



TUGAS AKHIR - SF 184801

**RANCANG BANGUN REAKTOR FOTOKATALISIS
UNTUK MENGIKUR FOTODEGRADASI
METHYLENE BLUE SECARA *REALTIME*
DENGAN TiO_2 YANG DILAPISKAN PADA
SUBSTRAT KACA**

**SITI TUTUT SURYANI
NRP 0111154000079**

**Dosen Pembimbing
Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Dr. Gatut Yudoyono**

**Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - SF 184801

**DESIGN OF PHOTOCATALYTIC REACTOR TO
MEASURE REALTIME PHOTODEGRADATION
OF METHYLENE BLUE WITH TiO_2 COATED
ON THE GLASS SUBSTRATE**

**SITI TUTUT SURYANI
NRP 0111154000079**

**Supervisor
Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Dr. Gatut Yudoyono**

**Physics Department
Faculty of Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN REAKTOR FOTOKATALISIS
UNTUK MENGUKUR FOTODEGRADASI
METHYLENE BLUE SECARA *REALTIME* DENGAN
 TIO_2 YANG DILAPISKAN PADA SUBSTRAT KACA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SITI TUTUT SURYANI
NRP. 0111154000079**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Drs. Bachtera Indarto, M.Si
NIP.19610404 199102 1 001

(.....)

Dr. Gatut Yudoyono
NIP.19640616 198903 1 004

(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**RANCANG BANGUN REAKTOR FOTOKATALISIS
UNTUK MENGUKUR FOTODEGRADASI METHYLENE
BLUE SECARA REALTIME DENGAN TIO₂ YANG
DILAPISKAN PADA SUBSTRAT KACA**

Nama : Siti Tutut Suryani
NRP : 0111154000079
Jurusan : Fisika, FS – ITS
Pembimbing : 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si
2. Dr. Gatut Yudoyo

Abstrak

Reaktor fotokatalisis untuk degradasi warna limbah cair pada industri tekstil memiliki beberapa jenis salah satunya fotoreaktor kaskade, namun reaktor tersebut tidak dilengkapi dengan alat ukur tingkat degradasi zat warna tekstil. Penelitian terkait perancangan reaktor fotokatalisis telah dilakukan dengan tujuan untuk merancang reaktor fotokatalisis yang mengukur fotodegradasi secara realtime, mengetahui konsentrasi TiO₂ yang optimal dalam pendegradasian Methylene Blue (MB) dan membandingkan hasil degradasi MB dengan katalis dan tanpa katalis. Pada penelitian ini digunakan sensor photodiode untuk mengukur fotodegradasi methylene blue secara langsung pada reaktor. Adapun variasi perlakuan berupa reaktor kontrol (tanpa katalis) dan reaktor dengan katalis $2 \pm 0,005$ gr, $3 \pm 0,005$ gr serta $4 \pm 0,005$ gr yang dideposisi pada substrat kaca dengan perekat vernis. Pengujian fotodegradasi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan sensor fotodegradasi. Dari penelitian tersebut dapat diketahui reaktor fotokatalisis yang dilengkapi dengan alat ukur tingkat degradasi secara realtime dapat berjalan dengan baik. Adapun penurunan nilai absorbansi Methylene Blue pada reaktor kontrol, reaktor berkatalis TiO₂ $2 \pm 0,005$ gr, $3 \pm 0,005$ gr, dan $4 \pm 0,005$ gr berturut-turut adalah $4,84\% \pm 0,0005$, $61,8\% \pm 0,0005$, $89,8\% \pm 0,0005$, dan $76,1\% \pm 0,0005$.

Kata kunci: realtime, reaktor fotokatalis, spektrofotometer UV-Vis, sensor fotodegradasi, TiO₂

DESIGN OF PHOTOCATALYTIC REACTOR TO MEASURE REALTIME PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE WITH TiO₂ COATED ON THE GLASS SUBSTRATE

Nama : Siti Tutut Suryani
NRP : 0111154000079
Jurusan : Fisika, FS – ITS
Pembimbing : 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si
2. Dr. Gatut Yudhoyono

Abstract

The photocatalytic reactor to degrade liquid waste in the textile industry has several types of one from the cascade photoreactor, but this reactor is not equipped with a degradation level measuring instrument for textile substances. Research related to the design of photocatalytic reactor has been carried out with the aim of designing a photocatalytic reactor that measures photodegradation in realtime, knowing the optimal concentration of TiO₂ in the degradation of Methylene Blue (MB) and comparing the result of MB degradation with catalyst and without catalyst. In this study, a photodiode sensor was used to measure the photodegradation of textile dyes directly to the reactor. The treatment variations in the form of a control reactor (without catalyst) and reactor with catalysts of $2 \pm 0,005$ gr, $3 \pm 0,005$ gr, and $4 \pm 0,005$ gr were deposited on a glass substrate with vernis. photodegradation testing was carried out using a UV-Vis spectrophotometer and photodegradation sensor. From this research, it can be seen that the photocatalytic reactor equipment with a degradation level in realtime can run well. The decrease in absorbance value of Methylene Blue in control reactor, TiO₂ catalyst reactor $2 \pm 0,005$ gr, $3 \pm 0,005$ gr, and $4 \pm 0,005$ gr respectively were $4,84\% \pm 0,0005$, $61,8\% \pm 0,0005$, $89,8\% \pm 0,0005$ and $76,1\% \pm 0,0005$.

Keywords: photocatalytic reactor, photodegradation sensor, realtime, TiO₂, UV-Vis spectrophotometer.

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas kehadiran-Nya, serta tak lupa sholawat dan salam saya ucapkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Reaktor Fotokatalisis untuk Mengukur Fotodegradasi *Methylene Blue* secara *Realtime* dengan TiO_2 yang dilapiskan pada Substrat kaca”** dengan optimal dan waktu yang tepat. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerja sama yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Partini dan Bapak Suradi selaku orang tua penulis serta saudara/i penulis tercinta atas kasih sayang, doa, dan dukungannya berupa moril maupun materiil yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
2. Drs. Bachtera Indarto, M.Si dan Dr., Drs. Gatut Yudhoyono, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, pemantauan, dan motivasi serta menjadi sosok ibu di kampus bagi penulis.
3. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng. selaku Kepala Departemen Fisika FS-ITS.
4. Bapak/Ibu dosen dan karyawan Departemen Fisika FS-ITS yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama duduk dibangku kuliah.
5. Teman seperjuangan Tugas Akhir Tika Mijayanti dan Vitria Aini yang telah membantu dan berdiskusi dengan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Teman-teman Fisika ITS khususnya POSITRON 2015 atas bantuan yang diberikan kepada penulis sehingga berguna untuk saat ini sampai kelak.
7. Penghuni Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi khususnya, Mas Udin, Mas Gusti, Bryan dan Eko yang telah membantu dan memberikan semangat dan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Ahmad Khusairi yang telah setia menemani dan selalu memberikan motivasi kepada penulis hingga terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.
9. Penghuni Laboratorium Optik khususnya pak Ghofar yang telah membantu dan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga semua doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk perkembangan lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Semikonduktor	7
2.2 Semikonduktor TiO ₂	8
2.3 Fotokatalisis TiO ₂	9
2.4 Reaktor Fotokatalisis.....	11
2.5 Sensor <i>Photodiode</i>	12
2.6 <i>Methylene Blue</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Peralatan dan Bahan.....	16

3.2.1	Peralatan Pembuatan Sensor Fotodegradasi.....	16
3.2.2	Peralatan Uji dan Alat Ukur Fotodegradasi MB	18
3.2.3	Peralatan dan Bahan Preparasi Lapisan	18
3.3	Langkah Kerja	21
3.3.1	Perancangan Reaktor Fotokatalisis	21
3.3.1.1	Perancangan Sensor Fotodegradasi	23
3.3.1.2	Kalibrasi Sensor Fotodegradasi	24
3.3.1.3	Perancangan Sistem Pengolah Data.....	25
3.3.2	Persiapan Substrat Kaca.....	26
3.3.3	Preparasi Material TiO ₂	27
3.3.4	Deposisi Material TiO ₂ pada Substrat.....	27
3.3.5	Pembuatan dan Karakterisasi <i>Methylene Blue</i>	28
3.3.6	Pengambilan Data	28
3.3.6.1	Uji Absorbansi.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Kurva Standar <i>Methylene Blue</i>	31
4.2	Pengujian Pembacaan Sensor	32
4.3	Uji Fotodegradasi dengan Sensor fotodegradasi.....	35
4.4	Uji Fotodegradasi dengan Spektrofotometer UV-Vis.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN		51
BIODATA PENULIS.....		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbandingan celah pita konduktor, isolator dan semikonduktor	7
Gambar 2. 2 Struktur kristal TiO ₂ a) Rutil; b) Anatas; c) Brookit	9
Gambar 2. 3 Fotoeksitasi elektron pada semikonduktor	10
Gambar 2. 4 OMTP <i>solar photoreactor</i>	12
Gambar 2. 5 <i>Photodiode</i> dan Simbol	13
Gambar 2. 6 Struktur molekul <i>Methylene Blue</i>	14
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian secara umum.....	16
Gambar 3. 2 Peralatan pembuatan sensor fotodegradasi.....	17
Gambar 3. 3 Peralatan uji dan alat ukur fotodegradasi MB	18
Gambar 3. 4 Peralatan dan bahan pembuatan lapisan TiO ₂	19
Gambar 3. 5 Skema rancang bangun reaktor fotokatalisis	21
Gambar 3. 6 Diagram blok alat ukur fotodegradasi zat warna tekstil ...	22
Gambar 3. 7 Rangkaian pengondisi sinyal sensor <i>photodiode</i>	23
Gambar 3. 8 Rangkaian skema mikrokontroler.....	25
Gambar 3. 9 (a) Tampilan <i>software</i> arduino 1.8.5; (b) Tampilan PLX-DAQ	26
Gambar 3. 10 Substrat kaca berlapis TiO ₂ $3 \pm 0,005$ gr.....	27
Gambar 4. 1 Grafik spektrum serapan UV-Vis larutan MB berkonsentrasi 1 ppm hingga 5 ppm.....	31
Gambar 4. 2 Kurva standar <i>Methylene Blue</i> (MB).....	32
Gambar 4. 3 Grafik hubungan nilai tegangan dan nilai absorbansi pada sensor 1.....	33

Gambar 4. 4 Grafik hubungan nilai tegangan dan nilai absorbansi pada sensor 2	34
Gambar 4. 5 Perbandingan pembacaan tegangan pada sensor 1 dan sensor 2	35
Gambar 4. 6 Perbandingan nilai konsentrasi hasil pembacaan sensor 1 dan sensor 2	36
Gambar 4. 7 Grafik spektrum serapan UV-Vis dan tingkat degradasi MB pada reaktor kontrol	37
Gambar 4. 8 Grafik spektrum serapan UV-Vis dan tingkat degradasi MB pada reaktor dengan kaca berlapis $3 \pm 0,005$ gr katalis TiO_2	37
Gambar 4. 9 Pengaruh waktu penyinaran terhadap nilai absorbansi MB pada reaktor kontrol dan reaktor katalis TiO_2	38
Gambar 4. 10 Pengaruh waktu penyinaran terhadap nilai konsentrasi MB pada reaktor kontrol dan reaktor katalis TiO_2	39
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan performansi 1 kali dan 2 kali pada tingkat degradasi MB dengan katalis TiO_2 $2 \pm 0,005$ gr	41
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan performansi 1 kali dan 2 kali pada tingkat degradasi MB dengan katalis TiO_2 $3 \pm 0,005$ gr	42
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan performansi 1 kali dan 2 kali pada tingkat degradasi MB dengan katalis TiO_2 $4 \pm 0,005$ gr	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kualitas Tingkat Degradasi Selama 72 Jam	51
Lampiran 2. Substrat Kaca Berlapis TiO ₂ Sebelum dan Sesudah digunakan	54
Lampiran 3. Data Kalibrasi Sensor Fotodegradasi.....	55
Lampiran 4. Data Hasil Pengukuran dengan Sensor Fotodegradasi dan Spektrofotometer UV-Vis	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil dan produk tekstil merupakan industri padat karya yang terdiri dari gabungan industri berteknologi tinggi, padat modal dan keterampilan sumber daya manusia yang menyerap tenaga kerjaan (Rosadia, 2017). Industri tekstil di dunia telah berkembang sangat pesat. Hal ini dapat ditunjukkan dari kuantitas konsumsi global barang tekstil dan produk tekstil yang terus meningkat dari tahun ke tahun (Rusdi, 2007). Perkembangan industri tekstil berdasarkan data Badan Pusat Statistika mengalami kenaikan secara linier hingga tahun 2010. Dengan berkembangnya sektor industri tekstil tersebut menyebabkan peningkatan penggunaan zat warna yang dapat mencemari lingkungan. Penggunaan zat warna dalam pencelupan industri tekstil dapat menghasilkan limbah sekitar 10-15% (Selvam et al., 2003). *Methylene Blue* merupakan salah satu zat warna tekstil yang digunakan dalam industri tekstil. Kelebihan dosis penggunaan *Methylene Blue* dapat menyebabkan mual, muntah, nyeri perut dan dada, keringat berlebihan serta hipertensi (Amirullah, 2006).

Dewasa ini, dengan majunya ilmu pengetahuan telah memberikan beberapa solusi dalam mengatasi pencemaran limbah zat warna industri salah satunya adalah metode fotodegradasi. Pada metode fotodegradasi membutuhkan suatu fotokatalis dan sinar UV yang mana memiliki energi sesuai atau lebih besar dari energi *band gap* fotokatalis (Xu et al., 1999). Fotokatalisis merupakan reaksi kimia yang berjalan dengan bantuan katalis berupa semikonduktor. Salah satu bahan semikonduktor yang sering digunakan sebagai katalis adalah titanium dioksida (TiO_2) (Joshi et al, 2010). TiO_2 dalam penjernihan limbah zat cair banyak digunakan dalam bentuk serbuk. Penggunaan serbuk tersebut menimbulkan beberapa kerugian salah satunya mengenai

pemisahan dan penggunaan kembali serbuk TiO_2 setelah penjernihan selesai (Chen et al., 2006). Untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan penelitian dengan melapiskan material TiO_2 pada suatu media atau substart. Metode ini memiliki keuntungan dalam hal pemisahan antara limbah dengan katalis yang dapat dilakukan dengan mudah. Oleh karena itu, banyak dilakukan penelitian pada desain dan pengembangan lapisan tipis material TiO_2 pada substart (Malato et al., 2002). Seperti Arifan et al., (2017) dengan melapiskan pasta TiO_2 pada lembaran plastik dengan metode elektrostatik untuk mendegradasikan limbah dari pabrik industri batik. Dan penelitian lain oleh Asthy dkk, (2010) menggunakan media kain sebagai media deposisi TiO_2 dengan perekat aica aibon.

Dalam degradasi limbah zat cair dibutuhkan reaktor sebagai tempat terjadinya proses fotokatalisis. Jayadi et al., (2014) telah membuat reaktor fotokatalisis tipe *batch* dengan lampu UV-A sebagai sumber cahaya untuk degradasi air gambut. Reaktor tersebut tidak dilengkapi alat ukur tingkat degradasi, sehingga diperlukan pengambilan sampel setiap akan dilakukan pengukuran tingkat degradasi dari limbah zat cair. Keadaan ini kurang efektif apabila diaplikasikan dalam skala industri.

Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja reaktor fotokatalisis maka pada penelitian ini dilakukan rancang bangun reaktor fotokatalisis untuk mengukur fotodegradasi *Methylene Blue* secara *realtime* dengan serbuk TiO_2 yang dilapiskan pada substrat kaca dengan perekat vernis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana mengukur tingkat degradasi *Methylene Blue* dengan sensor *photodiode* dalam reaktor fotokatalisis?
2. Bagaimana hasil degradasi *Methylene Blue* menggunakan katalis dan tanpa katalis?

3. Bagaimana pengaruh konsentrasi serbuk TiO_2 yang dilapiskan pada substrat kaca dengan perekat vernis terhadap tingkat degradasi *Methylene Blue*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah.

1. Sensor *photodiode* dan sumber cahaya LED merah digunakan untuk mengukur tingkat degradasi *Methylene Blue* dalam reaktor fotokatalisis.
2. TiO_2 yang digunakan berukuran nanopartikel dan berfasa anatase.
3. Kaca preparat digunakan sebagai tempat pelapisan nanopartikel TiO_2 .
4. Metode tabur digunakan untuk melapiskan nanopartikel TiO_2 pada substrat kaca.
5. Vernis digunakan sebagai bahan perekat.
6. Lampu UV digunakan sebagai sumber cahaya pada proses fotokatalisis.
7. Degradasi limbah zat cair diamati dari perubahan warna (kualitatif) dan nilai absorbansi yang diasumsikan mewakili tingkat degradasi limbah zat cair secara kuantitatif.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang reaktor fotokatalisis yang mampu mengukur fotodegradasi secara *realtime*.
2. Membandingkan hasil degradasi *Methylene Blue* menggunakan katalis dan tanpa katalis.
3. Menentukan konsentrasi optimal serbuk TiO_2 yang dilapiskan pada substrat kaca dengan perekat vernis terhadap tingkat degradasi *Methylene Blue*.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah

1. Mengembangkan penelitian pada bidang fotokatalisis dengan menggunakan lapisan nanopartikel TiO_2 pada substrat kaca untuk mendegradasikan limbah zat cair.
2. Mengembangkan reaktor fotokatalisis dengan menggunakan lapisan nanopartikel TiO_2 pada substrat kaca yang dilengkapi dengan pengukuran tingkat degradasi secara *realtime*.
3. Menghasilkan artikel ilmiah yang mampu memberikan informasi mengenai degradasi limbah zat cair menggunakan lapisan nanopartikel TiO_2 pada substrat kaca.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan, langkah kerja penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan data yang diperoleh dari percobaan atau pengujian yang dilakukan, serta analisa tentang hasil-hasil yang telah diperoleh selama penelitian

dilakukan, dan pembahasan mengenai hubungan hasil penelitian dengan pemodelan yang dilakukan, dan berbagai analisa penunjang lain yang diperlukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil analisis data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

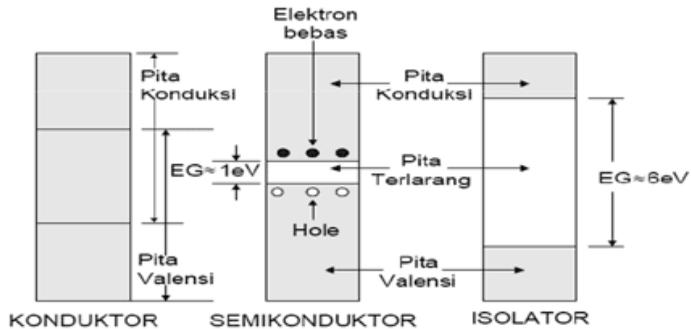
Berisi data-data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semikonduktor

Berdasarkan pita energinya zat padat dikelompokkan menjadi tiga macam yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Perbedaan dari ketiga jenis bahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perbandingan celah pita konduktor, isolator dan semikonduktor (Fingky, 2011)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa bahan konduktor termasuk zat padat yang strukturnya tidak terdapat celah antara pita valensi dan pita konduksi, semikonduktor termasuk zat padat yang memiliki pita valensi terisi penuh dengan celah energi yang sempit sehingga elektron dapat mudah berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi dan isolator termasuk zat padat yang bagian pita valensi terisi penuh dengan celah yang besar sehingga dibutuhkan energi yang besar untuk elektron berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi (Untari, 1996). Semikonduktor adalah bahan yang memiliki nilai hambatan jenis (konduktivitas listrik) antara 10^{-6} sampai $10^4 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$. Bahan semikonduktor yang paling umum adalah kelompok elemen silikon dan germanium, memiliki resistivitas listrik antara $10^{-4} \Omega \text{ m}$ hingga $0,5 \Omega \text{ m}$ (Garland et al., 2003).

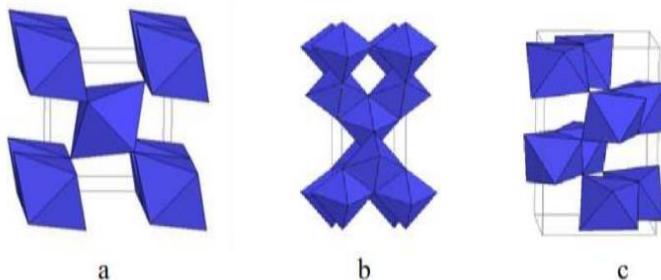
Pada semikonduktor celah energi atau energi gap (*band gap*) tidak terlalu besar (0,5 – 3,0) eV, nilai ini lebih kecil bila dibandingkan pada isolator yang memiliki energi gap sebesar 6,0 eV. Oleh karena itu, bahan semikonduktor tidak memerlukan energi yang besar untuk dapat menghantarkan arus listrik atau memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Ramadhani, 2012).

Celah energi adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Ketika suatu semikonduktor mendapat energi yang lebih besar dari energi celah, maka elektron akan tereksitasi ke pita konduksi sehingga meninggalkan muatan positif yang disebut *hole*. *Hole* yang dominan sebagai pembawa disebut semikonduktor tipe-p, sedangkan elektron yang dominan sebagai pembawa disebut semikonduktor tipe-n (Zsolt, 2011).

2.2 Semikonduktor TiO₂

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan kristal berwarna putih yang bersifat asam. Kristal ini tidak dapat larut dalam air, asam klorida, asam sulfat encer, dan alkohol tetapi larut dalam asam sulfat pekat dan asam fluorida (Hidayat, 2005). Memiliki berat molekul 79,90 g/mol; densitas 4,26 g/cm⁻³, TiO₂ murni hanya mampu menyerap radiasi UV sehingga dapat menyebabkan terjadinya radikal hidroksil pada pigmen sebagai fotokatalisis (Ardiani, 2010).

Titanium dioksida (TiO₂) secara mikroskopis memiliki dua bentuk utama yaitu kristal dan amorf (Gunlazuardi, 2001). Titanium dioksida (TiO₂) amorf tidak memiliki keteraturan susunan atom sehingga bahan tersebut tidak memiliki keteraturan pita konduksi dan valensi, akan tetapi TiO₂ amorf juga dikenal memiliki kemampuan untuk mendegradasi polutan dalam waktu yang cukup lama. Sementara Titanium dioksida bentuk kristal diketahui memiliki tiga fase kristal yang berbeda seperti pada Gambar 2.2 yaitu rutil, anatas, dan brookit.



Gambar 2. 2 Struktur kristal TiO₂ a) Rutil; b) Anatasi; c) Brookit (Rohmah., 2015)

Pada Gambar 2.2 terlihat struktur kristal TiO₂ diantaranya rutil memiliki bentuk kristal yang paling stabil dan mudah ditemukan dalam bentuk yang paling murni (bijih). Anatasi dikenal sebagai kristal yang paling reaktif terhadap cahaya, sehingga eksitasi elektron ke pita konduksi dapat dengan mudah terjadi apabila kristal dikenai cahaya dengan energi yang lebih besar dari pada celah energinya. Dan brookit merupakan jenis kristal yang sulit diamati karena sifatnya yang tidak mudah dimurnikan (Greenwood dan Earnshaw, 1997).

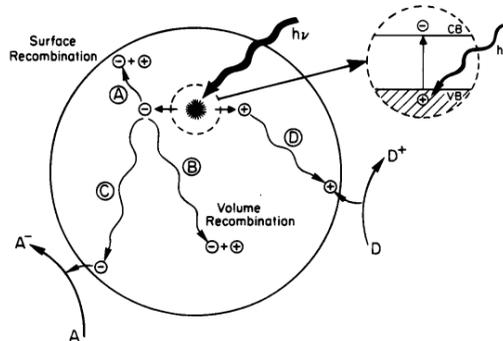
2.3 Fotokatalisis TiO₂

Fotokatalisis merupakan suatu kombinasi antara proses fotokimia dan katalis. Cahaya dan katalis dibutuhkan agar dapat melangsungkan suatu transformasi atau reaksi kimia. Transformasi kimia yang diinduksikan oleh sinar tersebut terjadi pada permukaan suatu katalis (Sopyan, 1998). Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi atau dengan fotoproduksi utamanya, tergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut (Kirk dan Otmer, 1994).

Salah satu bahan semikonduktor yang dapat digunakan dalam reaksi fotokatalisis adalah TiO₂. TiO₂ mempunyai banyak kelebihan diantaranya mempunyai aktifitas fotokatalisis yang

tinggi, stabil, tidak beracun, tahan terhadap korosi, melimpah jumlahnya dan relatif murah (Yan et al., 2011)

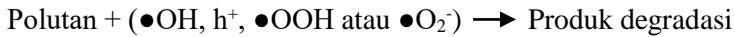
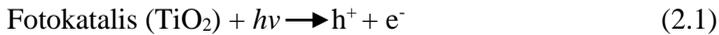
Kristal TiO_2 yang paling sering digunakan dalam aplikasi fotokatalisis adalah kristal fase anatas. Kristal fase anatas menunjukkan aktivitas yang lebih baik dibandingkan dengan kristal fase rutil karena nilai energi *bandgap* (energi minimum yang diperlukan untuk eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi) fase anatas lebih besar daripada fase rutil. Nilai energi *bandgap* dari anatas sebesar 3,2 eV dan rutil 3,0 eV sehingga letak pita konduksi dari anatas lebih negatif dari rutil dimana letak pita valensi dari kedua fase sama. Dengan demikian anatas mempunyai kemampuan reduksi lebih besar dari rutil (Amemiya S, 2004). Selain itu, fase anatas mempunyai luas permukaan yang besar sehingga efisiensi fotoreduksi CO_2 tinggi (Slamet, 2007). Fase anatas muncul pada rentang suhu $400^\circ - 650^\circ \text{C}$ ketika pemanasan dekomposisi senyawa titanium (Linsebigler et al., 1995). Mekanisme fotokatalisis secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Fotoeksitasi elektron pada semikonduktor (Linsebigler et al., 1995)

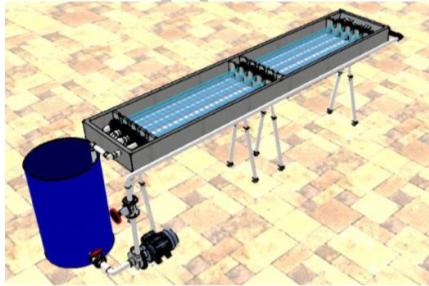
Pada Gambar 2.3 diketahui bahwa suatu induksi oleh sinar pada katalis akan menimbulkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita induksi (2.1). Proses ini akan menghasilkan *hole* (h^+) pada pita valensi dan elektron (e^-) pada pita konduksi.

Sebagian besar elektron dan hole akan berinteraksi kembali (efek rekombinasi) di permukaan atau *bulk* partikel dan akan mengalami proses reduksi dan oksidasi dengan sampel limbah. Elektron akan menginisiasi reaksi reduksi dengan oksigen (O_2) menghasilkan radikal superoksida ($\bullet O_2^-$) (2.2), sementara *hole* akan menginisiasi reaksi oksidasi dengan molekul air (H_2O) membentuk radikal hidroksil ($\bullet OH$) dan H_2O^+ (2.4). Radikal-radikal tersebut mampu mendegradasi senyawa organik menjadi molekul-molekul kecil seperti CO_2 , H_2O dan asam mineral (Dong, Shuying, et, all., 2015).



2.4 Reaktor Fotokatalisis

Reaktor merupakan serangkaian alat yang berperan sebagai tempat terjadinya suatu reaksi. Berdasarkan keadaan fotokatalisis yang digunakan, reaktor fotokatalisis untuk pengolahan limbah zat cair terbagi menjadi dua konfigurasi utama yaitu (1) reaktor dengan partikel fotokatalis yang ditangguhkan dan (2) reaktor dengan fotokatalis diimobilisasi ke pembawa inert secara terus menerus. Berbagai jenis reaktor telah digunakan dalam pengolahan limbah zat cair secara fotokatalitik diantaranya fotoreaktor annular bubuk, fotoreaktor kaskade, reaktor kontakor downflow (Chong et al., 2010). Ada juga OMTP *solar photoreactor* seperti pada Gambar 2.4.



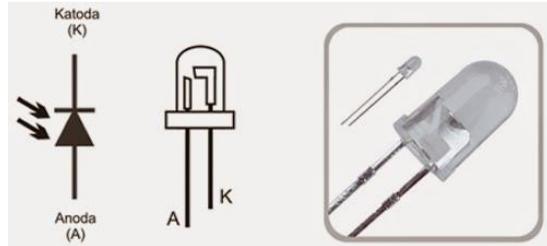
Gambar 2. 4 OMTP *solar photoreactor* (Ochoa, 2017)

Reaktor pada Gambar 2.4 didesain dengan fluida atau limbah zat cair dialirkan melalui sampel katalis secara kontinu dibawah sinar matahari. Pareek et al (2008) dalam jurnalnya membahas terkait faktor penting dalam mengkonfigurasi reaktor fotokatalisis yaitu total luas permukaan iradiasi katalis per satuan volume dan cahaya distribusi di dalam reaktor. Fotokatalisis dapat diaktifkan dengan adanya cahaya, untuk mencapai keseragaman dalam distribusi fluks foton dalam reaktor maka posisi sumber cahaya harus benar.

2.5 Sensor *Photodiode*

Sensor merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik atau kimia dan mengkonversikan menjadi sinyal elektrik baik arus listrik ataupun tegangan. Terdapat berbagai macam jenis sensor diantaranya sensor cahaya, sensor suhu, sensor tekanan (Rafiuddin, 2013).

Sensor cahaya adalah komponen elektronika dapat berfungsi mengubah suatu besaran optik (cahaya) menjadi besaran elektrik. Sensor cahaya berdasarkan perubahan elektrik yang dihasilkan dibagi menjadi dua jenis, yaitu fotovoltaiik dan fotokonduktif. Salah satu sensor cahaya jenis fotokonduktif adalah sensor *photodiode* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 *Photodiode* dan Simbol (Nasution, 2015)

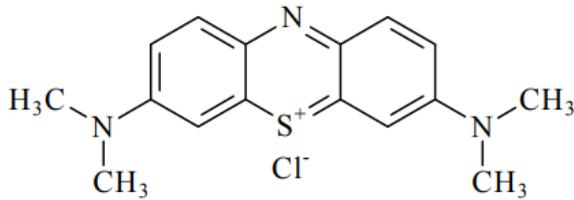
Sensor *photodiode* dapat merespon stimulus berupa cahaya tampak maupun tidak tampak dan mengkonversi intensitas cahaya yang terdeteksi menjadi arus. *Photodiode* dapat berfungsi sebagai sensor untuk mengukur intensitas cahaya. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenainya, arus yang dihasilkan *photodiode* juga akan semakin besar. Semakin kecil jari-jari lubang yang dibuat, semakin kecil luminansi cahaya yang diterima oleh sensor (Nasution, 2015).

Dalam pengukurannya, resistansi pada sensor *photodiode* akan berubah-ubah ketika dikenai sinar cahaya dan perubahannya dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima, semakin banyak cahaya yang diterima maka nilai resistansinya semakin kecil dan sebaliknya, jika semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh sensor *photodiode* maka semakin besar nilai resistansinya (Anjaswati, 2013).

2.6 *Methylene Blue*

Zat warna merupakan suatu senyawa organik yang digunakan untuk memberikan warna ke suatu objek. Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat. Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna (Manurung, 2004).

Methylene blue (MB) merupakan senyawa kimia aromatik heterosiklik dengan rumus molekul $C_{16}H_{18}ClN_3S$ seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Struktur molekul *Methylene Blue* (Pubschem, 2013)

MB memiliki massa molekul relative 319,85 g/mol dan titik leleh 100°C. Pada suhu ruang, MB berbentuk serbuk berwarna merah, tidak berbau dan menjadi berwarna biru ketika dilarutkan di dalam air (Rohmah, 2015).

MB termasuk zat warna dasar yang sangat penting dan relatif murah dibandingkan dengan pewarna lainnya. Zat warna ini paling sering dipakai dalam industri tekstil, sutra, wool dan kosmetik. Dosis tinggi dari MB dapat menyebabkan mual, muntah, nyeri pada perut dan dada, sakit kepala, keringat berlebihan dan hipertensi (Amirullah, 2006).

MB juga merupakan senyawa sintetis pertama yang pernah digunakan sebagai antiseptik dalam terapi klinis, dan yang pertama pewarna antiseptik untuk digunakan sebagai terapi (Oz et al., 2011).

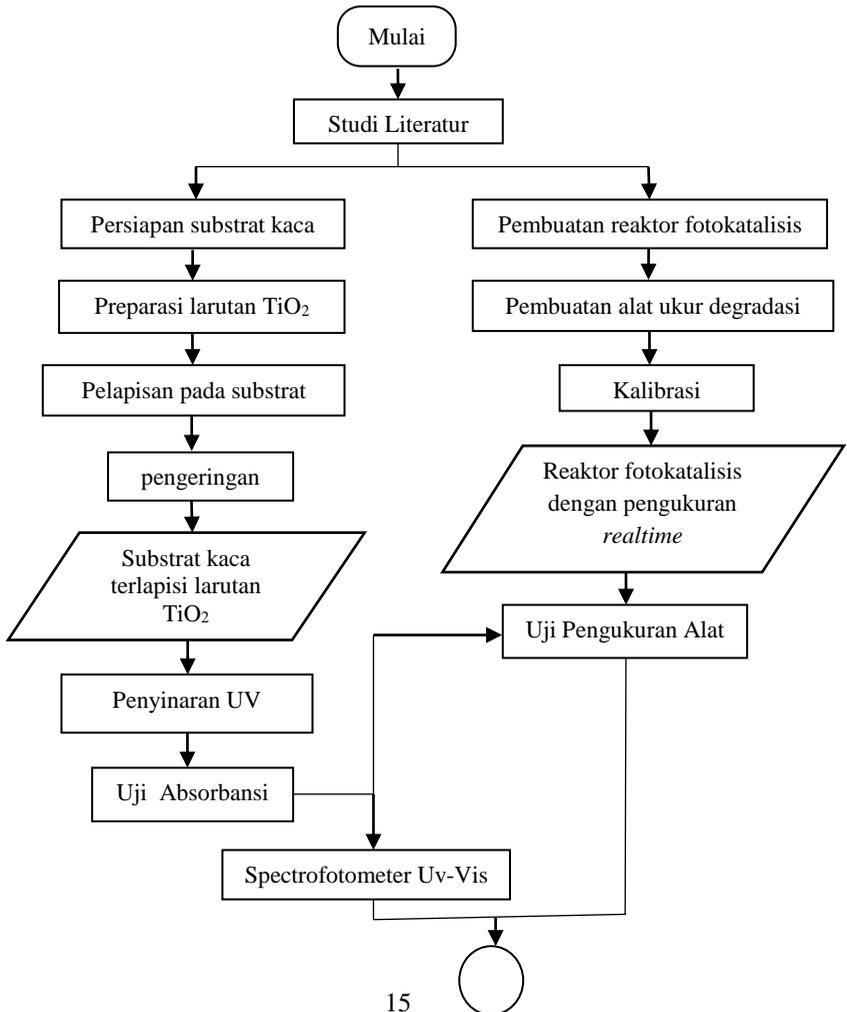
2.7 Vernis

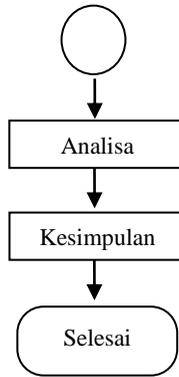
Vernis terbentuk dari bahan utama berupa polimer, baik polimer alam ataupun sintetis, dan ditambah dengan bahan-bahan aditif untuk mendapatkan kualitas yang diinginkan (Sutanti,dkk.,2017). menurut Sunaryo (1997), bahwa vernis merupakan lapisan pelindung yang transparan. vernis memiliki dua kegunaan yaitu dapat digunakan sebagai pelindung dan dekoratif.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah pengerjaan. Berikut ini Gambar 3.1 merupakan diagram alir penelitian secara umum.





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian secara umum

Pada Gambar 3.1 penelitian dibagi menjadi beberapa tahap mulai dari perancangan reaktor fotokatalisis, preparasi katalis pada substrat hingga pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis dan sensor fotodegradasi.

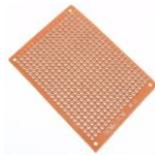
3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang dibutuhkan dibagi menjadi dua yaitu alat bahan uji tingkat degradasi dan alat bahan preparasi lapisan.

3.2.1 Peralatan Pembuatan Sensor Fotodegradasi

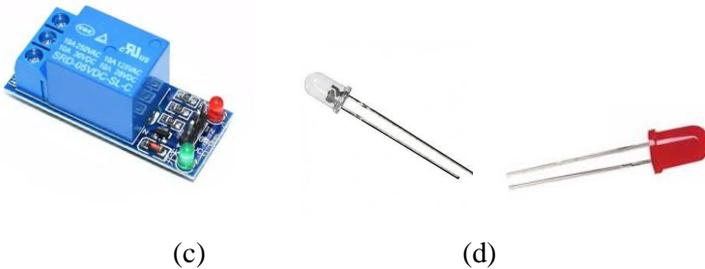


(a)



(b)

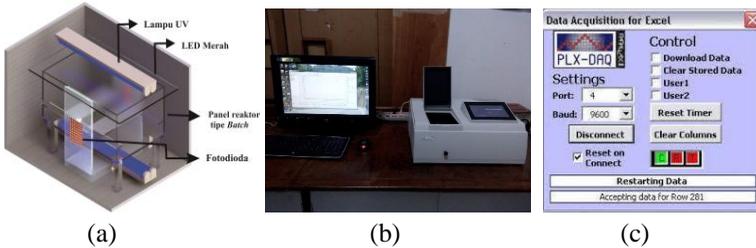




Gambar 3. 2 Peralatan pembuatan sensor fotodegradasi

- (a) Arduino
 Arduino digunakan sebagai pengendali yang berisi kode perintah-perintah.
- (b) PCB, Timah, Solder, dan kabel *jumper*
 PCB digunakan sebagai papan untuk merangkai komponen. Timah digunakan untuk merekatkan lempengan tembaga dengan termoelemen dengan bantuan solder. Solder digunakan untuk melelehkan timah supaya mudah diaplikasikan pada komponen. Kabel *jumper* digunakan untuk menghubungkan rangkaian dengan arduino.
- (c) Modul Relay
 Modul relay digunakan sebagai saklar On/Off pada lampu UV.
- (d) Sensor *photodiode*, resistor dan LED Merah
 Sensor *photodiode* digunakan sebagai alat ukur tingkat degradasi limbah dengan memanfaatkan cahaya yang dikonfersikan kedalam tegangan. Resistor digunakan sebagai hambatan pada rangkaian. LED Merah sebagai sumber cahaya.

3.2.2 Peralatan Uji dan Alat Ukur Fotodegradasi MB



Gambar 3. 3 Peralatan uji dan alat ukur fotodegradasi MB

- (a) Reaktor Fotokatalisis tipe *Batch*, lampu UV
 Reaktor fotokatalisis tipe *batch* digunakan sebagai tempat terjadinya proses fotokatalisis pada limbah cair tekstil. Lampu UV sebagai sumber cahaya yang diperlukan dalam proses fotokatalisis.
- (b) Spektrofotometer UV-VIS
 Spektrofotometer UV-VIS digunakan untuk mengukur tingkat degradasi limbah cair tekstil.
- (c) PLX-DAQ
 PLX-DAQ digunakan untuk akuisis data.

3.2.3 Peralatan dan Bahan Preparasi Lapisan



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 3. 4 Peralatan dan bahan pembuatan lapisan TiO₂

- (a) Serbuk TiO_2 (Merck), PEG 4000 (Merck KGaA), Etanol, *Methylene Blue* (MB)

Serbuk TiO_2 digunakan sebagai bahan katalis pada proses fotokatalisis dalam pendegradasian limbah zat warna tekstil., PEG 4000 digunakan untuk template serbuk TiO_2 ., etanol digunakan untuk melarutkan PEG 4000, *Methylene Blue* digunakan sebagai pewarna sintetik yang akan diuji tingkat degradasi warna.

- (b) Neraca Digital

Neraca digital digunakan untuk mengukur massa serbuk TiO_2 dan PEG 4000 sesuai dengan massa pada persamaan yang telah ditentukan.

- (c) Gelas Beaker, *Spatula* besi, pipet tetes

Gelas Beaker digunakan untuk meletakkan sampel yang masih berupa serbuk untuk dicampur, *Spatula* besi digunakan untuk mengaduk sampel yang sudah dicampur dan pipet tetes digunakan untuk mengambil cairan etanol dalam skala tetesan kecil.

- (d) *Magnetic stirrer*, Oven, *Ultrasonic Cleaner*

Magnetic stirrer digunakan untuk menghomogenkan sampel yang sudah dicampur, Oven digunakan untuk menguapkan etanol pada sampel supaya sampel menjadi bubuk kembali dan *ultrasonic cleaner* digunakan untuk membersihkan kaca preparat dari kotoran atau debu.

- (e) Kaca preparat, amplas, kuas, ayakan

Kaca preparat sebagai substrat untuk deposisi serbuk TiO_2 , amplas digunakan untuk membuat permukaan kaca menjadi berserat, kuas digunakan untuk memoleskan perekat diatas kaca, ayakan digunakan untuk meratakan bubuk diatas substrat kaca.

(f) Vernis, *Mortar*

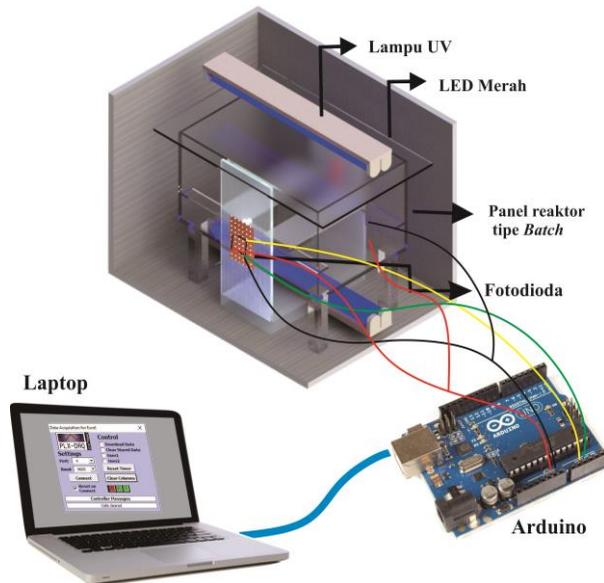
Vernis digunakan sebagai perekat serbuk TiO_2 diatas substrat kaca dan *mortar* digunakan untuk menumbuk serbuk sampel.

3.3 Langkah Kerja

Langkah kerja pada penelitian ini terdiri dari enam bagian, yaitu perancangan reaktor fotokatalisis, persiapan substrat kaca, preparasi material TiO_2 , pelapisan material TiO_2 pada substrat, perlakuan penyinaran dan pengambilan data.

3.3.1 Perancangan Reaktor Fotokatalisis

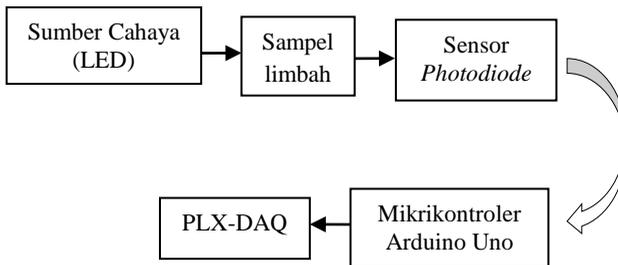
Reaksi fotokatalisis menggunakan lapisan TiO_2 pada substrat kaca untuk mendegradasi *Methylene Blue* membutuhkan panel reaktor seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skema rancang bangun reaktor fotokatalisis

Panel reaktor pada Gambar 3.5 yang digunakan bertipe *batch* dan berskala laboratorium dengan ukuran 16 cm, 9 cm, dan 7 cm untuk panjang, lebar dan tinggi. Panel reaktor terbuat dari bahan akrilik yang transparan dan memiliki tebal 5 mm. Pada bagian dalam reaktor terdapat akrilik yang diletakkan secara horizontal sebagai tempat untuk meletakkan substrat kaca. Supaya terjadi reaksi fotokatalisis, pada panel reaktor digunakan lampu UV pada sisi atas dan bawah yang masing-masing 10 watt.

Perancangan reaktor dilengkapi dengan alat ukur fotodegradasi yang terdiri dari 2 sistem yaitu sistem *hardware* dan sistem *software*. Adapun sistem *hardware* terdiri dari *photodiode* sebagai *receiver* dan LED merah sebagai *transmitter*, serta arduino uno sebagai mikrokontroler. Sementara sistem *software* berupa arduino uno IDE sebagai tempat perancangan perintah untuk sistem *hardware* dan PLX-DAQ sebagai akuisisi data hasil pembacaan *hardware* (sensor) yang dipresentasikan melalui kolom pada Microsoft Excel (Parallax, 2014). Blok diagram dari sistem alat ukur yang dibuat seperti ditunjukkan Gambar 3.6.



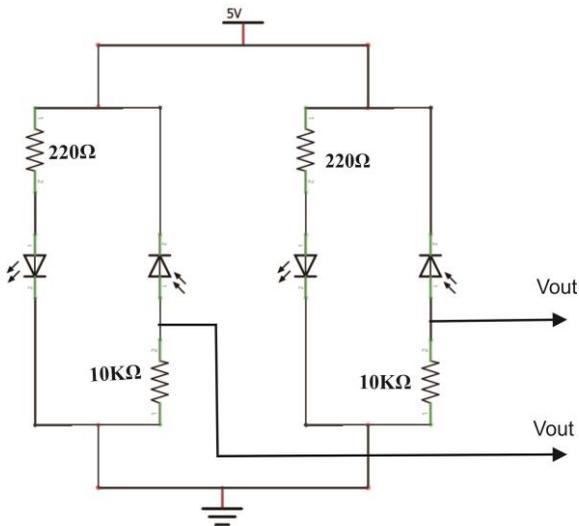
Gambar 3. 6 Diagram blok alat ukur fotodegradasi zat warna tekstil

Prinsip kerja alat yang dibuat memanfaatkan konsep transmisi cahaya oleh partikel, di mana cahaya yang mengenai sebuah partikel sebagian akan ada yang dihamburkan dan sebagian ditransmisikan. Seperti pada Gambar 3.6 diagram blok alat ukur fotodegradasi menjelaskan bahwa sensor membaca intensitas cahaya LED yang ditransmisikan melalui sampel fluida.

Pembacaan tersebut dikontrol oleh mikrokontroler arduino dan terjadi proses perubahan data analog menjadi digital berupa tegangan dalam satuan milivolt (mV). Kemudian data tersebut diakuisisi dengan menggunakan *software* PLX-DAQ.

3.3.1.1 Perancangan Sensor Fotodegradasi

Sistem sensor terdiri dari *receiver* berupa sensor *photodiode* dan *transmitter* berupa lampu LED merah yang dipasang dengan sudut 180° atau sejajar. Pengukuran tingkat kekeruhan digunakan rangkaian pembagi tegangan sebagai rangkaian pengondisi sinyal (rps) sensor dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian pengondisi sinyal sensor *photodiode*

Ketika zat warna *methylene blue* memiliki konsentrasi yang besar maka sinar dari lampu LED merah yang akan terbaca oleh sensor *photodiode* semakin kecil hal ini dikarenakan sedikitnya intensitas cahaya LED yang dapat ditransmisikan melalui zat warna tersebut. Sehingga dapat dinyatakan bahwa

Keluaran rps akan berbanding lurus dengan intensitas cahaya (transmisi cahaya) yang terdeteksi oleh *photodiode*.

Keluaran rps pada Gambar 3.7 dapat dilakukan secara perhitungan dengan menggunakan persamaan pembagi tegangan. Berikut persamaan pembagi tegangan dari rps.

$$V_{\text{out}} = \frac{R}{R+R(pt)} V_{\text{cc}} \quad (3.1)$$

Dengan R merupakan hambatan yang ditambahkan pada rangkaian dan $R(pt)$ merupakan hambatan yang ada didalam *photodiode*. Selanjutnya keluaran ini akan diubah kedalam besaran digital dengan rumus.

$$V = V_{\text{out}} \times \left(\frac{1}{2^n}\right) V_{\text{in}} \quad (3.2)$$

Perancangan sistem sensor digunakan dua sensor yang diletakkan sejajar dengan arah vertikal sehingga ada dua titik yang akan diukur nilai absorbansinya. Sensor pertama (sensor 1) diletakkan diatas substrat kaca dan lainnya (sensor 2) dibawah substrat kaca. Cara kerja sensor sebagai alat ukur degradasi limbah cair adalah dengan mengukur kekeruhan air melalui intensitas cahaya yang diterima sensor. Berkas cahaya dari LED merah akan ditembakkan melalui medium, kemudian intensitas cahaya akan diterima oleh sensor *photodiode*. Data hasil deteksi dari sensor adalah tegangan yang mempresentasikan jumlah intensitas cahaya yang diterimanya. Kemudian hasil tersebut dikonversikan ke dalam nilai absorbansi yang mana nilai tersebut menyatakan tingkat kekeruhan dari limbah zat warna tekstil. Pengkonversian tersebut dilakukan dengan mengkalibrasi alat ukur sensor photodiode dengan alat ukur yang sudah ada yaitu spektrofotometer UV-Vis.

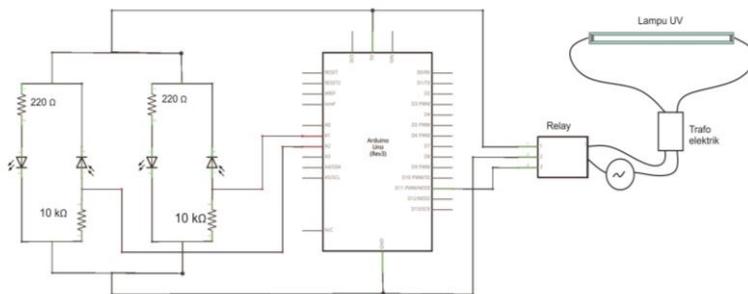
3.3.1.2 Kalibrasi Sensor Fotodegradasi

Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai absorbansi larutan zat warna *Methylene Blue* berkonsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm hasil pengukuran

spektrofotometer UV-Vis dengan nilai tegangan hasil pembacaan sensor fotodegradasi. Berdasarkan perbandingan tersebut didapatkan persamaan regresi eksponensial dalam bentuk $y = ae^{bx}$ dengan variabel x merupakan nilai tegangan hasil pembacaan dari sensor.

3.3.1.3 Perancangan Sistem Pengolah Data

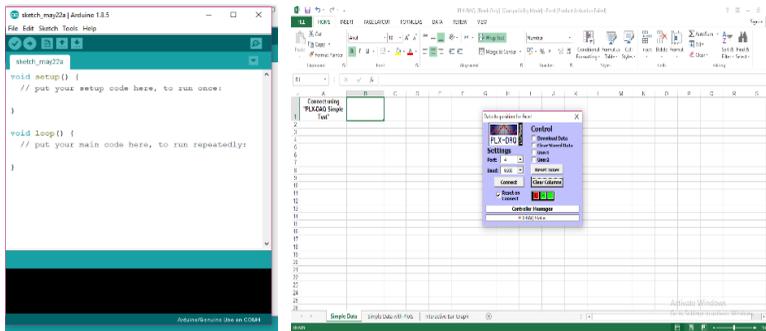
Pada perancangan sistem pengolah data, sensor dihubungkan dengan pin yang ada pada *hardware* arduino uno. Digunakan *software fritzing* untuk membuat perancangan skematik mikrokontroler yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Rangkaian skema mikrokontroler

Pada Gambar 3.8 Pin A1 dan A2 dari arduino dihubungkan ke kaki output sensor *photodiode* sebagai data input analog dalam bentuk data *bite*. Kemudian kaki positif LED dan negatif sensor dihubungkan ke VCC, sementara kaki negatif LED dan positif sensor dihubungkan ke GND.

Dalam perancangan sistem pengolah data digunakan 2 *software* yaitu arduino *software* dan PLX –DAQ. Tampilan arduino *software* dan PLX DAQ dapat dilihat pada Gambar 3.9.



(a)

(b)

Gambar 3.9 (a) Tampilan *software* arduino 1.8.5; (b) Tampilan PLX-DAQ

Perintah atau penulisan program-program untuk *hardware* digunakan arduino *software* yaitu IDE atau *integrated Development Environment* yang mana menggunakan bahasa C++ yang berbasis pada bahasa C untuk AVR (Hidayat, 2011). Dalam pengolahan data hasil pembacaan sensor berupa analog dilakukan konversi terlebih dahulu ke dalam bentuk digital (ADC). Kemudian sinyal tersebut diolah oleh mikrokontroler ATmega 328 dari data tegangan menjadi nilai absorbansi. Selanjutnya data tersebut diakuisisi dengan menggunakan PLX-DAQ.

3.3.2 Persiapan Substrat Kaca

Pada penelitian ini substrat sebagai media untuk melapiskan material TiO_2 adalah kaca preparat dengan ukuran 7,5 cm x 2,5 cm sebanyak 5 buah. Substrat kaca tersebut diampelas dengan kertas amplas sebelum dilakukan pelapisan TiO_2 pada kedua sisinya. Kemudian substrat dicuci dengan deterjen untuk menghilangkan minyak atau kotoran yang menempel. Setelah itu, supaya substrat lebih *steril* digunakan *ultrasonic cleaner* selama 20 menit dengan aquades dan dilakukan pembilasan dengan alkohol. Selanjutnya dikeringkan menggunakan *magnetic stirrer hot plate*.

3.3.3 Preparasi Material TiO₂

Dalam preparasi material TiO₂ digunakan variasi konsentrasi TiO₂ sebanyak $2 \pm 0,005$ gr : $3 \pm 0,005$ gr : $4 \pm 0,005$ gr. Material TiO₂ dicampur dengan PEG 4000 dengan konsentrasi PEG 4000 sebesar setengah dari konsentrasi TiO₂ (Haryo, 2012). Preparasi material TiO₂ diawali dengan melarutkan PEG 4000 dengan etanol, kemudian ditambah serbuk TiO₂. Selanjutnya diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit hingga tercampur homogen. Setelah itu, campuran yang berbentuk pasta dipanaskan di dalam oven pada suhu 150 °C selama 3 jam hingga menjadi serbuk kembali, didinginkan dan terakhir dihaluskan dengan mortar.

3.3.4 Pelapisan Material TiO₂ pada Substrat

Material TiO₂ yang telah dipreparasi selanjutnya dilapiskan pada substrat kaca menggunakan metode tabur yaitu pelapisan dengan cara menaburkan material TiO₂ dipermukaan substrat kaca dengan ayakan seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Substrat kaca berlapis TiO₂ $3 \pm 0,005$ gr

Sebelum dilakukan penaburan, substrat terlebih dahulu dilapisi vernis dengan menggunakan kuas. Vernis digunakan sebagai perekat material TiO₂. Kemudian material TiO₂ ditaburkan pada kedua sisi kaca dan sampel didiamkan hingga mengering. Setelah mengering, sampel di cuci dan dikeringkan kembali.

3.3.5 Pembuatan dan Karakterisasi *Methylene Blue* (MB)

Sampel MB yang digunakan dalam penelitian memiliki konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, 5 ppm dan 15 ppm. Sampel dengan konsentrasi satu ppm hingga lima ppm digunakan untuk kalibrasi sensor. Adapun sampel berkonsentrasi 15 ppm digunakan untuk pengujian reaksi fotokatalisis dengan alat uji absorbansi berupa spektrofotometer UV-Vis.

Konsentrasi sampel memiliki satuan ppm dimana satuan ini sama dengan mg/L. Sampel yang digunakan dalam pengujian merupakan hasil dari pengenceran larutan induk sebesar 50 ppm (50 mg/L). Dalam membuat larutan induk 50 ppm dibutuhkan serbuk MB sebesar 50 mg yang dicampur dengan 1 liter aquades. Kemudian untuk kebutuhan pengenceran, berikut persamaan pengenceran yang digunakan.

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (3.3)$$

M_1 dan V_1 merupakan konsentrasi dan volume pada larutan induk. M_2 dan V_2 merupakan konsentrasi dan volume pada larutan yang dibuat.

Karakterisasi MB dilakukan dengan membandingkan konsentrasi MB sebesar 1 ppm hingga 5 ppm dengan nilai absorbansi yang diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil karakterisasi berupa grafik yang menunjukkan kelinieritas antara konsentrasi dengan nilai absorbansi.

3.3.6 Pengambilan Data

Data pada penelitian diambil secara kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa nilai absorbansi dari zat warna MB, dimana nilai absorbansi mewakili tingkat kekeruhan zat warna MB. Semakin besar nilai absorbansinya maka tingkat kekeruhan zat warna MB semakin besar. Dalam pengambilan data nilai absorbansi digunakan spektrofotometer UV-Vis dan sensor fotodegradasi.

Adapun data kualitatif didapatkan dengan melakukan pengambilan gambar sampel limbah dengan kamera yang

kemudian diamati tingkat degradasi atau perubahan warna dari limbah zat warna MB sebelum dan sesudah dilakukan penyinaran.

3.3.6.1 Uji Absorbansi

Uji absorbansi dilakukan pada zat warna MB dengan menggunakan dua alat ukur yaitu spektrofotometer UV-Vis dan sensor fotodegradasi. Pengujian absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis dilakukan pada zat warna MB dengan konsentrasi sebesar 15 ppm (15 mg/L). Sebanyak 450 ml sampel zat warna MB dimasukkan ke dalam panel reaktor. Kemudian masing-masing substrat kaca yang berlapis TiO₂ dimasukkan kedalam sampel MB dan diradiasi menggunakan lampu UV. Data diambil setiap 8 jam penyinaran dengan total waktu penyinaran selama 72 jam, sehingga masing-masing sampel diuji absorbansinya sebanyak 9 kali. Percobaan ini dilakukan pengulangan sebanyak dua kali pada masing-masing sampel substrat, dimana sebelum digunakan kembali sampel didiamkan selama 2 hari. Pengukuran nilai absorbansi dilakukan dengan memasukkan masing-masing sampel zat warna MB pada kuvet. Kemudian kuvet dimasukkan kedalam alat ukur spektrofotometer UV-Vis. Selanjutnya, *software* V dibuka dan dipilih “abs” untuk uji absorbansi. Data nilai absorbansi pada rentang panjang gelombang 350-800 dapat diakuisisi dalam bentuk excel.

Sementara uji absorbansi dengan menggunakan sensor fotodegradasi dilakukan pada limbah zat warna MB dengan pengukuran secara *realtime* setiap 15 menit penyinaran dengan total waktu penyinaran selama 13 jam. Dalam pengambilan data setiap 15 menit lampu UV dibuat *off* atau mati selama 5 detik. Pengujian ini dilakukan secara langsung pada reaktor fotokatalisis dengan sensor diletakkan disalah satu sisi reaktor dan sisi lainnya diletakkan sumber cahaya berupa LED berwarna merah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

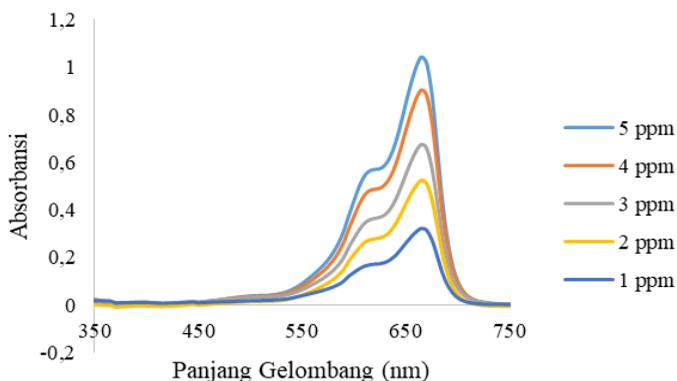
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun reaktor fotokatalisis tipe *batch* untuk mengukur fotodegradasi *Methylene Blue* secara *realtime* dengan TiO_2 yang dilapiskan pada substrat kaca dan lampu UV dengan daya 10 watt sebagai sumber radiasi.

4.1 Kurva Standar *Methylene Blue* (MB)

Kurva standar *Methylene Blue* menyatakan kelinieritasan grafik hubungan konsentrasi (ppm) dengan nilai absorbansi. Larutan standar MB yang ditentukan nilai absorbansi sebesar 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 4.1.

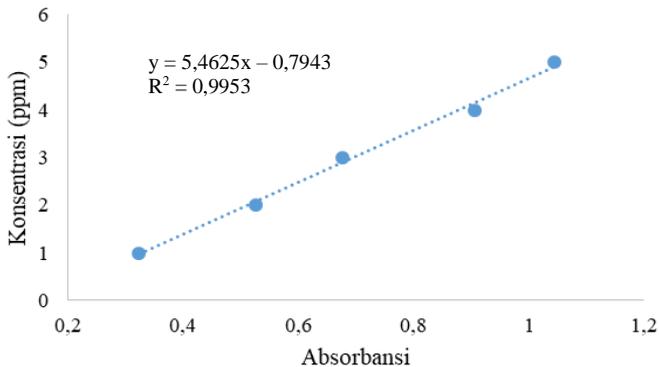


Gambar 4. 1 Grafik spektrum serapan UV-Vis laruta MB berkonsentrasi 1 ppm hingga 5 ppm

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa setiap konsentrasi larutan MB mempunyai nilai absorbansi yang berbeda-beda tergantung besarnya konsentrasi yang dimiliki larutan, dimana semakin besar konsentrasi larutan MB maka semakin besar pula nilai absorbansinya. Hal ini menandakan bahwa intensitas cahaya yang diserap oleh MB tersebut lebih

banyak daripada cahaya yang ditransmisikan atau dilewatkan larutan. Pada grafik tersebut juga terlihat setiap konsentrasi memiliki titik puncak nilai absorbansi dipanjang gelombang yang sama yaitu 665 nm. Panjang gelombang ini yang kemudian dijadikan acuan dalam kurva standar MB.

Selanjutnya dari nilai absorbansi pada masing-masing konsentrasi larutan MB dapat dibuat kurva standar hingga didapat persamaan regresi dalam bentuk $y = bx + a$. Grafik linearitas antara konsentrasi MB dengan nilai absorbansi disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Kurva standar *methylene blue*

Pada Gambar 4.2 dapat diketahui persamaan regresi MB yaitu

$$y = 5,4625x - 0,7943 \quad (4.1)$$

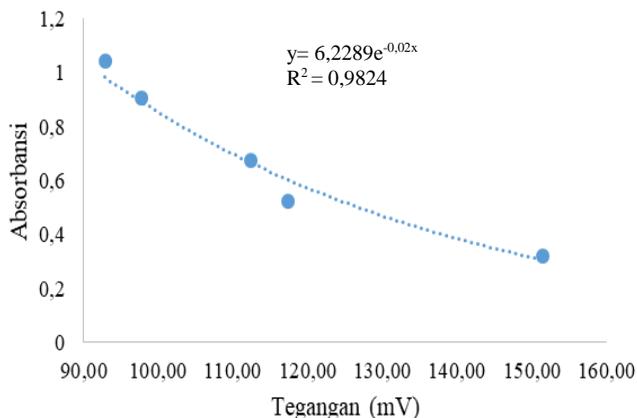
dan koefisien relasi (R^2) sebesar 0,9953. Persamaan 4.1 dari kurva standar MB tersebut dapat digunakan untuk mengetahui besarnya konsentrasi sisa (y) pada MB setelah proses fotokatalisis dengan cara memasukkan nilai absorbansi pada variabel x .

4.2 Pengujian Pembacaan Sensor

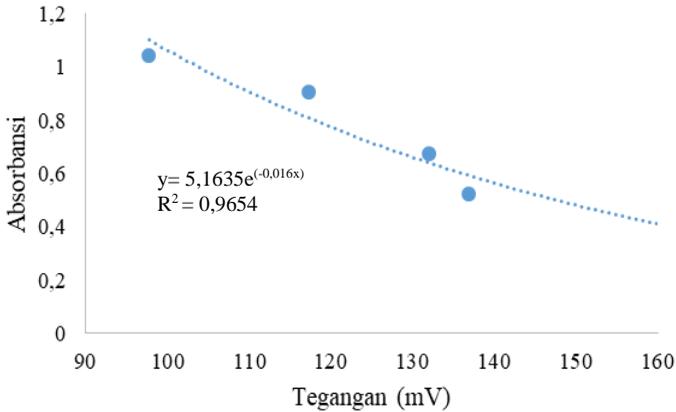
Dalam pengambilan data pada reaktor fotokatalisis dibuat kondisi lampu UV mati atau *off* selama 5 detik. Oleh karena itu, dibutuhkan modul relay untuk mengontrol *on* atau *off* lampu UV. Kondisi ini untuk menghindari adanya superposisi cahaya antara

LED merah dengan lampu UV dan persebaran pancaran lampu UV (intensitas cahaya) yang berbeda setiap waktu yang ada didalam reaktor sehingga pembacaan nilai tegangan keluaran oleh sensor *photodiode* lebih stabil.

Setelah mendapatkan nilai tegangan yang mempresentasikan besar kecilnya intensitas cahaya yang dapat dibaca oleh sensor 1 dan sensor 2, selanjutnya nilai tersebut dibandingkan dengan nilai absorbansi dari sampel MB. Berdasarkan perbandingan tegangan dan absorbansi akan didapatkan persamaan regresi eksponensial dalam bentuk $y = Ae^{Bx}$ yang disajikan pada Gambar 4.3 dan 4.4 untuk masing-masing sensor. Regresi tersebut didasari pada hubungan antara absorbansi dan intensitas cahaya yang menunjukkan persamaan logaritma dengan absorbansi (Abs) = $-\log(I_0/I_t)$. Intensitas cahaya yang dibaca sensor sebanding dengan tegangan keluaran dari sensor.



Gambar 4. 3 Grafik hubungan nilai tegangan dan nilai absorbansi pada sensor 1



Gambar 4. 4 Grafik hubungan nilai tegangan dan nilai absorbansi pada sensor 2

Dari Gambar grafik 4.3 dan 4.4 dapat diketahui persamaan regresi linier dari sensor 1 yaitu

$$y = 6,2289e^{(-0,02x)} \quad (4.2)$$

koefisien relasi (R^2) sebesar 0,9824.

Sementara persamaan regresi linier sensor 2 yaitu

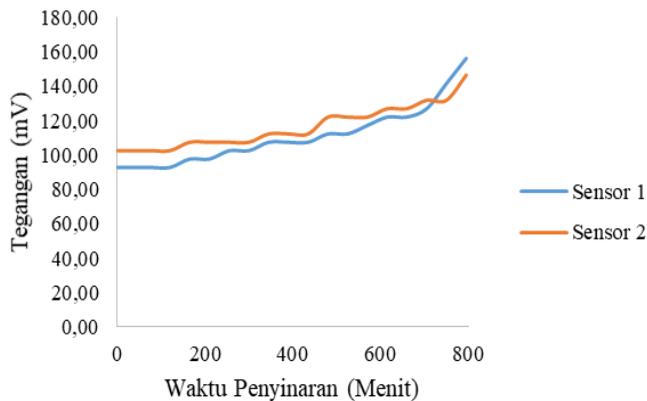
$$y = 5,1635e^{(-0,016x)} \quad (4.3)$$

koefisien relasi (R^2) sebesar 0,9654. Dimana sumbu y merupakan konsentrasi yang dimiliki sampel MB dan sumbu x merupakan nilai tegangan output dari sensor *photodiode*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa besarnya absorbansi berbanding terbalik dengan tegangan keluaran dari sensor. Semakin keruh sampel MB atau nilai absorbansi semakin besar maka nilai tegangan semakin kecil. Persamaan eksponensial pada persamaan 4.2 dan 4.3 selanjutnya akan digunakan untuk mengkonversi nilai tegangan ke dalam bentuk absorbansi suatu larutan. Kemudian hasil absorbansi tersebut diubah kedalam besaran konsentrasi (ppm) dengan menggunakan persamaan 4.1.

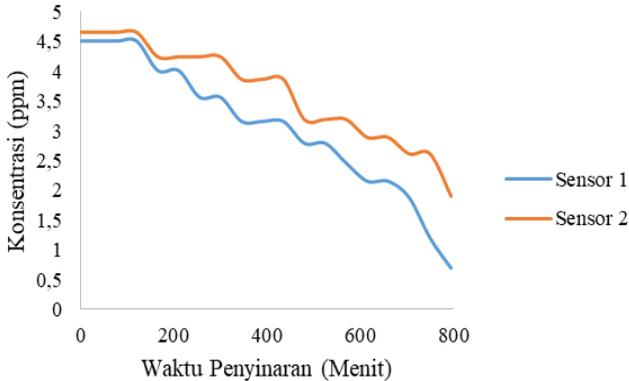
4.3 Uji Fotodegradasi dengan Sensor fotodegradasi

Uji absorbansi dengan sensor fotodegradasi dilakukan pada MB berkonsentrasi 4 ppm dengan substrat kaca berlapis TiO_2 massa $3 \pm 0,005$ gr. Pengukuran dilakukan secara *realtime* setiap 15 menit penyinaran dengan total waktu penyinaran selama 14 jam.

Dalam pengambilan data digunakan dua buah sensor yang diletakkan secara sejajar dengan arah vertikal, hal ini dapat meningkatkan keakurasian data. Data yang sudah terbaca dan terkonversi selanjutnya diakuisisi menggunakan PLX-DAQ. Berikut Gambar 4.5 dan 4.6 merupakan representasi tegangan hasil pembacaan sensor 1 dan sensor 2 serta hasil konversi nilai konsentrasinya ke dalam bentuk grafik.



Gambar 4. 5 Perbandingan pembacaan tegangan pada sensor 1 dan sensor 2



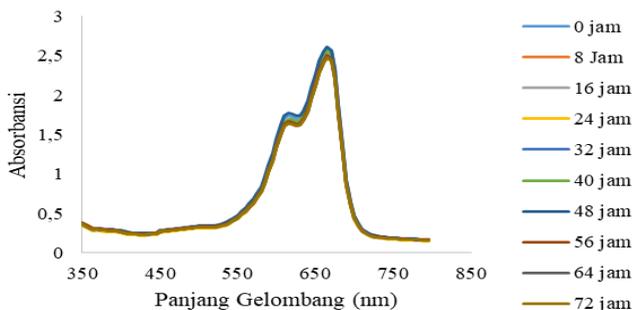
Gambar 4. 6 Perbandingan nilai konsentrasi hasil pembacaan sensor 1 dan sensor 2

Pada Gambar 4.5 dan 4.6 diketahui bahwa nilai tegangan naik seiring dengan menurunnya nilai konsentrasi. Semakin kecil nilai konsentrasi maka pembacaan tegangan oleh sensor akan semakin besar. Selain itu, nilai konsentrasi turun seiring dengan lamanya waktu penyinaran. Hasil pembacaan nilai tegangan pada sensor 1 dan sensor 2 berbeda, keadaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya partikel pada zat warna tekstil yang digunakan mengalami pengendapan secara mikroskopis dan adanya pengaruh lingkungan akibat suhu panas yang dihasilkan oleh lampu UV. Selain itu, sumber cahaya LED untuk masing-masing sensor memiliki spesifikasi yang berbeda.

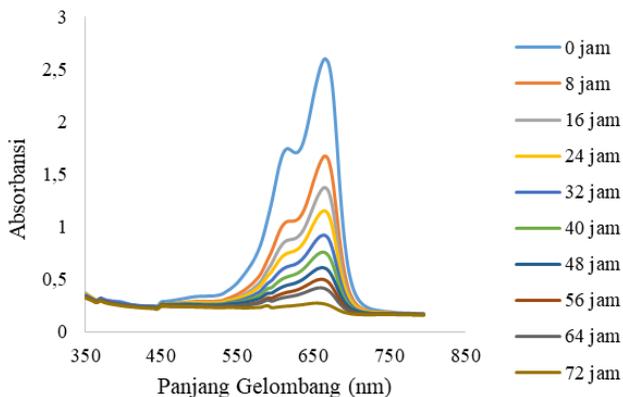
4.4 Uji Fotodegradasi dengan Spektrofotometer UV-Vis

Pengambilan data dengan spektrofotometer dilakukan pada masing-masing substrat kaca berlapis TiO_2 setiap 8 jam penyinaran dengan total waktu penyinaran selama 72 jam. Proses penurunan konsentrasi limbah MB 15 ppm 450 ml dilakukan dengan dua kondisi percobaan yaitu kondisi pertama berupa reaktor kontrol dimana proses penyinaran limbah tidak diberi tambahan katalis yang spektrum serapan UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 47. Adapun kondisi kedua berupa reaktor dengan

kaca berlapis katalis TiO_2 dengan spektrum serapan disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 7 Grafik spektrum serapan UV-Vis dan tingkat degradasi MB pada reaktor kontrol

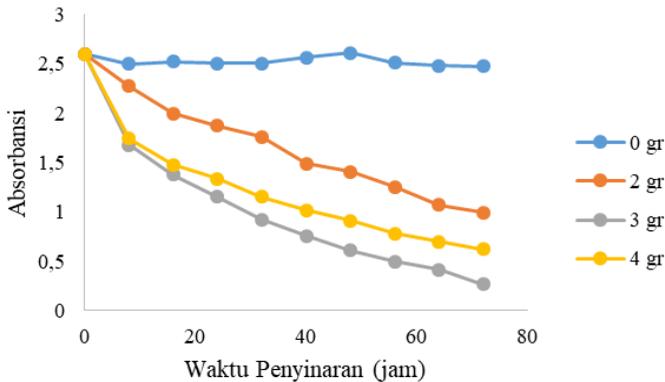


Gambar 4. 8 Grafik spektrum serapan UV-Vis dan tingkat degradasi MB pada reaktor dengan kaca berlapis $3 \pm 0,005$ gr katalis TiO_2

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 dapat diketahui perbedaan laju degradasi antara reaktor kontrol dengan reaktor berkatalis TiO_2 . Pada reaktor kontrol Gambar 4.7 terlihat panjang gelombang maksimum spektrum yaitu 665 nm tidak terjadi penurunan yang berarti yang mana nilai absorbansi turun menjadi

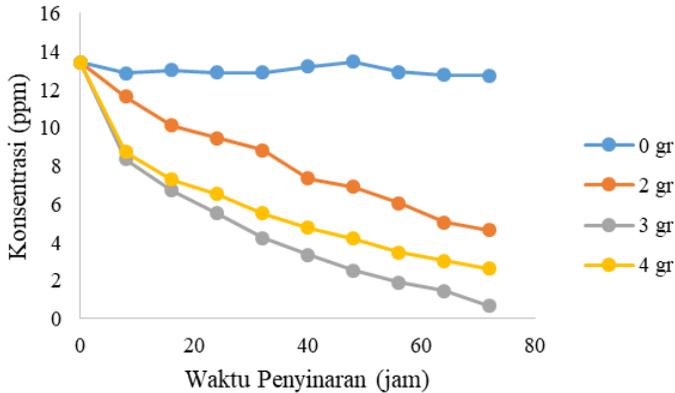
2,477 dari nilai awal 2,603 selama 72 jam penyinaran. Sementara pada reaktor dengan kaca berlapis katalis TiO_2 massa $3 \pm 0,005$ gr Gambar 4.8 mengalami penurunan tingkat absorbansi pada panjang gelombang maksimum atau puncak secara signifikan hingga penyinaran ke 72 jam, nilai absorbansi turun dari 2,603 menjadi 0,265. Hal ini menunjukkan bahwa proses degradasi limbah MB dapat dipercepat dengan penambahan katalis TiO_2 pada proses penyinaran. Kondisi ini sesuai dengan teori yang ada dimana fungsi katalis adalah untuk mempercepat terjadinya suatu reaksi.

Berikut ini data pengujian fotodegradasi MB dengan 72 jam penyinaran pada reaktor kontrol dan reaktor dengan katalis TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Pengaruh waktu penyinaran terhadap nilai absorbansi MB pada reaktor kontrol dan reaktor katalis TiO_2

Hasil nilai absorbansi tersebut dapat dikonversi ke dalam konsentrasi. Data nilai konsentrasi pada MB dengan penyinaran selama 72 jam dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Pengaruh waktu penyinaran terhadap nilai konsentrasi MB pada reaktor kontrol dan reaktor katalis TiO₂

Hasil pengujian absorbansi yang direpresentasikan dalam Gambar 4.9 dapat diketahui tingkat degradasi zat warna MB pada masing-masing perlakuan diantaranya reaktor kontrol tanpa katalis (0 gr), reaktor dengan kaca berlapis katalis TiO₂ massa $2 \pm 0,005$ gr, $3 \pm 0,005$ gr dan $4 \pm 0,005$ gr terlihat bahwa setiap perlakuan memiliki tingkat degradasi yang berbeda setiap waktunya dengan persentasi penurunan nilai absorbansi pada masing-masing perlakuan adalah $4,84\% \pm 0,0005$, $61,8\% \pm 0,0005$, $89,8\% \pm 0,0005$, dan $76,1\% \pm 0,0005$. Begitu juga pada Gambar 4.10 dapat diketahui pula bahwa konsentrasi pada dua perlakuan memiliki penurunan yang berbeda setiap waktunya. Dari grafik yang dibentuk oleh masing-masing perlakuan menyatakan bahwa reaktor dengan substrat kaca berlapis katalis TiO₂ massa $3 \pm 0,005$ gr memiliki persentasi penurunan nilai absorbansi dan konsentrasi yang cukup cepat apabila dibandingkan dengan tiga perlakuan lainnya sebesar $89,8\% \pm 0,0005$.

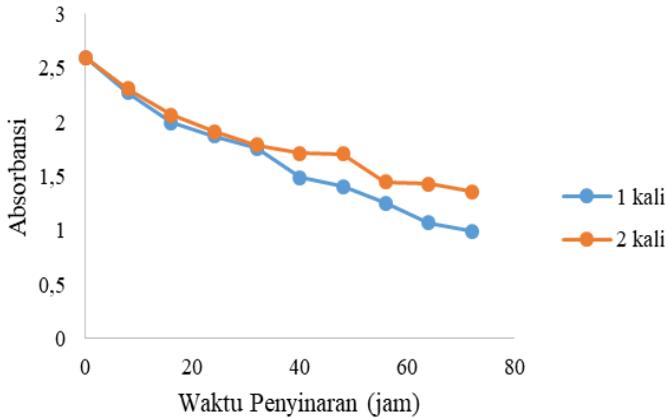
Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan jumlah TiO₂ yang dilapiskan pada substrat kaca sangat berpengaruh terhadap tingkat degradasi MB. Semakin banyak jumlah TiO₂ yang dilapiskan tidak menjamin tingkat degradasi juga semakin cepat, hal ini tergantung dari luas permukaan yang dilapisi dan banyaknya TiO₂

yang dapat melekat diatas substrat kaca tersebut. Hal ini terlihat dari grafik Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 dimana pada reaktor dengan kaca berlapis TiO_2 massa 3 gr memiliki tingkat penurunan absorbansi dan konsentrasi MB lebih cepat dari pada reaktor dengan kaca berlapis TiO_2 massa 4 gr.

Selain itu, dari Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 dapat diketahui pula semakin lama waktu penyinaran nilai absorbansi dan konsentrasi pada masing-masing perlakuan juga mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya waktu penyinaran berpengaruh terhadap fotodegradasi MB. Adapun data kualitas berupa foto tiap sampel pada masing-masing variasi akan disajikan dalam lampiran.

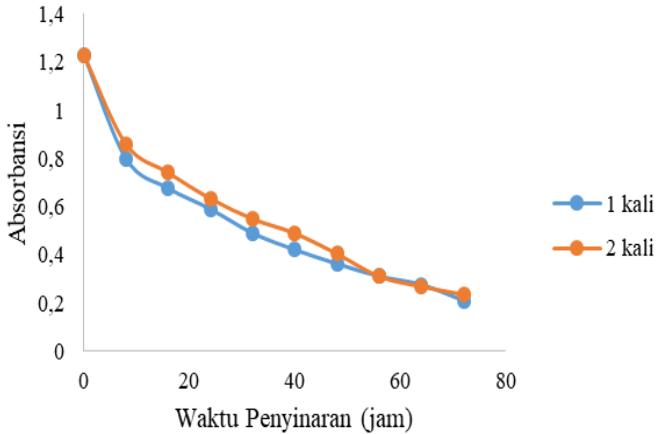
Pada Gambar 4.10 menunjukkan besarnya konsentrasi MB yang digunakan sebagai sampel uji memiliki nilai 13,4 ppm, sementara penjelasan pada subbab 3.3.6.1 larutan yang digunakan memiliki konsentrasi sebesar 15 ppm. Konsentrasi 15 ppm diperoleh dari pengenceran larutan induk 50 ppm. Adapun 13,4 ppm diperoleh dari persamaan 3.1 regresi linier dengan memasukkan nilai absorbansi hasil pengukuran spektrofotometer UV-Vis dari larutan pengenceran 15 ppm. Perbedaan hasil pengenceran dan pengukuran konsentrasi tersebut kemungkinan diakibatkan oleh adanya kesalahan dalam penimbangan bubuk MB yang akan dibuat larutan induk. selain itu, pada proses pengenceran yang dilakukan secara manual memungkinkan terjadinya kesalahan dalam memberikan tambahan volume air supaya mencapai volume yang diinginkan.

Substrat kaca berlapis TiO_2 digunakan dua kali penggunaan dengan perlakuan yang sama untuk mengetahui performansi dari katalis TiO_2 yang direkatkan diatas substrat kaca dengan perekat vernis. Sebelum digunakan kembali, substrat kaca didiamkan selama dua hari dengan tujuan katalis dapat beregenerasi sehingga dapat melakukan reaksi fotokatalisis. Grafik tingkat degradasi MB dengan lapisan TiO_2 $2 \pm 0,005$ gr; $3 \pm 0,005$ gr; $4 \pm 0,005$ gr 1 kali penggunaan dan lapisan TiO_2 $2 \pm 0,005$ gr; $3 \pm 0,005$ gr; $4 \pm 0,005$ gr 2 kali penggunaan masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13.



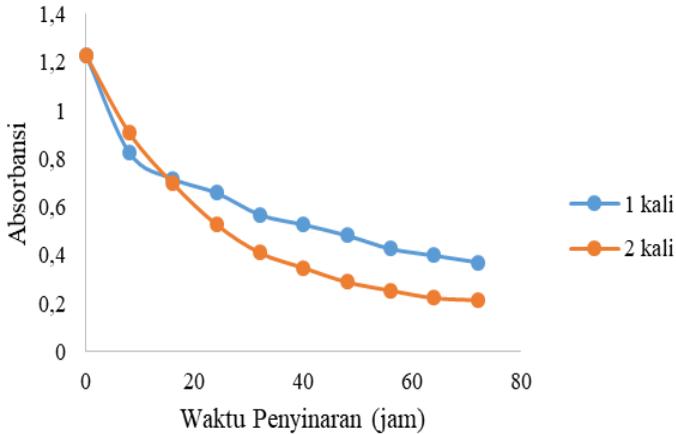
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan performansi 1 kali dan 2 kali pada tingkat degradasi MB dengan katalis TiO_2 $2 \pm 0,005$ gr

Pada Gambar 4.11 substrat kaca berlapis TiO_2 $2 \pm 0,005$ gr memiliki kemampuan dapat mendegradasikan MB lebih dari satu kali. Hal ini dapat terlihat dari grafik 1 kali dan 2 kali yang selalu menurun setiap 8 jam penyinaran. Namun kemampuan lapisan kondisi 2 kali dalam degradasi zat warna MB menurun pada jam ke-40, dimana tingkat degradasi lebih kecil dari pada lapisan kondisi 1 kali. Keadaan ini dipengaruhi oleh kondisi dari substrat kaca berlapis TiO_2 yang mana terdapat bagian permukaan substrat yang tidak terlapisi katalis. Gambar substrat kaca berlapis TiO_2 $2 \pm 0,005$ gr sebelum dan sesudah digunakan akan disediakan pada lampiran.



Gambar 4. 12 Grafik perbandingan performansi 1 kali dan 2 kali pada tingkat degradasi MB dengan katalis TiO_2 $3 \pm 0,005$ gr

Berdasarkan Gambar 4.12 substrat kaca berlapis TiO_2 $3 \pm 0,005$ gr memiliki kemampuan degradasi MB lebih dari satu kali. Hal ini dapat terlihat dari grafik 1 kali dan 2 kali yang selalu menurun setiap 8 jam penyinaran. Kemampuan yang dimiliki lapisan kondisi B hampir sama dengan lapisan kondisi A, dimana sama-sama dapat mendegradasikan zat warna MB dengan besar yang hampir sama. Hal ini dapat diartikan bahwa lapisan TiO_2 $3 \pm 0,005$ gr dapat mendegradasikan MB lebih dari satu kali dengan performansi yang sama setiap penggunaannya. Gambar substrat kaca berlapis TiO_2 $3 \pm 0,005$ gr sebelum dan sesudah digunakan akan disediakan pada lampiran.



Gambar 4. 13 Grafik perbandingan performansi 1 kali dan 2 kali pada tingkat degradasi MB dengan katalis TiO_2 $4 \pm 0,005$ gr

Berdasarkan Gambar 4.13, substrat kaca berlapis TiO_2 $4 \pm 0,005$ gr juga memiliki kemampuan dapat mendegradasikan MB lebih dari satu kali. Kemampuan yang dimiliki lapisan kondisi 2 kali untuk mendegradasika zat warna MB lebih besar dari pada lapisan kondisi 1 kali, dimana pada lapisan kondisi 2 kali menghasilkan tingkat degradasi yang jauh lebih besar. Keadaan ini disebabkan oleh kondisi lapisan yang masih bersih ketika digunakan 1 kali, kemudian ketika digunakan 2 kali kondisi lapisan terdapat warna biru yang cukup banyak. Gambar substrat kaca berlapis TiO_2 $4 \pm 0,005$ gr sebelum dan sesudah digunakan akan disediakan pada lampiran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Telah dirancang dan dibuat reaktor fotokatalisis yang mampu mengukur fotodegradasi *Methylene Blue* secara *realtime*.
2. Penurunan nilai absorbansi sampel zat warna tekstil pada reaktor kontrol, reaktor berkatalis TiO_2 $2 \pm 0,005$ gr, $3 \pm 0,005$ gr, dan $4 \pm 0,005$ gr berturut-turut adalah $4,84\% \pm 0,0005$, $61,8\% \pm 0,0005$, $89,8\% \pm 0,0005$, dan $76,1\% \pm 0,0005$.
3. Konsentrasi optimum serbuk TiO_2 yang dilapiskan pada substrat kaca terhadap degradasi *Methylene Blue* sebesar $3 \pm 0,005$ gr.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Dapat dilakukan variasi ketebalan lapisan TiO_2 pada substrat kaca.
2. Teknik deposisi TiO_2 pada substrat kaca dapat dilakukan dengan teknik *spray coating* yaitu pendeposisian dengan cara menyemprotkan material TiO_2 dalam bentuk sol gel di atas substrat dengan tekanan tertentu.
3. Penutup pada reaktor fotokatalisis dari bahan akrilik dapat diganti dengan menggunakan kaca untuk mengurangi penyerapan UV oleh bahan akrilik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah. 2006. “*Biosorpsi Metilen Biru oleh Ganggang Coklat (Sargassum Bunderi)*”. Karya Tulis Ilmiah. Institut Pertanian Bogor.
- Amemiya, S., 2004. “*Titanium Oxide Photocatalyst. Technical News*”. Tokyo: Three Bond
- Anjaswati, Irma Tri. 5 Oktober 2013. “*Sensor Photodiode*”. http://irmatrianjaswati.fst11.web.unair.ac.id/artikel_detail-84996-Sensor-sensor%20photodiode.html. Diakses tanggal 10 Februari 2019
- Ardiani, P. 2010. “*Efektivitas Katalis TiO_2 dengan Pengembangan $Mg(OH)_2 \cdot 5H_2O$ pada Fotodegradasi Zat Warna Rhodamine B*”. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Arifan, Fahmi., Nugraheni, FS., Rama, Hfiz., Elasa, Niken. 2017. “*Waswewater Treatment from Batik Industries Using TiO_2 Nanoparticles*”. International Conference on Tropical and Coastal Region Eco Development, (1).
- Chong MN, Jin B, Chow CWK, Saint C. 2010. “*Recent developments in photocatalytic water treatment technology*”. A review, Water Research, 44, 2997- 3027.
- Dong, Shuying, et, all., 2015. “*Recent developments in heterogeneous photocatalytic water treatment using visible-light-responsive photocatalysts*”. A review Royal Society of Chemistry. 1-75.
- Fingky, Jefri. 2011. “*Degradasi Fotokatalitik Surfaktan Nals (Natrium Lauril Sulfat) dengan Kombinasi Reagen Fenton dan TiO_2* ”. Skripsi. Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Garland, Carl W., Nibler, Joseph W., Shoemaker, David P. 2003. “*Experiments In Physical Chemistry*”. New York: Mc Graw-Hill Companies, Inc
- Greenwood, N.N dan Earnshaw, A. 1997. “*Chemistry of The Elements*”. Oxford: Second Edition, Elsvier Butterworth-Heinemann Linacre House. Jordan Hill

- Gunlazuardi J., 2001. "*Fotokatalisis pada permukaan TiO₂ : Aspek Fundamental dan Aplikasinya*". Jakarta: Prosiding Seminar Nasional Kimia Fisika II
- Haryo, dkk., 2012. "Aplikasi Partikel TiO₂ sebagai Self Cleaning pada Cat Minyak". *Jurnal Teknik POMITS*. 1, 1, 1-5.
- Hidayat,H. 2005. "*Sintesis material Photovoltaic SIO-TIO Melalui Proses Solgel Dengan Pengontrol Hidrolisis Asetil Asetonat*". Skripsi, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Hidayat, Latif. 2011. "*Perancangan Robot Pemadam Api Devisi Senior Berkaki*". *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. 14, 2, 112-116.
- Jayadi, Sony., Destiara, Lia., Sitorus, Berlian. 2014. "*Pembuatan Reaktor Fotokatalisis dan Aplikasinya untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut Menggunakan Katalis TiO₂*". Pontianak: Universitas Tanjungpura
- joshi, K.M., Shirivastva, V. S. 2010. "*Removal of Hazardious Textile dyes From Aqueous Solution by Using Commercial Activated Carbon With TiO₂ and ZnO as Photocatalyst*". *Inte. J. Chem. Tech. Res.*, (2).
- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. 1998. "*Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*". New York : Fourth Edition, The Interscience Publisher Division of John Wiley and Sons Inc.
- Linsebigler, A.L., Lu, G., Yates, J.T. 1995. "*Photocatalysis on TiO₂ Surface: Principles, Mechanism, and Selected Result*". *Chem.*
- Malato, S., Blanco, J., Vidal, A. and Richter, C. 2002. "*Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview*". *Applied Catalysis B: Environmental*, 349-357.
- Manurung, R., R. Hasibuan, dan Irvan. 2004. "*Perombakan zat warna azo secara anaerob – aerob*". Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Nasution, Nurmalia., dkk. 2015. "*Implementasi Sensor Fotodiode sebagai Pendeteksi Serapan Sinar Infra Merah pada Kaca*". *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 3, 2, 111-116.

- Ochoa, et, all. 2017. “A Novel Prototype Offset Multi Tubular Photoreactor (OMTP) for Solar Photocatalytic Degradation of Water Contaminants”. Chemical Engineering Journal.
- Oz M, Lorke DE, Hasan M, Petroianu GA. 2011. “Cellular and molecular actions of Methylene Blue in the Nervous System”. Med Res Rev, 31:93–117. doi:10.1002/med.20177 PMID:19760660
- Parallax inc. 18 Februari 2014. “PLX-DAQ”. <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>. 10 Februari 2019
- Pareek, V., Chong, S., Tade, M., Adesina, A.A. 2008. “Light Intensity Distribution in Heterogeneous Photocatalytic Reactors”. AsiaPacific J. Chem. Eng. 3, 2, 171-201.
- PubChem. 2013. “Methylene blue”. Pubchem database. National Center for Biotechnology Information. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> [online database].
- Rafiuddin Syam, PhD. 2013. “Dasar Dasar Teknik Sensor Untuk beberapa kasus sederhana”. Makassar : Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
- Ramadhani, Robi. 2012. “Semikonduktor”. Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Rohmah, Nailir. 2015. “Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Ni-N-TiO₂ Menggunakan Metode Sol Gel untuk Degradasi Metilene Biru”. Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Rosadia. AP. 2017. “Pengaruh Motivasi Kerja dan Lingkungan Kerja Non Fisik Terhadap Kinerja Karyawan di PT. Sinar Sari Sejati”. Bandung: Universitas Pasundan
- Rusdi, suharno. 2007. “Konstalasi Perkembangan Industri TPT Dunia dan Posisi Indonesia Sekarang dan Dimasa Akan Datang”. <https://media.neliti.com/media/publications/120063-ID-konstalasi-perkembangan-industri-tpt-dun.pdf> 2 Februari 2019

- Selvam, K, K. Swaminathan, K. S. Chae. 2003. “*Decolourization of Azo Dyes and a Dye Industry Effluent by a White Rot Fungus Thelephora sp*”. *Bioresource Technology*. 88: 115-119.
- Slamet, Bismo, S., & Arbianti,R,. 2007. “ *Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO₂ serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik*”. DIKTI- Laporan Hibah Bersaing
- Sopyan, I. 1998. “*Fotokatalisis Semikonduktor : Teori dan Terapan, Majalah BPTT Teknologi*”, Volume LXXXVII, Jakarta.
- Sunaryo, A., 1997, “Reka Oles Mebel Kayu”, PIKA, Kanisius, Yogyakarta.
- Sutanti, dkk. 2017. “*Karakteristik Vernis Berpelarut Air dari Gelatin Bervariasi Kitosan pada Aplikasi Coating*”. Seminar Nasional Kimia, Akademi Kimia Industri Santo Paulus, Semarang.
- Untari, 1996. “*Mengenal Sifat- Sifat Material*”. www.scribd.com. Diakses pada Tanggal 2 Februari 2019.
- Xu, Namping, Zaifeng Sui, Yigun Fan, et al. 1999. “*Effect Of Particle Size Of TiO₂ on Photocatalytic Degradation of Methylene Blue in Aqueous Suspensions*”. *Ing. Eng Chem Res*. 38, 2, 373-379.
- Yan, G., Zhang, M., Hou, J., Yang, J. 2011. “*Photoelectrochemical and Photocatalytic Properties of N+S Co-Doped TiO₂ Nanotube Array Films Under Visible Light Irradiation*”. *Mat. Chem. Phys*. 129, 1-2, 553-557.
- Zsolt, Pap. 2011. “*Synthesis, Morpho-structural Characterization and Enveronmental Aplication of Titania Photocatalysts Obtained by Rapid Crystallization*”. Ph.D Dissertation. University of Szeged, Babes-Bolyai University. Szaged, Hungary, Cluj-Napoca, Romania.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kualitas Tingkat Degradasi Selama 72 Jam

1. Tingkat Degradasi Sampel Zat Warna *Methylene Blue* pada Reaktor Kontrol



0 jam



24 jam



48 jam



72 am

2. Tingkat Degradasi Sampel Zat Warna *Methylene Blue* dengan Substrat Kaca Berlapis TiO_2 2 gr A



0 jam



24 jam



48 jam



72 jam

3. Tingkat Degradasi Sampel Zat Warna *Methylene Blue* dengan Substrat Kaca Berlapis TiO_2 2 gr B



0 jam



24 jam



48 jam



72 jam

4. Tingkat Degradasi Sampel Zat Warna *Methylene Blue* dengan Substrat Kaca Berlapis TiO_2 3 gr A



0 jam



24 jam



48 jam



72 jam

5. Tingkat Degradasi Sampel Zat Warna *Methylene Blue* dengan Substrat Kaca Berlapis TiO_2 3 gr B



0 jam



24 jam



48 jam



72 jam

6. Tingkat Degradasi Sampel Zat Warna *Methylene Blue* dengan Substrat Kaca Berlapis TiO_2 4 gr A



0 jam



24 jam



48 jam



72 jam

7. Tingkat Degradasi Sampel Zat Warna *Methylene Blue* dengan Substrat Kaca Berlapis TiO_2 4 gr B



0 jam



24 jam



48 jam



73 jam

Lampiran 2. Substrat Kaca Berlapis TiO_2 Sebelum dan Sesudah digunakan

1. Substrat Kaca berlapis TiO_2 2 gr



Sebelum



Katalis kondisi A



Katalis kondisi B

2. Substrat Kaca berlapis TiO_2 3 gr



Sebelum



Katalis kondisi A



Katalis kondisi B

3. Substrat Kaca berlapis TiO_2 4 gr



Sebelum



Katalis kondisi A



Katalis kondisi B

Lampiran 3. Data Kalibrasi Sensor Fotodegradasi

Tabel 1 Perbandingan Nilai Absorbansi dengan Tegangan Pada Sensor 1 dan Sensor 2 (Lampiran)

Sampel	Absorbansi	Tegangan (mV)	
		Sensor 1	Sensor 2
1	0,323	151,52	175,95
2	0,525	117,30	136,85
3	0,676	112,41	131,96
4	0,905	97,75	117,3
5	1,044	92,86	97,75

Lampiran 4. Data Hasil Pengukuran dengan Sensor Fotodegradasi dan Spektrofotometer UV-Vis

Tabel 2 Data Nilai Tegangan dan Absorbansi dengan Alat Ukur Sensor *Photodiode*

Waktu Penyinaran (Menit)	Tegangan Sensor 1 (mV)	Nilai Konsentrasi 1	Tegangan Sensor 2 (mV)	Nilai Konsentrasi 2
0	92,86	4,51	102,64	4,66
15	92,86	4,51	102,64	4,66
75	92,86	4,51	102,64	4,66
120	92,86	4,51	102,64	4,66

Waktu Penyinaran (Menit)	Tegangan Sensor 1 (mV)	Nilai Konsentrasi 1	Tegangan Sensor 2 (mV)	Nilai Konsentrasi 2
165	97,75	4,02	107,53	4,25
210	97,75	4,02	107,53	4,25
255	102,64	3,57	107,53	4,25
300	102,64	3,57	107,53	4,25
345	107,53	3,16	112,41	3,87
390	107,53	3,16	112,41	3,87
435	107,53	3,16	112,41	3,87
480	112,41	2,79	122,19	3,19
525	112,41	2,79	122,19	3,19
570	117,30	2,46	122,19	3,19
615	122,19	2,16	127,08	2,89
660	122,19	2,16	127,08	2,89
705	127,08	1,88	131,96	2,62
750	141,74	1,20	131,96	2,62
795	156,40	0,69	146,63	1,90

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Siti Tutut Suryani, dengan nama panggilan Tutut. Penulis dilahirkan di Blora, 9 Juli 1997, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Ayah penulis bernama Suradi dan Ibu bernama Partini. Saat ini penulis tinggal di RT 4 RW 2 Desa Bajo Kecamatan Kedungtuban Kabupaten Blora. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Assalam, MI Assalam, MTs Al-Ma'ruf Kartayuda, dan SMAN 2 Cepu. Setelah lulus dari SMAN pada tahun 2015 penulis diterima di Jurusan Fisika FS-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 01111540000079.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan dan organisasi. Di departemen Fisika ini penulis mengambil bidang studi instrumentasi dan elektronika. Penulis pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Dasar 1, Laboratorium Fisika Madya, Laboratorium Optik dan menjadi asisten dosen Fisika Dasar 1 dan Fisika dasar 2 serta menjadi tutor privat dilembaga bimbingan belajar *Key Tutorial*. Penulis pernah aktif organisasi di Badan Pengurus Umat (BPU) Lembaga Dakwah Kampus (LDK-JMMI), Perekonomian Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA), Ketua Kemuslimahan lembaga dakwah jurusan (LDJ-FOSIF). Kerja praktek penulis dilakukan di PT. LEN Industri Bandung dan penelitian penulis dilakukan di Laboratorium Optik Fisika ITS.

E-mail : Suryanitutut@gmail.com