing I : Khairu Nisah, M.Si.
Pembimbing II : Cut Nuzlia, M.Sc.
Kata Kunci : Fotokatalis, Nano TiO₂, poliuretan, Fotodegradasi, Metilen Biru

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan semikonduktor yang dapat berfungsi sebagai fotokatalis dalam reaksi fotodegradasi zat warna. Penurunan ukuran partikel dapat meningkatkan kinerja katalis karena memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi. Membran poliuretan merupakan membran yang mampu untuk memisahkan partikel nano TiO₂. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama penyinaran dengan variasi lama penyinaran 1, 3, 5 dan 7 jam pada reaksi fotodegradasi zat warna metilen biru dan penambahan massa katalis nano TiO₂ dengan variasi 0 gram, 0,025 gram, 0,075 gram dan 0,1 gram. Kinetika fotodegradasi metilen biru dengan membran poliuretan-nano TiO₂ memiliki kecenderungan mengikuti Orde 1. Adapun penambahan massa yang optimum dalam aktivitas fotokatalis nano TiO₂ terimobilisasi membran poliuretan yaitu pada massa 0,1 gram dan lama penyinaran yang paling optimum pada 3 jam. Pembuatan membran poliuretan-nano TiO₂ menggunakan metode inversi fasa. Hasil karakterisasi nano TiO₂ dengan instrumen XRD menunjukkan ukuran partikel nano yaitu 8,78465 nm. Hasil karakterisasi membran poliuretan-nano TiO₂ menunjukkan gugus Ti-O dan gugus amina (N-H). Pada karakterisasi SEM dihasilkan membran yang padat dan homogen.

ABSTRACT

Name : Annisa Amnur Agustania
NIM : 180704024
Study Program : Chemistry
Title : Photocatalyst Activity of Nano TiO₂ Immobilized
Polyurethane Membrane in Photodegradation Reaction of
Methylene Blue
Session Date : 13 July 2022
Thesis Thickness : 73 Sheets
Advisor I : Khairu Nisah, M.Si.
Advisor II : Cut Nuzlia, M.Sc.
Keywords : Photocatalyst, Nano TiO₂, Polyurethane, Photodegradation,
Methylene Blue

Titanium dioxide (TiO₂) is a semiconductor that can function as a photocatalyst in the photodegradation reaction of dyes. Decreasing the particle size can improve the performance of the catalyst because it has a high interaction surface area. A polyurethane membrane is a membrane capable of separating TiO₂ nanoparticles. This study aims to determine the effect of irradiation time with variations in irradiation time of 1, 3, 5, and 7 hours on the photodegradation reaction of methylene blue dye and the addition of nano TiO₂ catalyst mass with variations of 0 gram, 0.025 gram, 0.075 gram, and 0.1 gram. The photodegradation kinetics of methylene blue with TiO₂ nano-polyurethane membrane tends to follow the 1st order. The optimum mass addition in the activity of the nano TiO₂ immobilized polyurethane membrane photocatalyst is 0.1 gram and the optimum irradiation time is 3 hours. The manufacture of TiO₂ nano-polyurethane membrane using the phase inversion method. The result of nano TiO₂ characterization with an XRD instrument showed that the nanoparticle size was 8.78465 nm. The results of the characterization of the TiO₂ nano-polyurethane membrane showed a Ti-O group and an amine group (N-H). The SEM characterization resulted in a dense and homogeneous membrane.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah menganugrahkan Al-Qur'an sebagai *hudan lin nass* (petunjuk bagi seluruh manusia) dan *rahmatan lil'alamin* (rahmat bagi segenap alam). Sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW beserta keluarganya, para sahabatnya dan seluruh umatnya yang selalu istiqamah hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis mengambil judul Skripsi "*Aktivitas Fotokatalis Nano TiO₂ Terimobilisasi Membran Poliuretan Dalam Reaksi Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru*". Penulisan skripsi bertujuan untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat-syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis juga mendapatkan banyak pengetahuan dan wawasan baru yang sangat berarti. Oleh karena itu, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan dan untaian do'anya selama ini.
2. Bapak Dr. Azhar Amsal, S.Pd., M.Pd., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Ibu Khairun Nisah, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh dan Dosen Pembimbing I Laporan Skripsi
4. Ibu Cut Nuzlia, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II Laporan Skripsi Prodi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
5. Seluruh Dosen dan Staf Prodi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

6. Seluruh teman-teman seperjuangan kimia leting 2018 yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan dorongannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga segala bantuan dan do'a yang telah diberikan mendapat balasan dari Allah SWT. Skripsi ini telah dibuat semaksimal mungkin dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Banda Aceh, 07 Desember 2021

Penulis,

(Annisa Amnur Agustania)



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH/SKRIPSI	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Minyak Biji Jarak	4
2.2 Membran.....	4
2.3 Poliuretan (PU).....	5
2.4 Fotokatalis	7
2.5 Nano TiO ₂	8
2.6 Zat Warna Metilen Biru.....	10
2.7 Fotodegradasi	11
2.8 Kinetika Fotodegradasi.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.2.1 Alat.....	15
3.2.2 Bahan.....	15
3.3 Prosedur Kerja.....	15

3.3.1	Pembuatan Nanopartikel TiO ₂	15
3.3.2	Karakterisasi Nanopartikel TiO ₂	15
3.3.3	Pembuatan Membran Poliuretan	16
3.3.4	Pembuatan Membran Poliuretan-nano TiO ₂	16
3.3.5	Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru.....	17
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		20
4.1	Data Hasil Penelitian	20
4.1.1	Karakterisasi Nano TiO ₂	20
4.1.2	Karakterisasi Membran Poliuretan-Nano TiO ₂	21
4.1.3	Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru.....	24
4.2	Pembahasan	26
4.2.1	Karakterisasi Nano TiO ₂	26
4.2.2	Pembuatan Membran Poliuretan-Nano TiO ₂	27
4.2.3	Reaksi Poliuretan dengan TiO ₂	27
4.2.4	Karakterisasi Membran Poliuretan-Nano TiO ₂	27
4.2.5	Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru.....	29
BAB V PENUTUP		31
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran	31
DAFTAR PUSTAKA		32
LAMPIRAN.....		38

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Variasi Nano TiO ₂	16
Tabel 3.2	Bahan Penelitian.....	17
Tabel 3.3	Spesifikasi Reaktor Katalis	17
Tabel 4.1	Hasil Ukuran Kristal Nano TiO ₂	20
Tabel 4.2	Puncak-Puncak Spektrum Membran Poliuretan-Nano TiO ₂	22
Tabel 4.3	Konstanta Laju Reaksi Fotodegradasi Metilen Biru	25
Tabel 4.4	Nilai absorbansi hasil fotodegradasi metilen biru.....	25
Tabel 4.5	Konsentrasi hasil fotodegradasi metilen biru	25



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Reaksi Pembuatan Membran Poliuretan dari Minyak Biji Jarak dan TDI	6
Gambar 2.2	Struktur Metilen Biru	11
Gambar 2.3	Ilustrasi Reaksi Fotodegradasi	13
Gambar 3.1	Reaktor Fotokatalis	18
Gambar 3.2	Diagram Fotodegradasi	19
Gambar 4.1	Pola Difraksi Sinar-X Nano TiO ₂	20
Gambar 4.2	Spektrum FTIR Membran Poliuretan-Nano TiO ₂	21
Gambar 4.3	Hasil Uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO ₂ 0 gram ..	22
Gambar 4.4	Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO ₂ 0,025 gram.....	23
Gambar 4.5	Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO ₂ 0,05 gram.....	23
Gambar 4.6	Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO ₂ 0,075 gram	25
Gambar 4.7	Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO ₂ 0,1 gram.....	24
Gambar 4.8	Reaksi membran poliuretan-nano TiO ₂	26

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan	36
Lampiran 2 Kurva dan Tabel.....	47
Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian	52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran oleh limbah cair yang berasal dari industri merupakan permasalahan lingkungan yang dominan. Limbah cair yang tidak diolah dan dikelola akan berdampak buruk terhadap perairan, khususnya sumber daya air (Priya *et al.*, 2011). Salah satu jenis limbah cair yang relatif banyak dijumpai adalah limbah tekstil. Limbah tekstil yang dihasilkan industri pencelupan sangat berpotensi mencemari lingkungan. Hal ini disebabkan air limbah tekstil tersebut mengandung bahan-bahan pencemar yang sangat kompleks dan intensitas warnanya sangat tinggi. Komponen utama yang berkontribusi pada rendahnya kualitas air limbah dari industri tekstil adalah keberadaan bahan pewarna yang tersedia dalam berbagai jenis senyawa kimia dengan konsentrasi yang bervariasi. Beberapa tipe bahan pewarna merupakan racun dan berdampak secara karsinogenik dan mutagenik terhadap kehidupan perairan dan manusia (Cuoto, 2009).

Zat warna merupakan gabungan zat organik yang tidak jenuh diantaranya senyawa hidrokarbon aromatik, fenol beserta turunannya dan beberapa senyawa hidrokarbon yang mengandung satu atau lebih gugus azo ($-N=N-$). Keberadaan gugus azo ini menyebabkan zat warna bersifat *non-biodegradable*, dimana zat pewarna ini dapat menyebabkan pencemaran badan air penerima karena susah untuk terurai (Wijaya *et al.*, 2006). Zat warna sebenarnya dapat mengalami dekomposisi secara alami di badan air penerima yang dibantu oleh cahaya matahari, akan tetapi intensitas sinar UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga menyebabkan dekomposisi berlangsung relatif lambat dan akumulasi zat warna ke dasar perairan atau tanah lebih cepat dari pada fotodegradasinya (Al-Kdasi *et al.*, 2004).

Semakin pesatnya industri yang menghasilkan limbah cair warna maka diperlukan suatu bahan kimia yang mampu mempercepat proses reaksi dalam pengolahan limbah sehingga menghasilkan produk secara cepat dan ramah lingkungan. Salah satu reaksi kimia tersebut adalah fotokatalisis yang merupakan

salah satu cara alternatif untuk menangani masalah pencemaran zat warna. Pada dekade terakhir ini senyawa titanium dioksida (TiO_2) telah menjadi pusat perhatian dari beberapa peneliti dan secara intensif telah diaplikasikan sebagai senyawa katalis alternatif untuk mendegradasi polutan organik pada air yang terkontaminasi oleh bahan pencemar berupa zat warna, hidrokarbon, pestisida dan sel mikroba patogen (Znaini *et al.*, 2001). Beberapa contoh padatan semikonduktor antara lain Seng oksida (ZnO), Tungsten trioksida (WO_3), dan Titanium dioksida (TiO_2) (Sugiyarto dan Suyanti, 2010).

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan semikonduktor yang dapat berfungsi sebagai fotokatalis yang memiliki fotoaktivitas yang tinggi dan stabilitas kimia meski dalam kondisi keras sekalipun. Selain itu, TiO_2 bersifat non toksik, murah dan memiliki sifat redoks yakni mampu mengoksidasi polutan organik dan mereduksi sejumlah ion logam dalam larutan (Prawithasari., *et al.*, 2015) serta tersedia secara komersial dan preparasinya yang mudah dilakukan di laboratorium. Upaya merekayasa katalis TiO_2 untuk meningkatkan kinerjanya sebagai katalisator telah banyak dilakukan, seperti halnya dengan merubah ukuran katalis menjadi berukuran nano (Chen *et al.*, 2007). Penurunan ukuran partikel dapat meningkatkan kinerja katalis karena memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi. Namun demikian, TiO_2 memiliki kelemahan yaitu setelah dipakai dalam pengolahan limbah, untuk mengambil kembali TiO_2 harus menggunakan penyaring ultra atau dengan sentrifuse karena TiO_2 bersifat koloid dalam pelarut air (Lee *et al.*, 2001). Oleh karena itu dibutuhkan media membran yang baik agar TiO_2 berstruktur nano dapat dipisahkan dari reaksinya.

Teknologi membran sangat berkembang untuk saat ini. Terutama pada bidang industri, salah satu nya sebagai media pemisahan. Membran digunakan sebagai pemisah yang diletakkan diantara dua fasa (Hanum, 2009). Di mana membran memiliki kemampuan untuk melewatkan suatu komponen dengan mudah dan cepat daripada komponen lain. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan sifat fisik atau pun kimia diantara komponen yang tertahan (*retentant*) dengan komponen yang berpermeasi (*permeat*). Proses pemisahan dengan menggunakan media membran dapat terjadi karena membran mempunyai sifat selektifitas yaitu kemampuan untuk memisahkan suatu partikel dari campurannya.

Hal ini dikarenakan partikel memiliki ukuran yang lebih besar dari pada pori membran (Safentry *et al.*, 2019).

Sifat membran sebaiknya mempunyai fleksibilitas yang tinggi agar mudah diaplikasikan pada segala keadaan sistem. Poliuretan dapat berbentuk struktur jaringan yang sangat kuat. Proses pembentukan jaringan yang baik akan memberikan poliuretan yang kuat dan fleksibel. Berdasarkan teori, gugus uretan memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan gugus yang sangat reaktif seperti gugus isosianat (Viliar, 2011). Dengan mengatur struktur jaringan yang terjadi maka sifat mekanik poliuretan dapat diatur. Struktur jaringan akan tergantung pada komposisi OH dan NCO serta suhu reaksi (Wibowo, 2015; Tillet, 2011).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini “bagaimana pengaruh penambahan katalis nano TiO₂ dan lama penyinaran pada reaksi fotodegradasi zat warna metilen biru ?”

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan massa katalis nano TiO₂ dan lama penyinaran pada reaksi fotodegradasi zat warna metilen biru.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi tentang pengaruh penambahan massa nano TiO₂ dan lama penyinaran pada reaksi fotodegradasi zat warna metilen biru.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah

1. Membran Poliuretan berasal dari minyak biji jarak komersial
2. TiO₂ komersial
3. Limbah zat warna dibuat dari metilen biru

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Biji Jarak

Minyak jarak dihasilkan dari biji tanaman jarak (*Ricinus communis*) yang dengan mudah tumbuh di daerah tropis dan subtropis salah satunya seperti di Indonesia. Pada tahun 2000, luas area tanaman mencapai 12.791 hektar dengan produksi biji jarak sebesar 1.504 ton/tahun. Produksi biji jarak di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Komponen utama minyak jarak adalah risinoleat yang dapat mencapai 90%, sehingga minyak jarak dapat dikenal juga dengan minyak risinoleat. Minyak biji jarak memiliki manfaat yang sangat banyak seperti untuk industri dalam pengolahan limbah logam (Hadiah *et al.*, 2020).

Minyak jarak mengandung trigliserida atau ester gliserol dan asam lemak bebas, dimana komponen utamanya adalah asam risinoleat sebesar 80-90% (Rizket *al.*, 1989; James, 1985). Asam lemak bebas ini mengandung dua gugus fungsi yaitu gugus hidroksil dan ikatan rangkap yang dapat digunakan sebagai sumber -OH sehingga asam lemak dari minyak biji jarak ini dapat diolah menjadi membran PU (Humko, 2004).

2.2 Membran

Teknologi membran telah berkembang dengan pesat. Membran memiliki berbagai keunggulan secara teknik maupun ekonomi sehingga sering kali digunakan dalam proses pemisahan maupun pemurnian (Majewska *et al.*, 2006). Membran merupakan suatu fasa yang bertindak sebagai penghalang yang selektif terhadap aliran molekul ion yang terdapat dalam cairan atau uap yang berhubungan dengan kedua sisinya. Proses membran digunakan dalam aplikasi yang sangat luas dan dipastikan kegunaannya semakin meningkat (Kislik, 2010).

Cara pemisahan dengan membran dapat didasarkan pada bahan dan struktur yang sama namun menggunakan metode yang berbeda dalam mengembangkan inovasi terbaru pada proses pemisahan. Inovasi teknik pemisahan ini dapat dikembangkan melalui kombinasi dengan membran baru

seperti reaktor membran fotokatalitik. Saat ini, banyak industri yang menggabungkan berbagai operasi membran yang cocok untuk proses pemisahan. Berdasarkan eksistensinya, membran terdiri dari membran alami dan sintesis. Membran alami merupakan membran pada sistem dan proses makhluk hidup dengan komponen utama adalah lemak dan protein. Sedangkan membran sintesis merupakan membran buatan yang dapat dibuat dari bahan alami (biomembran) dan bahan non alami. Membran sintesis untuk proses pemisahan dapat diklasifikasikan berdasarkan selektivitas penghalang, struktur dan morfologi serta bahan membran. Membran sintesis memiliki keuntungan karena dapat diatur hambatan selektivitasnya, berpori, tidak keropos dan memiliki afinitas kimia (Baker, 2004).

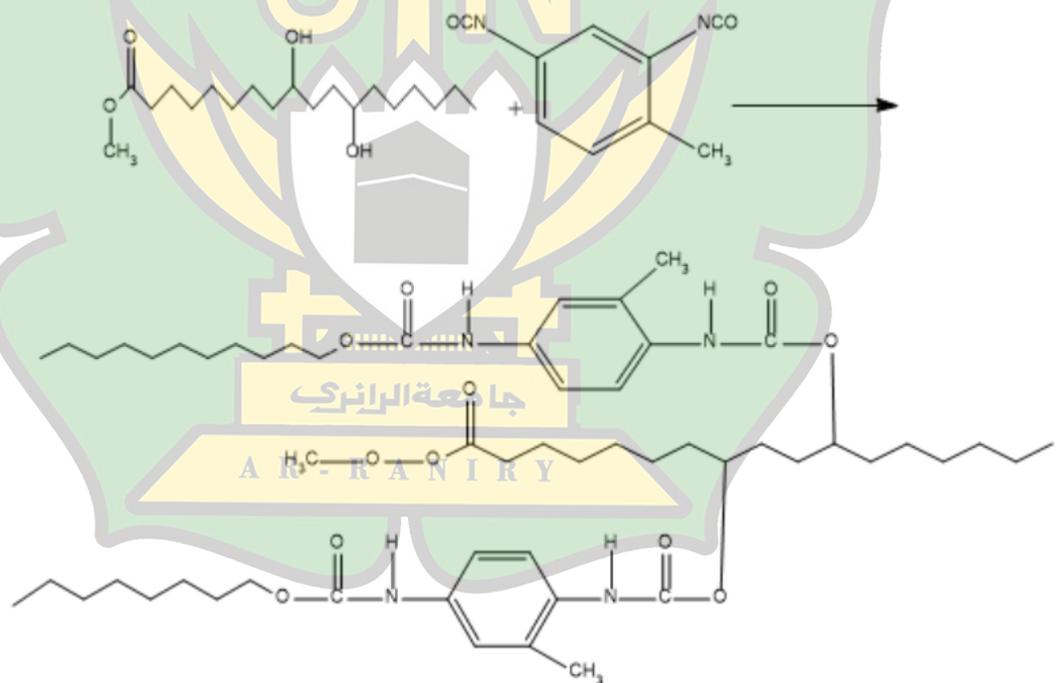
Ada beberapa teknik pembuatan membran yaitu *sintering*, *stretching*, *trackecthing*, *template leaching*, *coating* dan *phase inversion* (inversi fasa). Teknik inversi fasa merupakan proses transformasi polimer dari fasa cair ke fasa padat dengan kondisi terkendali. Proses pengendapan di inisiasi dari suatu campuran menjadi dua cairan yang saling campur dimana salah satu fasa cair yang mengandung polimer konsentrasi tinggi akan memadat dan membentuk matriks sehingga morfologi membran dapat diatur (Nunes dan Peinemann, 2001). Perkembangan membran sangat pesat dibuktikan dengan meluasnya aplikasi membran yang sangat luas. Dalam industri kimia farmasi, pembaharuan sumber daya alam, bioteknologi, industri makanan, transfer energi, pengolahan limbah dan klarifikasi air nira, industri pengolahan limbah tekstil, *ion exchange* pada proses elektrodialisis, hermodialisis, biosensor dan adsorben (Meyyapan, 2005).

2.3 Poliuretan (PU)

Teknologi membran telah menjadi topik hangat dalam beberapa tahun terakhir ini. Sehingga proses pembuatan membran terus dilakukan pengembangan baik itu dari bahan dasar sintesis ataupun dari bahan alam. Salah satu membran yang disintesis dari bahan alam adalah membran poliuretan (Ramanathan *et al.*, 1999). Poliuretan merupakan polimer termoset yang terbentuk dari reaksi antara senyawa diisosiyanat dengan senyawa polifungsi yang mengandung sejumlah gugus fungsi hidroksil (poliol) (Nicholson, 1997). Pada tahun 2007,

Marina *et al*, mengembangkan poliuretan dari asam lemak bebas dan asam lemak teroksidasi yang berasal dari minyak jarak dengan 2,4-toluen diisocyanat (TDI).

Poliuretan (PU) merupakan bahan polimer yang mengandung gugus fungsi uretan (-NHCOO-), gugus fungsi yang dibentuk oleh sebuah reaksi sebuah monomer yang mengandung minimum dua gugus fungsional isosianat dengan monomer lainnya yang mengandung dua gugus alkohol dengan katalis dan zat adiktif yang lain. Secara komersial, poliuretan diproduksi dengan mereaksikan isosianat cair dengan campuran cairnya polioliol, katalis dan zat tambahan yang lain. Pengembangan polioliol-isosianat dan selulosa dibuat komposit untuk meningkatkan kapasitas panas, resistensi dan kekuatan mekanik bahan isolator yang ramah lingkungan (Sri, 2016). PU dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung gugus hidroksil (-OH) baik mono maupun poli, reaksi kimia dapat dituliskan sebagai berikut (George, 1990; Xiao *et al.*, 2009) :



Gambar 2.1 Mekanisme reaksi pembuatan membran poliuretan dari minyak jarak dan TDI

Poliuretan (PU) dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung gugus hidroksil (-OH) baik mono maupun poli (Xie, 2002). Beberapa mono atau poli tersebut adalah polietilen glikol (PEG), asam laktat, sejumlah asam nukleat, fenol, karbonimida, dan residu gula. Bahan dasar tersebut direaksikan dengan berbagai jenis isosianat, antara lain toluen diisosianat (TDI), metilendifenil diisosianat (MDI), dan polimer isosianat (PMDI) (Marlina, 2007).

2.4 Fotokatalis

Fotokatalis merupakan salah satu gabungan dua proses antara proses fotokimia dan katalis, proses fotokimia adalah suatu transformasi atau sintesis kimia dengan menggunakan cahaya sebagai pemicunya, sedangkan katalis merupakan suatu proses sintesis (transformasi) kimiawi yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa ikut terkonsumsi dalam reaksi. Hal ini dikarenakan bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai fotokatalis adalah bahan yang memiliki daerah energi yang kosong yang disebut dengan celah pita energi (*energy bandgap*) dimana bahan yang dimaksud adalah semikonduktor. Dengan demikian pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa fotokatalis adalah suatu proses transformasi kimia yang melibatkan unsur cahaya dan menggunakan katalis secara bersamaan dalam melangsungkan dan mempercepat proses transformasi tersebut (Sopyan, 1998).

Berdasarkan jenis katalis yang digunakan, fotokatalis terdiri dari proses fotokatalis homogen dan proses fotokatalis heterogen. Fotokatalis homogen adalah proses fotokatalis yang berlangsung dengan bantuan zat pengoksidasi seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalis heterogen merupakan suatu proses yang berdasarkan pada iradiasi fotokatalitik semikonduktor seperti titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO) atau kadmium sulfida (CdS). Suatu semikonduktor dapat berfungsi sebagai katalis jika cahaya mengenainya memiliki energi yang sama atau lebih dari celah pita energi semikonduktor tersebut sehingga induksi oleh sinar tersebut menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Richardson, 1989).

Semikonduktor dapat dimanfaatkan fotokatalis karena memiliki daerah energi kosong (*void energy region*) yang disebut celah pita energi (*energy band*

gap), yang terletak diantara batas pita konduksi dan pita valensi dimana tidak tersedia tingkat energi untuk mempromosikan rekombinasi elektron dan *hole* yang diproduksi oleh suatu fotoaktivasi dalam semikonduktor tersebut. Energi pita valensi dan pita konduksi semikonduktor akan mengontrol kemampuan transfer muatan yang diinduksi radiasi pada molekul teradsorpsi pada permukaan semikonduktor. Molekul penerima muatan harus memiliki tingkat potensial yang lebih positif (terletak lebih dibawah pada kurva energi potensial) daripada tingkat energi potensial pita konduksi semikonduktor. Sedangkan molekul donor muatan harus memiliki tingkat potensial yang lebih negatif (lebih atas pada kurva energi potensial) dari pada tingkat potensial pita valensi semikonduktor tersebut.

2.5 Nano TiO₂

Nano teknologi merupakan ilmu yang mempelajari partikel dalam rentang ukuran 1-100 nm. Nano teknologi memungkinkan para ilmuwan, ahli kimia dan dokter untuk bekerja pada tingkat molekul dan sel untuk menghasilkan kemajuan penting di bidang ilmu pengetahuan dan kesehatan. Penggunaan nanopartikel menawarkan keuntungan besar karena mempunyai sifat yang unik dalam fisika dan kimia. Penelitian nanopartikel sedang berkembang pesat karena dapat diaplikasikan secara luas seperti dalam bidang lingkungan, elektronik, optis dan biomedis. Nanopartikel terdiri dari konstituen tunggal atau gabungan dari beberapa bahan. Nanopartikel di alam sering ditemukan dengan bahan aglomerasi dengan berbagai komposisi, sedangkan komposisi bahan murni tunggal dapat dengan mudah disintesis dengan berbagai metode. Berdasarkan sifat kimia dan elektromagnetik, nanopartikel dapat tersebar pada aerosol, suspensi/koloid, atau dalam keadaan menggumpal. Sebagai contoh nanopartikel magnetik cenderung mengelompok membentuk sebuah aglomerat yang terkecuali permukaan mereka dilapisi dengan bahan non-magnetik, dan dalam keadaan menggumpal, nanopartikel dapat berperilaku sebagai partikel yang lebih besar, tergantung pada ukuran aglomerat tersebut (Buzea *et al.*, 2007).

Titanium oksida merupakan material oksida yang memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki sifat optik yang baik, aktivitas fotokatalis yang baik, superhidrofilik, ramah lingkungan serta stabilitas mekanik yang tinggi (J.

Zhang, 2016). Ketika TiO_2 disinari dengan sinar UV yang bersumber dari lampu ataupun sinar matahari, TiO_2 memiliki kemampuan sebagai superhidrofilik dan oksidasi reduksi yang kuat melalui proses Fotokatalis (H.F. Mofia *et al.*, 2011). Titanium dioksida (TiO_2) merupakan semikonduktor yang dapat berfungsi sebagai fotokatalis yang memiliki fotoaktivitas tinggi dan stabilitas kimia meski dalam kondisi keras sekalipun (Sopyan *et al.*, 1996; Xu *et al.*, 1999). Selain itu, TiO_2 bersifat toksik, murah dan memiliki sifat redoks yakni mampu mengoksidasi polutan organik dan mereduksi sejumlah ion logam dalam larutan (Rajh *et al.*, 1996) serta tersedia secara komersial dan preparasinya yang mudah dilakukan di laboratorium. Upaya merekayasa katalis TiO_2 memiliki kelemahan untuk meningkatkan kinerjanya sebagai katalisator telah banyak dilakukan, seperti halnya dengan merubah ukuran katalis menjadi ukuran nano (Chen *et al.*, 2007). Penurunan ukuran partikel dapat meningkatkan kinerja katalis karena memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi.

Namun demikian, TiO_2 memiliki kelemahan yaitu setelah dipakai dalam pengolahan limbah, kembali TiO_2 harus menggunakan penyaring ultra atau dengan sentrifus karena TiO_2 bersifat koloid di dalam pelarut air (Lee *et al.*, 2001). Oleh karena itu diperlukan media membran yang baik agar TiO_2 berstruktur nano dapat dipisahkan dari hasil reaksinya. Sifat membran sebaiknya mempunyai fleksibilitas tinggi agar mudah diaplikasikan pada segala keadaan sistem (Roro *et al.*, 2015). Titanium dioksida merupakan salah satu material yang digunakan dalam semikonduktor dan mulai menarik perhatian karena sifat fotokatalis, hidrofilitas dan penyerapan sinar UV. Beberapa peneliti membuat membran dengan TiO_2 untuk meningkatkan unjuk kerja membran seperti hidrofilitas dan mengurangi risiko *fouling*. TiO_2 merupakan membran yang paling mudah dibuat untuk aplikasi katalis, fotokatalis dan elektrokatalis (Moushoul, 2015).

Katalis TiO_2 memiliki 3 jenis struktur kristal yaitu *anatase*, *rutile* dan *brookite*. Untuk reaksi Fotokatalis, struktur *anatase* memberikan aktivitas yang lebih baik dibandingkan jenis kristal *rutile* (Su *et al.*, 2004). Selain itu, struktur *anatase* juga memiliki luas permukaan yang lebih besar dengan ukuran partikel yang lebih kecil. Aktivitas *anatase* dirasakan lebih baik karena energi *band-gap* *anatase* lebih besar dari *rutile* sehingga memiliki aktivitas Fotokatalis yang tinggi

(Licciulli, 2002). Kedua bentuk kristal TiO_2 yaitu *anatase* dan *rutile* dapat menyerap sinar ultraviolet. Jangkauan sinar yang diserap oleh *rutile* lebih besar akan tetapi bentuk *anatase* lebih memiliki aktivitas katalitik yang lebih besar. Hal ini dikarenakan perbedaan struktur energi diantara kedua jenis kristal dimana pita konduksi dari kristal *anatase* lebih dekat dengan pita valensi sehingga kekuatan reduksi dari kristal *anatase* ini menjadi lebih besar dibandingkan *rutile* (Amemiya, 2004).

2.6 Zat Warna Metilen Biru

Zat warna yang sering digunakan karena bahannya murah adalah metilen biru. Zat warna metilen biru merupakan zat warna dasar yang penting dalam proses pewarnaan kulit, kain mori, dan kain katun. Metilen biru dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit. Berdasarkan bahaya yang ditimbulkan maka metilen biru yang diperbolehkan di lingkungan relatif rendah. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair, konsentrasi metilen biru yang diperbolehkan yaitu 5-10 mg/L (Afifah *et al.*, 2021).

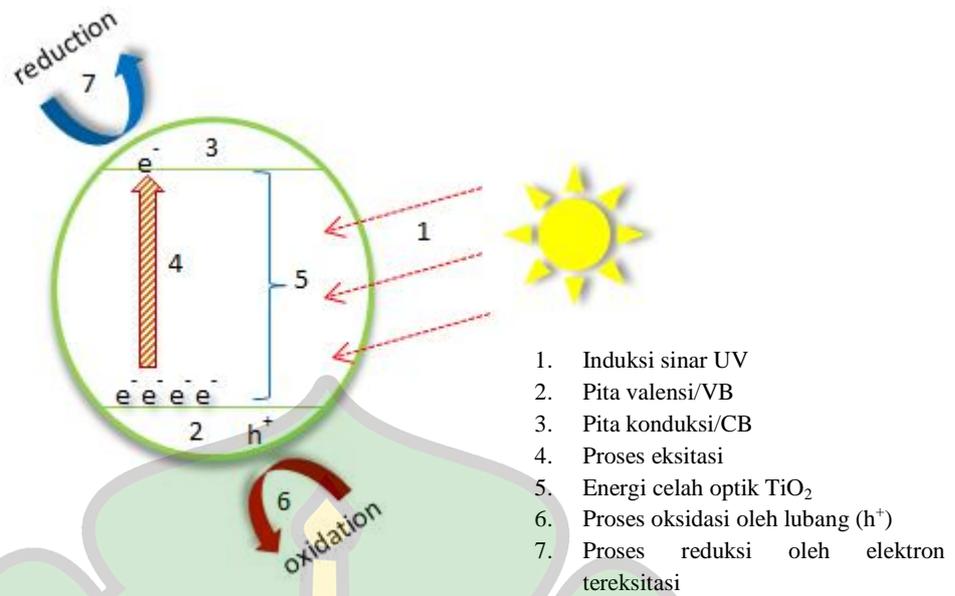
Zat warna mempunyai toksisitas yang tinggi terhadap mamalia dan organisme air. Metilen biru merupakan zat warna yang paling sering digunakan karena menghasilkan warna terang, cepat proses pewarnaan dan mudah diaplikasikan (Nurhasni *et al.*, 2018). Metililasi klorida atau metilen biru adalah senyawa kimia aromatic heterosiklik dengan rumus kimia $(\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl})$ dan merupakan *dye* kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat (Bere *et al.*, 2019).

Metilen biru, juga dikenal sebagai kapas biru, helvetia biru, asam biru 93, atau CI 42780, yang merupakan senyawa kimia aromatis heterosiklik yang beracun dengan rumus molekul $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$ dan merupakan zat warna kationik dengan adsorpsi yang sangat kuat. Senyawa ini berupa kristal berwarna hijau gelap pada suhu kamar, memiliki berat molekul 319,86 g/mol, titik lebur $105\text{ }^\circ\text{C}$, dan daya larut sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L. larutan metilen biru dapat memberikan warna biru apabila dilarutkan dalam air atau alkohol serta berada pada lingkungan

berupa semikonduktor. Katalis semikonduktor yang paling sering digunakan salah satunya adalah TiO_2 . TiO_2 adalah katalis semikonduktor yang paling efektif karena mempunyai energi gap relatif besar (3,2 eV) yang cocok digunakan untuk fotokatalis, tidak beracun, harganya terjangkau dan melimpah di alam (Joshi *et al.*, 2010).

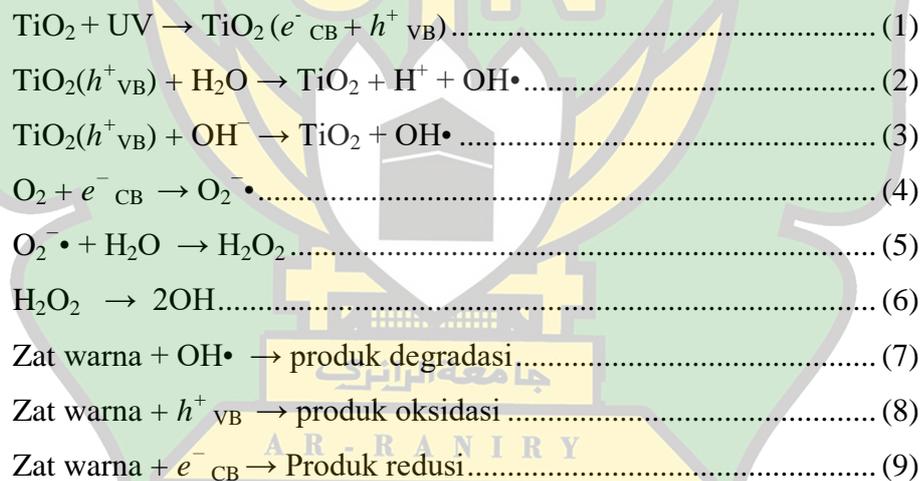
Fotodegradasi adalah proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis, yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Prinsip fotodegradasi adalah adanya loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya *hole* (lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut (air) membentuk radikal OH. Radikal bersifat aktif dan dapat berlanjut untuk menguraikan senyawa organik (Maldotti *et al.*, 2000). Konsentrasi zat warna diketahui dapat mempengaruhi aktivitas fotodegradasi. Semakin tinggi konsentrasi zat warna diketahui akan dapat menurunkan aktivitas fotokatalis. Hal tersebut telah dibuktikan pada penelitian (Nikazar *et al.*, 2007), dalam degradasi zat warna *Disperse Yellow 23* menggunakan fotokatalis TiO_2 diketahui bahwa dengan penambahan konsentrasi zat warna akan menurunkan aktivitas fotokatalis.

Fotodegradasi merupakan suatu proses penguraian senyawa dengan bantuan cahaya UV (Fatimah dan Wijaya, 2005). Fotodegradasi dalam bereaksi terhadap terkatalisis pada empat unsur yaitu foton atau sumber cahaya, senyawa objek, oksigen, serta fotokatalis (Wijaya *et al.*, 2006). Fotodegradasi dimulai dari penyerapan sinar UV. Secara teoritis sinar UV mampu menyerap polimer murni secara langsung. Sebuah polimer dengan senyawa dalam jumlah kecil sebagai output degradasi setelah polimerisasi akan membuat penyerapan sinar UV lebih cepat. Maka prasyarat untuk stabilisasi polimer adalah stabilisasi termal dan pengolahan yang efektif terhadap cahaya yang efektif dalam waktu yang lama (Leksono, 2012). Proses degradasi dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.3 Ilustrasi reaksi fotodegradasi

Persamaan (1) sampai (9) menggambarkan mekanisme dari proses fotokatalis dalam reaksi fotodegradasi.



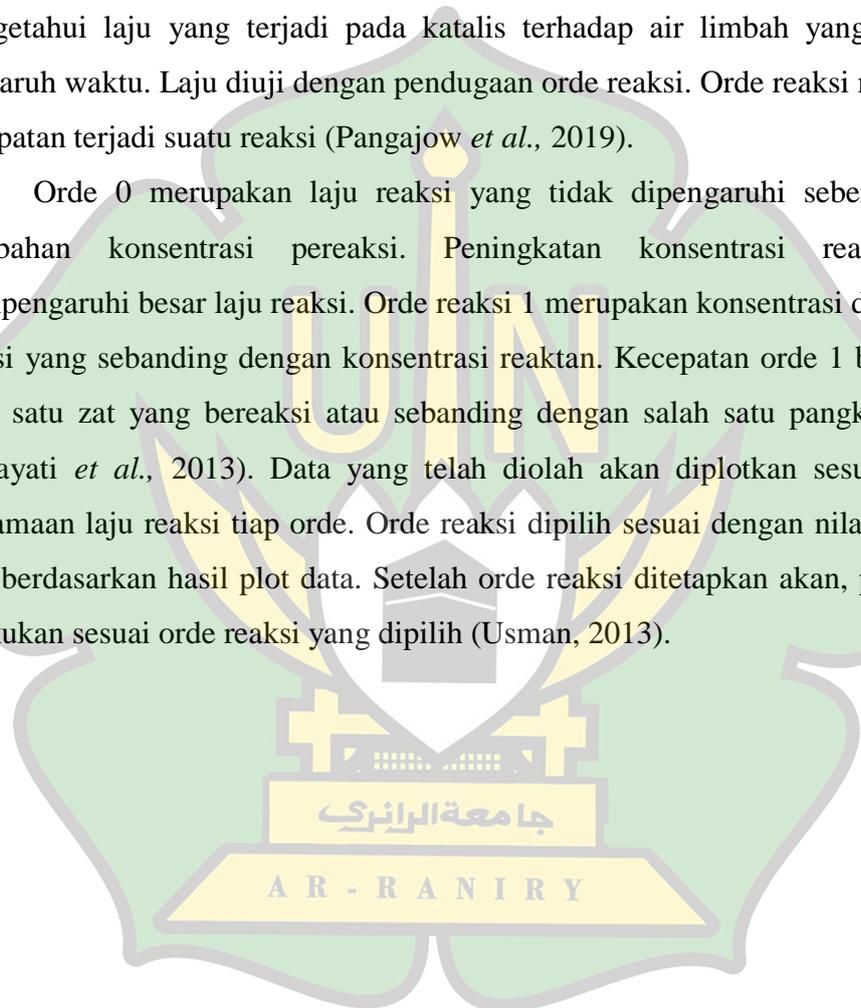
Reaksi fotokatalis diaktivasi oleh absorpsi foton dengan level energi yang sama atau lebih tinggi dari celah pita (*band-gap*) pada katalis. Reaksi tersebut diinisiasi oleh pemisahan muatan yang dihasilkan oleh promosi elektron (e^-) dari pita valensi ke pita konduksi pada katalis, yang menghasilkan lubang (h^+) pada pita valensi. Elektron yang dihasilkan mampu mereduksi warna atau bereaksi dengan akseptor elektron seperti O_2 yang teradsorpsi pada permukaan katalis atau terlarut dalam air, untuk membentuk anion radikal superoksida ($\text{O}_2^{\cdot-}$). Lubang yang dihasilkan mampu mengoksidasi molekul organik atau bereaksi dengan OH^-

atau H_2O untuk memproduksi $\text{OH}\cdot$, $\text{O}_2^-\cdot$ dan $\text{OH}\cdot$ adalah spesies yang sangat kuat yang mampu mendegradasi hampir seluruh zat warna azo menjadi produk-produk akhir mineral (Sugiyana dan Bambang, 2016)

2.8 Kinetika Fotodegradasi

Kinetika reaksi merupakan cabang dalam ilmu kimia yang membahas laju reaksi kimia (Mulyono *et al.*, 2019). Kinetika fotodegradasi digunakan untuk mengetahui laju yang terjadi pada katalis terhadap air limbah yang memiliki pengaruh waktu. Laju diuji dengan pendugaan orde reaksi. Orde reaksi merupakan kecepatan terjadi suatu reaksi (Pangajow *et al.*, 2019).

Orde 0 merupakan laju reaksi yang tidak dipengaruhi seberapa besar perubahan konsentrasi pereaksi. Peningkatan konsentrasi reaksi tidak mempengaruhi besar laju reaksi. Orde reaksi 1 merupakan konsentrasi dengan laju reaksi yang sebanding dengan konsentrasi reaktan. Kecepatan orde 1 bergantung pada satu zat yang bereaksi atau sebanding dengan salah satu pangkat reaktan (Hidayati *et al.*, 2013). Data yang telah diolah akan diplotkan sesuai dengan persamaan laju reaksi tiap orde. Orde reaksi dipilih sesuai dengan nilai linearitas (R^2) berdasarkan hasil plot data. Setelah orde reaksi ditetapkan akan, pemodelan dilakukan sesuai orde reaksi yang dipilih (Usman, 2013).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian aktivitas fotokatalis nano TiO₂ terimobilisasi membran poliuretan dalam reaksi fotodegradasi dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2022. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry Banda Aceh, Laboratorium Pusat Survey Geologi Bandung, dan Laboratorium Pengujian Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas yaitu gelas ukur, erlenmeyer, gelas kimia, corong, cawan petri, *magnetic stirrer*, timbangan analitik, labu ukur, dan mikropipet. Sedangkan instrumen yang digunakan yaitu XRD (*X-Ray Diffraction*), *Shaker Mill* PPF-UG, SEM (*Scanning Electron Microscope*), Spektrofotometer UV-Vis dan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *toluen diisosianat* (TDI), minyak jarak, kristal titanium dioksida (TiO₂), *aquadest* (H₂O), metilen biru 3% dan aseton.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan Nanopartikel TiO₂

Serbuk TiO₂ dimasukkan kedalam tabung untuk dilakukan penumbukan. Kemudian, serbuk TiO₂ digiling menggunakan *Shaker Mill* PPF-UG dengan kecepatan 500 *rpm* selama 10 jam.

3.3.2 Karakterisasi Nanopartikel TiO₂

Serbuk TiO₂ dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Untuk mengukur struktur dan ukuran kristal partikel TiO₂ ditentukan dengan menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD). Ukuran kristal dapat dihitung menggunakan persamaan *Scherrer*.

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

Dengan D adalah diameter ukuran kristal (nm), λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan (nm), B adalah FWHM (*Full width at half of maximum*), θ adalah sudut bragg, dan K adalah konstanta material (umumnya dipakai 0,9).

3.3.3 Pembuatan Membran Poliuretan

Pembuatan membran poliuretan menggunakan metode ikatan silang dengan cara mereaksikan minyak biji jarak dengan toluen diisosianat. Minyak biji jarak 3,5 gram ditambah toluen diisosianat 1,75 gram, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 30°C selama 15 menit kemudian dilarutkan dengan menambahkan aseton sebanyak 4 gram. Larutan membran dituang ke cetakan kaca (Nurman *et al.*, 2015).

Karakterisasi membran poliuretan dilakukan dengan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) (Prawithasari *et al.*, 2015).

3.3.4 Pembuatan Membran Poliuretan-nano TiO₂

Metode pembuatan membran dilakukan dengan metode inversi fasa. Membran dibuat dengan mereaksikan minyak biji jarak dengan toluene diisosianat dan nano TiO₂. Minyak biji jarak 3,5 gram diaduk dengan nano TiO₂ dengan variasi yang tertera pada tabel 3.1 tanpa pemanasan selama 3 menit. Ditambahkan 1,75 gram toluen diisosianat, diaduk dengan pemanasan pada suhu 30°C selama 15 menit kemudian dilarutkan dengan menambahkan aseton sebanyak 4 gram. Larutan membran-nano TiO₂ dituang ke cetakan kaca (Prawithasari *et al.*, 2015).

Tabel 3.1 Variasi nano TiO₂

Minyak Biji Jarak (gram)	TDI (gram)	Aseton (gram)	Nano TiO ₂ (gram)
3,5	1,75	4	0,025
3,5	1,75	4	0,05
3,5	1,75	4	0,075
3,5	1,75	4	0,1

Karakterisasi membran poliuretan-nano TiO₂ dilakukan dengan menggunakan instrument *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) (Prawithasari *et al.*, 2015).

3.3.5 Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru

Fotodegradasi memerlukan bahan serta reaktor fotokatalis. Bahan yang dipakai untuk keperluan penelitian tercantum pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Bahan penelitian

No.	Nama Bahan	Jumlah
1.	Zat warna metilen biru	500 mL
2.	Membran poliuretan	3 (2 cm × 2 cm)
3.	Membran poliuretan-nano TiO ₂ (0,025; 0,05; 0,075 dan 0,1 gram)	12 (2 cm × 2 cm)

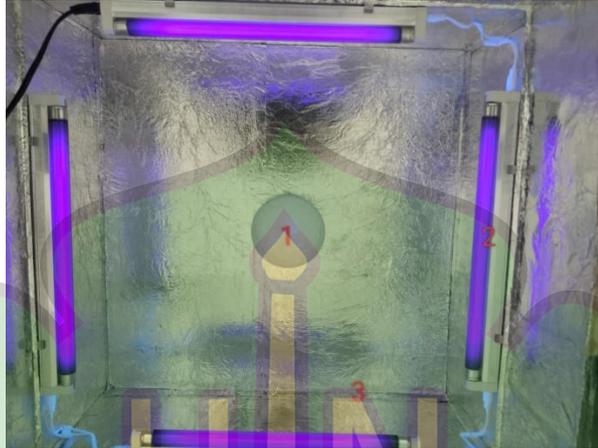
Reaktor fotokatalis yang digunakan mempunyai perincian sebagai berikut:

Tabel 3.3 Spesifikasi reaktor fotokatalis

Aspek	Keterangan
Dimensi reaktor fotokatalis	$p \times l \times t$ (30 cm × 30 cm × 40 cm)
Material	Papan triplek dilapisi dengan aluminium foil
Lampu	4 buah lampu (UV A) $\lambda = 320-400$ nm

(Anggraini, 2019)

Lampu sinar UV A digunakan sebanyak 4 buah, masing – masing lampu memiliki daya 10 watt. Intensitas cahaya yang dimiliki lampu akan dihitung menggunakan lux meter. Reaktor fotokatalis dapat dilihat pada gambar 3.1, dengan keterangan 1 untuk cawan petri, 2 untuk lampu sinar UV A, dan 3 untuk papan yang dilapisi alumunium foil.

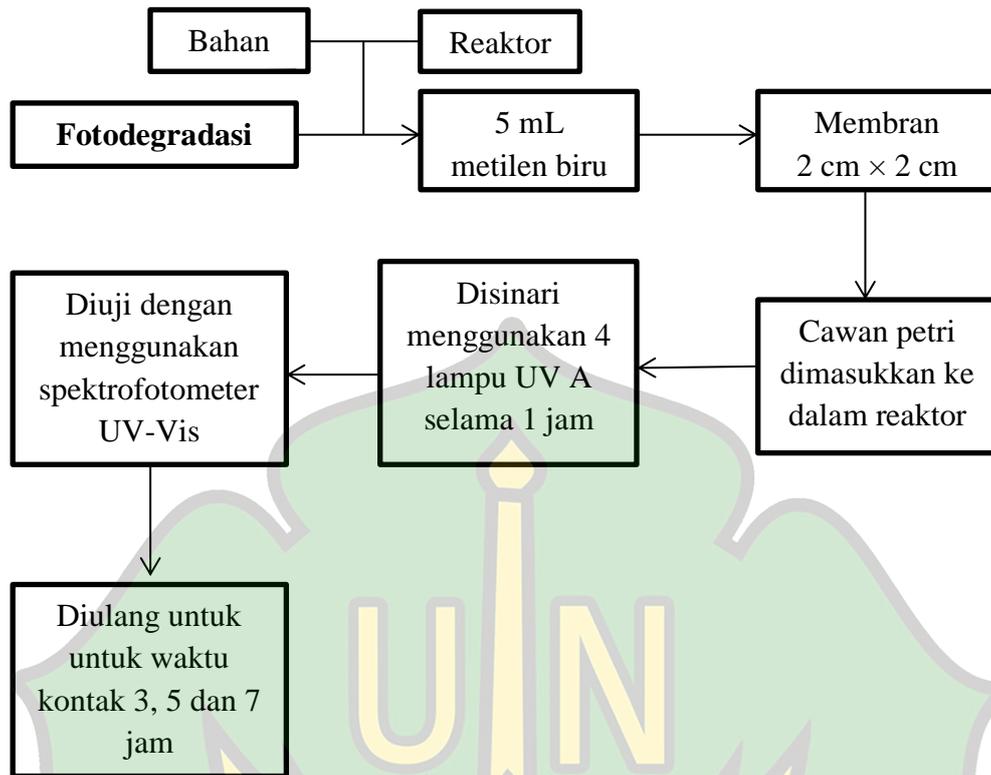


Gambar 3.1 Reaktor Fotokatalis

Fotodegradasi dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Dimasukkan Metilen dengan konsentrasi 20 ppm ke dalam 5 cawan petri masing – masing diisi 10 mL.
2. Membran poliuretan dan membran poliuretan-nano TiO_2 (0,025; 0,05; 0,075 dan 0,1) dengan ukuran 2 cm \times 2 cm dimasukkan kedalam masing -masing cawan petri.
3. Seluruh cawan petri dimasukkan ke dalam reaktor.
4. Sampel disinari menggunakan 4 lampu sinar UV A selama 1 jam
5. Diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 665 nm.
6. Cawan petri dikeluarkan dari reaktor lalu dilakukan pengujian.
7. Prosedur 1-5 diulang dengan waktu kontak 3, 5 dan 7 jam.

Diagram fotodegradasi dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram fotodegradasi

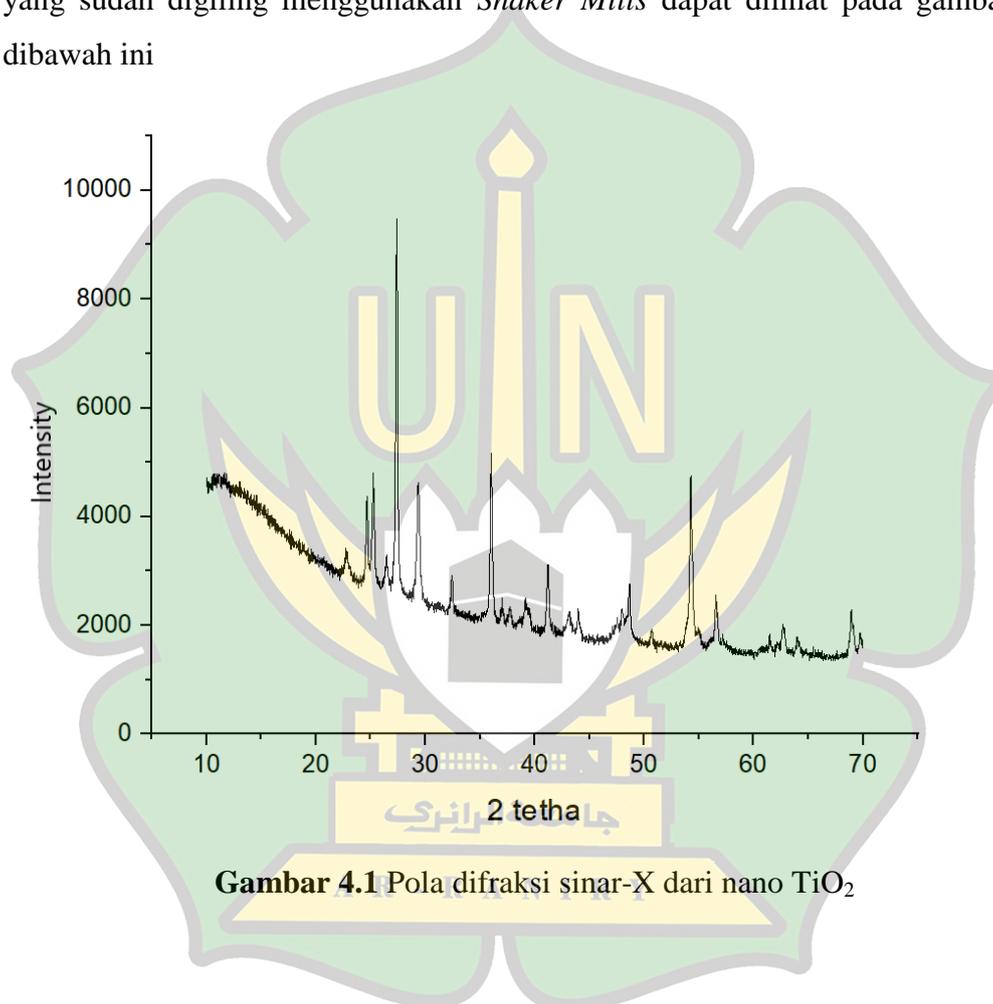
BAB IV DATA

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Karakterisasi Nano TiO₂

Berdasarkan hasil dari karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) TiO₂ yang sudah digiling menggunakan *Shaker Mills* dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini



Berdasarkan hasil analisa pola difraksi sinar X dari nano TiO₂ diatas, didapatkan hasil ukuran Kristal nano TiO₂ menggunakan persamaan *Scherrer* yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil ukuran Kristal nano TiO₂ menggunakan persamaan *Scherrer*

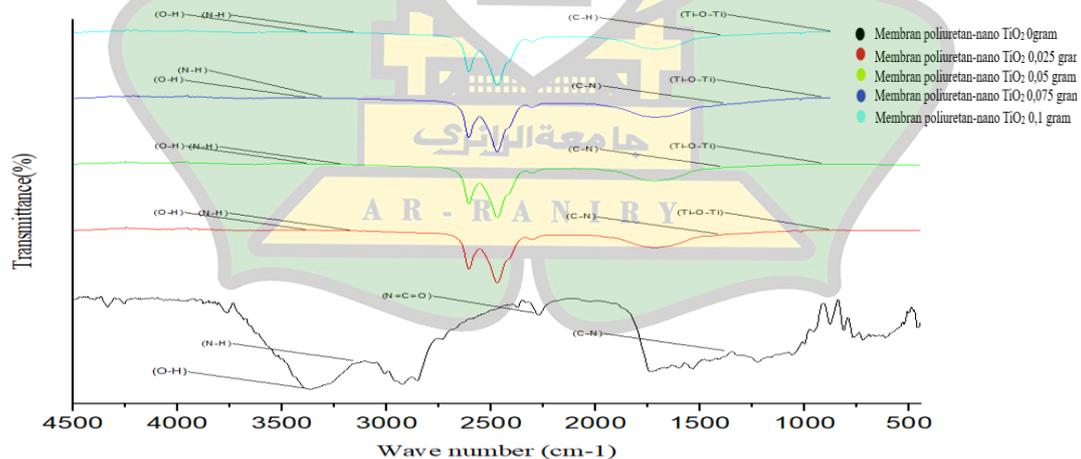
2θ (deg)	θ (rad)	FWHM (rad)	D (nm)
24,81061	0,21651	0,018905	7,33463

24,81061	0,21651	0,37479	0,36996
27,37288	0,23887	0,00389	35,73556
29,35597	0,25617	0,00579	23,98858
24,81061	0,21651	0,37577	0,36899
22,80254	0,1989	0,00763	18,19606
32,9294	0,28541	0,657	0,21104
32,70907	0,28544	1,48912	0,09311
38,9294	0,33972	0,27815	0,49731
47,08438	0,41088	0,22101	0,62739
54,28668	0,47374	0,0055	28,6766
56,83829	0,49600	0,25458	0,54468
68,94979	0,60170	0,2491	0,55662
Ukuran Partikel (D) Rata-rata			8,78465

4.1.2 Karakterisasi Membran Poliuretan-Nano TiO₂

1. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Berdasarkan hasil dari karakterisasi dengan FTIR membran poliuretan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spektrum FTIR membran poliuretan-nano TiO₂

Berdasarkan hasil serapan FTIR Membran Poliuretan-nano TiO₂ diatas, didapatkan puncak – puncak umum yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2 Puncak-puncak Membran Poliuretan-Nano TiO₂

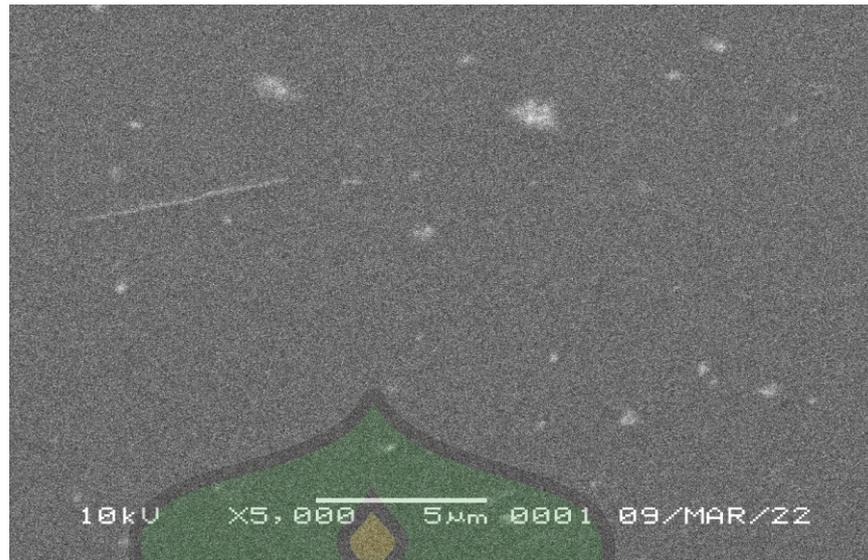
Panjang Gelombang (Cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
3300-3600	O-H
1180-1360	C-N
400-1000	Ti-O-Ti
2240-2275	N=C=O
3450-3100	N-H

2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada membran poliuretan dapat dilihat pada gambar dibawah ini



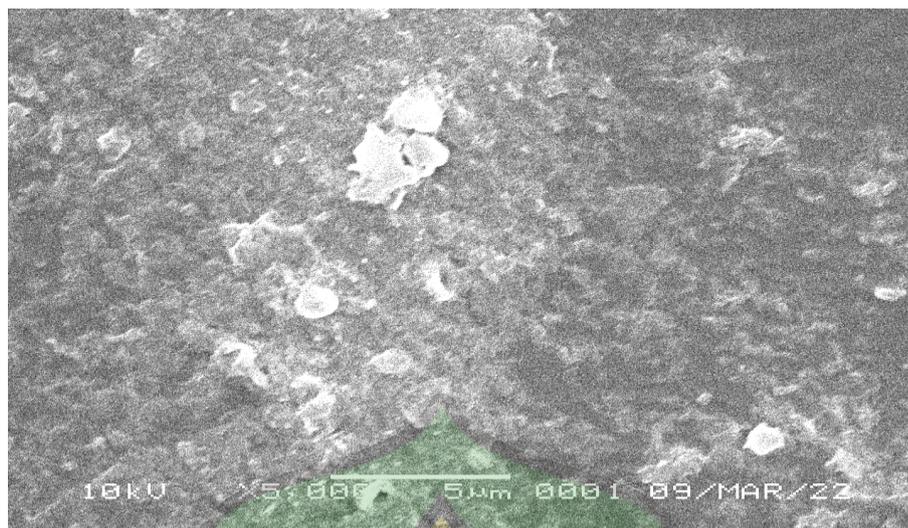
Gambar 4.3 Hasil Uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO₂ 0 gram



Gambar 4.4 Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO₂ 0,025 gram



Gambar 4.5 Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO₂ 0,05 gram



Gambar 4.6 Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO₂ 0,075 gram



Gambar 4.7 Hasil uji SEM pada membran poliuretan-nano TiO₂ 0,1 gram

4.1.3 Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru

1. Pengaruh Penambahan Massa

Nilai-nilai konstanta laju reaksi fotodegradasi zat warna metilen biru dengan membran poliuretan-nano TiO₂ di tunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Konstanta laju reaksi fotodegradasi metilen biru

Jumlah Nano TiO ₂ (gram)	Orde 1		Orde 2	
	K	R ²	K	R ²
0 gram	0,0291	0,0082	-0,0132	0,0028
0,025	0,2986	0,6	-0,3867	0,0398
0,05	0,1583	0,294	-0,028	0,0022
0,075	0,1978	0,8112	-0,023	0,008
0,1	0,3118	0,9109	-0,0963	0,0236

2. Pengaruh Lama Waktu Penyinaran

Tabel 4.4 Nilai absorbansi hasil fotodegradasi metilen biru

Membran Poliuretan-nano TiO ₂ (gram)	Lama Penyinaran (jam)			
	1 (ABS)	3 (ABS)	5 (ABS)	7 (ABS)
0	0,023	-0,008	-0,007	0,028
0,025	-0,013	-0,009	-0,001	0,045
0,05	0,003	-0,007	0,002	0,015
0,075	0,007	-0,009	0,013	0,021
0,1	0,003	-0,004	-0,008	0,025

Tabel 4.5 Konsentrasi hasil fotodegradasi metilen biru

Membran Poliuretan-nano TiO ₂ (gram)	Lama Penyinaran (jam)			
	1 (ppm)	3 (ppm)	5 (ppm)	7 (ppm)
0	3,7741	-1,2258	-1,0645	4,5806
0,025	-2,0322	-1,387	-0,0967	7,3225
0,05	0,5438	-1,064	0,387	2,4838
0,075	1,1935	-1,387	2,1612	3,4516
0,1	0,5483	-0,5006	1,225	4,0967

4.2 Pembahasan

Membran poliuretan dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung gugus hidroksil (-OH) baik mono maupun poli, diantaranya adalah polietilen glikol (PEG), asam laktat, sejumlah asam nukleat, fenol, karbonimida, dan residu gula. Bahan dasar tersebut direaksikan dengan berbagai jenis isosianat, antara lain toluen diisosianat (TDI), metilendifenil diisosianat (MDI), dan polimer isosianat (PMDI). Pada penelitian ini minyak jarak direaksikan dengan toluen diisosianat.

Minyak jarak mengandung trigliserida atau ester gliserol dan asam-asam lemak bebas, dimana komponen utamanya adalah asam risinoleat sebesar 80 – 90%. Asam lemak ini mengandung dua gugus fungsi yaitu gugus hidroksil (-OH) dan ikatan rangkap yang dapat digunakan sebagai sumber-sumber -OH, dengan demikian asam lemak dari minyak jarak ini dapat diolah menjadi poliuretan. Poliuretan dibuat dengan cara pencampuran langsung asam lemak bebas dan toluen diisosianat (TDI).

4.2.1 Karakterisasi Nano TiO₂

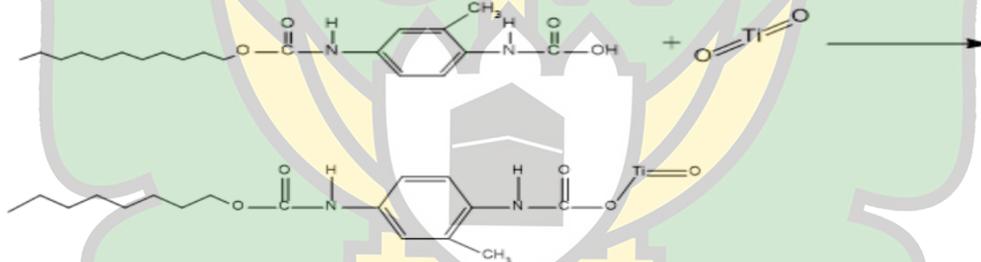
Partikel nano TiO₂ hasil dari *shaker mills* dengan kecepatan 500 rpm selama 10 jam dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui karakter kristalinitas yang dimiliki dan ukuran Kristal yang diperoleh dari hasil *shaker mills*. Pola difraksi tersebut dibandingkan dengan pola difraksi standar CIF (*Crystallography Information File*) dengan puncak-puncak standar dari TiO₂ rutil berdasar CIF #1532819.

Berdasarkan spektra XRD yang diperoleh (Gambar 4.1), nano TiO₂ berfasa amorf atau memiliki kristalinitas rendah, hal tersebut ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak yang melebar. Pola difraksi nano TiO₂ menunjukkan bahwa tersusun dari TiO₂ rutil dan anatase dengan puncak utama pada 2θ sebesar 27,45°. Berdasarkan persamaan *Scherrer* diperoleh nilai ukuran Kristal nano TiO₂ setiap puncak seperti yang terlihat pada Tabel 4.1 dengan rata-rata ukuran 8,78465 nm.

4.2.2 Pembuatan Membran Poliuretan-Nano TiO₂

Metode pembuatan membran poliuretan dengan kombinasi nano TiO₂ merupakan parameter penting dalam melakukan suatu penelitian. Dimana pembuatan membran ini nantinya akan mempengaruhi karakterisasi dari membran tersebut. Minyak jarak sebagai bahan utama pembuatan membran poliuretan, yang kemudian ditambahkan nano TiO₂ dengan variasi seperti pada tabel 3.1. dapat dilihat pada tabel tersebut nano TiO₂ yang dipakai memiliki perbedaan interval 0,025 gram pada setiap pembuatan membran sebagai bahan pengisi, kemudian diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer* agar homogen. Toluene diisocyanat (TDI) ditambahkan sebagai pereaksi reagen pembentuk membran poliuretan dan ditambahkan aseton sebagai pelarut dengan pemanasan 30°C untuk mempercepat laju reaksi selama 15 menit dengan kecepatan 360 rpm.

4.2.3 Reaksi Poliuretan dengan TiO₂



Gambar 4.8 Reaksi membran poliuretan-nano TiO₂

Mekanisme reaksi membran poliuretan-nano TiO₂ merujuk kepada mekanisme reaksi substitusi. Tahap pertama yaitu pembentukan karbokation pada senyawa poliuretan yaitu dengan pemutusan ikatan pada gugus -OH. Tahap kedua yaitu penyerangan karbokation oleh atom O yang berasal dari senyawa TiO₂. Kemudian karbokation mengikat senyawa TiO₂ di dapatkan produk poliuretan-nano TiO₂ dengan produk sampingan OH.

4.2.4 Karakterisasi Membran Poliuretan-Nano TiO₂

1. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Membran poliuretan-nano TiO₂ dianalisis menggunakan spektroskopi FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada membran. Analisis ini perlu dilakukan untuk mengetahui keberhasilan sintesis. Karakterisasi ini dilakukan pada semua membran poliuretan-nano TiO₂ yang divariasikan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk.

Gambar 4.2 menunjukkan spectrum FTIR dari membran poliuretan-nano TiO₂. Spektrum dari membran poliuretan-nano TiO₂ dengan variasi tersebut menunjukkan terbentuknya ikatan uretan. Ikatan uretan ditandai dengan adanya serapan terhadap ikatan O-H pada bilangan gelombang 3354,21 cm⁻¹. Terlihat masih adanya gugus -CO dari NCO pada bilangan gelombang 2274,07 cm⁻¹. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa reaksi polimerisasi telah berlangsung dengan sempurna membentuk membran poliuretan-nano TiO₂.

Hasil spektrum FTIR dari membran poliuretan-nano TiO₂ dengan penambahan variasi 0,025; 0,05; 0,075 dan 0,1 gram menunjukkan adanya serapan terhadap gugus hidroksil (O-H) pada panjang gelombang 3100 – 3300 cm⁻¹, gugus amina N-H pada panjang gelombang 3100-3450 cm⁻¹, tetapi pada bilangan panjang gelombang 2240 – 2275 cm⁻¹ tidak adanya serapan terhadap gugus isosianat (-NCO). Pada gambar memperlihatkan adanya serapan yang kuat pada panjang gelombang 400 – 1000 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya ikatan Ti-O-Ti, ini mengindikasikan formasi kerja dari nano TiO₂.

2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Tujuan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk memberikan informasi mengenai morfologi membran. Struktur morfologi membran poliuretan-nano TiO₂ 0 gram dianalisis menggunakan SEM diperlihatkan pada Gambar 4.3 dengan pembesaran 5000x untuk membran poliuretan-nano TiO₂ dengan hasil membran poliuretan-nano TiO₂ merupakan membran padat (dense), tidak homogen karena terlihat masih adanya bintik- bintik pada membran, dan tidak terlihat adanya pori-pori. Pada pembesaran 5000x untuk membran poliuretan-nano TiO₂ 0,025; 0,05; 0,075 dan 0,1 pada gambar terlihat bahwa, membran poliuretan-nano TiO₂ yang dihasilkan merupakan membran yang padat dan homogen.

4.2.5 Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru

1. Pengaruh Penambahan Massa Nano TiO₂ Terhadap Aktivitas Fotokatalis

Aktivitas fotokatalis berdasarkan pengaruh penambahan massa nano TiO₂ terimobilisasi membran poliuretan dalam reaksi fotodegradasi zat warna metilen biru diperoleh nilai kinetika fotodegradasi dengan menghitung harga k dari orde 1 dan orde 2. Kecenderungan kinetika fotodegradasi yang terjadi sesuai dengan persamaan kinetika reaksi orde 1 dan orde 2 dinyatakan dalam persamaan (1) dan (2).

$$\text{Orde 1} \quad : \quad \ln A = \ln A_0 - k \cdot t \quad (1)$$

$$\text{Orde 2} \quad : \quad \frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} + k \cdot t \quad (2)$$

Plot linear dari persamaan (1) dan (2) mendapatkan nilai *slope* dan intersep atau perpotongan sumbu Y. Nilai intersep merupakan nilai konstanta kecepatan reaksi, k . plot linear dari kinetika fotodegradasi metilen biru dapat dilihat pada Tabel 4.3. Hasilnya menunjukkan fotodegradasi metilen biru dengan menggunakan membran poliuretan-nano TiO₂ memiliki kecenderungan terhadap orde 1 karena konstanta regresi, R^2 , lebih besar dibandingkan orde 2. Hasil ini menyatakan bahwa kinetika fotodegradasi metilen biru dengan membran poliuretan-nano TiO₂ memiliki kecenderungan mengikuti Orde 1. Prawithasari *et al.*, (2015) melakukan penelitian terkait fotokatalis membran selulosa asetat/nata de coco-TiO₂ nano pada fotodegradasi zat warna metilen biru mengikuti orde 2 dengan harga konstanta kecepatan reaksi sebesar $k = 0,170 \text{ (ppm.menit)}^{-1}$, dimana penelitian tersebut nano TiO₂ memiliki rata-rata diameter sebesar 88,63 nm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fotodegradasi menggunakan nano TiO₂ yang memiliki perbedaan ukuran memiliki kecenderungan orde yang berbeda. Pada umumnya orde reaksi terhadap suatu zat tertentu tidak sama dengan koefisien dalam persamaan stoikiometri reaksi (Bando *et al.*, 2019). Orde reaksi pada reaksi kimia dapat diartikan sebagai laju reaksi yang terjadi pada suatu reaksi kimia, dimana Orde 1 laju reaksi berbanding langsung dengan konsentrasi reaktan.

Berdasarkan Tabel 4.3 aktivitas fotokatalis nano TiO₂ terimobilisasi membran poliuretan mengikuti orde 1 dengan proses fotodegradasi fotodegradasi metilen biru menggunakan membran poliuretan-nano TiO₂ 0,025; 0,05; 0,075 dan 0,1 gram memiliki laju reaksi dengan harga konstanta (k) yang lebih besar 0,2986;

0,1583; 0,1978; 0,3118 (ppm.menit)⁻¹. Nilai konstanta laju kinetika fotokatalis membran poliuretan-nano TiO₂ setiap variasi tidak berbeda signifikan. Nilai konstanta laju reaksi pada membran poliuretan-nano TiO₂ 0,1 gram menunjukkan nilai yang paling besar diantara seluruh variasi, hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan fotokatalis nano TiO₂ maka semakin besar laju reaksi pada reaksi fotodegradasi.

2. Pengaruh Lama Waktu Penyinaran Terhadap Aktivitas Fotokatalis Nano TiO₂

Fotodegradasi metilen biru oleh membran poliuretan-nano TiO₂ pada berbagai waktu penyinaran seperti yang terlihat pada Tabel 4.5 terlihat bahwa reaksi fotodegradasi yang paling optimum didapatkan pada lama waktu penyinaran 3 jam. Hal ini dikarenakan lama waktu penyinaran mempengaruhi banyaknya elektron yang tereksitasi dan h^+ yang terbentuk. Semakin banyak h^+ , maka radikal hidroksil yang berfungsi untuk mengoksidasi zat warna juga akan semakin meningkat. Pada mekanisme proses fotodegradasinya, fotokatalis nano TiO₂ dapat mengkatalis reaksi oksidasi dari zat warna, reaksi oksidasi dapat terjadi karena h^+ yang terbentuk selama aktivitas fotokatalis, akan mengoksidasi ion hidroksil atau air pada permukaan katalis, sehingga menghasilkan radikal hidroksil. Radikal ini akan mengoksidasi senyawa organik seperti zat warna metilen biru, yang kemudian hasil akhir degradasinya akan berupa CO₂ (Poluakan *et al.*, 2015). Pada lama waktu penyinaran 5 dan 7 jam terjadi peningkatan konsentrasi kembali. Hal ini dikarenakan nano TiO₂ terimobilisasi membran poliuretan mengalami keadaan jenuh karena volume yang digunakan pada saat proses fotodegradasi sedikit. Lama waktu penyinaran untuk 1 jam didapatkan nilai penurunan nilai konsentrasi yang tidak konstan. Hal ini kemungkinan, lama waktu penyinaran tersebut tidak bisa mengurai zat warna metilen biru yang ada, karena waktu yang terlalu singkat.

BAB V

PENUTUP

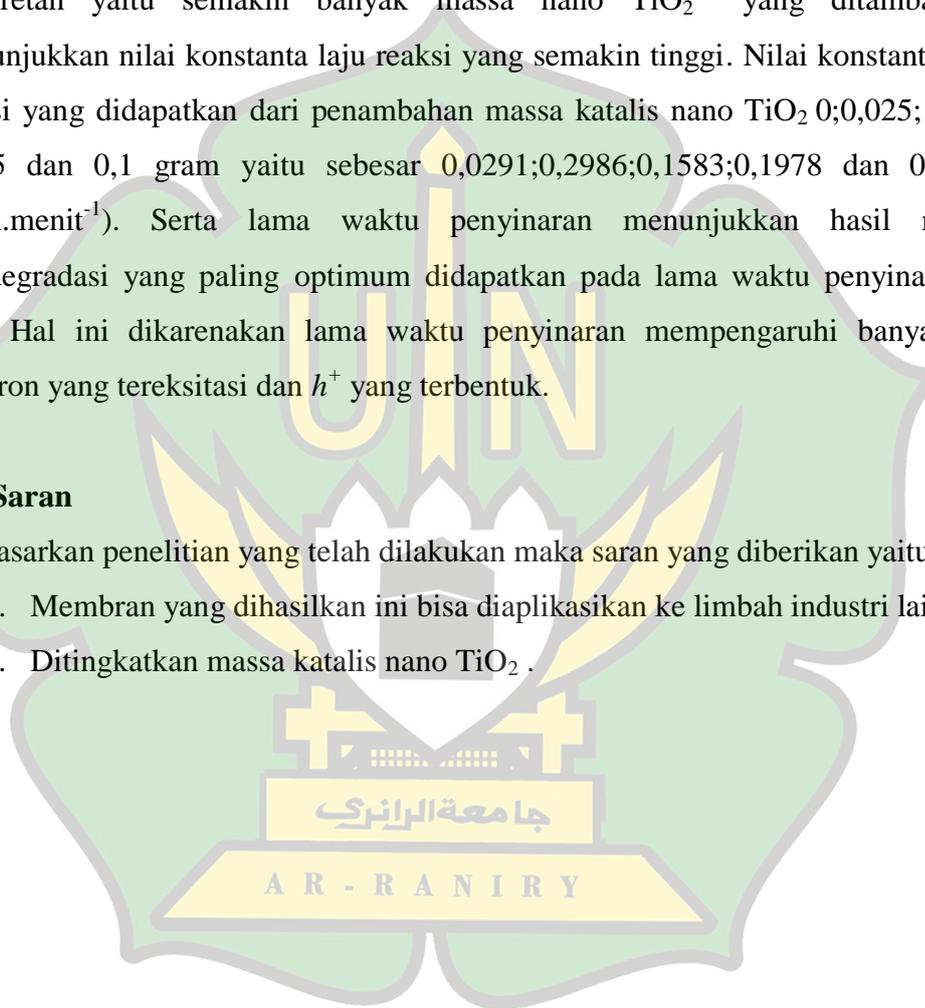
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil reaksi fotodegradasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penambahan fotokatalis nano TiO_2 yang terimobilisasi pada membran poliuretan yaitu semakin banyak massa nano TiO_2 yang ditambahkan menunjukkan nilai konstanta laju reaksi yang semakin tinggi. Nilai konstanta laju reaksi yang didapatkan dari penambahan massa katalis nano TiO_2 0;0,025; 0,05; 0,075 dan 0,1 gram yaitu sebesar 0,0291;0,2986;0,1583;0,1978 dan 0,3118 ($\text{ppm}\cdot\text{menit}^{-1}$). Serta lama waktu penyinaran menunjukkan hasil reaksi fotodegradasi yang paling optimum didapatkan pada lama waktu penyinaran 3 jam. Hal ini dikarenakan lama waktu penyinaran mempengaruhi banyaknya elektron yang tereksitasi dan h^+ yang terbentuk.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran yang diberikan yaitu:

1. Membran yang dihasilkan ini bisa diaplikasikan ke limbah industri lainnya
2. Ditingkatkan massa katalis nano TiO_2 .



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kdasi, A., Idris A., Saed K., and guan C.T.(2004). Treatment of Textile Wastewater by Advance Oxidation Processes. *Global Nest : the Int. J.* 6(3), 222-230
- Amemiya, S.(2004). *Titanium-Dioxide Photocatalys*. Three Bond Tecnical News : New York
- Baker, R. W.(2004).*Membrane Technology and Application 2nd ed.*John Wiley & SonsLtd.Chichester
- Bando, R.E., Audy D.W., dan Henry F.A.(2019). Kinetika Fotodegradasi Metilen Biru oleh Cahaya Tampak Menggunakan Komposit $Ag_3PO_4/Ag/HAP$ dari Tulang Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*) dengan Perlakuan Asam. *Chem. Prog.* 12(1), 79-82
- Buzhea, C., Ivan I. P., and Kevin R.(2007). Nanomaterials and Nanoparticles: Sources anda Toxicity. *Biointerphases.* 2(4)
- Chen, X., and Mao S.(2007). Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications adn Applications. *Chemical Review.* 107(7), 2891-2959
- Cheryan, M., and N. Rajagopalan.(1998). Membrane Processing of Oily Streams Wastewater Treatment and Waste Reduction. *Journal of Membrane Science.* 151(1), 13-28
- Couto, S.R.(2009). Dye Removal by Immobilised Fungi. *Journal of Biotechnology.* 27(3), 227-235
- Fatimah, I., dan Wijaya K.(2005).Sintesis TiO_2 /Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi.*Teknoin.*10(4), 257-267
- George W.(1990). *The ICI Polyurethanes Books, Edisi 2.* John Wiley & Sons : New York
- H.F. Moafi, A.F. Shojaee, and M.A. Zanjanchi.(2011). Photocatalytic Self-cleaning of Wool Fibers Coated with Synthesized Nano-sized Titanium Dioxide. *Int. J. Polym. Mater.* 8(60)
- Hadijah, F., Al Azhar, dan R.M. Yusuf Agustria.(2020). Pengaruh Rasio Minyak dan Heksana terhadap Penurunan Angka Asam Minyak Jarak pada

- Proses Deasidifikasi Menggunakan Resin Dowex Marathon A. *Jurnal Teknik Kimia*. 26(3)
- Hamdaoui, O. and M. Chiha.(2006). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Wheat Bran. *Acta Chimica Slovenica*.54(2), 407-418
- Hawley.(1981). *Condensed Chemical Dictionary 8th edition*. Van Norstrand Reinhold : New York
- Hanum, F.(2009). *Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dari Unit Deoiling Ponds Menggunakan Membran Mikrofiltrasi*. Universitas Sumatera Utara
- Hidayati, B., Sunarno, dan Yenti S.R.(2013). Studi Kinetika Adsorpsi Logam Cu_2^+ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Teraktifasi. *Jurnal Laboratorium Dasar-dasar Proses dan Operasi Pabrik*, 1-7
- Humko.(2004). *Typical Fatty Acid Compositions of Selected Fats and Oils*. Humko Oil Product, A Division of Ach Food Companies Inc: USA
- J. Zhang.(2016). Anatase Nano- TiO_2 with Exposed Curved Surface for High Photocatalytic Activity. *J. Alloys Compd*. 6(61)
- James, A.D.(1985). *CRC Handbook of Medicinal Herbs*. CRC Press Inc: Florida
- Joshi, P., Lifeng Z., Qiliang C., David G., Hao F., and Qiquan Q.(2010). Electrspun Carbon Nanofibers as Low-Cost Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2(12)
- Lee, S.A., Choo K.H., Lee C.H., Lee H.I., Hyeon T., Choi W., and Kwon H.H.(2001). Use of Ultrafiltration Membranes for the Separation of TiO_2 Photocatalysts in Drinking Water Treatment. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 40(7), 1712-1719
- Leksono, V.A.(2012). *Pengolahan Zat Warna Tekstil Rhodamine B Menggunakan Bentonit Terpilar Titanium Dioksida (TiO_2)*. Universitas Airlangga.
- Licciulli, D.A.(2002) *self Cleaning Glass*. Universal Degli Studi di Lecce
- Kislik, V. S.(2010). *Liquid Membranes Principles & Applications in Chemical Separations & Wastewater Treatment First ed*. Elseiver, British Library
- Majewska, N. K., Kowalska, I., and Kabsch, K. M.(2006). Ultrafiltration of Aqueous Solution Using Polymeric Membranes. *Desalination*. 198, 149-157

- Maldotti, A., Andrenalli L., Mollinari A., Varani G., Cerichelli G., and Chiarini M.(2000). Photocatalytic Properties of Iron-Phorpyrin Revisted in Aqueous Micellar Environment. *Green Chemistry*. 3(1), 42-46
- Manurung, R., R. Hasibuan, dan H. Irvan.(2004). *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob*. E-USU Repository Universitas Sumatera Utara: Medan
- Marlina.(2007). Pemanfaatan Asam Lemak Bebas Teroksidasi dari Minyak Jarak untuk Sintesis Membran Poliuretan. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 6(2), 67-70
- Marlina, Saiful, Rahmi, Siti S., dan Salfauqi N.(2017). Syntethesis and Characterization New Polyurethane Membrane from Hydroylated Rubber Seed Oil.*Oriental Journal of Chemistry*. 33(1), 199-206
- Meyyapan, M.(2005).*Carbon Nanotubes Science and Application*. NASA Ames Research Center, CRC Press. London
- Moushoul, E.B., Y. Mansourpanah, K.H. Farhadi, and M. Tabatabaei.(2015). TiO₂ Nanocomposite based polymeric Membran : A Review Performance Improvement for Various Application in Chemical Engineering Processes. *Chemical Engineering Journal*. 283, 29-46
- Mulyono, H.(2019). *Studi Kinetika Degradasi Paraquat (Ion 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridiondiklorida) dalam Lingkungan Tanah Persawahan Boyolali Jawa Tengah*. Universitas Negeri Semarang
- Nicholson, J.W.(1997). *The Chemistry of Polymer*. Chambridge : UK
- Nizakar, M., Gholivand K.,and Mahanpoor K.(2007).Using TiO₂ Supported on Clinoptilolite as a Catalyst for Photocatalytic Degradation of Azo Dye Disperse Yellow 23 in Water. *Kinetics and Catalysis*. 48(2), 214-220
- Nunes, S. P., and Peinemann, K. V.(2001).*Membrane Technology in the Chemical Industry*.Wiley-VCH Verlag GmbH. Germany
- Nurman, S., Marlina, Saiful, dan Sitti S.(2015). Sintesis dan Karakterisasi Membran Poliuretan dari Minyak Biji Karet dan Heksameten-1, 6-Diisosianat. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*. 10(4), 188-195

- Pangajow, S.E.M., Wuntu A.D., dan Sangi M.S.(2019). Kinetika Fotodegradasi *Methylene Blue* Menggunakan Komposit $Ag_3Po_4/Ag/Hap$ Tulang Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*). *Chem. Prog.* 12(2), 93-95
- Prawithasari, R.E., Ilma F., Mudjijono, Teguh E.S., dan Dwidjono H.D.(2015). Aktivitas Fotokatalis Nano TiO_2 Terdukung Pada Membran Selulosa Asetat/Nata De Coco (CA/NDC) dalam Reaksi Fotodegradasi Metilen Biru. *ALCHEMY jurnal penelitian kimia.* 11(1), 90-101
- Poluakan, M., Audy A., dan Meiske S.S.(2015). Aktivitas Fotokatalitik TiO_2 -Karbon Aktif dan TiO_2 -Zeolit pada Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow*. *Jurnal MIPA UNSRAT.* 4(2), 137-140
- Priya, P.G., Ramamurthi V., and Prabhu A.(2011). *Degradation Studies of Tannery Effluents using Electro Flotation Technique.* Chemical Engineering Department, Anna University:Chennai, India
- Rajh, T.(1996). Surface Modification of Small Particle TiO_2 Colloids with Cysteine for Enhanced Photochemical Reduction: An EPR Study. *Journal of Physical Chemistry.* 100(11), 4538-4545
- Ramanathan, L.S., Sivaran S., and Munmaya K.(1999). *Polyurethanes in : Polymer Data Handbook.* Oxford University Press Inc : USA
- Rizk, A.M., and Al-Nowaihi A.S.(1989). *The Phytochemistry of the Horticultural Plants of Qatar.* The Alden Press Ltd: Qatar
- Safentry A., Husnah, dan Fahron H.(2019). Studi Teknologi Membran Mikro Untuk Pemurnian Air Umpan Boiler Dipusat Pengumpul Produksi (Ppp) Pertamina Ep Asset 2 Field Prabumulih. *Jurnal Redoks.* 4(1), 16-26
- Sopyan, I.(1998). Memurnikan Air dengan Teknik Fotokatalisis. *Alami.* 3(1), 45-52
- Sopyan, I., Mitsuru W., and Sadao M.(1996). Efficient TiO_2 Powder and Film Photocatalysts with Rutile Crystal Structure. *Chemistry Letters.* 25(1), 69-70
- Sri, W.(2016). Characterizatiom of EIC Cellulose-Polyol Isocynate Composite for Isolator. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER).* 4(1)

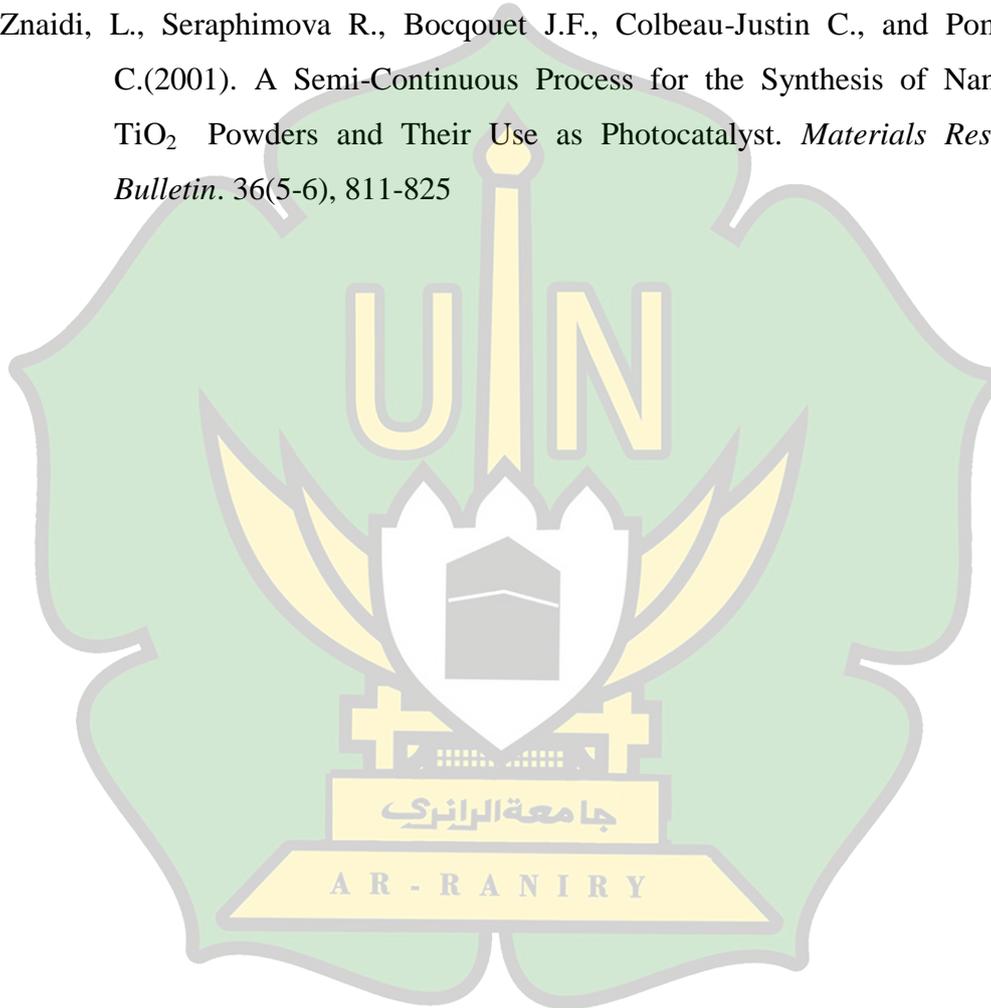
- Su, C., Homh B.Y., and Tseng C.M.(2004). Sol-Gel Preparation and Photocatalysis of Titanium Dioxide. *Catalys Today*. 96(3), 119-126
- Sugiyana, D ., dan Bambang S.(2016). Identifikasi Mekanisme Fotokatalitik pada Degradasi Zat Warna Azo *Reactive Black 5* Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO₂.*Arena Tekstil*.31(2), 115-124
- Tillet, G., Boutevin B., and Ameduri B.(2011). Chemical Reactions of Polymer Crosslinking and Post-Crosslinking at Room and Medium Temperature. *Progress in Polymer Science*. 36(2), 191-217
- Usman, M.R.(2013).*Kinetika Fotokatalis Diazinon dengan Titanium Dioksida (TiO₂)*. Universitas Jember
- Villar, L.D., Cicaglioni T., Diniz M.F., Takahashi M.F.K., and Rezende L.C.(2011). Thermal Aging of HTPB/IPDI based Polyurethane as A Function of NCO/OH Ratio. *Material Research*. 14(3), 372-375
- Wahi, R.K., W.Y. William, Yunping L., Michelle L.M., and Joshua C.F.W.(2005). Photodegradation of Congo Red Catalyzed by Nanosized TiO₂. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 242(1-2), 48-56
- Wibowo, H.B.(2015). Pengaruh Gugus Hidroksil Sekunder terhadap Sifat Mekanik Poliuretan Berbasis HTPB (*Hydroxyl Terminated Polybutadiene*). *Jurnal Teknologi Dirgantara*. 13(2)
- Wijaya, K., Eko S., Is Fatimah, Sri S., dan Diyan K.(2006). Utilisasi TiO₂-Zeolit dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Teknoin*. 11(3)
- Wismayanti, D.A., Ni Putu D., dan Sri R.S.(2015). Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Bitu. *Jurnal Kimia*. 9(1), 109-116
- Xiao-Dong.(2009). Preparation and Properties of Cast Polyurethane Elastomers with Molecularly Uniform Hard Segments based on 2,4-Toluene Diisocyanate and 3,5-Dimethyl-Thioltoluenediamine. *J. Biomedical Science and Engineering*. 2(4), 245
- Xie, H.Q., and Guo J.S.(2002). Room Temperatur Synthesis and Mechanical Properties of Two Kinds of Elastomeric Interpenetrating Polymer

Networks based on Castor Oil. *European Polymer Journal*. 38(11), 2271-2277

Xu, N., Sui Z., and Yigun F.(1999). Effect of Particle Size of TiO_2 on Photocatalytic Degradation of Methylene Blue in Aqueous Suspensions. *Industrial and Engineering Chemistry Research*.38(2), 375-379

Zille, A.(2005). *Laccase Reaction for Textile Application*. Disertasi : Textile Department of Universidade do Minho

Znaidi, L., Seraphimova R., Bocquet J.F., Colbeau-Justin C., and Pommier C.(2001). A Semi-Continuous Process for the Synthesis of Nanosize TiO_2 Powders and Their Use as Photocatalyst. *Materials Research Bulletin*. 36(5-6), 811-825



LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

1. Ukuran Kristal Berdasarkan Persamaan Scherrer

$$\begin{aligned}\text{Peak 1} &= D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,018905 \cos 0,21651} \\ &= \frac{0,138654}{0,018905 \times 0,99999} \\ &= \frac{0,138654}{0,018904} \\ &= 7,33463 \text{ nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Peak 2} &= D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,37479 \cos 0,21651} \\ &= \frac{0,138654}{0,37479 \times 0,99999} \\ &= \frac{0,138654}{0,37478} \\ &= 0,36996 \text{ nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Peak 3} &= D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00389 \cos 0,23887} \\ &= \frac{0,138654}{0,00389 \times 0,99999} \\ &= \frac{0,138654}{0,00388} \\ &= 35,73556 \text{ nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Peak 4} &= D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \\ &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00579 \cos 0,25617} \\ &= \frac{0,138654}{0,00579 \times 0,99999} \\ &= \frac{0,138654}{0,00578}\end{aligned}$$

$$= 23,98858 \text{ nm}$$

Peak 5

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,37577 \cos 0,21651}$$

$$= \frac{0,138654}{0,37577 \times 0,99999}$$

$$= \frac{0,138654}{0,37576}$$

$$= 0,36899 \text{ nm}$$

Peak 6

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00763 \cos 0,1989}$$

$$= \frac{0,138654}{0,00763 \times 0,99999}$$

$$= \frac{0,138654}{0,00762}$$

$$= 18,19606 \text{ nm}$$

Peak 7

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,657 \cos 0,28541}$$

$$= \frac{0,138654}{0,657 \times 0,99998}$$

$$= \frac{0,138654}{0,65698}$$

$$= 0,21104 \text{ nm}$$

Peak 8

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{1,48912 \cos 0,28544}$$

$$= \frac{0,138654}{1,48912 \times 0,99998}$$

$$= \frac{0,138654}{1,48909}$$

$$= 0,09311 \text{ nm}$$

Peak 9

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,27815 \cos 0,33972}$$

$$= \frac{0,138654}{0,27815 \times 0,99998}$$

$$= \frac{0,138654}{0,27814}$$

$$= 0,49731 \text{ nm}$$

Peak 10

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,22101 \cos 0,41088}$$

$$= \frac{0,138654}{0,22101 \times 0,99997}$$

$$= \frac{0,138654}{0,221}$$

$$= 0,62739 \text{ nm}$$

Peak 11

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,0055 \cos 0,47374}$$

$$= \frac{0,138654}{0,0055 \times 0,99996}$$

$$= \frac{0,138654}{0,0054}$$

$$= 25,6766 \text{ nm}$$

Peak 12

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,25458 \cos 0,49600}$$

$$= \frac{0,138654}{0,25458 \times 0,99996}$$

$$= \frac{0,138654}{0,25456}$$

$$= 0,544628 \text{ nm}$$

Peak 13

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

$$= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,2491 \cos 0,60170}$$

$$= \frac{0,138654}{0,2491 \times 0,99994}$$

$$= \frac{0,138654}{0,24909}$$

$$= 0,55662 \text{ nm}$$

2. Perhitungan Pengenceran Larutan

- Metilen Biru 3%

$$\%b/v = \frac{\text{massa zat terlarut}}{\text{volume larutan}} \times 100\%$$

$$3\% = \frac{\text{massa zat terlarut}}{100 \text{ mL}} \times 100\%$$

$$\text{Massa zat terlarut} = \frac{3 \times 100}{100}$$

$$= 3 \text{ gram}$$

- Metilen biru 30.000 ppm

$$X\% = \frac{X(\text{ppm})}{1000000}$$

$$3\% = \frac{X(\text{ppm})}{1000000}$$

$$= \frac{3}{100} = \frac{X(\text{ppm})}{1000000}$$

$$= 3000000 = 100 \times X(\text{ppm})$$

$$X(\text{ppm}) = \frac{3000000}{100}$$

$$= 30.000 \text{ ppm}$$

- Metilen Biru 20 ppm

$$V_1 \times M_2 = V_2 \times M_1$$

$$V_1 \times 30.000 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{20 \text{ ppm}}{30000 \text{ ppm}} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,0006 \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,03 \text{ mL}$$

- Metilen Biru 30 ppm

$$V_1 \times M_2 = V_2 \times M_1$$

$$V_1 \times 30.000 \text{ ppm} = 25 \text{ mL} \times 30 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{30 \text{ ppm}}{30000 \text{ ppm}} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,001 \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,025 \text{ mL}$$

- Metilen Biru 40 ppm

$$V_1 \times M_2 = V_2 \times M_1$$

$$V_1 \times 30.000 \text{ ppm} = 25 \text{ mL} \times 40 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{40 \text{ ppm}}{30000 \text{ ppm}} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,0013 \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,03 \text{ mL}$$

- Metilen Biru 50 ppm

$$V_1 \times M_2 = V_2 \times M_1$$

$$V_1 \times 30.000 \text{ ppm} = 25 \text{ mL} \times 50 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{50 \text{ ppm}}{30000 \text{ ppm}} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,0016 \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,04 \text{ mL}$$

- Metilen Biru 60 ppm

$$V_1 \times M_2 = V_2 \times M_1$$

$$V_1 \times 30.000 \text{ ppm} = 25 \text{ mL} \times 60 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{60 \text{ ppm}}{30000 \text{ ppm}} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,002 \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,05 \text{ mL}$$

3. Perhitungan Konsentrasi Metilen Biru Setelah Reaksi Fotodegradasi

- Waktu Kontak 1 Jam

➤ Membran Poliuretan-nano TiO_2 0 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,023 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,023 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0234 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0234}{0,0062}$$

$$x = 3,7741 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretananano TiO₂ 0,025 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,013 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,013 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0126 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0126}{0,0062} x$$

$$x = -2,0322 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretananano TiO₂ 0,05 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,003 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,003 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0034 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0034}{0,0062} x$$

$$x = 0,54838 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretananano TiO₂ 0,075 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,007 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,007 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0074 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0074}{0,0062} x$$

$$x = 1,1935 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretananano TiO₂ 0,1 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,003 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,003 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0034 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0034}{0,0062} x$$

$$x = 0,54838 \text{ ppm}$$

- Waktu Kontak 3 Jam
- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,008 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,008 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0076 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0076}{0,0062} x$$

$$x = -1,2258 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,025 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,009 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,009 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0086 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0086}{0,0062} x$$

$$x = -1,387 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,05 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,007 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,007 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0066 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0066}{0,0062} x$$

$$x = -1,06451 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,075 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,009 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,009 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0086 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0086}{0,0062} x$$

$$x = -1,387 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,1 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,004 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,004 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0036 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0036}{0,0062} x$$

$$x = -0,5006 \text{ ppm}$$

- Waktu Kontak 5 Jam

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,007 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,007 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0066 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0066}{0,0062} x$$

$$x = -1,06451 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,025 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,001 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,001 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0006 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0006}{0,0062} x$$

$$x = -0,0967 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,05 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,002 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,002 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0026 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0026}{0,0062} x$$

$$x = 0,387 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,075 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,013 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,013 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0134 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0134}{0,0062} x$$

$$x = 2,1612 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,1 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,008 = 0,0062x - 0,0004$$

$$-0,008 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$-0,0076 = 0,0062x$$

$$x = \frac{-0,0076}{0,0062} x$$

$$x = -1,2258 \text{ ppm}$$

- Waktu Kontak 7 Jam
- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,028 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,028 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0284 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0284}{0,0062} x$$

$$x = 4,5806 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,025 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,045 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,045 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0454 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0454}{0,0062} x$$

$$x = 7,3225 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,05 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,015 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,015 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0154 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0154}{0,0062} x$$

$$x = 2,4838 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,075 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,021 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,021 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0214 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0214}{0,0062} x$$

$$x = 3,4516 \text{ ppm}$$

- Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,1 gram

$$Y = ax + b$$

$$Y = 0,0062x - 0,0004$$

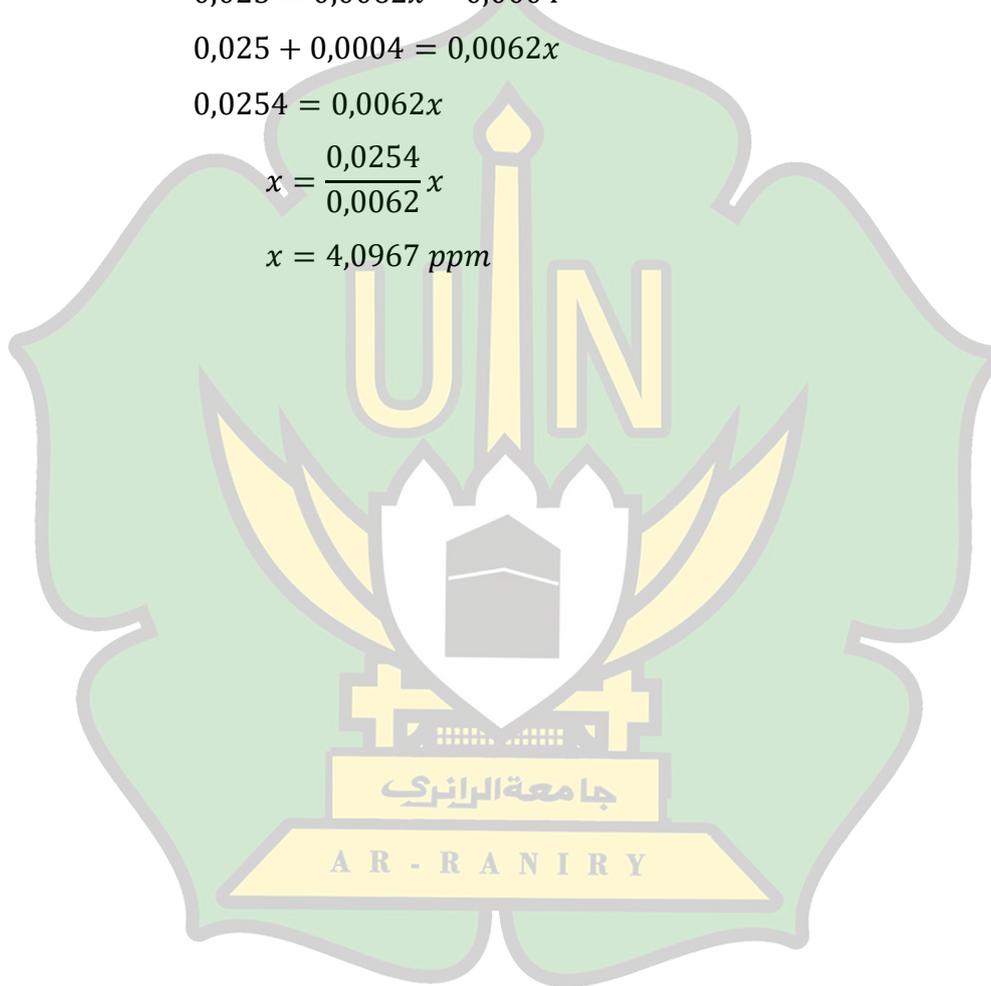
$$0,025 = 0,0062x - 0,0004$$

$$0,025 + 0,0004 = 0,0062x$$

$$0,0254 = 0,0062x$$

$$x = \frac{0,0254}{0,0062} x$$

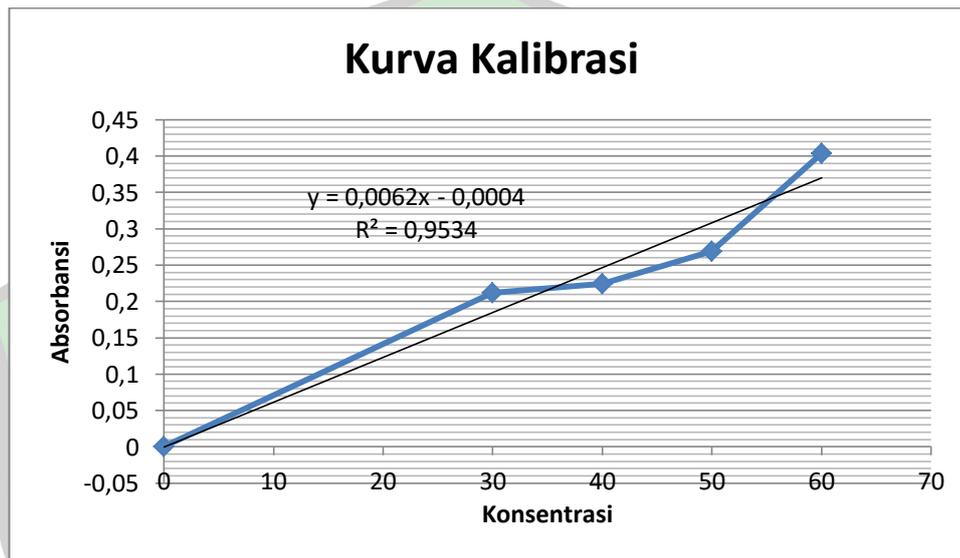
$$x = 4,0967 \text{ ppm}$$



Lampiran 2 Kurva dan Tabel

1. Kurva Kalibrasi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
30	0,212
40	0,224
50	0,296
60	0,404



2. Waktu Kontak Fotodegradasi

- Absorbansi

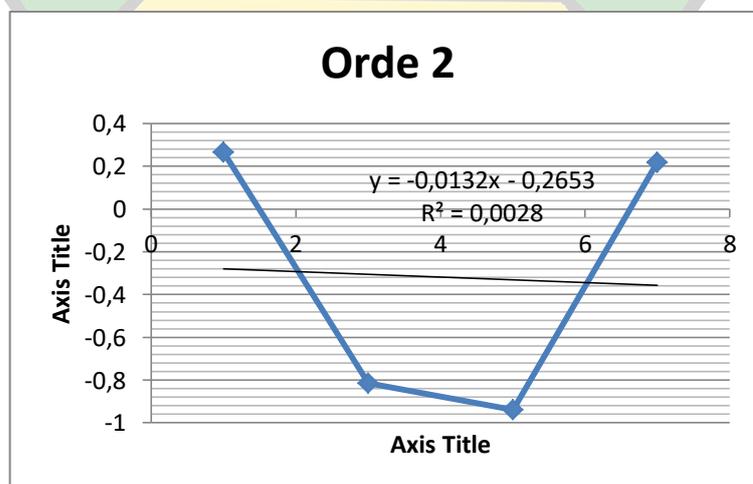
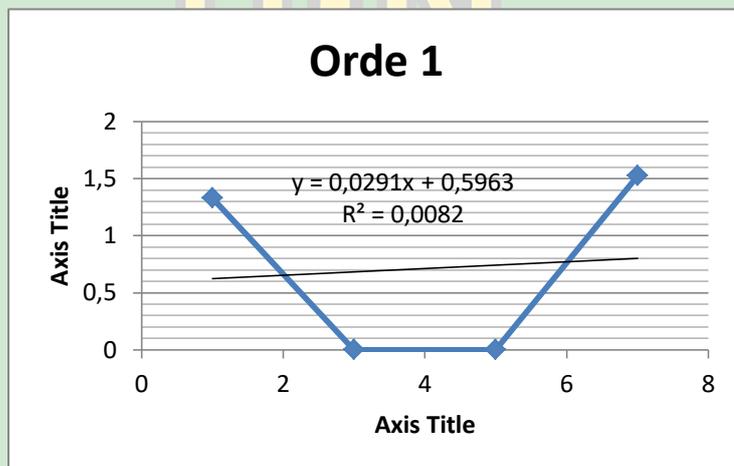
Membran Poliuretan-nano TiO ₂ (gram)	Lama Penyinaran (jam)			
	1 (ABS)	3 (ABS)	5 (ABS)	7 (ABS)
0	0,023	-0,008	-0,007	0,028
0,025	-0,013	-0,009	-0,001	0,045
0,05	0,003	-0,007	0,002	0,015
0,075	0,007	-0,009	0,013	0,021
0,1	0,003	-0,004	-0,008	0,025

- **Konsentrasi**

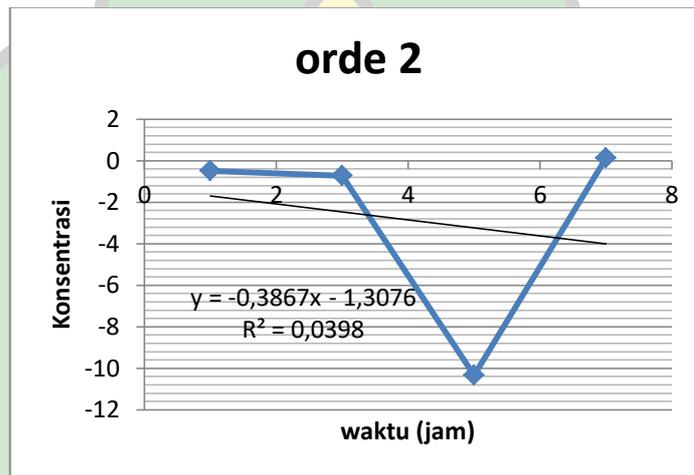
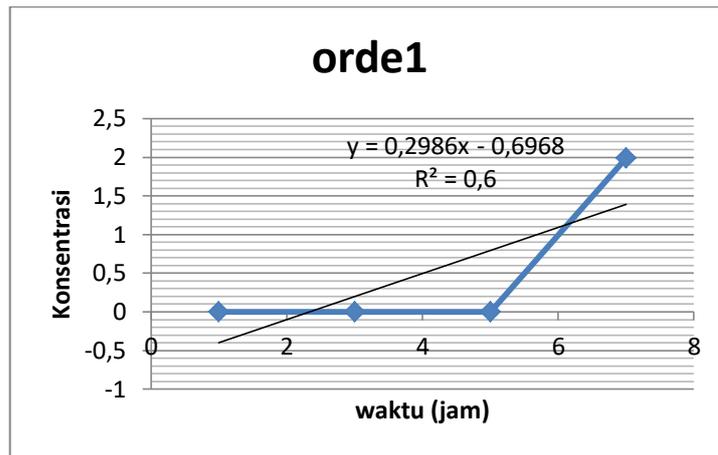
Membran Poliuretan-nano TiO ₂ (gram)	Lama Penyinaran (jam)			
	1 (ppm)	3 (ppm)	5 (ppm)	7 (ppm)
0	3,7741	-1,2258	-1,0645	4,5806
0,025	-2,0322	-1,387	-0,0967	7,3225
0,05	0,5438	-1,064	0,387	2,4838
0,075	1,1935	-1,387	2,1612	3,4516
0,1	0,5483	-0,5006	1,225	4,0967

3. Kinetika Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Membran poliuretan-nano TiO₂

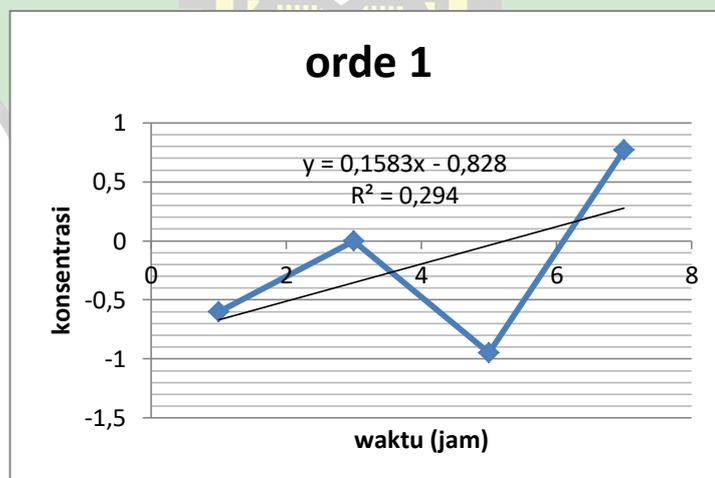
- Membran poliuretan-nano TiO₂

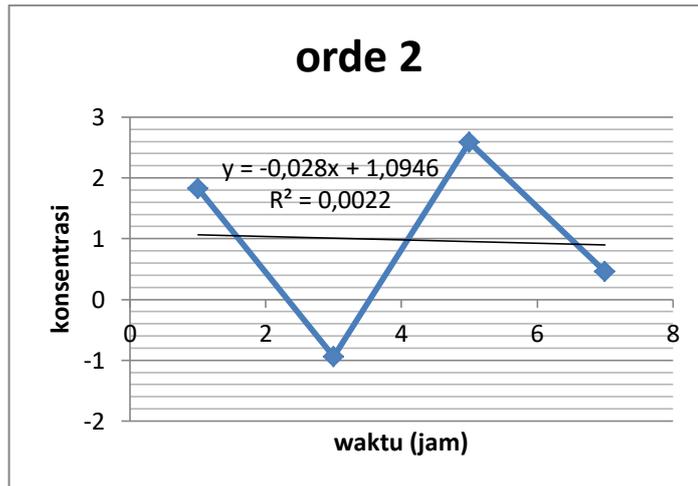


- Membran poliuretan-nano TiO₂ 0,025 gram

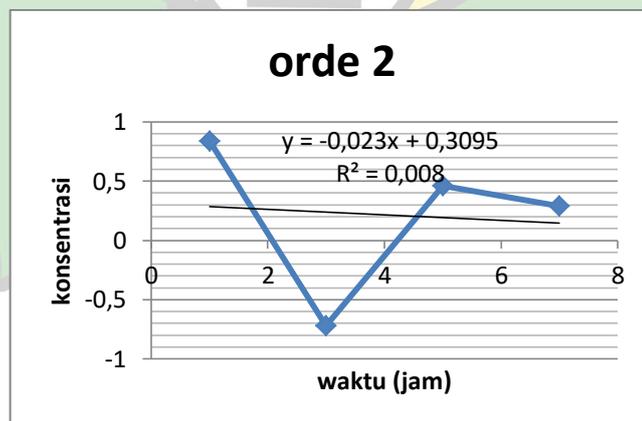
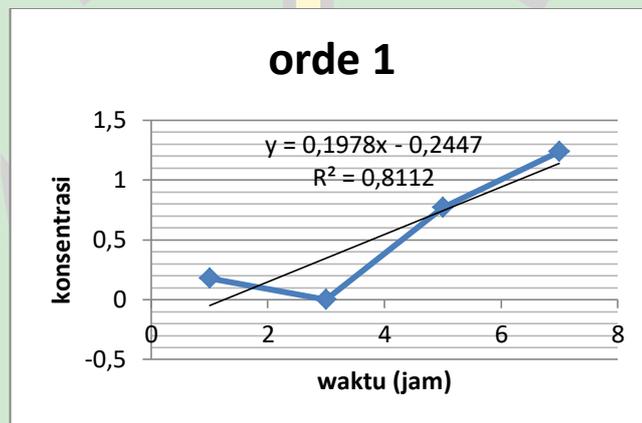


- Membran poliuretan-nano TiO₂ 0,05 gram

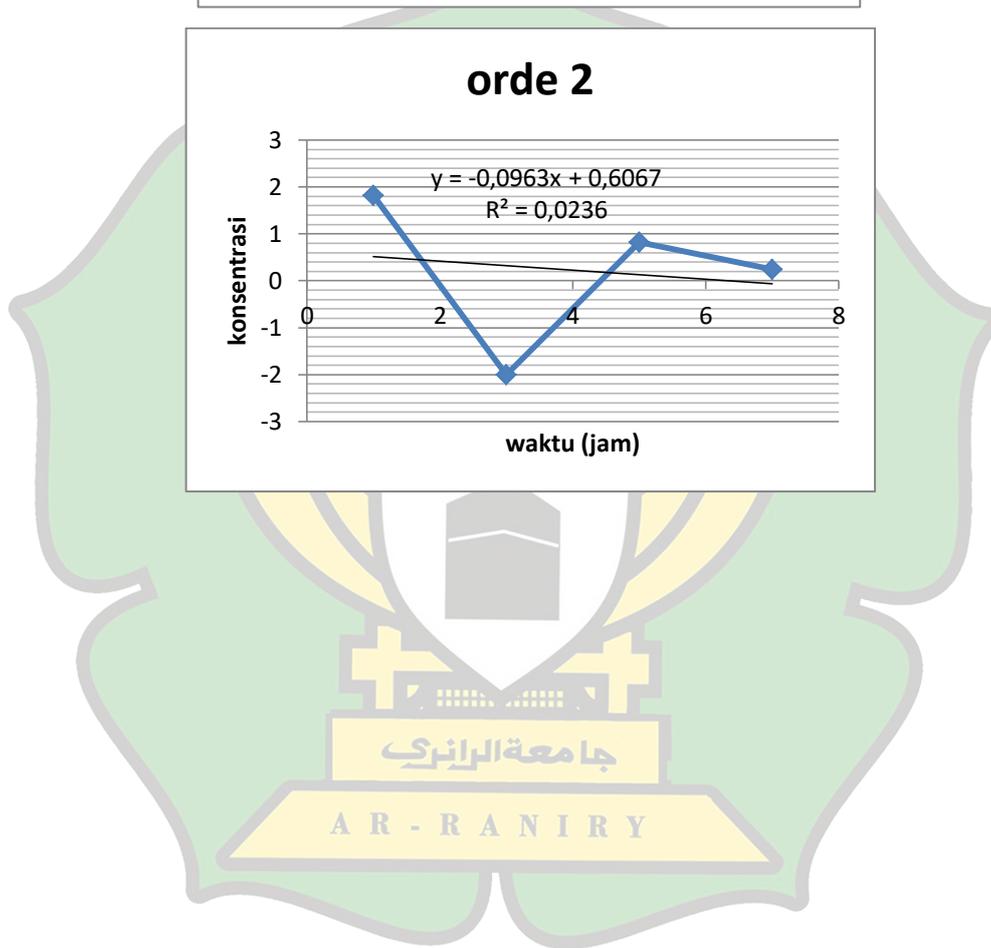
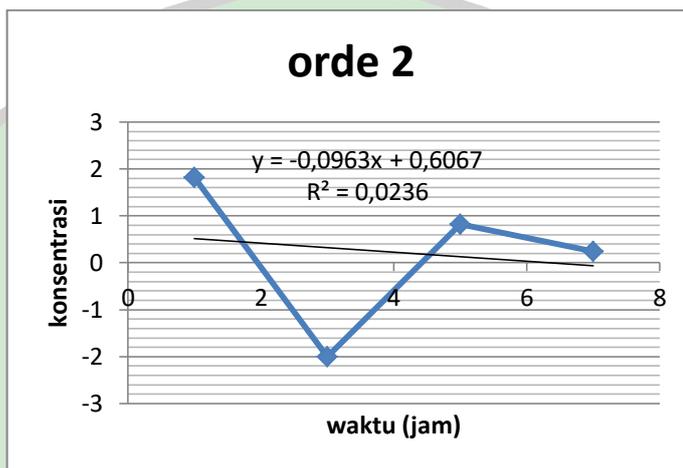
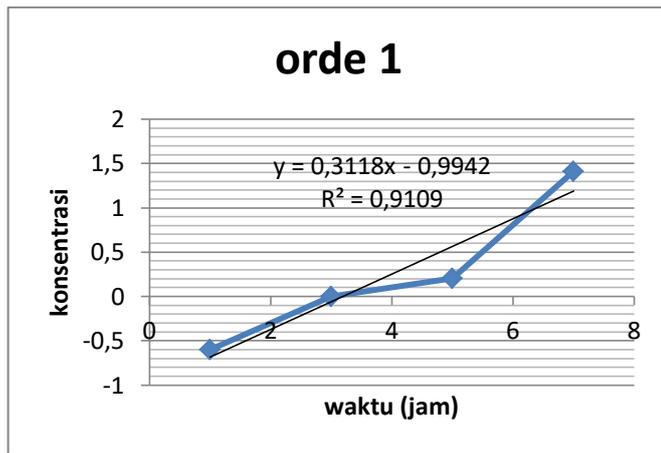




- Membran poliuretan nano TiO_2 0,075 gram



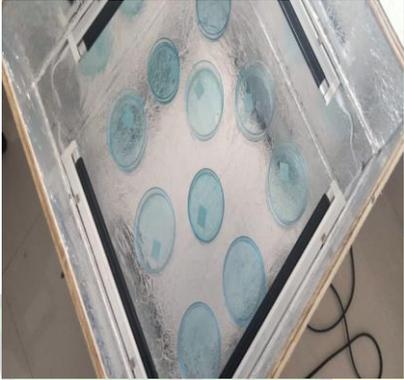
- Membran poliuretan-nano TiO_2 0,1 gram



Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian

Gambar	Keterangan
	<p>Serbuk Titanium Dioksida (TiO₂)</p>
	<p>Serbuk Metilen Biru</p>
	<p>Larutan Metilen Biru 3%</p>
	<p>Proses Pembuatan Membran Poliuretan-nano TiO₂</p>

	<p>Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0 gram</p>
	<p>Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,025 gram</p>
	<p>Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,05 gram</p>
	<p>Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,075 gram</p>

	<p>Membran Poliuretan-nano TiO₂ 0,1 gram</p>
	<p>Proses Fotodegradasi</p>

