



TUGAS AKHIR - SF184801

**PENINGKATAN KEMAMPUAN SAMPEL TiO_2
DALAM MENDEGRADASI POLUTAN METILEN
BIRU PADA REAKTOR FOTOKATALISIS TIPE
PLUG FLOW O_2 CATCHER**

**Achmad Sulthonal Adhim
NIM. 0111154000109**

Dosen Pembimbing

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

**Dr. Gatut Yudoyono, M.T
NIP. 19640616 198903 1 004**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR - SF184801

**PENINGKATAN KEMAMPUAN SAMPEL TiO_2
DALAM MENDEGRADASI POLUTAN METILEN
BIRU PADA REAKTOR FOTOKATALISIS TIPE
PLUG FLOW O_2 CATCHER**

**Achmad Sulthonal Adhim
NIM. 0111154000109**

Dosen Pembimbing

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

**Dr. Gatut Yudoyono, M.T
NIP. 19640616 198903 1 004**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT - SF 184801

***IMPROVING THE ABILITY OF TiO_2 MATERIAL
TO DEGRADE METHYLENE BLUE IN THE PLUG
FLOW O_2 CATCHER TYPE OF
PHOTOKATALYTIC REACTOR***

**Achmad Sulthonal Adhim
NIM. 0111154000109**

Advisor

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

**Dr. Gatut Yudoyono, M.T
NIP. 19640616 198903 1 004**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALITICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

Peningkatan Kemampuan Sampel TiO₂ dalam Mendegradasi Polutan Metilen Biru pada Reaktor Fotokatalisis Tipe Plug flow O₂ Catcher

TUGAS AKHIR

Disusun 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:

Achmad Sulthonal Adhim
NIM. 0111154000109

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

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

(.....)

Dr. Gatut Yudoyono, M.T
NIP. 19640616 198903 1 004

(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENINGKATAN KEMAMPUAN SAMPEL TiO₂ DALAM MENDEGRADASI POLUTAN METILEN BIRU PADA REAKTOR FOTOKATALISIS TIPE PLUG FLOW O₂ CATCHER

Nama Mahasiswa : Achmad Sulthonal Adhim
NIM : 01111540000109
Departemen : Fisika, Fakultas Sains dan analitika data,
ITS
Dosen Pembimbing : 1. Drs. Bachtera Indarto, M. Si
2. Dr. Gatut Yudoyono, M.T

Abstrak- telah dilakukan tugas akhir tentang pengembangan reaktor fotokatalisis tipe plugflow O₂ catcher dengan pergantian substrat. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengukur tingkat degradasi limbah industri metilen biru dengan menggunakan sensor fotodiode dalam reaktor fotokatalisis. Pengukuran dilakukan dengan menghitung perbandingan metilen biru sebelum dan sesudah dilakukan treatment pada reaktor fotokatalisis dan mengetahui pengaruh pergantian substrat terhadap degradasi limbah metilen biru. Fabrikasi substrat menggunakan komposisi campuran TiO₂ : PEG 4000 : resin : hardener adalah 3 : 1 : 3 : 1,3 yang dilapiskan menggunakan kuas pada media kain kasa nilon. Selama proses fotodegradasi dilakukan pergantian substrat setiap 10 jam dan diberi perlakuan khusus. Degradasi zat warna diukur menggunakan Degradasi terbesar terjadi pada jam ke-1 sebesar 47% dan didapatkan penurunan absorbansi yang stabil pada proses degradasi limbah metilen biru.

kata kunci: Metilen biru, Degradasi, Plugflow Reaktor.

IMPROVING THE ABILITY OF TiO₂ MATERIAL TO DEGRADE METHYLENE BLUE IN THE PLUG FLOW O₂ CATCHER TYPE OF PHOTOKATALYTIC REACTOR

Name : Achmad Sulthonal Adhim
NIM : 01111540000109
Department data, ITS : Physics, Faculty of Science and analitica
Advisor : 1. Drs. Bachtera Indarto, M. Si
2. Dr. Gatut Yudoyono, M.T

Abstract

We have been done a research Development plug flow type photocatalysis reactor O₂ Catcher as a Metilen biru Photodegradation Media's in realtime, Reasearch related to measure degradation level of metilen blue with a photodiode sensor in a photocatalyst reactor, and calculate the ratio of metilen blue before and after treatment in a photocatalyst reactor and knowing an effect of substrat substitution to metilen biru degradation. Fabrication of the substrate using a mixture of TiO₂: PEG 4000: resin: hardener is 3: 1: 3: 1.3 which is coated with a brush on the nylon gauze media, Substrat changes every 10 hours and given special treatment. Dyestuff degradation was measured using UV-Vis spectrophotometer and photodiode sensor in realtime. significant degradation occurs at first hour and was obtained stable absorbantion decrease in degradation metilen blue process.

keyword: *Metilen biru, Degradation, Pugflow Reactor.*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Peningkatan Kemampuan Sampel TiO_2 dalam Mendegradasi Polutan Metilen Biru pada Reaktor Fotokatalisis Tipe Plug flow O_2 Catcher”** ini, tak lupa pula shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW. Pada kesempatan terbaik ini, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan dan kelancaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.
2. Kedua orang tua yang sangat saya sayangi dan cintai, Bapak Abdul Adhim dan Ibu Sulaicha yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan baik secara moril maupun materiil yang tak henti hentinya kepada penulis.
3. Bapak Bachtera Indarto dan Bapak Gatut Yudoyono selaku dosen pembimbing yang telah bersabar memberikan bimbingannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak/Ibu dosen dan karyawan Departemen Fisika FS-ITS yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama duduk dibangku kuliah.
5. Luthfia Cucu A, Moh Rosul dan Novi Andriani selaku rekan kerja selama pengerjaan Tugas Akhir dan teman - teman Laboratorium Fisika Dasar yang memberikan bantuan dan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir.

Dengan bantuan dan kehadiran pihak-pihak tersebut penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi dalam perkembangan IPTEK. Namun dengan menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>TITLE PAGE</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusn Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Semikonduktor	7
2.2 Fotokatalis	9
2.3 Titanium dioksida	10
2.4 Metilen biru	11
2.5 Reaktor <i>Plug Flow</i>	14
2.6 Arduino Uno	15
2.7 Sensor Fotodioda	17
2.8 Bejana Berhubungan	18

BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR	21
3.1 Diagram Alir Tugas akhir.....	21
3.2 Peralatan dan Bahan	22
3.2.1 Pengenceran metilen biru	23
3.2.2 Peralatan dan bahan fabrikasi substrat	24
3.2.2.1 Peralatan fabrikasi substrat	24
3.2.2.2 Bahan fabrikasi substrat.....	27
3.3 Langkah Kerja	27
3.3.1 Fabrikasi substrat.....	27
3.3.2 Perancangan Reaktor fotokatalis dan sistem sensor...	28
3.3.3 Pembuatan dan Karakterisasi Larutan Metilen biru	30
3.3.4 Kalibrasi alat ukur fotodegradasi.....	31
3.3.5 Proses Fotokatalisis dan pengambilan Data	32
3.3.6 Pergantian substrat.....	32
3.3.7 Uji Absorbansi dan Konsentrasi Larutan Metilen biru	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Uji Kalibrasi Larutan Metilen biru	36
4.2.1 Uji Kalibrasi Spektrofotometer.....	37
4.2.2 Uji Kalibrasi Sensor fotodioda.....	38
4.2 Analisa Uji Larutan Metilen biru.....	40
4.3.1 Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru	40
4.3.2 Uji Sensor Fotodioda Larutan Metilen biru	46
4.3.3 Pembahasan.....	48
BAB V KESIMPULAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA.....	55
BIODATA PENULIS.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbandingan celah pita konduktor, isolator dan semikonduktor.....	8
Gambar 2. 2 Fotoeksitasi elektron pada semikonduktor	9
Gambar 2. 3 Struktur kristal TiO ₂	11
Gambar 2. 4 Struktur Kimia Metilen biru	13
Gambar 2. 5 Reaktor tipe <i>plug flow</i>	14
Gambar 2. 6 Arduino.....	16
Gambar 2. 7 <i>Photodiode</i> dan Simbol	17
Gambar 2. 8 Bejana Berhubungan.....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas akhir.....	21
Gambar 3. 2 Bahan pembuatan larutan metilen biru	22
Gambar 3. 3 Alat fabrikasi Substrat	23
Gambar 3. 4 Bahan pembuatan substrat	23
Gambar 3. 5 Hasil fabrikasi substrat	24
Gambar 3. 6 Reaktor fotokatalis	25
Gambar 3. 7 Sistem Sensor dan Mikrokontroler	26
Gambar 4.1 Spektrum Absorbansi Uji Kalibrasi Spektrofotometer	34
Gambar 4.2 Regresi linear absorbansi dan ppm	35
Gambar 4.3 Regresi linear tegangan dan ppm	36
Gambar 4.4 Spektrum Absorbansi pada Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru.....	37
Gambar 4.5 Spektrum Absorbansi pada Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru	38
Gambar 4.6 Spektrum Absorbansi pada Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru	41
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Nilai Absorbansi dan Waktu Penyinaran Menggunakan Spektrofotometer.....	42
Gambar 4.8 Hubungan Konsentrasi dan Waktu Penyinaran Uji Spektrofotometer.....	43

Gambar 4.9 Grafik hubungan tegangan dan waktu penyinaran..	44
Gambar 4.11 Degradasi larutan metilen biru tanpa pergantian substrat.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu penyumbang devisa ekspor terbesar di Indonesia, tekstil merupakan pengolahan dan pembuatan serat menjadi sebuah benang atau kain sebagai bahan pembuatan sebuah pakaian maupun kerajinan lainnya. Menurut Kementerian Perindustrian (kemenperin), industri tekstil dan pakaian jadi menorehkan kinerja yang gemilang pada triwulan I tahun 2019. Sepanjang tiga bulan tersebut, pertumbuhan industri tekstil dan pakaian jadi tercatat paling tinggi dengan mencapai 18,98 persen. Jumlahnya naik signifikan dibanding periode yang sama tahun lalu di angka 7,46 persen dan juga meningkat dari perolehan selama 2018 sebesar 8,73 persen. (Kemenperin,2019)

Perkembangan dunia tekstil dewasa ini sangat pesat hal tersebut dapat dilihat dari banyaknya permintaan atas inovasi dan varian tekstil, khususnya dalam bidang fashion salah satunya dalam hal pewarnaan, pada proses pewarnaan banyak digunakan senyawa pewarna organik maupun kimia, *Pantone Color Institute*, perusahaan yang bergerak dalam bidang jasa yang memberikan pengaruh cukup besar pada pergerakan mode dunia. Melalui prakiraan tren musim, psikologi warna, hingga konsultasi warna, lebih dari 20 tahun. *Pantone Color Institute* mengeluarkan warna '*classic blue*' sebagai *Warna Pantone of The Year* untuk tahun 2020. Hal ini akan mempengaruhi perputaran mode dunia dan secara langsung pada tren produksi tekstil. (Pantone,2019)

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). Penggunaan dan pemilihan warna dalam industri tekstil merupakan suatu hal yang sangat penting untuk dilakukan. Proses pewarnaan ini menggunakan senyawa pemberi warna, baik pewarna organik maupun kimia. warna yang sering digunakan salah satunya adalah warna biru, di dukung dengan adanya *Pantone of The Year* membuat warna biru semakin populer di dunia industri tekstil, metilen blue merupakan salah satu zat warna tekstil yang digunakan dalam industri tekstil. Pewarna ini dapat didapatkan bebas dipasaran, kelebihan dosis penggunaan *Metilen biru* dapat menyebabkan mual, muntah, nyeri perut dan dada, keringat berlebihan serta hipertensi (Amirullah, 2006)

Proses penghilangan zat warna limbah cair yang dihasilkan dari industri tekstil merupakan suatu hal yang harus dilakukan guna mengurangi dampaknya kepada lingkungan, banyak upaya telah dilakukan salah satunya adalah menggunakan katalis, Fotokatalisis berbasis semikonduktor menawarkan solusi terbaik untuk permasalahan tersebut. Komisi IUPAC mendefinisikan fotokatalisis sebagai suatu reaksi katalitik yang melibatkan absorpsi cahaya oleh katalis. Katalis adalah suatu substansi yang meningkatkan kecepatan reaksi. Fotokatalisis memanfaatkan semikonduktor sebagai katalis yang diaktifkan dengan sinar ultraviolet (UV) untuk menguraikan senyawa organik menjadi mineral-mineralnya, Semikonduktor yang paling banyak digunakan sebagai fotokatalis adalah titanium dioksida (TiO_2). (Palupi, 2006)

Pengolahan air limbah secara fotokatalitik memiliki beberapa keunggulan yaitu, sederhana, ramah lingkungan, kemampuan untuk beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan, dan biaya rendah. Sehingga rancang bangun reaktor fotokatalis TiO_2 untuk mengolah air limbah tekstil menjadi salah satu solusi efisien. Tugas akhir sebelumnya yang dilakukan oleh Novi Andriani mengenai reaktor jenis ini telah dilakukan dan mampu

untuk mendegradasi zat warna metilen biru dengan bantuan lampu UV dengan baik, namun data yang didapatkan tidak terjadi penurunan nilai absorpsi yang signifikan setelah jam ke 5 treatment, hal tersebut disebabkan adanya kejenuhan substrat sehingga diperlukan suatu perlakuan khusus dengan menggunakan pergantian substrat yang dilakukan setiap 10 jam pada saat penyinaran. Pengembangan yang berkelanjutan sangat dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis melakukan Tugas Akhir dengan judul Peningkatan Kemampuan Sampel TiO_2 dalam Mendegradasi Polutan Metilen Biru pada Reaktor Fotokatalisis Tipe Plug flow O_2 Catcher.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah penurunan degradasi limbah industri metilen biru dengan sensor *photodiode* dalam reaktor fotokatalis
2. Bagaimana perbandingan metilen biru sebelum dan sesudah dilakukan *treatment* pada reaktor fotokatalis tipe *plug flow*?
3. Bagaimana pengaruh pergantian substrat terhadap degradasi limbah metilen biru

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Material TiO_2 yang digunakan berukuran nanopartikel dan berfase anatase
2. Media pelapisan nanopartikel TiO_2 yang digunakan adalah kain kasa nilon.
3. Metode yang digunakan adalah pelapisan dengan kuas.
4. Resin digunakan sebagai bahan perekat.
5. Lampu UV digunakan sebagai sumber cahaya pada proses fotokatalisis.

6. Tingkat degradasi limbah tekstil metilen biru diukur menggunakan sensor *photodiode* dengan sumber cahaya LED kuning dalam reaktor fotokatalisis serta dilakukan uji absorbansi menggunakan spektrofotometer.
7. Debit aliran air yang digunakan sebesar 5,7 l/s.
8. Degradasi limbah zat cair diamati dari perubahan warna (kualitatif) dan nilai konsentrasi yang diasumsikan mewakili tingkat degradasi limbah zat cair secara kuantitatif.

1.4 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah yang telah disusun, diperoleh tujuan tugas akhir sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat degradasi limbah industri metilen biru dengan sensor *photodiode* dalam reaktor fotokatalisis.
2. Menghitung perbandingan metilen biru sebelum dan sesudah dilakukan *treatment* pada reaktor fotokatalisis tipe *plug flow*.
3. Mengetahui pengaruh pergantian substrat terhadap degradasi limbah metilen biru.

1.5 Manfaat

Tugas akhir ini memberikan banyak manfaat bagi beberapa pihak, yakni

1. Memberikan inovasi dalam tugas akhir bidang fotokatalisis menggunakan lapisan nanopartikel TiO_2 pada substrat kain kasa nilon sebagai media degradasi limbah tekstil.
2. Sebagai solusi untuk mengolah air tercemar menjadi air bersih yang dapat dimanfaatkan sebagai kebutuhan *sanitary* dan bebas dari Metilen biru.
3. Inovasi reaktor fotokatalisis tipe *plug flow O₂ Catcher* dengan pergantian substrat Sebagai Media Fotodegradasi Metilen biru secara *realtime*.
4. Menghasilkan artikel ilmiah yang mampu memberikan informasi dan sebagai acuan mengenai degradasi limbah zat cair menggunakan lapisan nanopartikel TiO_2 .

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang dilakukan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa bab, yakni:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang beberapa materi penunjang untuk melakukan tugas akhir ini, seperti materi tentang metilen biru, fotokatalis, titanium dioksida dan arduino.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi diagram alir tugas akhir, alat dan bahan, langkah kerja Tugas Akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang analisa data yang diperoleh, meliputi data hasil pengujian dan pembahasan dari data yang diperoleh.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis data serta saran-saran untuk mendukung tugas akhir selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisikan identitas buku, jurnal, situs web, maupun hal lain yang dijaikan referensi dalam penulisan.

LAMPIRAN

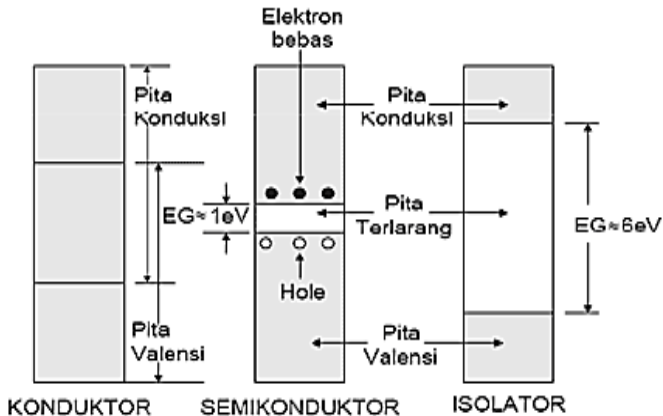
Berisi data-data yang digunakan dalam tugas akhir beserta beberapa Gambar yang menunjang tugas akhir ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semikonduktor

Semikonduktor merupakan material yang memiliki ciri-ciri terisinya pita valensi dan kosongnya pita konduksi serta tidak adanya elektron pada *band gap* (celah pita) diantara pita konduksi dan pita valensi (Palupi, 2006). 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).

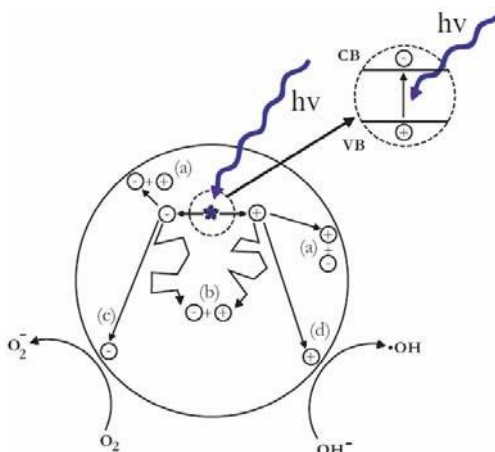
Semikonduktor memiliki energi gap (*band gap*) tidak terlalu besar (0,5 – 3,0) eV, nilai ini lebih kecil bila dibandingkan pada isolator yang memiliki energi gap sebesar 6,0 eV. Oleh karena itu, bahan semikonduktor tidak memerlukan energi yang besar untuk dapat menghantarkan arus listrik atau memindahkan 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 Fotokatalisis

Fotokatalis berasal dari dua kata, foto dan katalis. Foto berarti cahaya, sedangkan katalis adalah bahan yang digunakan untuk mempercepat suatu reaksi kimia. Fotokatalisis merupakan suatu proses reaksi kimia yang menggunakan energi cahaya dan dipercepat dengan adanya material katalis (Bere, 2013). Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi atau dengan fotoproduk utamanya, tergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut. Pengolahan air menggunakan metode ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu tidak memerlukan banyak tahapan karena semua kontaminan yang

terkandung dalam air dapat dihilangkan dengan fotokatalisis serta tidak digunakan bahan-bahan kimia aditif yang dapat menimbulkan produk samping yang berbahaya bagi tubuh dan lingkungan. Karena keunggulan yang dimilikinya, fotokatalitik banyak diteliti dan dikembangkan saat ini. Dimana dalam langkah reaksinya melibatkan pasangan *electron - hole* (e^- dan h^+). Definisi umum tersebut mempunyai implikasi bahwa beberapa langkah-langkah fotokatalis adalah merupakan reaksi redoks yang melibatkan pasangan e^- dan h^+ di bawah sinar UV (Gunlazuardi, 2000). Mekanisme reaksi fotokatalisis ditunjukkan pada Gambar 2.1

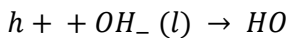
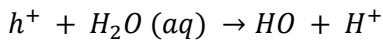
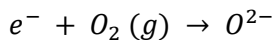
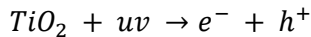


Gambar 1.2 Fotoeksitasi elektron pada semikonduktor
(Linsebigler et. al., 1995)

Gambar 2.2 menunjukkan mekanisme fotokatalisis pada permukaan TiO_2 dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika suatu semikonduktor tipe n dikenai cahaya ($h\nu$) dengan energi yang sesuai, maka elektron e^- pada pita valensi akan pindah ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang positif (*hole*) pada pita valensi. Sebagaian besar pasangan e^- dan h^+ ini akan berekombinasi kembali, baik di permukaan ataupun di dalam *bulk*

partikel. Sedangkan sebagian lain dari pasangan e^- dan h^+ dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor, dimana pada akhirnya, h^+ dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan dilain pihak e^- akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada disekitar permukaan semikonduktor (Nogueira, 1993).

Dalam hal ini semikonduktor tersebut antara lain adalah *titanium dioksida* (TiO_2). Pada prinsipnya, reaksi oksidasi pada permukaan semikonduktor dapat berlangsung melalui donasi electron dari substrat ke h^+ . Apabila potensi oksidasi yang dimiliki oleh h^+ pada pita valensi ini cukup besar untuk mengoksidasi air pada permukaan partikel, maka akan dihasilkan gugus hidroksil. Radikal hidroksil merupakan spesi pengoksidasi kuat dan memiliki potensial redoks sebesar 2,8 volt. Potensial sebesar ini cukup kuat untuk mengoksidasi sebagian besar zat organik menjadi air, asam mineral dan karbon dioksida. Berikut adalah gambaran reaksi kimia yang terjadi pada fotokatalisis :

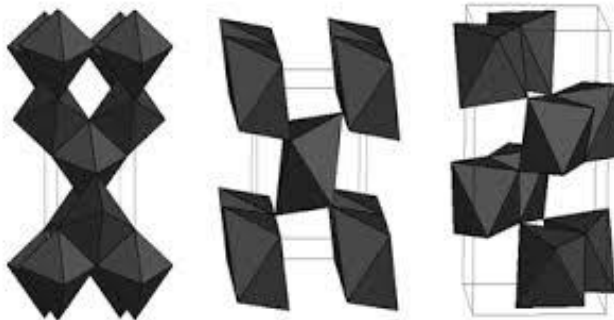


Daya oksidasi kuat spesi kimia tersebut terbukti dapat menghancurkan polutan dan mikroorganisme (Nogueira, 1993).

2.3 Titanium dioksida

TiO_2 merupakan salah satu bahan semikonduktor yang sangat umum digunakan untuk proses fotokatalis, TiO_2 telah digunakan dalam beberapa aplikasi komersil termasuk pemurnian air, unit pembersih udara, pelapis antimikroba dan kaca *self-cleaning* (Riyani, 2012). Titanium dioksida (TiO_2) secara mikroskopis memiliki dua bentuk utama yaitu kristal dan amorf

(Gunlazuardi, 2001). Titanium dioksida (TiO_2) amorf tidak memiliki keteraturan susunan atom sehingga bahan tersebut tidak memiliki keteraturan pita konduksi dan valensi, akan tetapi TiO_2 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.



Gambar 2.3 Struktur kristal TiO_2 a) Rutil; b) Anatase; c) Brookit (Rohmah., 2015)

Gambar 2.3 menunjukkan struktur kristal TiO_2 diantaranya rutil memiliki bentuk kristal yang paling stabil dan mudah ditemukan dalam bentuk yang paling murni (bijih). Anatase 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).

2.4 Metilen biru

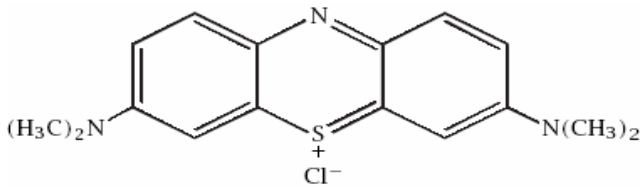
Metilen biru yang memiliki rumus kimia $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{C}_1\text{N}_3\text{S}$, adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan merupakan zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang sangat

kuat, Pada umumnya metilen biru digunakan sebagai pewarna sutra, wool, tekstil, kertas, peralatan kantor dan kosmetik. Metilen biru disintesis secara komersial dengan oksidasi N, N – dimethyl - phenylenediamine dengan sodium dichromate ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) pada sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), kemudian diikuti oleh oksidasi lebih lanjut dengan adanya N, N – dimethylaniline. Metilen biru hidroklorida diisolasi dengan menambahkan 30% asam klorida dan larutan garam jenuh biasa ke dalam larutan pewarna. Setelah filtrasi, produk dicuci dengan larutan garam biasa 2%. Natrium dikromat, mangan dioksida, dan jumlah katalitik tembaga sulfat dapat digunakan sebagai zat pengoksidasi. (Berneth, 2008).

Metilen biru diketahui efektif untuk pengobatan *ichthyophthirius* (*white spot*), jamur, protozoa, dan mikroorganisme lain sehingga beberapa ditemui pada bidang pertanian maupun tambak ikan. Metilen biru juga berfungsi untuk mewarnai sel-sel bawang merah yang diamati melalui mikroskop pada bidang tugas akhir biologi. (Sumerta, 2002)

Titik didih metilen biru antara $100 - 110^\circ \text{C}$, kepadatan pada $1,0 \text{ g / mL}$ pada 20°C , kelarutan $43,6 \text{ g / L}$ dalam air dan juga etanol pada 25°C dan ekanan uap $1,30 \times 10^{-7} \text{ mmHg}$ pada 25°C . Metilen biru dengan kemurnian tinggi dapat diperoleh dengan mengekstraksi ketidakmurnian kloroform dari larutan pewarna mentah dalam *buffer* borat pada pH 9,5 - 10, diikuti dengan pengasaman larutan dan isolasi pewarna (Berneth, 2008).

Ciri-ciri fisik dari substansi metilen biru murni adalah kristal hijau gelap atau kristal bubuk dengan kilau perunggu, tidak berbau, stabil di udara, larutan berwarna biru tua dalam air atau alkohol, membentuk garam ganda. Metilen biru memiliki berat molekul $319,86 \text{ gr/mol}$, dan daya larut sebesar $4,36 \times 10^4 \text{ mg/L}$ (Endang Palupi, 2006:6).



Gambar 2. 4 Struktur Kimia Metilen biru

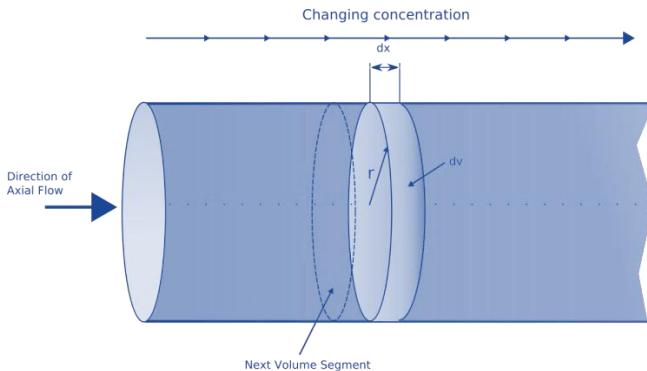
Gambar 2.4 menunjukkan struktur kimia metilen biru molekul zat pewarna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna. Zat organik tidak jenuh dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik hidrokarbon dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen. Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Kromofor zat warna reaktif biasanya merupakan sistem azo dan antrakuinon dengan berat molekul relatif kecil. Daya serap terhadap serat tidak besar. Sehingga zat warna yang tidak bereaksi dengan serat mudah dihilangkan. Gugus-gugus penghubung dapat mempengaruhi daya serap dan ketahanan zat warna terhadap asam atau basa. Gugus-gugus reaktif merupakan bagian-bagian dari zat warna yang mudah lepas. Dengan lepasnya gugus reaktif ini, zat warna menjadi mudah bereaksi dengan serat kain. Pada umumnya agar reaksi dapat berjalan dengan baik maka diperlukan penambahan alkali atau asam sehingga mencapai pH tertentu (Renita Manurung, 2004). Metilen biru digunakan sebagai desinfektan dan penghilang noda biologis. Sebagai desinfektan, metilen biru dijual kepada konsumen sebagai fungisida akuarium (Schirmer, 2011).

Baru - baru ini, metilen biru telah digunakan sebagai media penelitian optik dalam sistem biofisik, sebagai interkalator dalam bahan nanopori, sebagai mediator redoks, dan dimanfaatkan pada pencitraan fotoelektrokromik. Metilen biru digunakan untuk mewarnai kertas dan tekstil. Dalam kimia analitik, metilen biru digunakan untuk menentukan surfaktan anionik, yang disebut zat

aktif metilen biru. Metilen biru juga digunakan dalam reagen indikator pH dan redoks (Kosswig, 2000).

2.5 *Reaktor plug flow*

Reaktor plug flow atau *Plug flow Reaktor* (PFR) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mereaksikan reaktan yang dalam bentuk fluida dan mengubahnya menjadi produk dengan cara dialirkan dalam pipa, reaktor plug flow memiliki nama lain adalah reaktor tubular yang memiliki aliran ideal di mana fluida dicampur dalam aliran berprofil datar (*plug flow*). Kecepatan fluida diasumsikan hanya pada fungsi posisi aksial dalam tabung dan memiliki kecepatan yang sama didalam reaktor tubular (Harriott, 2003). Di dalam reaktor tubular proses reaksi berjalan sepanjang reaktor, sehingga konversi reaktan yang terbentuk sepanjang reaktor tubular. Namun tidak semudah ini menaikkan konversi, pada awalnya kecepatan reaksi berlangsung secara cepat namun setelah panjang pipa tertentu jumlah reaktan akan berkurang dan kecepatan reaksi berlangsung lebih lambat dan akan makin lambat seiring panjangnya pipa. Mikrajuddin Abdullah (2017) merancang *flat planel photoreaktor* menggunakan nanopartikel TiO_2 yang dilapiskan di atas bahan untuk mendegradasi metilen biru dengan menggunakan PFR sebagai media reaktannya. Prinsip kerja PFR yang digunakan adalah fluida dilewatkan sela-sela katalis pada suatu pipa dengan penyaring pasir. Diasumsikan bahwa tidak ada perbedaan konsentrasi tiap komponen sepanjang jari-jari pipa. Perlakuan yang diberikan pada fluida ialah sama sehingga waktu tinggal semua elemen fluida adalah sama. Fluida sejenis yang mengalir melalui reaktor ideal disebut *plug*. Saat *plug* mengalir sepanjang PFR, fluida bercampur sempurna dalam arah radial (searah) bukan dalam arah axial (dari arah depan atau belakang). Setiap *plug* dengan volume berbeda dinyatakan sebagai kesatuan yang terpisah-pisah (hampir seperti *batch reaktor*) saat dia mengalir turun melalui pipa PFR (Zhenwen LU, 2017).



Gambar 2.5 Reaktor *Plug flow*
(Sumber Gambar: idschool.net, 2018)

Gambar 2.5 menunjukkan fluida bergerak ke arah aksial reaktor, dengan masing-masing sumbat memiliki komposisi yang berbeda dari yang sebelum dan sesudahnya. Asumsi utama adalah bahwa ketika sumbat mengalir melalui PFR, fluida dicampur sempurna dalam arah radial tetapi tidak tercampur sama sekali dalam arah aksial (tidak dengan elemen hulu atau hilir). Setiap *plug* dianggap sebagai entitas yang terpisah, secara efektif sebuah reaktor batch yang sangat kecil dengan pencampuran mendekati volume nol. Ketika sumbat mengalir ke PFR, waktu tinggal elemen sumbat berasal dari posisinya di reaktor (Rojnuckarin, 1993).

2.6 Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Atmega 328 adalah chip mikrokontroler 8-bit berbasis AVR-RISC buatan Atmel yang memiliki 32 KB memori ISP flash dengan kemampuan baca-tulis (read/write), 1 KB EEPROM, 2 KB SRAM dan karena kapasitas memori Flash sebesar 32 KB inilah kemudian chip ini diberi

nama ATmega328. Kelengkapan fitur yang terdapat dalam modul Arduino UNO membuat modul ini mudah untuk digunakan, hanya dengan menghubungkan modul Arduino UNO dengan PC menggunakan kabel USB atau menggunakan adapter DC, maka modul siap digunakan. Modul Arduino UNO merupakan sebuah platform komputasi fisik yang bersifat open source (Nugroho et. al, 2015) . Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.



Gambar 2.6 Arduino

Gambar 2.6 adalah gambar Arduino UNO yang mana memiliki 14 pin digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol *reset*. Setiap 14 pin digital pada Arduino Uno dapat digunakan sebagai input dan output, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Fungsi-fungsi tersebut beroperasi di tegangan 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima suatu arus

maksimum 40 mA dan mempunyai sebuah resistor *pull-up* (terputus secara *default*) 20-50 kOhm (Tokhiem, 2008).

- a. Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan memancarkan (TX) serial data TTL (*Transistor-Transistor Logic*). Kedua pin ini dihubungkan ke pin-pin yang sesuai dari chip Serial Atmega8U2 USB-ke-TTL.
- b. *External Interrupts*: 2 dan 3. Pin-pin ini dapat dikonfigurasi untuk dipicu sebuah interrupt (gangguan) pada sebuah nilai rendah, suatu kenaikan atau penurunan yang besar, atau suatu perubahan nilai. Lihat fungsi *attachInterrupt ()* untuk lebih jelasnya.
- c. PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Memberikan 8bit PWM output dengan fungsi analog *Write ()*.
- d. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin - pin ini menghubungkan komunikasi SPI menggunakan SPI library.
- e. LED: 13. Ada sebuah LED yang terpasang, terhubung ke pin digital 13.

Ketika pin bernilai *HIGH* maka LED menyala, ketika pin bernilai *LOW* maka LED mati. Arduino UNO mempunyai 6 input analog, diberi label A0 sampai A5, setiap pin memberikan 10bit resolusi. Secara *default*, 6 input analog tersebut mengukur dari ground sampai tegangan 5 Volt, dengan itu mungkin untuk mengganti batas atas dari ranganenya dengan menggunakan pin AREF dan fungsi *analogReference()*.

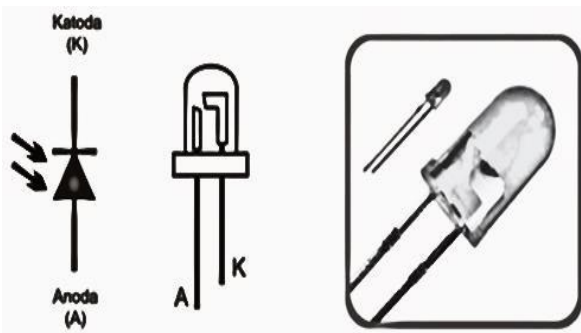
Di sisi lain, beberapa pin mempunyai fungsi spesial seperti TWI. TWI yaitu pin A4 atau SDA dan pin A5 atau SCL. Mensupport komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire library* Ada sepasang pin lainnya pada board:

- f. AREF: Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan *analog Reference*.
- g. Reset: Membawa saluran ini LOW untuk mereset mikrokontroler. Secara khusus, digunakan untuk

menambahkan sebuah tombol reset untuk melindungi yang memblock sesuatu pada board. (Tokhiem, 2008)

2.7 Sensor Fotodiode

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 2.7.



Gambar 2.7 Photodiode dan Simbol (Nasution, 2015)

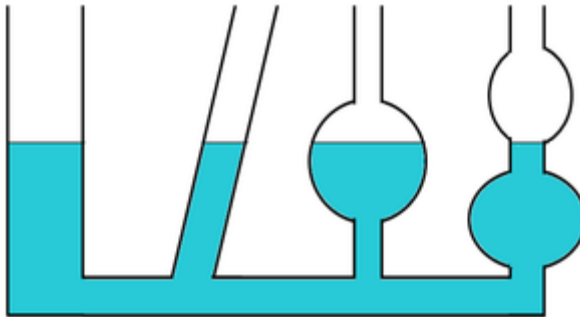
Gambar 2.7 merupakan simbol dan gambar dari *Photodiode*, Prinsip kerja dari fotodiode adalah cahaya yang diserap oleh fotodiode menyebabkan terjadinya pergeseran foton. Pergeseran foton tersebut menghasilkan pasangan electron hole di kedua sisi. Elektron bergerak menuju kutub positif dan hole menuju kutub negatif, sehingga arus akan mengalir dalam rangkaian. (Widodo,2006), *fotodiode* adalah komponen elektronika yang dapat mengubah cahaya menjadi arus listrik. Fotodiode merupakan komponen aktif yang terbuat dari bahan semikonduktor dan tergolong dalam keluarga dioda. Seperti dioda pada umumnya, fotodiode memiliki dua kaki terminal yaitu kaki terminal katoda dan kaki terminal anoda, namun juga memiliki

lensa dan filter optik yang terpasang dipermukaannya sebagai pendeteksi cahaya. Cahaya yang dapat dideteksi oleh Dioda Foto diantaranya seperti Cahaya Matahari, Cahaya Tampak, Sinar Inframerah, Sinar ultra-violet hingga sinar X. (Widodo, 2006)

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).

2.8 Bejana Berhubungan

Bejana berhubungan merupakan kumpulan dari beberapa bejana atau pipa berisi cairan yang saling terhubung dan memiliki tinggi permukaan yang sama dan tegak lurus terhadap pusat gravitasi tanpa dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, maupun volume tiap bejana (Spellman, 2005). Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Bejana berhubungan
(Sumber Gambar: idschool.net, 2017)

Gambar 2.8 menunjukkan bejana berhubungan, jika cairan ditambahkan pada salah satu bejana seperti pada maka tinggi permukaan tiap bejana akan mengalami kenaikan dan akan tetap

kembali sama tinggi. Hal ini terjadi akibat adanya tekanan hidrostatik (Fabrizio, 2005).

Salah satu sifat zat cair dalam keadaan diam adalah mempunyai permukaan yang datar. Hukum bejana berhubungan membahas mengenai zat cair sejenis dalam bejana berhubungan yang terhubung pada permukaan datar. Beberapa hal yang menyebabkan prinsip bejana berhubungan tidak berlaku dipaparkan sebagai berikut.

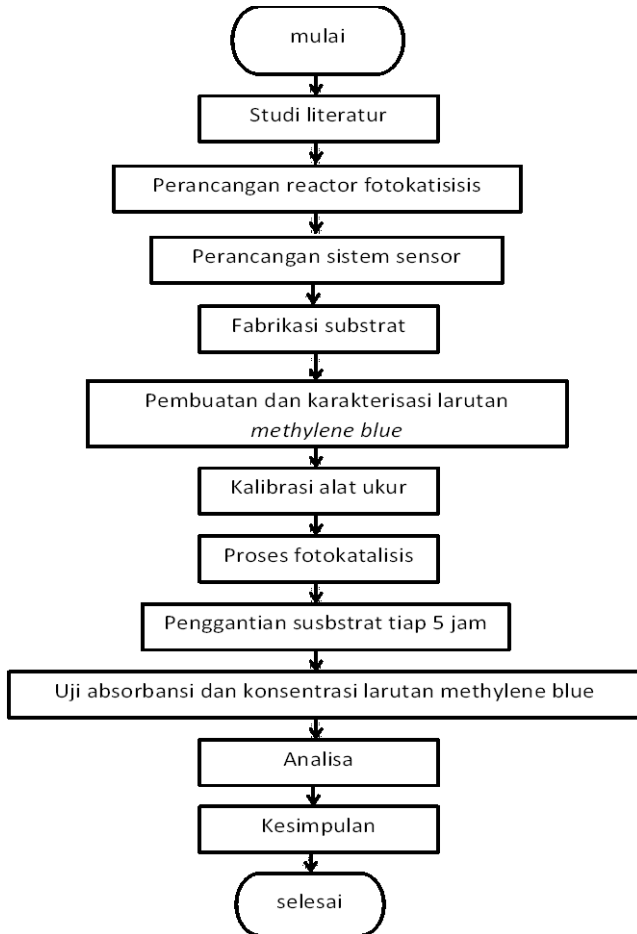
1. Bejana diisi oleh zat cair yang memiliki massa jenis berbeda.
2. Bejana dalam keadaan tertutup, baik salah satu bejana maupun kedua-duanya.

Adanya unsur pipa kapiler pada bejana, yaitu pipa kecil yang memungkinkan air menaiki sisi bejana (Setyawarno, 2019).

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Tugas akhir

Tugas akhir ini dilakukan dalam beberapa tahap pengerjaan dan dibuat diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas akhir

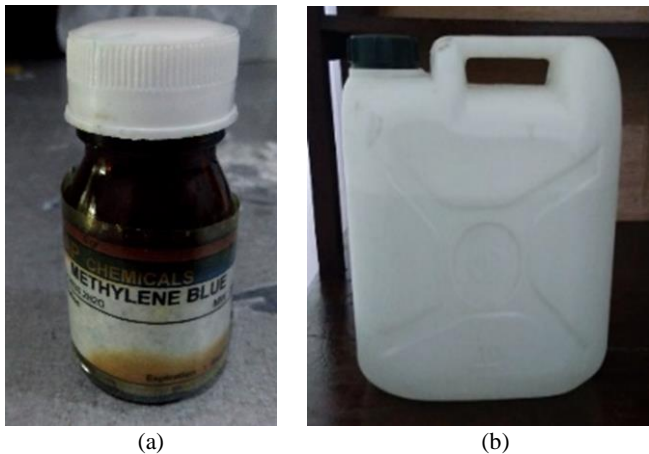
Gambar 3.1 menunjukkan tahapan tugas akhir yang dilakukan mulai dari perancangan reaktor, fabrikasi substrat, hingga tahap pengukuran.

3.2 Peralatan dan Bahan

Pada tugas akhir ini alat dan bahan yang dibutuhkan dibagi menjadi empat yaitu bahan pengenceran metilen biru, alat dan bahan fabrikasi substrat, alat dan bahan limbah cair metilen biru, serta alat dan bahan reaktor tipe *plug flow*.

3.2.1 Pengenceran metilen biru

Pada tugas akhir ini limbah cair yang akan digunakan adalah metilen biru seperti pada Gambar 3.2.



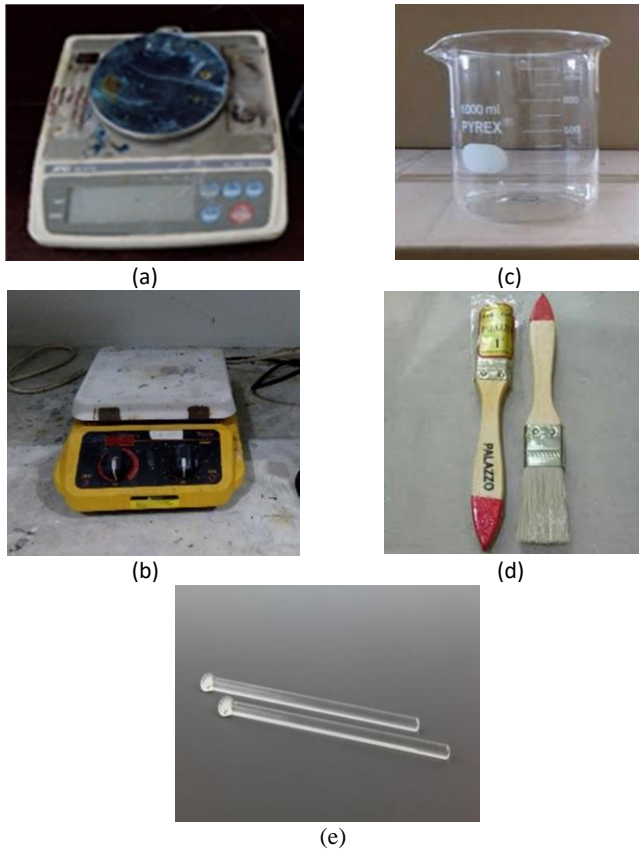
Gambar 3. 2 Bahan Pembuatan Limbah Cair Metilen biru : (a) Metilen biru ,
(b) Aquades

Gambar 3.2 merupakan metilen biru dalam bentuk serbuk digunakan sebagai zat warna. Air murni atau akuades digunakan sebagai pelarut serbuk metilen biru menjadi cair.

3.2.2 Bahan Fabrikasi Substrat

3.2.2.1 Peralatan

Pada tugas akhir tugas akhir ini peralatan yang digunakan untuk membuat substrat ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



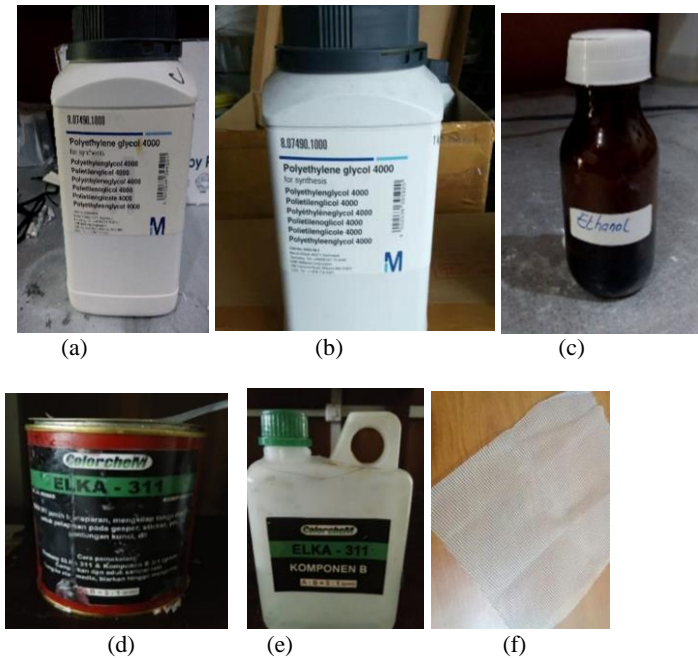
Gambar 3. 3 Peralatan Pembuatan Substrat : (a) Neraca Digital, (b) Gelas Ukur, (c) *Magnetic Stirrer*, (d) kuas, (e) spatula lab

Neraca digital untuk mengukur massa bahan yang digunakan, Gelas ukur sebagai alat ukur volume larutan media mencampurkan bahan–bahan substrat, *Magnetic Stirrer*

digunakan untuk menghomogenkan bahan, kuas digunakan untuk memoles larutan TiO_2 ke kain kasa nilon, Spatula sebagai alat bantu untuk melakukan segala aktivitas yang menimbulkan kontak dengan substrat maupun lapisan tipis yang terbentuk

3.2.2.2 Bahan

Pada tugas akhir ini substrat atau katalisator dibuat dengan alat dan bahan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3. 4 Alat dan Bahan fabrikasi substrat : (a) TiO_2 , (b) PEG, (c) etanol, (d) resin, (e) harderner, (f) kain kasa nilon

Serbuk TiO_2 (Merck) digunakan sebagai bahan katalis pada proses fotokatalisis dalam pendegradasian limbah zat warna

tekstil. PEG 4000 (Merck KGaA) digunakan sebagai template serbuk TiO_2 . Etanol digunakan sebagai pelarut PEG 4000. Resin digunakan sebagai bahan perekat campuran agar dapat terlapiskan dengan pada media kain kasa nilon. Hardener digunakan sebagai pengencer sekaligus pengeras lapisan. Serta kain kasa nilon sebagai media pelapisan campuran, yang kemudian disebut sebagai substrat.

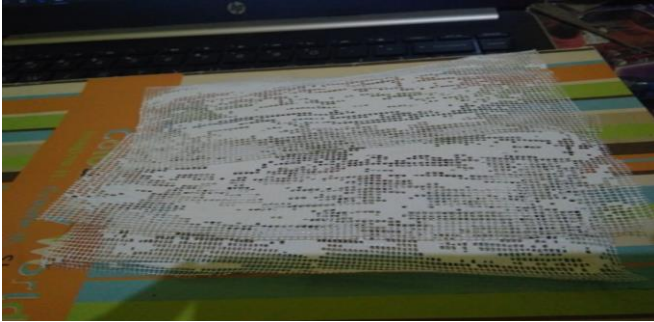
3.3 LANGKAH KERJA

Langkah kerja yang telah dilakukan adalah perancangan reaktor fotokatalisis, fabrikasi substrat, perancangan sistem sensor, pembuatan limbah cair metilen biru, kalibrasi alat ukur, proses fotokatalisis atau perlakuan penyinaran dan pengambilan data, serta uji degradasi larutan metilen biru..

3.3.1 Fabrikasi Substrat

Pada tugas akhir ini substrat yang digunakan sebagai media pelapisan TiO_2 terbuat dari kain kasa nilon yang dipotong dengan ukuran 6 x 15, substrat tersebut merupakan katalisator dalam proses penjernihan larutan metilen biru. Bahan yang digunakan untuk fabrikasi substrat diantaranya TiO_2 , PEG 4000, dan resin. Campurkan 1 gram PEG 4000 dan dilarutkan dengan Etanol 5 mL agar menjadi homogen dan tekstur lembut, ditambahkan 2 gram TiO_2 pada PEG 4000 yang telah larut dan diaduk dengan spatula. Kemudian 4 gram resin ditambahkan dan diaduk sebentar. Semua bahan dicampur pada gelas beaker dan ditambahkan hardener 1,3 gram. Agar campuran lebih homogen, campuran diletakkan diatas *magnetic stirrer*. Didalam gelas beaker dimasukkan *stirrer bar* sebagai pengaduk campuran. Setelah 60 menit, campuran diangkat dari *magnetic stirrer*. Disamping itu media kain kasa nilon dengan ukuran 6 cm x 15 cm yang telah disiapkan disterilkan menggunakan Ultrasonic cleaner dan alkohol selama 3 menit dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan di dalam ruangan. Campuran yang telah siap, kemudian dilapiskan pada

media kain kasa nilon dengan cara disapukan dengan kuas hingga merata, hasilnya seperti pada Gambar 3.5.

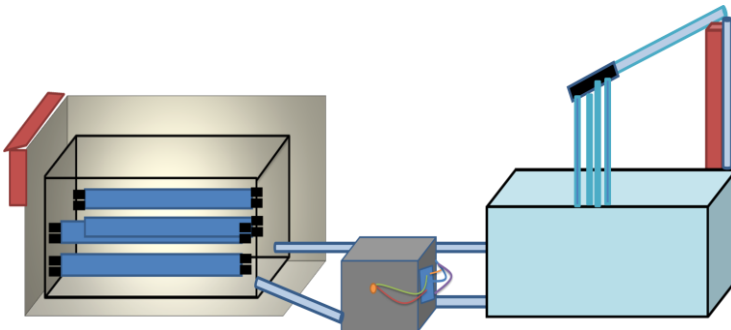


Gambar 3.5 Hasil fabrikasi Substrat

Gambar 3.5 merupakan gambar substrat yang telah siap digunakan dalam reaksi fotokatalisis. Substrat telah diangin-anginkan didalam ruangan selama 12 jam agar kering dan campuran merekat sempurna pada media kain kasa nilon.

3.3.2 Perancangan Reaktor Fotokatalisis dan sistem sensor

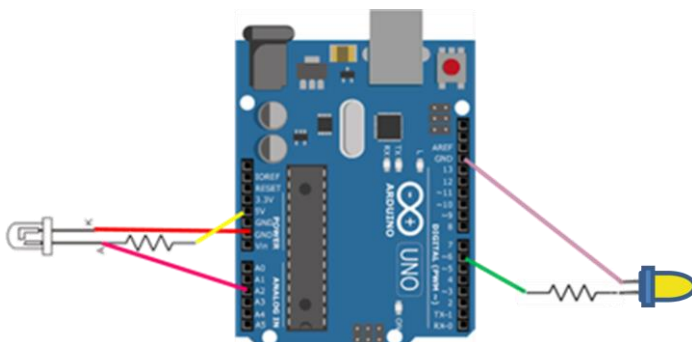
Reaktor yang digunakan adalah reaktor tipe plugflow dengan *O₂ catcher* seperti pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Reaktor Fotokatalisis

Gambar 3.6 menunjukkan rancangan reaktor yang terdiri dari tiga reservoir atau tangki, reservoir pertama terletak pada ruang fotokatalisis, reservoir dua terdapat pada ruang O_2 catcher, dan reservoir tiga terdapat pada ruang sensor. Reservoir 1 berdimensi 25 cm x 15 cm x 15 cm dengan bahan akrilik. Reservoir 2 berkapasitas 3 liter dari bahan plastik. Serta reservoir 3 berdimensi 15 cm x 9 cm x 12 cm dari bahan akrilik. Tiap dari reservoir tersebut dihubungkan oleh pipa berdiameter 0,6 mm, pompa DC 12V berada diantara reservoir 1 dan 2 terdapat. Reservoir pertama digunakan sebagai ruang fotokatalis dibuat tertutup atau terisolasi yang agar mencegah adanya cahaya dari luar, didalam ruang fotokatalisis juga diletakkan 4 buah lampu TL UV 10 watt, dan dinding bagian dalam ruang dilapisi dengan *aluminium foil*. Trafo diletakkan luar ruang fotokatalis. Pada reservoir kedua dibiarkan terbuka untuk masuknya oksigen dari O_2 catcher dan juga sebagai tempat pengambilan . Pada bagian ini juga terdapat pompa DC 12 V dan pipa pembagi aliran. Dan pada ruang ketiga, reservoir dikondisikan dalam keadaan kedap cahaya. pada reservoir ini terdapat uji degradasi realtime dari photodiode.

Mikrokontroler yang digunakan dalam Sistem sensor adalah arduino uno, mikrokontroler dirancang dan dirangkai pada ditunjukkan seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Sistem Sensor dan Mikrokontroler

Gambar 3.7 menunjukkan rangkain dari sistem sensor dan mikrokontroler Kaki positif LED kuning dihubungkan dengan resistor 330 ohm dan dihubungkan pada pin 6 arduino. Sedangkan kaki negatifnya dihubungkan pada gnd pin atau *ground*. Untuk fotodiode kaki positif dihubungkan pada resistor 10K ohm kemudian dipasang pada pin 5V. Selain itu, kaki positif fotodiode juga dihubungkan pada pin A2 sebagai pembacaan data analog, sedangkan kaki negatifnya dihubungkan pada pin GND atau *ground*.

3.3.3 Pembuatan dan Karakterisasi Larutan Metilen biru

Limbah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metilen biru yang diencerkan. Pengenceran metilen biru dilakukan dengan melarutkan serbuk metilen biru sebagai sumber pewarna biru dalam aquades sebagai larutan pengencer.

Larutan yang dibutuhkan dalam satu kali *treatment* adalah 5 liter dan nilai ppm (part per milion) larutan metilen biru ditentukan pada 5 ppm, Sehingga dibutuhkan 0,05 gram metilen biru terlarut, sesuai dengan persamaan berikut:

$$PPM = \frac{amg}{bL} \quad (3.1)$$

Pertama, 0,05 gram metilen biru dilarutkan dalam 10 liter akuades untuk mendapatkan nilai 5 ppm. Selanjutnya untuk membuat metilen biru cair dengan konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, dan 4 ppm sebagai bahan kalibrasi alat ukur dilakukan pengenceran kembali, sesuai dengan persamaan:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (3.2)$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (3.3)$$

Sehingga, untuk mendapatkan konsentrasi 4 ppm metilen biru, digunakan 1 liter metilen biru berkonsentrasi 5 ppm dan ditambahkan 250 ml akuades. Dilakukan cara yang sama untuk mendapatkan konsentrasi yang berdeda.

3.3.4 Kalibrasi Alat Ukur Fotodegradasi

Kalibrasi alat ukur dilakukan dengan membandingkan nilai absorbansi larutan metilen biru 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm hasil pengukuran spektrofotometer UV-Vis dengan nilai tegangan hasil pembacaan sensor *photodiode*. Kemudian dilakukan regresi linear dari perbandingan keduanya dan didapatkan persamaan regresi linear untuk kemudian digunakan dalam perhitungan konsentrasi hasil degradasi.

3.3.5 Proses Fotokatalisis dan Pengambilan Data

Proses fotokatalisis terjadi pada ruang 1, didalam ruang reaktor ini terdapat lampu TL UV 10 watt sebanyak 4 buah, yang masing masing terpasang pada sisi kanan dan kiri tanki sebagai sumber cahaya pada proses fotokatalisis, reservoir dibiarkan tertutup guna mencegah interverensi dari cahaya luar, pada bagian dalam reservoir dilapisi dengan *aluminium foil* agar panas dari lampu tidak tersebar keluar dan terhindar dari adanya cahaya luar yang masuk maupun keluar. Substrat disusun sejajar dalam satu baris sebanyak enam lembar secara vertikal. Substrat disusun pada media datar dan dimasukkan kedalam tangki secara vertikal. Kemudian reservoir 1 ditutup dan dipastikan udara maupun cahaya dari luar tidak dapat masuk. Pada reservoir 2, tangki 2 diatur ketinggiannya dari permukaan papan sejauh 6 cm dan *O₂ catcher* diatur agar tepat berada diatas tangki. Pada reservoir 3, sensor *photodiode* dipasang bersebrangan dengan LED warna kuning dengan jarak 9 cm (sejauh lebar tangki 3) dan dihubungkan pada mikrokontroller dan diatur dengan *coding* sehingga data akan terbaca pada monitor setiap 60 menit sekali.

Nyalakan lampu TL-UV dengan menghubungkan pada sumber arus PLN dan nyalakan pompa yang dihubungkan dengan pompa DC 10 volt maka proses fotokatalisis telah dimulai, pengambilan data dilakukan melalui reservoir 2 setiap 60 menit menggunakan pipet dan dimasukan ke wadah sample. Diwaktu yang bersamaan, dimonitor akan terbaca data dari *photodiode*. Dalam wadah penyimpanan, sampel akan dipindahkan kedalam

cuvet yang telah disterilkan dengan alkohol dan dimasukkan dalam spektrofotometer UV-vis. Pada layar monitor akan terbaca data excel nilai absorbansi

3.3.6 Pergantian substrat

Pada tugas akhir ini digunakan penggantian substrat yang digunakan, penggantian ini dilakukan setiap 10 jam, substrat diganti dengan menggunakan substrat yang baru sementara substrat yang telah digunakan di istirahatkan terlebih dahulu untuk kemudian digunakan ulang dan diberi perlakuan dengan direndam dan dibasuh dengan lembut menggunakan air akuades kemudian diangin anginkan didalam ruangan, setelah itu susbstrat tersebut dapat digunakan ulang sebagai pengganti substrat pada reservoir 1 setelah 10 jam, hal tersebut dilakukan secara berulang pada substrat yang telah digunakan selama 10 jam pada tabung reaksi.

3.3.7 Uji Degradasi Larutan Metilen Biru

Uji absorbansi dilakukan pada zat warna metilen biru dengan menggunakan dua alat ukur yaitu spektrofotometer UV-Vis dan sensor *photodiode*. Pengujian absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis. Uji spektrofotometer dilakukan dengan memasukan sample kedalam *cuvet* sampai batas leher pipet dengan menggunakan pipet yang sudah disterilkan menggunakan alkohol dan dimasaukan kedalam slot pada ruang spektrofotometer. Selanjutnya, *software UV-vis* dibuka dan dipilih "abs" sehingga data nilai absorbansi pada rentang panjang gelombang 350-850 dapat diakuisisi dalam bentuk excel, kemudian dilanjutkan untuk pengukuran sampel jam berikutnya hingga jam ke-26. Nilai absorbansi kemudian dikonversi menjadi nilai konsentrasi.

Sedangkan untuk uji degradasi dengan menggunakan sensor *photodiode* dilakukan pada reservoir 3 secara *realtime* dengan rentang jeda setiap 60 menit penyinaran dengan total

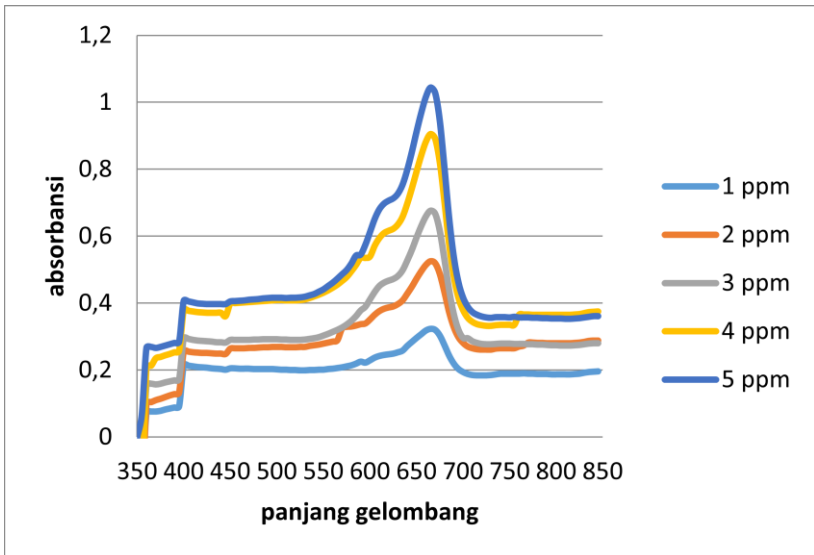
waktu penyinaran selama 24 jam. Data yang didapat berupa nilai tegangan(volt) dan dikonversi menjadi nilai konsentrasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan“

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

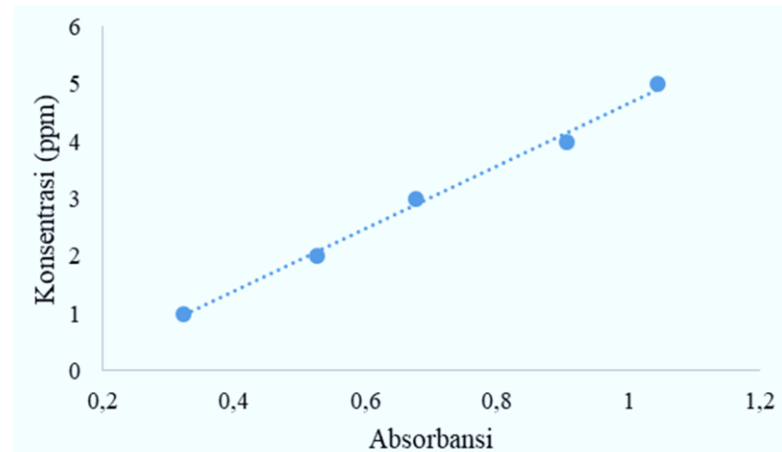
4.1 Uji Kalibrasi Spektrofotometer larutan metilen biru

Pada tugas akhir ini larutan limbah yang digunakan sebagai subjek uji coba *treatment* adalah larutan limbah metilen biru, larutan tersebut didapat dari hasil pengenceran larutan serbuk metilen biru dengan Pengujian sample dilakukan dengan cara dilakukan dengan melarutkan serbuk metilen biru sebagai sumber pewarna biru dalam aquades sebagai larutan pengencer. Sample diuji satu persatu menggunakan spektrofotometer UV-vis guna mendapatkan nilai absorbansi. Panjang gelombang yang terbaca pada spektrofotometer ditentukan pada rentang nilai 350 nm sampai 850 nm, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Spektrum Absorbansi Uji Kalibrasi Spektrofotometer

Gambar 4.2 menyatakan kelinieritasan grafik hubungan konsentrasi (ppm) dengan nilai absorbansi. Larutan metilen biru yang ditentukan nilai absorbansi sebesar 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. dapat diketahui bahwa setiap konsentrasi memiliki nilai absorbansi yang berbeda, dimana semakin besar nilai ppm maka semakin besar nilai absorbansinya, begitupun sebaliknya. Hal ini menyatakan bahwa intensitas cahaya yang diserap oleh larutan dengan konsentrasi tinggi lebih banyak dari pada cahaya yang ditransmisikan. Sedangkan pada larutan dengan nilai ppm lebih rendah intensitas cahaya yang diserap oleh larutan lebih sedikit sedangkan yang ditransmisikan lebih banyak, seperti pada Gambar 4.2.



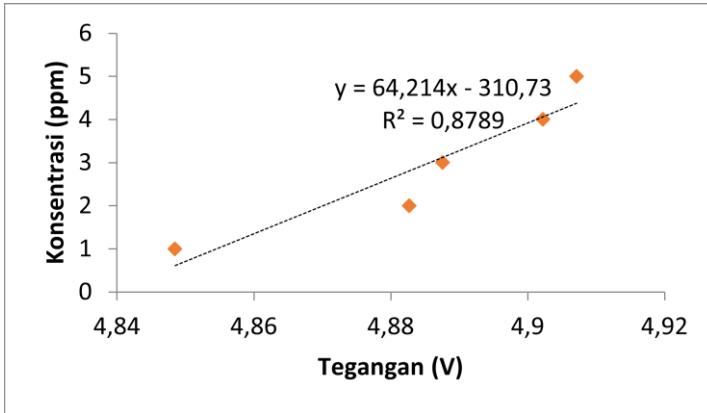
Gambar 4.2 Regresi Linear Absorbansi Dan Ppm

Dari Gambar 4.2 dapat di ketahu regresi linear antara absorbansi dan ppm, nilai absorbansi ini diambil dari nilai absorbansi tertinggi atau titik puncak grafik dalam rentang panjang gelombang yang ditentukan. Setiap larutan memiliki titik puncak nilai absorbansi pada panjang gelombang yang sama, yaitu 665nm.

4.2 Uji Kalibrasi Sensor Fotodioda

Pengukuran yang selanjutnya dilakukan dengan menggunakan sensor Photodiode untuk mendapatkan nilai konsentrasi secara realtime, kalibrasi pada sensor fotodiode sangat penting untuk dilakukan untuk memastikan bahwa sensor photodiode dapat menangkap cahaya yang diberikan dengan baik dan sesuai mendapatkan output yang sesuai. Kalibrasi sensor fotodiode dilakukan perbandingan antara nilai ppm dengan tegangan yang terbaca pada aplikasi PLX-DAQ menggunakan Arduino UNO, pada waktu pengambilan data photodiode di haruskan dalam keadaan kedap cahaya hal tersebut dilakukan agar photodiode tidak terpengaruh cahaya dari lingkungan. Selain itu, pada saat melakukan *treatment* larutan metilen biru, larutan dapat dianalisa melalui *serial print* Arduino Uno, semakin tinggi nilai ppm larutan yang dihasilkan juga akan semakin keruh hal tersebut mengakibatkan intensitas cahaya yang diterima fotodiode semakin kecil, Intensitas cahaya yang kecil akan mengakibatkan nilai hambatan atau resistansi pada rangkaian sensor semakin besar sehingga tegangan semakin tinggi, semakin tinggi konsentrasi larutan, maka semakin tinggi nilai tegangan yang dibaca *photodiode*, Apabila output tegangan yang dihasilkan memiliki nilai semakin tinggi, maka dapat dipastikan bahwa larutan dapat didegradasi oleh material katalis TiO_2

Uji kalibrasi *photodiode* dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali pada masing-masing larutan untuk mendapatkan akurasi dan presisi data. kalibrasi untuk sensor fotodiode dilakukan dengan membandingkan nilai konsentrasi larutan dengan tegangan yang terbaca pada serial monitor. Kemudian, salah satu dari pengulangan kelompok data tersebut dijadikan sebagai rujukan tegangan fotodiode. Kemudian, pada tiap variasi ppm tegangan yang dihasilkan di rata – rata sebagai nilai rujukan. Hasil dari uji kalibrasi fotodiode adalah nilai tegangan pada tiap variasi ppm, seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Regresi Linear Tegangan Dan ppm

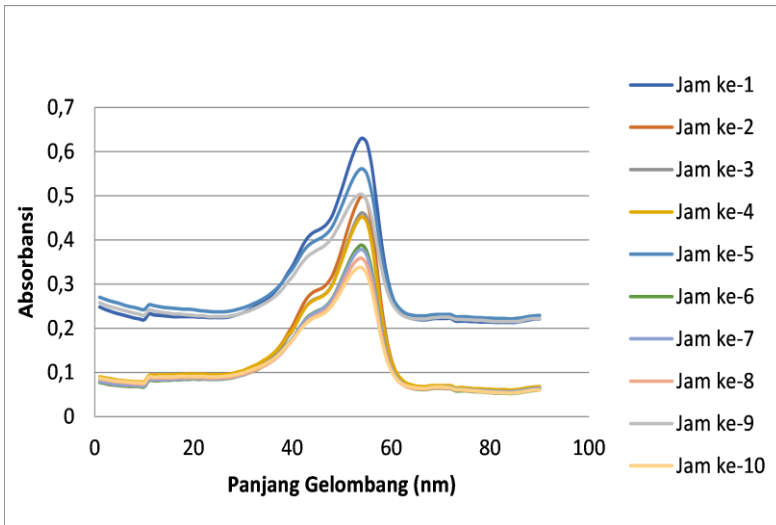
Gambar 4.3 menunjukkan hasil regresi linier dari perbandingan antara tegangan dan konsentrasi, diperoleh persamaan regresi yaitu

$$y = 64,214x - 310,73 \quad (4.2)$$

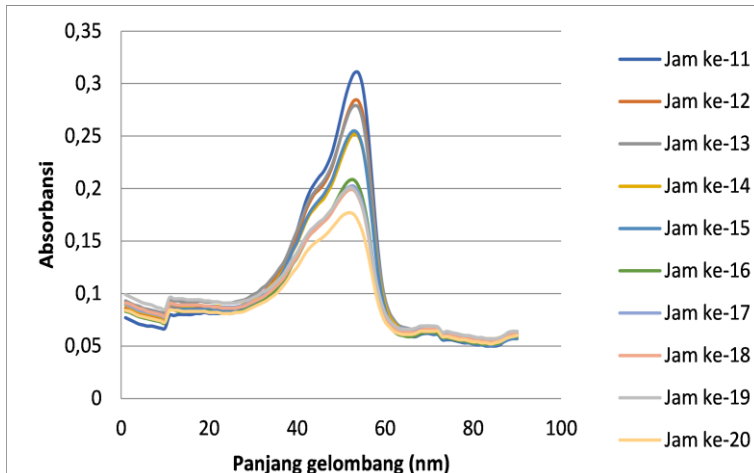
dan koefisien relasi (R^2) sebesar 0,8789. Persamaan 4.2 digunakan sebagai acuan untuk mengetahui nilai konsentrasi (y) pada larutan yang telah melalui *treatment* dari nilai tegangannya yang merupakan variabel (x).

4.3 Uji Spektrometer UV Vis Larutan Metilen biru

Uji Spektrofotometer UV-Vis ini dilakukan untuk mengetahui besarnya absorbansi terhadap panjang gelombang. Pengambilan data dengan menggunakan spectrometer UV Vis dilakukan dengan cara mengambil sample metilen biru yang telah di *treatment* tiap 60 menit pada reservoir 2. kemudian data ini diubah kedalam bentuk grafik agar dapat diamati dan dianalisa lebih mudah.. Kemudian dibuat grafik untuk puncak gelombang 655nm sebagai analisa selanjutnya seperti pada Gambar Pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



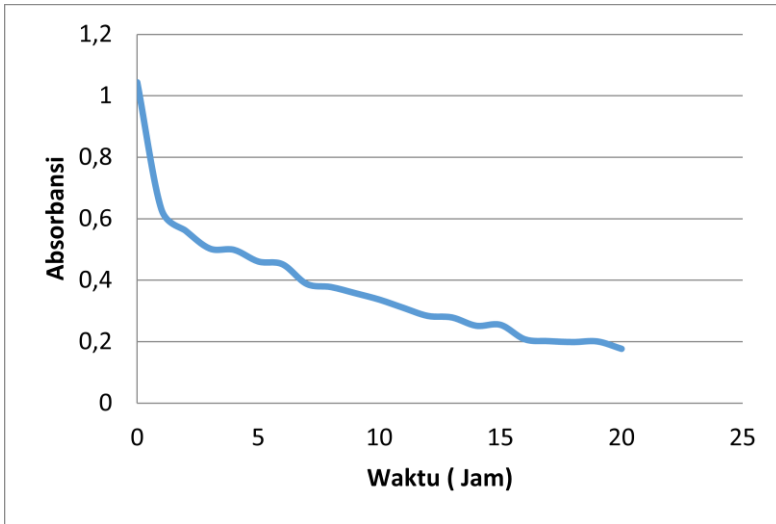
Gambar 4.4 Spektrum Absorbansi pada Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru



Gambar 4.5 Spektrum Absorbansi pada Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru

Gambar 4.4 dan 4.5 merupakan spectrum absorbansi yang diperoleh dari uji sampel metilen biru pada spektrofotometer,

Untuk memudahkan analisa, nilai absorbansi diambil pada puncak panjang gelombang 665 karena pada panjang gelombang tersebut nilai absorbansi berada pada nilai tertinggi, dan dibuat grafik seperti pada Gambar 4.6.

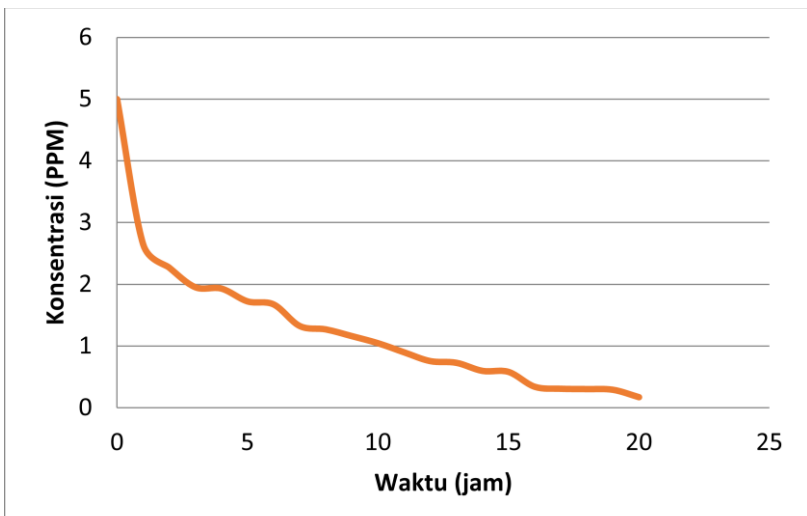


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Nilai Absorbansi dan Waktu Penyinaran Menggunakan Spektrofotometer

Gambar 4.6 terlihat bahwa nilai absorbansi semakin menurun seiring dengan pertambahan waktu penyinaran. penurunan yang signifikan terjadi pada jam ke 1 dan terus menurun hingga jam berikutnya, namun grafik cenderung landai setelah jam ke-11 sampai 14 selanjutnya terjadi penurunan yang stabil, hal tersebut juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu faktor yang mempengaruhi hasil dari spektrum degradasi Metilen biru ialah cuvet yang digunakan sebagai media wadah uji larutan. selain cuvet harus steril dan bersih hingga tidak ada material lain yang tersisa didalamnya, cuvet yang akan digunakan harus dipastikan tidak ada goresan sama sekali agar cahaya pada ruang spektofotometer dapat menembus larutan

dengan tidak ada hambatan sehingga dapat di transmisikan dengan baik dan akurat menuju *receiver*.

Selanjutnya nilai absorbansi terhadap waktu dikonversi menjadi nilai konsentrasi terhadap waktu menggunakan persamaan 4.1, konversi ini dilakukan untuk mengetahui penurunan konsentrasi pada larutan metilen biru yang telah di *treatment* terhadap waktu penyinaran dan didapatkan hubungan nilai konsentrasi (ppm) dengan waktu penyinaran seperti pada Gambar 4.7.

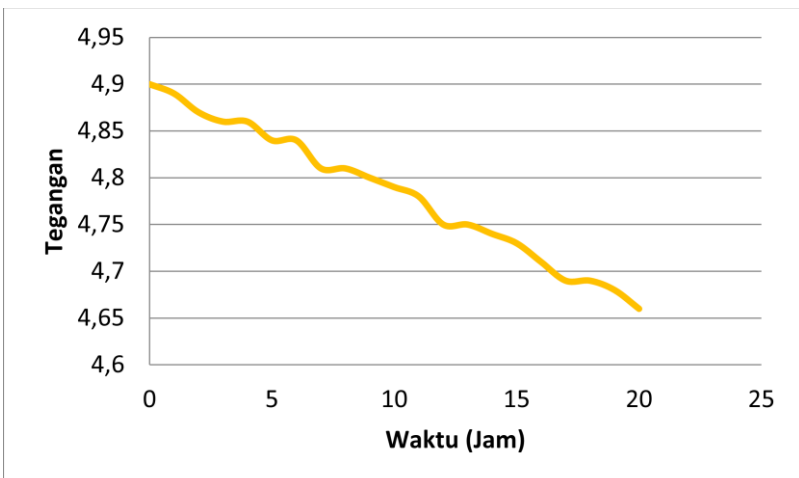


Gambar 4.7 Hubungan Konsentrasi dan Waktu Penyinaran Uji Spektrofotometer

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan konsentrasi terhadap waktu absorbansi dari uji larutan yang diambil selama *treatment*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 dapat dilihat semakin bertambahnya waktu konsentrasi larutan metilen biru semakin menurun. Penurunan signifikan terjadi pada jam kedua dan terus menurun hingga jam berikutnya.

4.4 Uji Sensor Fotodiode Larutan Metilen biru

Pengujian larutan metilen biru secara realtime dengan menggunakan sensor *photodiode* dilakukan pada reservoir 3, untuk mendapatkan hasil yang akurat pada reservoir 3 diharuskan kedap cahaya, hal tersebut dilakukan agar tidak adanya interverensi cahaya dari luar sehingga mempengaruhi data yang didapatkan, pengambilan data dilakukan menggunakan system sensor serta aplikasi Arduino Uno dan PLX-DAQ. Data terbaca setiap 60 menit sekali berupa nilai tegangan, pada pemrosesan sensor *photodiode*, cahaya yang dipancarkan dari LED kuning akan menembus larutan metilen biru dan ditransmisikan menuju *photodiode*, tegangan maksimum yang dihasilkan oleh *photodiode* sebesar 5 volt Tegangan maksimum ini menandakan tidak adanya cahaya yang ditransmisikan oleh LED kuning menuju *photodiode*, nilai tegangan yang didapatkan dibuat grafik hubungan tegangan dan waktu penyinaran seperti pada Gambar 4.9.

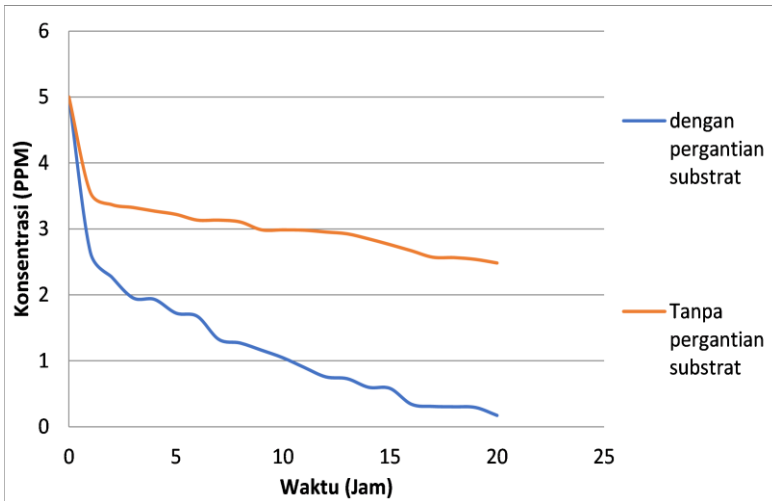


Gambar 4.8 Hubungan Tegangan dan Waktu Penyinaran Menggunakan Sensor Fotodiode

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan tegangan dan waktu penyinaran yang didapatkan melalui sensor *Photodiode*, sesuai dengan prinsip kerja fotodiode yaitu ketika fotodiode menyerap cahaya, maka akan terjadi pergeseran foton yang mana akan menghasilkan pasangan electron pada hole di kedua sisi dan terjadi gerak semu electron. Dimana elektron menuju kutub positif dan hole menuju kutub negative, sehingga ada arus dalam rangkaian. Ketika intensitas cahaya mengenai fotodiode besar, maka fotodiode akan bersifat sebagai sumber tegangan dan akan membuat nilai resistansinya kecil. Sedangkan saat tidak ada cahaya dari LED kuning yang ditransmisikan menembus larutan metilen biru maka nilai resistansinya akan besar dan tak berhingga. Maka semakin sedikit cahaya transmisi, nilai resistansi semakin besar dan tegangan akan semakin besar. Sehingga ketika larutan metilen biru terdegradasi, cahaya yang ditransmisikan akan semakin banyak. Resistansi akan bernilai kecil dan sebanding dengan nilai tegangan yang menurun.

4.5 Pembahasan

Pada Gambar 4.7 menunjukkan penurunan konsentrasi yang paling signifikan pada jam pertama dan pada jam berikutnya cenderung kontinyu dan cukup stabil, dari grafik pada Gambar 4.7 diperoleh degradasi warna limbah terbesar pada jam pertama 47% terus berlanjut pada jam ke-5 sebesar 66% dan pada jam ke-20 terjadi penurunan degradasi sebesar 97%, pada tugas akhir sebelumnya yang dilakukan saudara Novi Andriani dengan tanpa pergantian substrat terjadi degradasi limbah metilen biru yang cukup bagus pada 5 jam pertama dan pada jam berikutnya cenderung landai sehingga dilakukan pengembangan dengan adanya pergantian substrat setiap 10 jam dan didapatkan hasil perbandingan degradasi metilen biru dengan tugas akhir sebelumnya seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 degradasi larutan metilen biru dengan dan tanpa pergantian substrat

Gambar 4.10 merupakan grafik perbandingan degradasi limbah metilen biru yang telah dilakukan dengan dan tanpa adanya pergantian substrat, hasil dari tugas akhir menggunakan pergantian substrat mampu mendegradasi lebih cepat dan lebih efektif karena dalam 1 jam pertama mampu mendegradasi dari 5ppm menjadi 2,6 ppm atau berkurang 2,3 ppm. Dan pada jam selanjutnya terjadi penurunan yang terus menerus dan stabil, pada jam ke 20 terjadi degradasi limbah metilen biru sebanyak 97%.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan tugas akhir ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran tingkat degradasi larutan Metilen biru secara *realtime* dapat dilakukan dengan sensor fotodiode sebagai *receiver* dan LED kuning sebagai sumber cahaya dalam ruang terisolasi dan data oleh serial monitor setiap 60 menit.
2. Degradasi terbesar terjadi pada jam ke-1 sebesar 47%. dalam 20 jam penyinaran degradasi yang didapat sebesar 97%.
3. Pergantian substrat dapat mempercepat dan menstabilkan degradasi limbah cair metilen biru, pada jam ke 1 penyinaran dapat mendegradasi limbah cair metilen biru dari 5 ppm menjadi 2,6 ppm.

5.2 Saran

Saran untuk tugas akhir reaktor fotokatalis tipe *plug flow* menggunakan katalis substrat kain kasa nilon instalasi *O₂ Catcher* berikutnya antara lain:

1. Substrat dibersihkan dan didiamkan lebih lama sebelum digunakan kembali .
2. pergantian substrat dengan yang baru dilakukan dengan rentang waktu yang lebih lama.

“Halaman ini sengaja dikosongkan“

DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah. 2006. “*Biosorpsi Metilen Biru oleh Ganggang Coklat (Sargassum Binderi)*”. Karya Tulis Ilmiah. Institut Pertanian Bogor.
- Amemiya, S., 2004. “*Titanium Oxide Photocatalyst. Technical News*”. Tokyo: Three Bond
- Andriani Novi, 2019. “Rancang Bangun Reaktor Fotokatalisis Tipe Plug Flow Dengan Instalasi O₂ Catcher Sebagai Media Fotodegradasi Limbah Cair Metilen Biru”. Surabaya: FSAD Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- 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 september 2019
- Berneth H. 2008. *Azine dyes. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 475–514. doi:[10.1002/14356007.a03_213.pub3](https://doi.org/10.1002/14356007.a03_213.pub3).
- Bloomfield, Louis. 2006. *How Things Work: The Physics of Everyday Life (Third Edition)*. USA: John Wiley & Sons
- 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.
- Endang, Palupi. 2006. Degradasi Metilen biru dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂. Skripsi. Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Fontana, Fabrizio .2005. Role of hydrostatic paradoxes towards the formation of the scientific thought of students at academic level". Europa: *European Journal of Physics* (6)

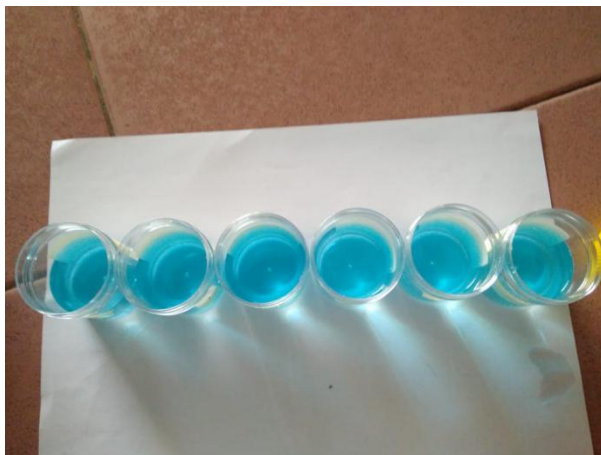
- Garland, Carl W., Nibler, Joseph W., Shoemaker, David P. 2003. *“Experiments In Physical Chemistry”*. New York: Mc Graw-Hill Companies, Inc
- Greenwood, N.N dan Earnshaw, A. 1997. *“Chemistry of The Elements”*. Oxford: Second Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House. Jordan Hill
- Gunlazuardi, J. 2000. Fotoelektrokatalis untuk Detoksifikasi Air, Prosiding, Seminar Nasional Elektrokimia, 1-21.
- Kemenperin, 2019. Lampau 18 Persen, Industri Tekstil dan Pakaian Tumbuh Paling Tinggi. <https://kemenperin.go.id/artikel/20666/Lampau-18-Persen%2C-Industri-Tekstil-dan-Pakaian-Tumbuh-Paling-Tinggi>. Diakses tanggal 15 oktober 2019
- 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.
- Nasution, Nurmalia., dkk. 2015. *“Implementasi Sensor Fotodiode sebagai Pendeteksi Serapan Sinar Infra Merah pada Kaca”*. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, 3, 2, 111-116.
- Pantone, 2019. Warna Pantone tahun 2020. <https://www.pantone.com/color-intelligence/color-education/digital-wallpaper>. Diakses tanggal 20 desember 2019.
- 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.
- Renita Manurung, Rosdanelli Hasibuan dan Irvan. 2004. Perombakan Zat Warna Azo Reaktif secara Anaerob-

- Aerob. e-USU Repository © 2004 Universitas Sumatera Utara. Hlm. 1-19.
- Rojnuckarin, Atipat. 1993. *Optimal Control Of A Plug flow Reaktor With A Complex Reaction Mechanism*. New Jersey : Princeton University
- Sopyan, I. 1998. “*Fotokatalisis Semikonduktor : Teori dan Terapan, Majalah BPTT Teknologi*”, Volume LXXXVII, Jakarta.
- Spellman, Frank R..2005. *Environmental engineer's mathematics handbook*. CRC Press.
- Sumerta, I Kadek., Wijaya, Karna.\, & Tahir, Iqmal. 2002. Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Katalis TiO₂-Montmorilonit dan Sinar UV. Seminar Nasional Pendidikan Kimia. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Tokheim, Roger L. 2008. *Digital Electronics Principles & Application*. Jilid 7. New York : Mc-Graw Hill Company
- Wang W, Gu B, Liang L, Hamilton WA, Wesolowski DJ. 2004 Synthesis of Rutil (α -TiO₂) Nanocrystals with Controlled Size and Shape by Low-Temperature Hydrolysis: Effects of Solvent Composition. *J.Phys.Chem.B*; 108: 14789-92. DOI: 10.1021/jp0470952
- Widodo. 2006. *Cara Belajar Sendiri Membuat Rangkaian Elektronika*. Jakarta : PT. Elex Media Computindo
- 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.
- Zhewen Lu et al. 2017. *A High-Pressure Plug flow Reaktor for Combustion Chemistry Investigations*. Australia: Melbourne University
- 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. Szeged,
Hungary, Cluj-Napoca, Romania.

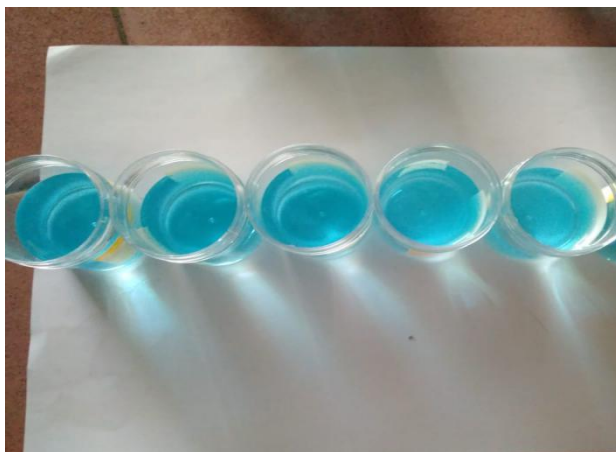
LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar *sample* larutan limbah metilen biru.



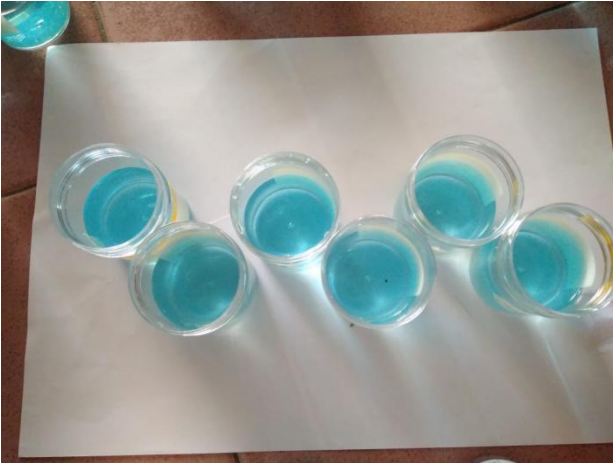
dari kiri ke kanan sample jam ke-1, ke-2, ke-3, ke-4. ke-5 dan ke-6.

Lampiran 2 Gambar *sample* larutan metilen biru



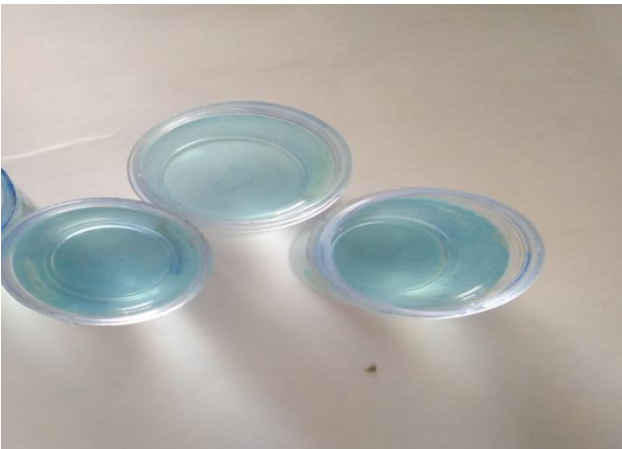
dari kiri ke kanan jam ke 7, ke 8, ke 9, ke10 dan ke 11

Lampiran 3 Gambar *sample* larutan limbah metilen biru.



Dari kiri ke kanan sample jam ke 12, ke 13, ke 14, ke 15 dan ke 16

Lampiran 4 Gambar sample larutan metilen biru



Dari kiri ke kanan sample jam ke 17, ke 18, dan ke20

Lampiran 5 Tabel waktu penyinaran, nilai absorbansi dan ppm

jam	abs	ppm
0	1,044	5
1	0,63	2,647075
2	0,561	2,270163
3	0,503	1,953338
4	0,499	1,931488
5	0,461	1,723913
6	0,452	1,67475
7	0,388	1,32515
8	0,378	1,270525
9	0,358	1,161275
10	0,337	1,046563
11	0,31	0,899075
12	0,284	0,75705
13	0,279	0,729738
14	0,255	0,598638
15	0,252	0,58225
16	0,208	0,3419
17	0,202	0,309125
18	0,201	0,303663
19	0,199	0,292738
20	0,177	0,172563

Lampiran 6 waktu penyinaran dan tegangan (v)

Jam	Tegangan
0	4,9
1	4,89
2	4,87
3	4,86
4	4,86
5	4,84
6	4,84
7	4,81
8	4,81
9	4,8
10	4,79
11	4,78
12	4,75
13	4,75
14	4,74
15	4,73
16	4,71
17	4,69
18	4,69
19	4,68
20	4,66

