TUGAS AKHIR – SF184801

RANCANG BANGUN REAKTOR FOTOKATALIS TIO_2 TIPE *PLUG FLOW* DENGAN MENGGUNAKAN SUSUNAN SUBSTRAT SPIRAL SEBAGAI FOTODEGRADATOR METILEN BIRU DENGAN SENSOR DEGRADASI REALTIME

Moh. Rosul
NIM. 01111440000022

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

DESIGN OF TIO_2 PLUG FLOW PHOTOCATALYSIS REACTOR USING SPIRAL SUBSTRATE AS BLUE METHYLENE PHOTODEGRADATOR WITH REALTIME DEGRADATION SENSOR

Moh. Rosul
NIM. 01111440000022

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 SEPELUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

Rancang Bangun Reaktor Fotokatalis Tio_2 Tipe *Plug Flow* Reaktor dengan Menggunakan Susunan Substrat Spiral Sebagai Fotodegradator Metilen Biru dengan Sensor Degradasi Realtime

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

MOH. ROSUL
NRP. 01111440000022

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

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
DEPARTEMEN FISIKA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RANCANG BANGUN REAKTOR FOTOKATALIS TIO_2 TIPE *PLUG FLOW* REAKTOR DENGAN MENGGUNAKAN SUSUNAN SUBSTRAT SPIRAL SEBAGAI FOTODEGRADATOR METILEN BIRU DENGAN SENSOR DEGRADASI REALTIME

Nama Mahasiswa : Mohammad Rosul
NIM : 01111440000022
Departemen : Fisika, Fakultas Sains ITS
Dosen Pembimbing : 1. Drs. Bachtera Indarto, M. Si
2. Dr. Gatut Yudoyono, M.T

ABSTRAK

Titanium dioksida (TiO_2) yang digunakan untuk mendegradasi larutan metilen biru perlu difabrikasi dalam bentuk substrat agar dapat digunakan secara berulang. Penelitian ini bertujuan merancang reaktor fotokatalisis tipe *plug* flow dengan instalasi O_2 *catcher* sebagai media fotodegradasi Metilen biru secara realtime, mengukur tingkat degradasi limbah industri metilen biru dengan sensor fotodioda dalam reaktor fotokatalis, serta membandingkan pengaruh substrat tipe spiral dengan substrat tipe mendatar dalam efektivitas reaksi fotokatalisis. Fabrikasi substrat menggunakan komposisi campuran TiO_2: PEG 4000: resin: hardener adalah 3:1:3:1,3 yang dilapiskan dengan kuas pada media kain kasa nilon. Substrat tersebut digunakan dalam reaktor fotokatalisis tipe *plug flow*, yaitu reaktor degradasi limbah cair secara sirkulasi menggunakan fotokatalis. Proses fotokatalisis memerlukan oksigen sebagai media pembawa elektron sehingga ditambah instalasi O_2 *catcher* sebagai pengikat oksigen bebas dari udara. Larutan yang digunakan adalah 5liter Metilen biru 5ppm dengan lampu TL-UV sebagai sumber cahaya. Degradasi zat warna diukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan sensor fotodioda. Analisis akurasi hasil perhitungan konsentrasi dari output sensor fotodioda lalu dibandingkan dengan hasil perhitungan konsentrasi berdasar output spektrofotometer.

Parameter yang digunakan untuk menentukan akurasi ialah koreksi rata – rata, dan koreksi relatif rata – rata. Degradasi terbesar menurut hasil perhitungan output fotodioda terjadi pada 2 jam pertama yaitu sebesar 31,90%. Sementara itu, menurut hasil perhitungan output Spektrofotometer degradasi terbesar pada 3 jam pertama dengan degradasi sebesar 44,22%. Laju reaksi terbesar menurut hasil perhitungan output spektrofotometer dan fotodioda terjadi pada 2 jam pertama dengan puncaknya pada jam ke 2 yang masing masing nilai nya sebesar 21,83% dan 23,38%. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa Penataan Substrat Spiral lebih efektif dalam meningkatkan prosentase degradasi dan memiliki laju reaksi yang lebih cepat.

Kata Kunci : **Metilen biru, Fotokatalisis, Reaktor *Plug Flow,* Titanium dioksida**

DESIGN OF TIO_2 PLUG FLOW PHOTOCATALYSIS REACTOR USING SPIRAL SUBSTRATE AS BLUE METHYLENE PHOTODEGRADATOR WITH REALTIME DEGRADATION SENSOR

Name	**: Mohammad Rosul**
NIM	**: 01111440000022**
Department	**: Physics, Faculty of Science, ITS**
Advisor	**: 1. Drs. Bachtera Indarto, M. Si**
	2. Dr. Gatut Yudoyono, M.T

Abstract

Titanium dioxide (TiO2) which is used to degrade the Metilen biru solution needs to be fabricated in the form of a substrate so that it can be used repeatedly. This study aims to design a plug flow type photocatalytic reactor with O2 catcher installation as a real-time photodegradation medium for Metilen biru, to measure the degradation rate of industrial metilen biru waste with a photodiode sensor in a photocatalyst reactor, and to comparing the effect of the spiral type substrate with the horizontal type of the substrate in the photocatalytic reaction. Fabrication of the substrate using a mixture composition of TiO2: PEG 4000: resin: hardener is 3: 1: 3: 1,3 which is coated with a brush on nylon gauze media. The substrate is used in a plug flow type photocatalytic reactor, which is a circulating liquid waste degradation reactor using a photocatalyst. The photocatalytic process requires oxygen as an electron carrier medium, so the installation of O2 catcher is added to binder oxygen free from air. The solution used was 5 liters of Metilen biru 5ppm with a TL-UV lamp as a light source. Dye degradation was measured using a UV-Vis spectrophotometer and a photodiode sensor. The analysis of the accuracy of the concentration calculation results from the photodiode sensor output is then compared with the concentration calculation results based on the spectrophotometer output. The parameters used to determine accuracy are the average correction and the average relative correction. The greatest degradation according to the

results of the photodiode output calculation occurred in the first 2 hours, namely 31.90%. Meanwhile, according to the results of the calculation, the largest degradation spectrophotometer output was in the first 3 hours with a degradation of 44.22%. The largest reaction rate according to the results of the calculation of the spectrophotometer and photodiode output occurred in the first 2 hours with a peak at the second hour, each with a value of 21.83% and 23.38%. The comparison results show that the Spiral Substrate Arrangement is more effective in increasing the percentage of degradation and has a faster reaction rate.

Keywords : Blue Methylene, Photocatalysis, plug flow Reactor, Titanium Dioxide

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "**Rancang Bangun OReaktor Fotokatalis TiO_2 Tipe *Plug Flow* Reaktor dengan Menggunakan Susunan Substrat Spiral Sebagai Fotodegradator Metilen Biru Dengan Sensor Degradasi Realtime**" ini. Pada kesempatan terbaik ini, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rezeki, kemudahan dan kelancara, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancer.
2. Kedua orang tua yang saya cintai, (Alm.) Bapak Holis dan Siti Ulfah, dengan besar hati telah membimbing, merawat, mencintai, serta memberikan pelajaran hidup yang menguatkan mental penulis.
3. Bapak Bachtera Indarto dan Bapak Gatut Yudoyono selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ahmad Shultonal selaku rekan kerja selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Riani dan Cucu yang telah memberikan motivasi, bantuan materiil, serta fasilitas untuk pengerjaan tugas akhir hingga selesai.
6. Uskur, Syahrul, Rafi, Fadok yang telah menampung segala cerita dan memberikan dukungan.
7. 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, 26 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
TITLE PAGE ii
LEMBAR PENGESAHAN.....iii
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR.....ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR.....xiv
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR LAMPIRAN….....xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Rumusan Masalah.....3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan.....3
1.5 Manfaat.....4
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Metilen biru 7
2.2 Semikonduktor.....8
2.3 Titanium dioksida 12
2.4 Fotokatalisis TiO_2 14
2.5 Arduino Uno 17
2.6 Sensor Fotodioda 19
2.7 Bejana Berhubungan.....20
2.8 Reaktor *Plug Flow*.....21
2.9 Hukum Lambert-Beer..... 22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 26
3.1 Diagram Alir Penelitian.....26

3.2 Peralatan dan Bahan 27
3.2.1 Alat Ukur Fotodegradasi 27
3.2.2 Bahan Fabrikasi Substrat 28
3.2.3 Bahan Pembuatan Larutan Metilen biru.....29
3.2.4 Bahan Reaktor Tipe *plug flow* 30
3.2.5 Peralatan Pendukung 31
3.3 Langkah Kerja 32
3.3.1 Perancangan Reaktor Fotokatalisis.....33
3.3.2 Perancangan Sistem Sensor.....34
3.3.3 Fabrikasi Substrat 35
3.3.4 Pembuatan dan Karakterisasi Larutan Metilen biru 36
3.3.5 Perumusan Formula Statistik.....37
3.3.6 Uji Sensor Fotodioda Larutan Metilen Biru 38
3.3.7 Uji Degradasi Larutan Metilen biru dengan Spektrofotometer 39
3.3.8 Perbandingan Efektifitas penataan Substrat.....40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....42
4.1 Mekanisme Fisis Reaktor Fotokatalisis 42
4.2 Perumusan Formula Statistik.....43
4.2.1 Merumuskan Formula Statistik untuk Fotodioda....44
4.2.2 Merumuskan Formula Statistik untuk Spektrofotometer 45
4.3 Analisa Uji Larutan Metilen biru.....47
4.3.1 Uji Sensor Fotodioda Larutan Metilen Biru 47
4.3.2 Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru 50
4.3.3 Perbandingan Efektifitas Penataan Substrat.....56
4.3.3 Pembahasan.....58
BAB V KESIMPULAN 62
5.1 Kesimpulan.....62
5.2 Saran 62

DAFTAR PUSTAKA.....64
LAMPIRAN 65
BIODATA PENULIS.....68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kimia Metilen biru 7
Gambar 2. 2 Resistivitas dan Konduktivitas Semikonduktorr. .. 8
Gambar 2. 3 Pita Energi dalam Semikonduktor 9
Gambar 2. 4 Skema 2 Dimensi Semikonduktor Intrinsik..... 10
Gambar 2. 5 Elektron dan *hole* dalam semikonduktor 11
Gambar 2. 6 Semikonduktor tipe-n dan tipe-p 12
Gambar 2. 7 Struktur 3 Dimensi Rutil dan Anatase 13
Gambar 2. 8 Fotoeksitasi elektron pada semikonduktor 16
Gambar 2. 9 Arduino.....17
Gambar 2.10 Proses Fisis dalam Fotodioda..... 20
Gambar 2.11 Bejana Berhubungan 21
Gambar 2.12 Model Plug Flow 21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian..... 26
Gambar 3. 2 Alat ukur fotodegradasi 27
Gambar 3. 3 Alat dan Bahan fabrikasi Substrat 28
Gambar 3. 4 Bahan Pembuatah Limbah Cair Metilen biru 29
Gambar 3. 5 Peralatan dan Bahan Pembuatan Reaktor Tipe *plug flow* 30
Gambar 3. 6 Peralatan Pendukung 31
Gambar 3. 7 Reaktor Fotokatalisis 33
Gambar 3. 8 Sistem Sensor dan Mikrokontroller..... 35
Gambar 3. 9 Substrat 36
Gambar 3.10 Larutan Metilen biru 1ppm, 2ppm, 3ppm, 4ppm, 5ppm 37
Gambar 3.11 Substrat dalam larutan Metilen Biru..... 38
Gambar 4.1 Regresi linear tegangan dan ppm 44
Gambar 4.2 Spektrum Absorbansi Uji Kalibrasi Spektrofotometer 45
Gambar 4.3 Regresi linear absorbansi dan ppm …..... 46

Gambar 4.4 Hubungan Tegangan dan Waktu Penyinaran Menggunakan Sensor Fotodioda..... 47
Gambar 4.5 Hubungan Konsentrasi dan Waktu Penyinaran Menggunakan Sensor Fotodioda.....48
Gambar 4.6 Prosentase degradasi terhadap waktu penyinaran Menggunakan Sensor Fotodioda..... 49
Gambar 4.7 Hubungan Laju degradasi terhadap waktu penyinaran Menggunakan Sensor Fotodioda..... 50
Gambar 4.8 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 1 sampai jam ke 5 51
Gambar 4.9 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 6 sampai jam ke 10 51
Gambar 4.10 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 11 sampai jam ke 15..... 52
Gambar 4.11 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 16 sampai jam ke 20..... 52
Gambar 4.12 Absorbansi (puncak kurva) terhadap waktu penyinaran..... 53
Gambar 4.13 Hubungan Konsentrasi terhadap waktu penyinaran menggunakan Spektrofotometer 54
Gambar 4.14 Hubungan Prosentase Degradasi terhadap Waktu Penyinaran Menggunakan Spektrofotometer..... 55
Gambar 4.15 Hubungan Laju Degradasi terhadap Waktu Penyinaran Menggunakan Spektrofotometer..... 56
Gambar 4.16 Perbandingan Perbandingan grafik Konsentrasi terhadap waktu berdasar hasil perhitungan output *photodiode* 57
Gambar 4.17 Perbandingan grafik Konsentrasi terhadap waktu berdasar hasil perhitungan output Spektrofotometer..... 57

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Hasil Uji Spektrofotometer dan Konversi 65
Tabel 2 Hasil Uji Sensor Fotodioda dan Konversi 66

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel 1 Hasil Uji Spektrofotometer
dan Konversi 65
Lampiran 2 Tabel Hasil Uji Sensor Fotodioda
dan Konversi 66

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi memberikan banyak keuntungan bagi kehidupan manusia, namun efek yang ditimbulkan memberikan dampak negatif bagi lingkungan sekitarnnya, misalnya masalah limbah industri. Limbah industri jika tidak dikelola dengan baik dan dibuang begitu saja secara bebas maka akan menyebabkan air yang terdapat di lingkungan sekitarnnya tercemar. Produksi industri tekstil Indonesia yang berupa bahan tekstil, produk tekstil, dan industri pakaian jadi merupakan penyumbang divisa nomor satu di sektor non migas dan nomor tiga setelah minyak bumi dan gas alam. Pada masa krisis ekonomi, industri tekstil ini terbukti mempunya daya tahan cukup tinggi sehingga diharapkan produksinya terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan dalam negeri serta kemudahan-kemudahan ekspor dan impor bahan baku yang diberikan oleh pemerintah. Tuntutan kenaikan produksi tekstil ini diharapkan dapat diikuti dengan pemenuhan kewajiban pihak-pihak terkait untuk setidaknya dapat mereduksi dampak negatif yang mungkin timbul. Akibat teknis yang mungkin timbul adalah meningkatnya kuantitas dan kualitas bahan buangan atau limbah. Dampak negatif industri tekstil terutama berasal dari proses pencelupan (*dyeing*).

Pada proses pencelupan tekstil dihasilkan sekitar 24% zat warna dan 6% garam yang digunakan pada pewarnaan yang kemudian masuk ke lingkungan perairan sebagai limbah. Warna limbah muncul karena adanya gugus kromofor dalam zat warna tekstil yang digunakan pada proses pencelupan. Limbah hasil pencelupan yang dibuang menyebabkan kualitas air akan menurun sehingga tidak sesuai lagi dengann peruntukkannya dan ekosistem

lingkungan akan terganggu. Selain sulit diuraikan, bahan aktif zat warna seperti azo (monoazo, diazo, triazo) dilaporkan bersifat karsinogenik.

Metilen Biru merupakan zat warna dasar yang sangat penting dan relatif murah dibandingkan dengan pewarna lainnya. Zat warna ini paling sering dipakai dalam industri testil, sutra, wool, dan kosmetik. Dosisi tinggi dari Metilen Biru dapat menyebabkan mual, muntah, nyeri pada perut dan dada, sakit kepala, keringat berlebihan, dan hipertensi. Selain itu, metilen biru juga dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit.

Salah satu cara menanggulangi pencemaran yang disebabkan oleh zat warna organik seperti metilen biru yaitu menggunakan metode *advanced oxidation processes* (*AOPs*) yang didalamnya terdapat proses fotokatalitik dengan menggunakan fotokatalis TiO2 yang dapat menghasilkan spesi yang sangat reaktif yaitu rakdikal hidroksil (•OH), yang bertujuan untuk mengoksidasi ataupun mendegradasi pengotor organik.

Pengolahan air limbah secara fotokatalitik memiliki beberapa keunggulan yaitu, sederhana, ramah lingkungan, kemampuan untuk beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan, dan biaya rendah. Pembangunan reaktor fotokatalis TiO_2 tipe plug flow untuk mengolah air merupakan salah satu solusi efisien dan efektif. Tanki tipe ini dapat dibangun dimanapun, dengan biaya yang murah. Pada kesempatan kali ini penulis melakukan pengkajian Tugas Akhir tentang reaktor tipe tanki sederhana, dengan judul Rancang Bangun Reaktor Fotokatalis Tipe *Plug Flow* dengan Instalasi O_2 *Catcher* Sebagai Fotodegradator Metilen biru.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimanakah proses rancang bangun pengembangan reaktor fotokatalisis tipe *Plug Flow* dengan Instalasi O_2 *Catcher* sebagai fotodegradator metilen biru secara *realtime*?
2. Bagaimanakah mengukur tingkat degradasi limbah industri metilen biru dengan sensor *photodiode* dalam reaktor fotokatalis?
3. Bagaimana pengaruh penataan Substrat tipe spiral terhadap penataan tipe mendatar terhadap efektifitas reaksi fotokatalisis?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Material TiO_2 berukuran nanopartikel dan berfasa 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 merah dalam reaktor fotokatalisis serta dilakukan uji absorbansi menggunakan spektrofotometer.
7. Debit pompa fluida pada reaktor adalah sebesar 4,4 ml/s.
8. Substrat TiO_2 disusun dengan cara spiral beberapa lapis.

1.4 Tujuan

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

1. Rancang bangun reaktor fotokatalisis tipe *plug Flow* dengan Instalasi O_2 *Catcher* sebagai media fotodegradasi metilen biru dengan susunan Substrat Spiral.

2. Mengukur tingkat degradasi dan laju tingkat degradasi limbah industri metilen biru yang diperoses oleh reaktor fotodegradasi.
3. Membandingkan pengaruh substrat tipe spiral dengan substrat tipe mendatar dalam efektivitas reaksi fotokatalisis.

1.5 Manfaat

Penelitian ini memberikan banyak manfaat bagi beberapa pihak, yakni

1. Memberikan inovasi dalam penelitian 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* dengan instalasi O_2 *Catcher* 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 penelitian ini, seperti materi tentang metilen biru, fotokatalis, titanium dioksida dan arduino.

BAB III METODOLOGI

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

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 analisisa data serta saran-saran untuk mendukung penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

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

LAMPIRAN

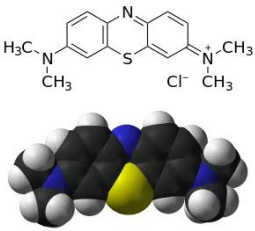
Berisi data-data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa Gambar yang menunjang penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metilen biru

Metilen biru ditemukan pada tahun 1876 dan diproduksi dengan suatu proses, diperkenalkan sekitar tahun 1886, menggunakan dimetilanilin sebagai bahan awal utama. Metilen biru,organik biru kehijauan cerah pewarna milik fenotiazin keluarga. Ini terutama digunakan pada kulit pohon (serat nabati lembut seperti rami, rami, dan rami) dan pada tingkat yang lebih rendah pada kertas, kulit, dan kapas mordan. Ini mewarnai sutra dan wol tetapi memiliki ketahanan ringan yang sangat buruk pada serat ini. Struktur Kimia Metilen Biru diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur dan rumus kimia Metilen Biru

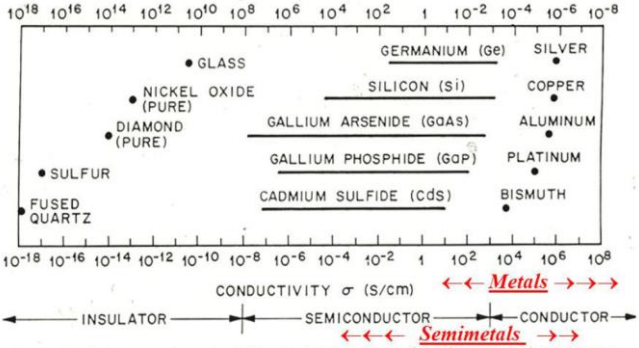
Dari Gambar 2.1 dapat ditunjukkan bahwa Struktur Kimia Metilen Biru ialah $C_{16}H_{18}N_3SCl$. Memiliki satu atom Sulfida di tengah 2 cincin Benzena. Ion Mertilen Biru yang terpecah menjadi atom ion Cl^- bermuatan negatif dan ion molekul $C_{16}H_{18}N_3S^+$ yang bermuatan positif. Kemudian Metilen biru ini memiliki berat molekul 319.9 gr/mol (*pubchem.ncbi.nlm.nih.gov*).

Pada suhu kamar, itu muncul sebagai bubuk hijau tua padat, tidak berbau, yang menghasilkan larutan biru bila dilarutkan dalam air. Ini memiliki banyak kegunaan di sejumlah bidang yang berbeda. Misalnya, ahli kimia menggunakannya untuk mendeteksi agen pengoksidasi dan ahli biologi menggunakannya untuk mewarnai

sampel jaringan dan mendeteksi asam nukleat. Dalam pengobatan, digunakan sebagai pengobatan untuk berbagai penyakit dan gangguan, termasuk methemoglobinemia, skizofrenia, ginjal batu, dan infeksi herpes. Dalam budidaya, digunakan untuk mencegah air tawar ikan telur terinfeksi oleh bakteri dan jamur. Namun dengan kadar dosis yang sudah ditentukan.

2.2 Semikonduktor

Semikonduktor disebut semi atau setengah konduktor, karena bahan ini memang bukan konduktor murni. Bahan ini sifatnya berada diantara insulator (isolator) dan konduktor. Bahan-bahan logam seperti tembaga, besi, timah, disebut sebagai konduktor yang baik sebab logam memiliki susunan atom yang sedemikian rupa sehingga elektronnya dapat bergerak bebas. Detail resistivitas atau konduktuvitas Semikonduktor digambarkan oleh Gambar 2.2 berikut.

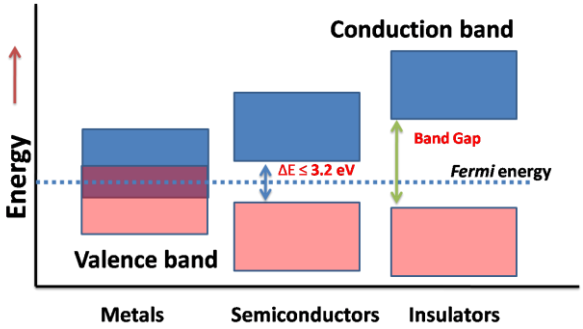


Gambar 2. 2 Resisstivitas dan konduktivitas material semikonduktor

Bisa kita lihat sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.2 Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara insulator (isolator) dan konduktor. Konduktivitas semikonduktor berkisar antara 10^3 sampai 10^{-8}

siemens per sentimeter. Sebuah semikonduktor bersifat sebagai insulator (isolator) pada temperature yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor.

Bahan semikonduktor adalah bahan yang bersifat setengah konduktor karena celah energi yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih kecil dari celah energi bahan isolator tetapi lebih besar dari celah energi bahan konduktor, sehingga memungkinkan elektron berpindah dari satu atom penyusun ke atom penyusun lain dengan perlakuan tertentu terhadap bahan tersebut (pemberian tegangan, perubahan suhu dan sebagainya). Oleh karena itu semikonduktor bisa bersifat setengah menghantar. Detail tingkat celah energi konduktor, semikonduktor dan isolator diilustrasikan pada Gambar 2.3 dibawah ini.

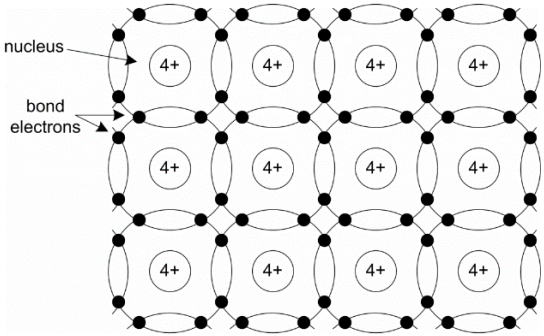


Gambar 2. 3 Pita energi Semikonduktor

Gambar 2.3 tersebut menunjukkan dengan jelas bahwa pita energi semikonduktor diantara isolator dan konduktor. Pada gambar tersebut, daerah berwarna ungu merupakan pitaa valensi dan pita konduksi pada konduktor yang tumpang tindih. Sementara pada semikonduktor pita energinya tak lebih dari 3.2 eV.

Berdasarkan murni atau tidak murninya bahan, semikonduktor dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik merupakan

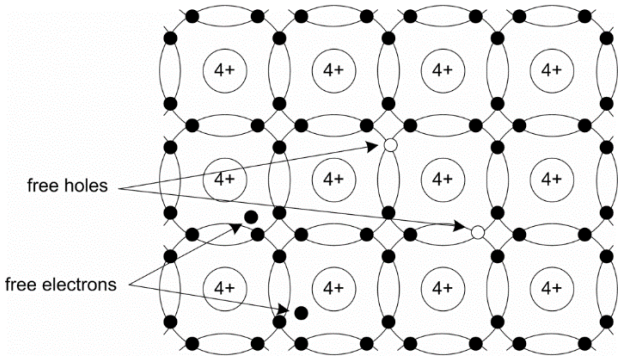
semikonduktor yang terdiri atas satu unsur saja, misalnya Si saja atau Ge saja. Struktur kristal silikon dan germanium berbentuk tetrahedral dengan setiap atom memakai bersama sebuah elektron valensi dengan atom-atom tetangganya. Perhatikan Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2. 4 Skema 2 Dimensi semikonduktor Intrinsik

Gambar 2.4 merupakan skema 2 dimensi pada struktur kristal silikon dan germanium. Menurut teori pita energi, pada T = 0 K pita valensi semikonduktor terisi penuh elektron, sedangkan pita konduksi kosong. Sehingga pada suhu rendah silikon dan germanium murni bersifat seperti isolator. Namun, pada suhu ruangan elektron dapat lepas dari ikatan – ikatan kovalen tersebut, sehingga semikonduktor bersifat sebagai konduktor.

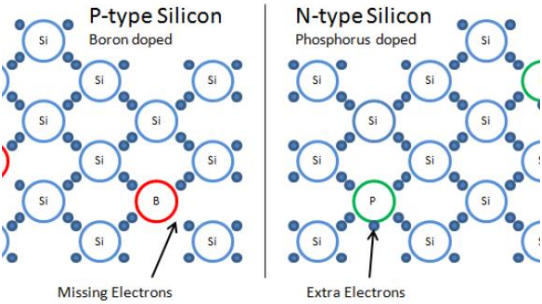
Jika sebuah ikatan kovalen terputus, maka akan terjadi kekosongan atau lubang (*hole*). Pada daerah dimana terjadi kekosongan akan terdapat kelebihan muatan positif, dan daerah yang ditempati elektron bebas mempunyai kelebihan muatan negatif. Sehingga terbentuk pasangan electron – *hole* seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 2.5:



Gambar 2. 5 Elektron bebas dan *hole* pada semikonduktor intrinsik

Kedua pasangan elektron *hole* sebagaimana pada Gambar 2.5 inilah yang memberikan kontribusi adanya aliran listrik pada semikonduktor murni. Jika ada beda potensial, maka elektron valensi akan bergerak mengalir dalam semikonduktor, dari atom yang satu ke atom yang lain. Kemudian *hole* pun juga bergeser, yakni bila elektron valensi dari ikatan kovalen yang lain mengisi suatu *hole*, maka akan terjadi *hole* baru di tempat yang lain dan seolah-olah sebuah *hole* dengan muatan positif bergerak dalam semikonduktor.

Sementaraa itu, semikonduktor tipe ekstrinsik Terbentuk dari semikonduktor murni yang dikotori oleh atom dopping sebagai penghasil elektron konduksi atau hole. Terdiri atas dua tipe: Tipe – N (Silikon + Phospor atau Arsenic) dan Tipe – P (Silikon + Boron, Galium atau Indium). Semikonduktor ekstrinsik terbentuk melalui mekanisme doping, yang dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen sehingga diharapkan dapat menghantarkan listrik. Ilustrasi mekanisme doping bisa kita lihat pada Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2. 6 Semikonduktor tipe P dan Semikonduktor tipe N

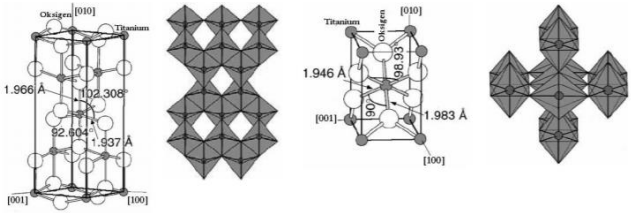
Sebagaimana kita lihat pada Gambar 2.6 diatas, mekanisme ini memberikan atom pengotor ke bahan semikonduktor murni sehingga apabila atom pengotor memiliki kelebihan elektron dengan valensi 5 (tipe N) akan terdapat elektron bebas yang dapat berpindah. Apabila semikonduktor murni diberikan pengotor dengan valensi kurang yaitu 3 elektron (tipe P) maka akan terbentuk area kosong (*hole*) yang menjadi pembawa muatan. Pembawa muatan nantinya akan didominasi oleh elektron saja atau *hole* saja.

2.3 Titanium dioksida

Titanium dioksida (TiO_2) juga bisa disebut Titania atau Titanium (IV) oksida merupakan bentuk oksida dari titanium secara kimia dapat dituliskan TiO_2. Senyawa ini dimanfaatkan secara luas dalam bidang anatas sebagai pigmen, bakterisida, pasta gigi, fotokatalis dan elektroda dalam sel surya. Titanium dioksida (TiO_2) dapat dihasilkan dari reaksi antara senyawa titanium tetraklorida ($TiCl_4$) dan O_2 yang dilewatkan melalui lorong silika pada suhu 700° C. Senyawa TiO_2 bersifat amfoter, terlarut secara lambat dalam $H_2SO_{4(aq)}$ pekat, membentuk kristal sulfat dan menghasilkan produk titanat dengan alkali cair. Sifat senyawa TiO_2

adalah tidak tembus cahaya, mempunyai warna putih, lembam, tidak beracun, dan harganya relatif murah. Titanium dioksida dapat dihasilkan dari proses sulfat ataupun klorin.

Titanium dioksida (TiO_2) memiliki tiga fase struktur kristal, yaitu anatas, rutil, brookit. Akan tetapi hanya anatas dan rutil saja yang keberadaanya di alam cukup stabil. Rutil mempunyai struktur kristal yang nampak mirip dengan anatase, sebagaimana dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Struktur 3 Dimensi Rutil dan Anatase

Kita kaji lebih lanjut pada Gambar 2.7, kita temukan bahwa struktur rutil dan anatas dapat digambarkan sebagai rantai oktahedral TO6 kedua struktur kristal dibedakan oleh distorsi oktahedral dan pola susunan rantai oktahedralnya. Anatas diketahui sebagai kristal titania yang lebih fotoaktif daripada rutil. Hal ini disebabkan harga Eg TiO_2 jenis anatas yang lebih tinggi yaitu sebesar 3,2 eV sedangkan rutil sebesar 3,0 eV. Harga Eg yang lebih tinggi akan menghasilkan luas permukaan aktif yang lebih besar sehingga menghasilkan fotoaktivitas yang lebih efektif. Bentuk titanium dioksida yang stabil adalah rutil, dimana bentuk lain titanium dioksida berubah pada suhu tinggi. Kemampuan fotoaktivitas semikonduktor TiO_2 dipengaruhi oleh morfologi, luas permukaan, kristanilitas dan ukuran partikel.

2.4 Fotokatalisis TiO_2

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).

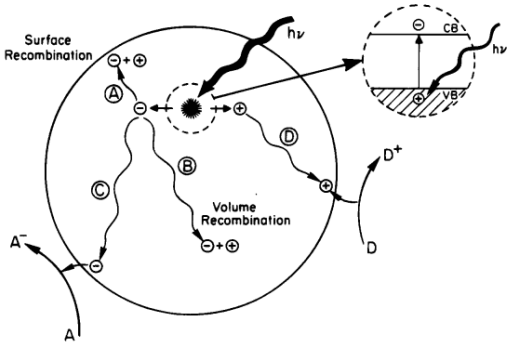
Perawatan limbah cair berwarna yang diproduksi oleh industri tekstil baru-baru ini banyak diteliti. Titanium dioksida (TiO_2) adalah semikonduktor tipe-n yang digunakan sebagai fotokatalis untuk menguraikan polutan dalam air dan udara serta menghasilkan bahan pembersih sendiri. Dalam beberapa tahun terakhir, TiO_2 telah banyak diselidiki dan digunakan karena tidak beracun, inert secara kimiawi, aktivitas fotokatalitik yang tinggi, dan biaya rendah. TiO_2 memiliki efek degradasi yang signifikan sebagai fotokatalis polutan organik dan anorganik yang baik di udara dan air, yang memiliki prospek aplikasi yang luas.

Aktivitas fotokatalitik TiO_2 dipengaruhi oleh struktur kristalnya, ukuran partikel, luas permukaan spesifik, dan porositas. Serbuk mini TiO_2 menunjukkan aktivitas katalitik yang baik. Namun, aglomerasi sering terjadi, menghasilkan pengurangan atau bahkan hilangnya aktivitas fotokatalitik sepenuhnya. Dispersi partikel TiO_2 pada bahan berpori adalah solusi potensial untuk masalah ini. TiO_2 yang disusupkan dengan Bahan berpori menunjukkan stabilitas termal yang tinggi dan ukuran pori yang lebih besar sehingga menghasilkan penggabungan spesimen yang

lebih baik tanpa masalah difusi dan peningkatan luas permukaan spesifik.

Ketika foton dengan energi menyamai atau lebih dari celah pita TiO_2 diserap pada permukaannyamenyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi (v_b) ke pita konduksi (c_b), membentuk 'lubang positif' di pita valensi dan lubang pita valensi bisa bermigrasi ke permukaan dan berpartisipasi dalam antar muka reaksi reduksi oksidasi. Oksidasi degradasi polutan organik dikaitkan dengan langsung reaksi pada lubang positif tempat air teradsorpsi atau gugus hidroksil dioksidasi menjadi radikal hidroksil yang kemudian bereaksi dengan molekul polutan.

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 efesiensi fotoreduksi CO_2 tinggi (Slamet, 2007). Fase anatas muncul pada rentang suhu 400° – 650° C ketika pemanasan dekomposisi senyawa titanium (Linsebigler et al,. 1995). Mekanisme fotokatalisis secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Fotoeksitasi elektron pada semikonduktor

Pada Gambar 2.8 diketahui bahwa suatu induksi oleh sinar pada katalis akan menimbulkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita induksi (persamaan (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 (O^{2-}) (persamaan (2.4)), sementara *hole* akan menginisiasi reaksi oksidasi dengan molekul air (H_2O) membentuk radikal hidroksil (OH) dan H_2O^+) (persamaan (2.6)).

$$\text{Fotokatalis } (TiO_2) + h\nu \rightarrow h^+ + e^- \quad (2.1)$$

$$h^+ + H_2O \rightarrow OH + H^+ \quad (2.2)$$

$$h^+ + OH^- \rightarrow OH \quad (2.3)$$

$$e^- + O_2 \rightarrow O_2^- \quad (2.4)$$

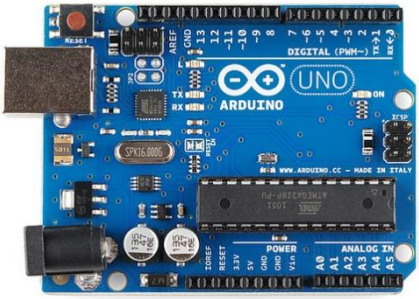
$$O_2^- + H^+ \rightarrow OOH \quad (2.5)$$

Polutan + (OH, h^+, OOH atau O_2^-) → Produk degradasi (2.6)

Radikal-radikal tersebut mampu mendegradasi senyawa organik menjadi molekul-molekul kecil seperti CO_2, H_2O dan asam mineral.

2.5 Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO 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*. 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. 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).



Gambar 2.9 Arduino UNO
(Sumber Gambar: https://arduino.stackexchange.com)

Gambar 2.9 merupakan contoh foto mikrokontroller Arduino UNO yang memiliki beberapa pin dengan fungsi-fungsi special sebagai berikut:

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 dikonfigurasikan 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 rangenya 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:

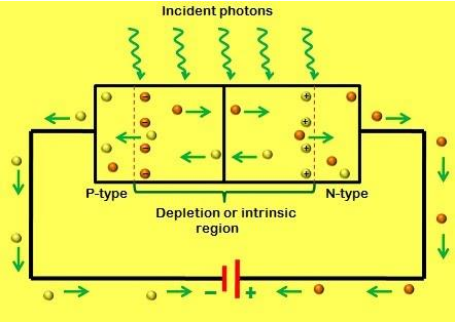
f. AREF. Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan *analogReference*().
g. Reset. Membawa saluran ini LOW untuk mereset mikrokontroler. Secara khusus, digunakan untuk menambahkan sebuah tombol reset untuk melindungi yang memblock sesuatu pada board. (Tokhiem, 2008)

2.6 Sensor Fotodioda

Fotodioda merupakan suatu bentuk sensor ringan yang dapat mengubah energi cahaya menjadi tegangan atau arus listrik. Fotodioda juga merupakan jenis piranti semikonduktor dengan sambungan PN. Antara lapisan p (positif) dan n (negatif), terdapat lapisan intrinsik. Fotodioda beroperasi dalam kondisi bias mundur, yaitu sisi-p dari fotodioda terhubung dengan terminal negatif baterai (atau catu daya) dan sisi-n ke terminal positif baterai. Bahan semikonduktor yang biasa digunakan untuk fotodioda adalah Silikon, Germanium, Indium Gallium Arsenid Phosphid dan Indium-gallium arsenid.

Secara internal, fotodioda memiliki filter optik, lensa yang terpasang tetap dan memerlukan area permukaan. Ketika luas permukaan fotodioda meningkat waktu respon Fotodioda juga semakin melambat. Beberapa fotodioda bentuknya terlihat seperti *LED (Light Emitting Diode)*. ia memiliki dua terminal seperti yang ditunjukkan di bawah ini. Terminal yang lebih kecil bertindak sebagai katoda dan terminal yang lebih panjang bertindak sebagai anoda.

Umumnya, ketika cahaya menerangi persimpangan PN, ikatan kovalen terionisasi. Ini menghasilkan pasangan *hole* dan elektron. Arus akibat cahaya diproduksi karena terbentuknya pasangan *hole* elektron. Pasangan *hole* elektron terbentuk ketika foton energi lebih dari 1,1eV mengenai dioda. Ketika foton memasuki daerah deplesi dioda, foton mengenai atom dengan energi tinggi. Ini menghasilkan pelepasan elektron dari struktur atom. Setelah pelepasan elektron, elektron bebas dan *hole* diproduksi. Hal ini diilustrasikan pada Gambar 2.10.

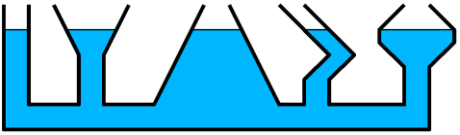


Gambar 2. 10 Proses Fisis didalam Fotodioda

Selanjutnya seperti pada Gambar 2.10 diatas Elektron yang bermuatan negatif dan *hole* yang bermuatan positif akan bergerak mengumpul, hal ini akan menghasilkan daerah deplesi karena medan listrik. Kemudian pasangan lubang elektron bergerak menjauh dari sambungan PN. Karenanya, lubang bergerak ke anoda dan elektron berpindah ke katoda untuk menghasilkan arus akibat cahaya (*photocurrents*).

2.7 Bejana Berhubungan

Bejana Berhubungan adalah sistem wadah yang diisi dengan cairan homogen, terhubung pada pangkal dan mengalami tekanan atmosfer yang sama. Ketika cairan diam, ia akan menyeimbangkan ke tingkat yang sama di semua bejana terlepas dari bentuk dan volumenya. Jika cairan tambahan ditambahkan ke satu kapal, tinggi cairan baru yang sama akan terjadi di semua bejana yang terhubung. Proses ini adalah bagian dari Hukum Stevin dan terjadi karena gravitasi dan tekanan konstan di setiap kapal (tekanan hidrostatik). Blaise Pascal, dengan hukum Pascal, membuktikan pada abad ketujuh belas bahwa tekanan yang diberikan pada molekul cairan ditransmisikan secara penuh dan dengan intensitas yang sama di semua arah. Ilustrasi bejana berhubungan ditunjukkan oleh Gambar 2.11.

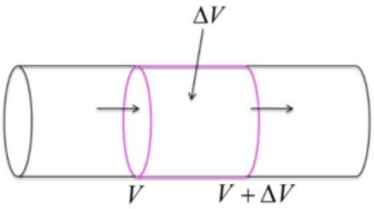


Gambar 2.11 Bejana Berhubungan

seperti pada Gambar 2.11 diatas tingkat cairan akhir fluida selalu sama. Hal ini karena, setiap kali ada fluida ditambahkan pada bejana berhubungan maka yang terjadi adalah penyeimbangan tinggi fluida, sehingga Hal ini tidak memandang bentuk dari bejana berhubungan itu sendiri. Karena tekanan atmosfir yang dialami fluida menuntut Fluida tersebut agar seimbang.

2.8 *Plug flow Reaktor*

Model reaktor *plug flow* (PFR, kadang-kadang disebut reaktor tubular kontinu) adalah model yang digunakan untuk mengGambarkan reaksi kimia dalam sistem aliran geometri silinder yang kontinu. Model PFR digunakan untuk memprediksi perilaku reaktor kimia dengan desain tersebut, sehingga variabel kunci reaktor, seperti dimensi reaktor, dapat diestimasi. Ilustrasi model plug flow dapat diilustrasikan pada Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Model Plug Flow

Seperti pada Gambar 2.12 diatas Fluida yang melalui PFR selalu dimodelkan sebagai mengalir melalui reaktor sebagai serangkaian "*plug*" koheren tipis tak terhingga, masing-masing dengan komposisi seragam, berjalan dalam arah aksial reaktor, dengan

masing-masing *plug* memiliki komposisi berbeda dari yang sebelumnya dan setelahnya. Asumsi kuncinya adalah bahwa ketika *plug* mengalir melalui PFR, fluida tercampur sempurna dalam arah radial tetapi tidak dalam arah aksial (maju atau mundur). Setiap *plug* dengan volume diferensial dianggap sebagai entitas terpisah, secara efektif merupakan reaktor tangki berpengaduk (*continuous stirred reactor*) kontinu yang sangat kecil, membatasi hingga volume nol. Saat mengalir ke PFR tubular, waktu tinggal steker adalah fungsi dari posisinya dalam reaktor.

2.9 *Hukum Lambert-Beer*

Hukum ini pertama kali dikembangkan oleh Pierre Bouguer sebelum tahun 1729. Kemudian dikaitkan dengan Johann Heinrich Lambert yang mengutip temuan Bouguer. Hukum memasukkan panjang jalur sebagai variabel yang mempengaruhi absorbansi. Belakangan, Beer diperpanjang pada 1852 hukum untuk memasukkan konsentrasi larutan, sehingga memberi nama hukum itu Hukum Beer-Lambert. Hukum Beer-Lambert menyatakan bahwa jumlah cahaya yang diserap oleh zat yang terlarut dalam pelarut yang mentransmisikan sepenuhnya berbanding lurus dengan konsentrasi zat dan panjang jalur cahaya yang melalui larutan.

Karena hukum Beer menyatakan hal ini, berarti kita dapat menghitung konsentrasi larutan dengan menggunakan absorbansi, atau memplot grafik berbagai konsentrasi, menyelaraskannya dengan absorbansi yang benar, dan menggunakan colorimeter untuk mencari konsentrasi larutan yang tidak diketahui

Hukum tersebut menyatakan bahwa:

$$A(\lambda) = e(\lambda)\, l\, c \ldots\ldots \qquad (2.7)$$

Konstanta proporsionalitas e (λ) disebut daya serap zat pada panjang gelombang λ. e (λ) disebut absorptivitas molar jika konsentrasinya diukur dalam mol / liter.

Absorbansi berbanding terbalik dengan transmisi larutan

Spektrofotometer adalah alat yang mengukur intensitas, energi yang dibawa oleh radiasi per satuan luas per satuan waktu, dari cahaya yang memasuki larutan sampel dan cahaya yang keluar dari a larutan sampel. Dua intensitas dapat dinyatakan sebagai transmitansi: rasio intensitas cahaya yang keluar ke cahaya yang masuk atau persen transmisi (% T). Zat yang berbeda menyerap panjang gelombang cahaya yang berbeda. Oleh karena itu, panjang gelombang serapan maksimum suatu zat merupakan salah satu sifat karakteristik bahan tersebut. Zat yang benar-benar transparan akan memiliki $I_t = I_0$ dan persen transmitannya akan menjadi 100. Demikian pula, zat yang tidak memungkinkan radiasi dengan panjang gelombang tertentu untuk melewatinya akan memiliki It = 0, dan persen transmitansi yang sesuai 0.

Transmitansi

$$T = I_t / I_0 \quad (2.8)$$

$$\% \text{ Transmisi}: \% T = 100\ T \quad (2.9)$$

Absorbansi

$$A = \log10\ (I_0 / I_t) \quad (2.10)$$

$$A = \log10\ (1 / T) = -\log10\ (T) \quad (2.11)$$

$$A = \log10\ (100 / \% T) \quad (2.12)$$

$$A = 2 - \log10\ (\% T) \quad (2.13)$$

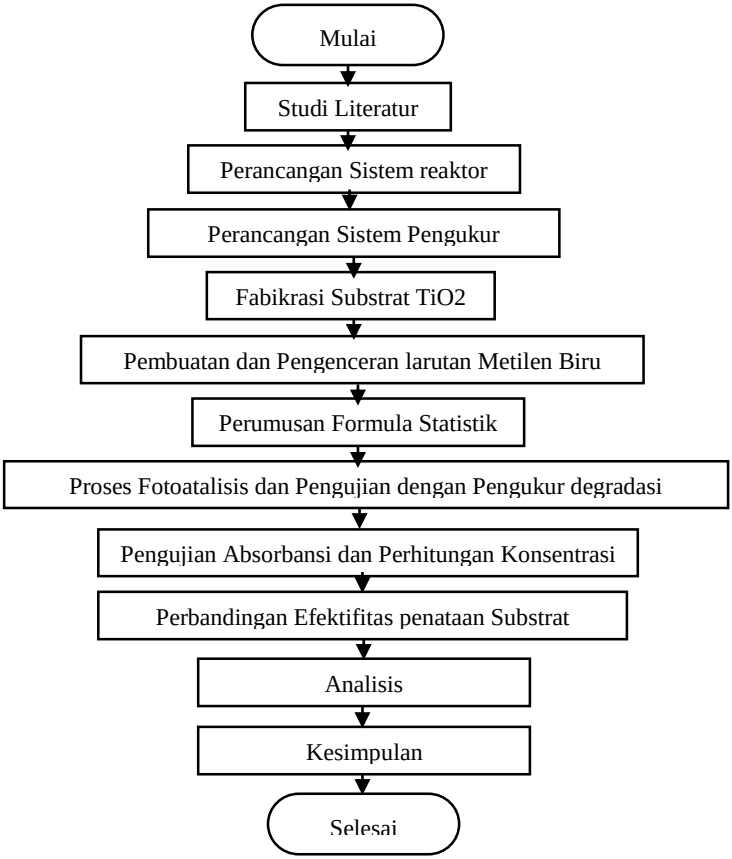
Hukum Beer-Lambert mempertahankan linieritas dalam kondisi tertentu saja. Hukum akan membuat pengukuran yang tidak akurat pada konsentrasi tinggi karena molekul analit menunjukkan interaksi antarmolekul dan elektrostatis yang lebih kuat yang disebabkan oleh jumlah ruang antar molekul yang lebih sedikit. Ini dapat mengubah absorptivitas molar analit. Konsentrasi tinggi tidak hanya mengubah absorptivitas molar, tetapi juga mengubah

indeks bias larutan yang menyebabkan penyimpangan dari hukum Beer-Lambert.

BAB III
METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Studi ini dilakukan dalam beberapa tahapan, . Gambar 3.1 merupakan diagram alir yang menggambarkan proses tahapan - tahapan penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan studi yang dijabarkan oleh Gambar 3.1 dimulai dari perancangan reaktor, perancangan sistem pengukur realtime, fabrikasi substrat, pembuatan larutan metilen biru, hingga tahap pengukuran.

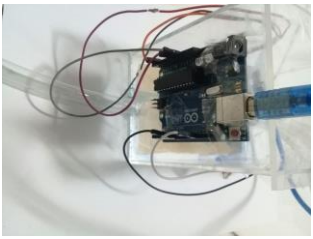
3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini kelompok alat dan bahan yang dipergunakan ada empat bagian yaitu kelompok alat ukur fotodegradasi, kelompok alat dan bahan fabrikasi substrat, kelompok alat dan bahan limbah cair metilen biru, *serta* kelompok alat dan bahan reaktor tipe *plug flow*.

3.2.1 Alat Ukur Fotodegradasi

Pada penelitian ini kami mengggunakan dua alat ukur fotodegradasi, pertama ialah sensor realtime, yang kedua ialah Spektrofotometer. Nantinya, akurasi output dari sensor Realtime akan dibandingkan dengan output dari UV – Vis . Alat-alat tersebut seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2.

(a)



(b)

Gambar 3.2 Alat Ukur Fotodegradasi (a) UV-vis, (b) Modul Sensor Fotodioda

Spektrofotometer UV-VIS yang ada pada Gambar 3.2 digunakan untuk mengukur tingkat degradasi limbah cair tekstil dalam bentuk absorbansi. Data yang didapatkan dari pengamatan UV VIS berupa nilai absorbansi pada range spektrum cahaya tampak.

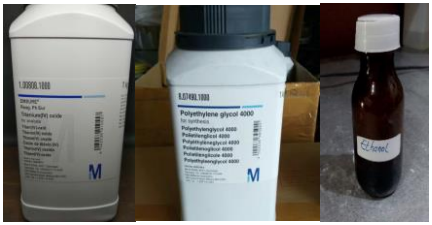
Modul Sensor fotodioda digunakan sebagai alat ukur fotodegradasi secara *realtime*, dimana dimungkinkan pengukuran

degradasi konsentrasi olehnya secara *realtime*.Cara kerja sensor ini, yaitu dengan mendeteksi penurunan intensitas cahaya yang masuk dari LED merah yang digunakan. Dimana saat konsentrasi cairan metilen biru berubah, intensitas cahaya yang melewatinya juga mengalami perubahan.

Modul Sensor ini terdiri dari susunan rangkaian arduino, fotodioda, LED merah, dan resistor. Arduino telah diprogram untuk mengubah data analog dari sensor ke data digital pada layar komputer. *Photodiode* dalam penelitian ini digunakan sebagai sensor cahaya. LED merah digunakan sebagai sumber cahaya yang nantinya diterima oleh *photodiode*. Resistor atau hambatan digunakan sebagai pengatur tegangan ketika dihubungkan pada *photodiode* dan sebagai pengaman pada led. Resistor 10kΩ sebagai pengatur arus photodioda dan 350Ω sebagai pengatur arus red LED.

3.2.2 Bahan Fabrikasi Substrat

Substrat yang tercakup didalamnya katalisator dalam penelitian ini dibuat dengan alat dan bahan seperti yang ditunjukan oleh Gambar 3.3.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

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

Detail alat dan bahan yang ada pada gambar 3.3 serta penggunaanya ialah sebagai berikut, Serbuk TiO_2 (Merck) digunakan sebagai bahan katalis pada proses fotokatalisis dalam pendegradasian Metilen Biru. Poly-Ethylene Glycol 4000 (Merck KGaA) digunakan sebagai template serbuk TiO_2, dimana nantinya TiO_2 akan teradsropsi didalamnya. Etanol digunakan sebagai pelarut Poly-Ethylene Glycol 4000. Resin digunakan sebagai bahan perekat campuran agar dapat terlapiskan dengan pada media kain kasa nilon. Hardener digunakan sebgai pengencer sekaligus pengeras lapisan. Serta kain kasa nilon sebagai media pelapisan campuran, yang kemudian disebut sebagai substrat.

3.2.3 Bahan Pembuatan Larutan Metilen biru

Pada penelitian cairan yang digunakan sebagai bahan uji fotodegradasi ialah Metilen biru yang sudah dieencerkan. Peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam pengenceran ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.

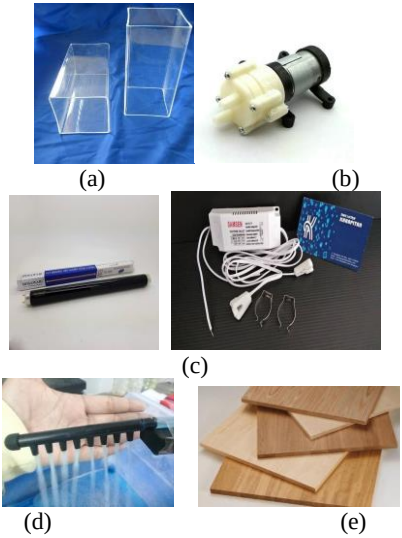
(a) (b)

Gambar 3. 4 Bahan Pembuatan Limbah Cair Metilen biru : (a) Metilen biru , (b) Aquades

Metilen biru dalam bentuk serbuk pada gambar 3.4 tersebut digunakan sebagai zat warna. Air murni atau akuades digunakan sebagai pelarut dan pengencer serbuk Metilen biru.

3.2.4 Bahan Rancang Bangun Reaktor Tipe *Plug Flow*

Pada studi ini reaktor tipe *plug flow* dibuat sebagai tempat terjadinya proses fotokatalisis pada cairan metilen biru, dengan alat dan bahan seperti pada Gambar 3.5.



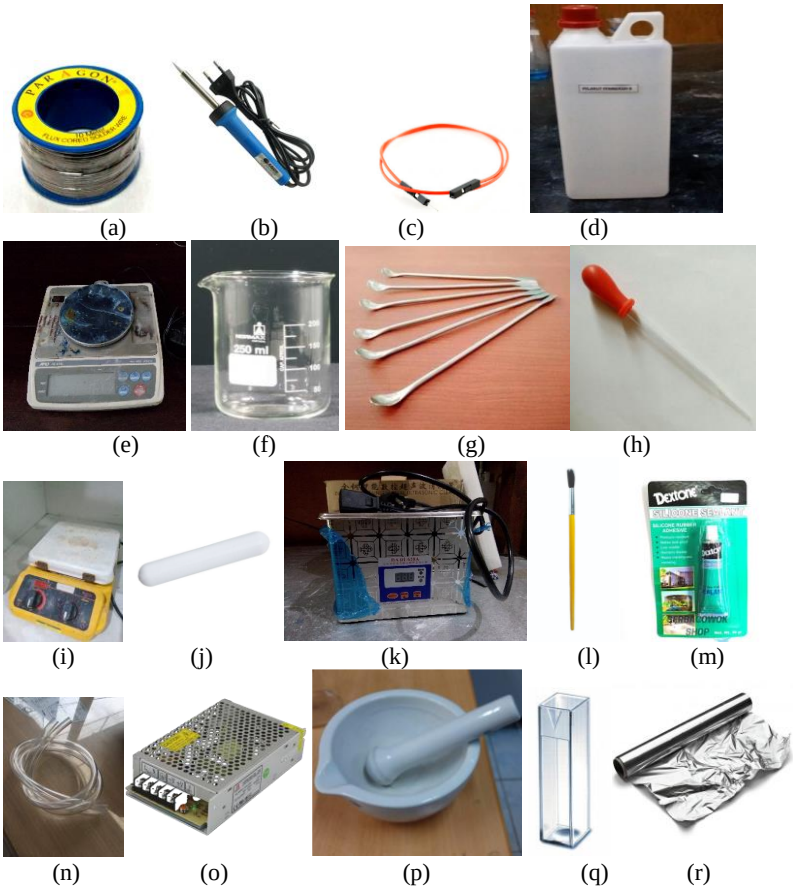
Gambar 3. 5 Peralatan dan Bahan Pembuatan Reaktor Tipe *plug flow* : (a) tangki akrilik, (b) pompa DC 12V, (c) lampu TL UV 10Watt dan trafo, (d) pipa O_2 catcher, (e) kayu dan papan

Detail penggunaan alat dan bahan pada gambar 3.5 ialah sebagai berikut, tangki akrilik digunakan untuk menampung cairan metilen biru. Pompa DC digunakan untuk mengalirkan cairan fluida. Lampu TL UV digunakan sebagai sumber cahaya ultraviolet pada proses katalis dan dilengkapi dengan trafo sebagai pengaman. Pipa O_2 *catcher* digunakan sebagai penyebar aliran yang jatuh agar permukaan tetesan lebih luas sehingga O_2 yang terdifusi kedalam

zat cair lebih banyak. Kayu dan papan sebagai media berdirinya reaktor dan penyangga O_2 *catcher*.

3.2.5 Peralatan Pendukung

Substrat atau katalisator dalam penelitian ini dibuat dengan alat dan bahan seperti yang ditunjukan oleh Gambar 3.6



Gambar 3. 6 Peralatan Pendukung : (a)timah, (b)soldel, (c)jumper, (d)alcohol 96%, (e)neraca digital, (f)gelas beaker, (g) spatula, (h) pipet tetes, (i) *Magnetic*

stirrer, (j) *Stirrer bar,* (k) *Ultrasonic cleaner*, (l) kuas, *(m) sealant*, (n)selang, (o) power supply, (p) mortar, (q) *cuvet,* (r) Aluminium *foil*

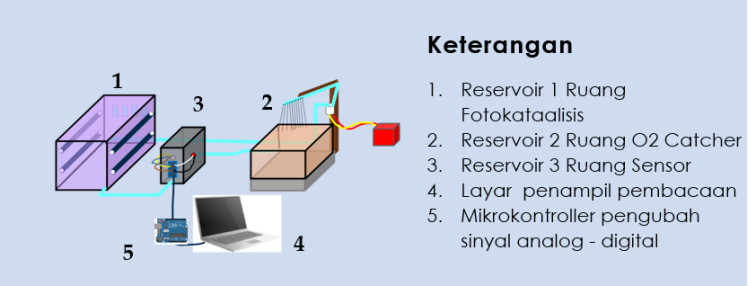
Detail penggunaan alat dan bahan pada gambar 3.6 ialah sebagai berikut, timah digunakan sebagai perekat antar komponen dengan jumper dengan bantuan solder. Kabel *Jumper* digunakan sebagai penghubung antar komponen. Alkohol 96%digunakan sebagai larutan pembersih peralatan. Neraca digital digunakan dalam pengukuran massa bahan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Gelas Beaker digunakan sebagai wadah masing-masing bahan yang masih berupa serbuk maupun cair untuk kemudian dicampurkan. *Spatula* digunakan sebagai pengaduk campuran. Pipet tetes digunakan dalam pengambilan cairan etanol maupun alkohol. *Magnetic stirrer* digunakan dalam proses homogenisasi campuran. *Stirrer bar digunakan* sebagai pengaduk dalam gelas beaker yang telah diletakkan di atas *Magnetic stirrer. Ultrasonic cleaner* digunakan pada kain kasa nilon agar bersih dari kotoran atau debu sebelum pelapisan. Kuas digunakan sebagai alat bantu dalam pelapisan campuran pada media kain kasa nilon. spatula sebagai pengaduk. *Sealant* digunakan sebagai penutup sela-sela tangki agar tak terjadi kebocoran. Selang digunakan sebagai penghubung antar tangki. M*ortar* digunakan untuk menumbuk serbuk sampel. Power supply sebagai sumber tegangan DC. Cuvet sebagai wadah sample untuk dilakukan uji spektrofotometer serta aluminium foil sebagai pelapis bagian dalan reservoir 1.

3.3 LANGKAH KERJA

Terdapat tujuh langkah kerja dalam penelitian ini, yaitu perancangan reaktor fotokatalisis, perancangan sistem sensor *realtime*, fabrikasi substrat, pembuatan cairan metilen biru, perumusan formula statistik, proses fotokatalisis atau perlakuan penyinaran dan pengujian dengan pengukur degradasi *realtime*, serta uji degradasi larutan metilen biru serta perbandingan hasil perhitungan.

3.3.1 Perancangan Reaktor Fotokatalisis

Proses sistem Reaksi fotokatalisis pendegradasian Metilen biru dilakukan dengan suatu panel reaktor tipe *plug flow* seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Reaktor Fotokatalisis

Detail denah dan ukuran – ukuran pada Gambar 3.7 ialah sebagai berikut, reaktor disusun dari tiga reservoir atau tangki utama yakni reservoir 1 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.

Reservoir-reservoir tersebut dihubungkan oleh selang berdiameter 0,6 mm, sedangkan antara reservoir 1 dan 2 terdapat pompa DC 12V. Dari dasar reaktor (papan), reservoir 1 berjarak 0 cm, reservoir 2 berjarak 6 cm, dan reservoir 3 berjarak 0 cm.

Pada ruang pertama yaitu ruang fotokatalisis, merupakan tempat terjadinya reaksi fotokatalisis. Pada ruang ini dikondisikan tertutup/terisolasi, untuk menghindari *noise* pada input data penelitian yang disebabkan oleh sinar matahari atau lampu. Selain sumber cahaya yang digunakan dalam proses fotokatalisisi ialah 4 buah lampu TL UV 10 watt, dan dinding bagian dalam ruang dilapisi dengan *aluminium foil*.

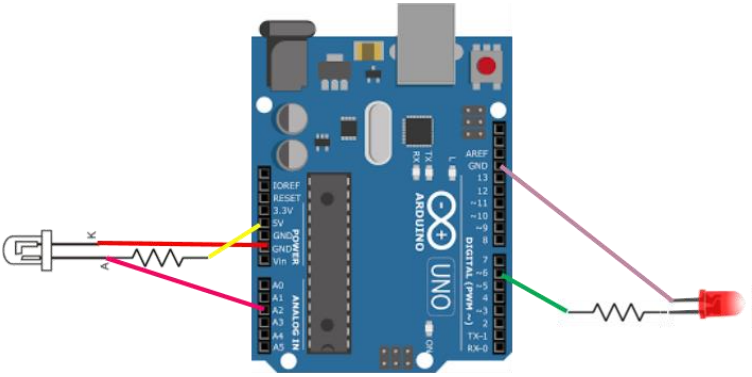
Pada ruang kedua yaitu ruang O_2 *catcher*, reservoir dikondisikan terbuka pada bagian atasnya. Pada bagian ini juga tersambung pipa yang tersambung pula dengan pompa DC 12 V dan pipa pembagi aliran.

Dan pada ruang ketiga yaitu ruang sensor, reservoir dikondisikan dalam keadaan kedap cahaya. Hal ini untuk menghindari *noise* dalam pengujian konsentrasi secara *realtime*. Hal ini dikarenakan cahaya dari lampu atau sinar matahari, akan sangat menggangu hasil pengujian *realtime* sensor.

3.3.2 Perancangan Sistem Sensor

Sistem sensor dirancang dan dirangkai pada mikrokontroler yang ditunjukkan oleh Gambar 3.8. Sistem sensor *realtime* yang digunakan ialah sesuai dengan prinsip kerja *photodiode*. Sensor *photodiode* sebagai r*eceiver* dan *transmittenya* berupa lampu LED merah.

Secara Fisis ketika cahaya dari lampu LED merah melewati larutan, ia akan berkurang intensitasnya sebanding dengan konsentrasi zat yang ada dalam larutan. Perubahan intensitas ini akan dideteksi oleh *photodiode*, sehingga tegangan keluaran *photodiode* akan berubah pula. Skema penyusunan lampu LED merah dan *photodiode* secara sederhana ditunjukkan pada gambar 3.8 berikut:



Gambar 3. 8 Sistem Sensor dan Mikrokontroller

Seperti yang terlihat pada gambar 3.8, sensor *photodiode* diletakkan pada reservoir ke 3, kaki kaki *photodiode* dan LED merah juga dihubungkan ke arduino untuk mendapatkan output tegangan secara langsung. Kaki positif LED kuning dihubungkan dengan resistor 330 ohm dan dipasang pada pin 6 arduino. Sedangkan kaki negatifnya dihubungkan pada gnd pin atau *ground*. Untuk fotodioda kaki positif dihubungkan pada resistor 10K ohm kemudian dipasang pada pin 5V. Selain itu, kaki positif fotodioda juga dihubungkan pada pin A2 sebagai pembacaan data analog, sedangkan kaki negatifnya dihubungkan pada pin GND atau *ground.*

3.3.3 Fabrikasi Substrat

Substrat dalam percobaan ini merupakan katalisator dalam proses penjernihan larutan metilen biru. Fabrikasi substrat dibuat dari pencampuran bahan-bahan yaitu TiO_2 , PEG 4000, dan resin. Pada tahap awal, 1 gram PEG 4000 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. Pada *magnetic stirrer* diatur suhu sebesar 0^oC dan kecepatan 10rps.

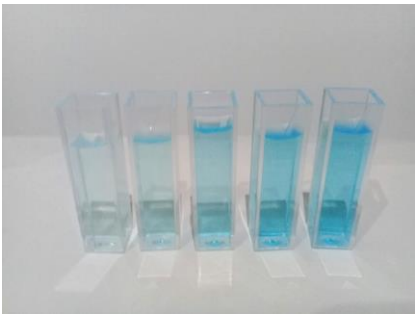
Setelah 60 menit, campuran diangkat dari *magnetic strirrer*. Disamping itu media kain kasa nilon dengan ukuran 6 cm x 15 cm telah disiapkan dengan cara disterilkan menggunakan Ultrasonic cleaner dan alkohol selama 3 menit dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan di dalam ruangan. Campuran yang telah siap, kemudian dilapiskan pada media kain kassa nilon dengan cara disapukan dengan kuas hingga merata. Campuran dapat dilapiskan pada dua lembar kain kasa nilon. Contoh susbtrat yang sudah dibuat ditunjukkan pada gambar 3.9.

Gambar 3. 9 Substrat

Gambar 3.9 merupakan Gambar substrat yang telah siap digunakan dalam reaksi fotokatalisis. Substrat telah dijemur didalam ruangan selama 12 jam agar kering dan campuran merekat sempurna pada media kain kasa nilon.

3.3.4 Pembuatan dan Karakterisasi Larutan Metilen biru

Pada penelitian ini digunakan limbah industri tekstil berupa metilen biru yang telah diencerkan. Pengenceran metilen biru dilakukan dengan melarutkan serbuk metilen biru sebagai sumber pewarna biru dalam aquades sebagai larutan pengencer. Pada Penelitian ini dibuat larutan metilen biru 1 ppm hingga 5 ppm seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Larutan Metilen biru 1ppm, 2ppm, 3ppm, 4ppm, dan 5ppm

Detail cara pembuatan larutan – larutan yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 ialah sebagai berikut, 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:

$$PPM = \frac{a\ mg}{b\ L} \tag{3.1}$$

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

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \tag{3.2}$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 \tag{3.3}$$

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

3.3.5 Perumusan Formula statistik

Perumusan Formula Statistik ini dilakukan pada dua alat ukur, yaitu modul sensor *photodiode* dan UV VIS. Tujuannya, ialah untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan konsentrasi pada *photodiode*, atau absorbansi dengan konsentrasi pada kasus UV VIS. Pada sensor *photodiode* hubungan ini dapat diterapkan pada software PLX DAQ untuk langsung mencari nilai degradasai secara realtime.

Detail pelaksanaanya yaitu dengan mencari hubungan linear melaui teknik regresi antara nilai absorbansi larutan metilen biru 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm dengan hasil pengukuran absorbansi spektrofotometer UV-Vis tiap ppm nya. Sementara pada pembacaan sensor *photodiode*, hubungan linear yang dicari ialah antara konsentrasi tiap ppm dengan nilai tegangan terukur tiap ppm nya. Rumus linear inilah yang digunakan untuk mencari

konsentrasi larutan secara realtime, sehingga tingkat degradasi dapat diukur.

3.3.6 Proses Fotokatalisis dan Pengujian dengan Pengukur degradasi *Realtime*

Reaksi fotokatalisis berlangsung pada ruang 1. Substrat diletakkan pada reservoir 1, seperti pada Gambar 3.11.

Gambar 3. 11 Substrat dalam larutan Metilen Biru

Pada ruang 1 (reservoir 1) yang ditunjukkan oleh gambar 3.11, larutan metilen biru 5ppm dimasukkan sebanyak 5 liter. Disisi kanan dan sisi kiri tangki diletakkan masing-masing dua lampu TL UV 10watt sebagai sumber cahaya dalam proses fotokatalisis. Bagian dalam dinding reservoir 1 dilapisi *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 O_2 *catcher* diatur agar tepat berada diatas tangki. Pada reservoir 3, sensor *photodiode* dipasang bersebrangan dengan LED warna merah dengan jarak 9 cm (sejauh lebar tangki 3) dan dihubungkan pada mikrokontroller dan diatur dengan *cooding* sehingga data akan terbaca pada monitor setiap 60 menit sekali.

Kemudian secara bersamaan lampu TL-UV dihubungkan pada trafo dan disambungkan pada sumber arus PLN serta pompa DC 12V dihubungkan pada *power supply* dengan tegangan 12V. Setiap 60 menit, dilakukan pengambilan *sample* dari reservoir 2 menggunakan pipet dan dimasukkan kedalam wadah penyimpanan.

Berikutnya, monitor akan membaca data keluaran dari modul sensor *photodiode* yang sudah diubah dalam bentuk digital oleh arduino. Kemudian data ini akan dipaparkan oleh software PLX DAQ pada microsoft Excel. Melalui formula hubungan antara konsentrasi dengan tegangan yang sudah kita ketahui dari tahap sebelumnya, data kosentrasi cairan metilen biru secara *realtime* juga kita dapatkan. Prosentase degradasi realtime juga kita dapatkan pada software PLX DAQ dengan menginput melalui pengurangan konsentrasi awal dengan konsentrasi terukur lalu dibagi dengan konsentrasi awal.

3.3.7 Pengujian Absorbansi dan penghitungan Konsentrasi

Setiap 60 menit, sampel larutan Metilen Biru diambil dari reservoir untuk kemudian diuji absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Pada uji spektrofotometer larutan metilen biru dimasukkan kedalan *cuvet* hingga batas leher cuvet. Pada ruang spektrofotometer terdapat empat slot sample uji sehingga dapat diisi dengan empat sample berurutan yaitu hasil 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam penyinaran. Selanjutnya, *software U*V-v*is* 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-20.

Kemudian kita mengambil nilai absorbansi pada titik puncak grafik spektrum Absorbansi spektrofotometer, hal ini untuk memudahkan analisis. Absorbansi pada titik puncak ini lalu dimasukkan kedalam formula statistik yang sudah kita cari sebelumnya. Hasil dari itu kita mendapatkan nilai konsentrasi larutan metilen biru tiap jam nya

3.3.8 Perbandingan efektivitas penataan Substrat

Dalam penelitian ini digunakan substrat tipe spiral. Sementara itu penelitain ini memiliki hubungan dengan penelitian yang dilakukan oleh saudari Riani dengan substrat tipe mendatar. Oleh karena itu untuk mengkaji dan membandingkan efektivitas reaksi fotokatalisis, dan pengaruh penataan substrat terhadapnya, maka kita bandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.

Data penelitian sebelumnya lalu diambil sebagai data sekunder yang digunakan sebagai pembanding. Perbandingan ini dilakukan pada hasil perhitungan konsentrasi output dari spektrofotometer dan fotodioda. Kemudian, perbandingan ini dilakukan dalam kondisi besar debit yang sama besar. Lalu kedua data tersebut di plotkan dalam satu grafik. Nantinya, dapat kita simpulkan mana yang lebih efektif dalam mendegradasi larutan metilen biru, dan mana yang lebih cepat laju reaksinya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Mekanisme Fisis Reaktor Fotokatalisis

Proses fotokatalisis terjadi ketika TiO_2 aktif oleh adanya cahaya (dalam penelitian ini yaitu cahaya dari sumber lampu TL UV 10watt). Secara fisis fotokatalisis terjadi ketika TiO_2 dikenai cahaya(energi) maka elektron dalam TiO_2 akan tereksitasi dan menyisakan hole. Elektron yang tereksitasi akan menginisiasi reaksi reduksi dengan oksigen dan membentuk O_2- yang kemudian akan mengikat polutan. Begitupun dengan hole yang tertinggal akan menginisiasi reaksi oksidasi dengan H_2O dan menghasilkan senyawa OH dan ion H^+. O_2^- dan ion H^+ akan berikatan membentuk OOH. Hasil dari reaksi-reaksi ini akan mengikat polutan dan mendegradasi larutan metilen biru.

Dari proses fotokatalis tersebut, oksigen memiliki peranan yang yang cukup besar. Selain bereaksi secara langsung dengan electron membentuk radikal superoksida ($O2^-$), oksigen juga dapat berikatan dengan atom hidrogen dan membentuk H_2O, dimana H_2O ini akan diinisiasi oleh h^+(hole) sebagai oksidator. Sehingga keberadaan oksigen dapat mempengaruhi proses fotokatalisis. Dalam penelitian ini digunakan O_2 catcher sebagai penangkap atau pengikat oksigen bebas dari udara. Hal ini dikarenakan semakin banyak oksigen maka reaktan akan semakin meningkat sehingga laju reaksi akan meningkat begitu pula produk degradasi juga semakin meningkat sehingga proses degradasi limbah cair metilen biru semakin cepat dan efektif.

Sementara itu mekanisme fisis pembacaan sensor ialah dengan mengukur pengurangan intensitas cahaya yang sudah melewati larutan. Sesuai formula beer Lambert, absorbansi tiap panjang geombang akan sebanding dengan konsentrasi yang ada pada larutan. Semakin besar konsentrasi Absorbansi tiap panjang gelombbang juga akan semakin besar pula. Hal ini akan menyebabkan perbedaan pada intensitas cahaya yang ditansmisikan yang dideteksi oleh sensor fotodioda. Kemudian

perubahan ini, menghasilkan perubahan pada output tegangan fotodioda. Perubahan output tegangan ini akan dideteksi dan dikonversikan oleh ARDUINO ke dalam sinyal digital, yang nantinya langssung terbaca di layar Komputer.

Secara hipotesis penurunan jumlah sinyal yang terdeteksi akan menyebabkan penurunan tegangan pada fotodioda. Hal ini dikarenakan Fotodioda bekerja berdasarkan input cahaya yang ditangkap. Tegangan keluarannya bervariasi berdasarkan input cahaya yang dideteksi. Akan dibuktikan, di sub-bab selanjutnya bahwa hal ini telah dikonfirmasi secara eksperimen.

Sementara itu penggunaan LED Merah sebagai sumber cahaya pada sensor Fotodioda dikarenakan puncak kurva absorbansi yang teramati pada spektrofotometer selalu berada pada titik 665 nm. Sementara itu, analisis absorbansi yang paling mudah dilakukan hanya terhadap puncak kurva absorbansi. Alasannya, rekayasa matematis terhadap seluruh nilai absorbansi tiap spektrum merupakan hal yang sulit dilakukan secara matematis. Karena dibutuhkan perumusan matematis yang dapat menghitung nilai absorbansi pada tiap spektrum yang nilai akurasi perhitungannya mendekati eksperimen. Oleh karena itu dipilih LED Merah karena nilai 665 nm massih berada pada rentang merah unntuk kemudahan analisis.

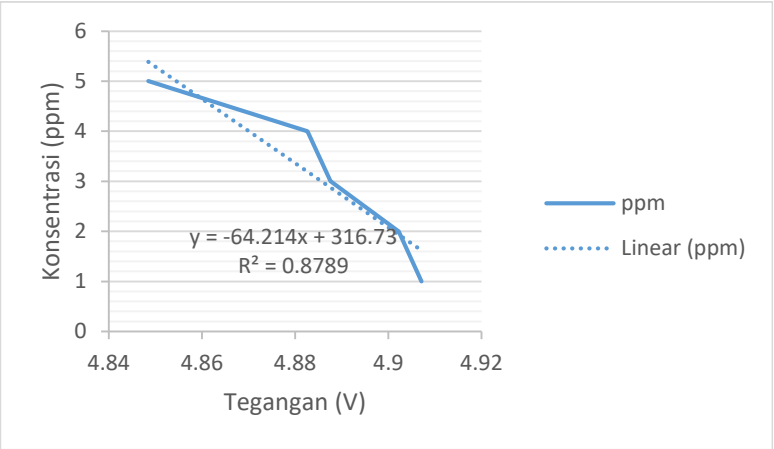
4.2 Perumusan Formula Statistik

Persoalan dasar yang harus dipecahkan terlebih dahulu dalam penelitian ini ialah hubungan antara besaran konsentrasi larutan metilen biru dengan besaran – besaran lain yang terukur dalam eksperimen ini. Penyelesaian dengan cara analitis – matematis membutuhkan kajian teoritis yang lebih mendalam dan sulit untuk dilakukan. Oleh karena itu solusi yang mudah ialah dengan mencari hubungan statistik antara konsentrasi metilen biru dengan besaran – besaran lain yang terukur. Sementara itu, besaran – besaran yang terukur secara langsung dalam eksperimen ini ialah tegangan pada modul sensor, dan absorbansi pada spektrofotometer UV Vis.

Hubungan statistik didapat melalui pengukuran langsung tanpa terjadi proses fotokatalisis dalam reaktor. Formula hubungan statistik antara tegangan atau absorbansi terhadap konsentrasi didapat dengan melakukan pengukuran langsung absorbansi atau tegangan pada cairan dengan konsentrasi 1 ppm, 2ppm, 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm kedalam reaktor. Cairan metilen biru dengan tiap konsentrasi itu didapatkan melalui proses pengenceran.

4.2.1 Merumuskan Formula Statistik untuk Fotodioda

Perumusan Formula statistik pada Fotodioda dilakukan dengan cara memasukkan cairan metilen biru ke dalam reaktor pada masing – masing konsentrasi 1ppm, 2 ppm dst. Lalu dilakukan pembacaan nilai Tegangan pada masing – masing ppm. Nilai tegangan akan otomatis terinput pada software PLX DAQ. Karena sudah dikonversi dalam bentuk sinyal digital oleh arduino. Pengulangan dilakukan sebanyak 5 kali untuk mendapatkan data yang presisi. Kemudian dicari hubungan linear dengan formula regresi antara konsentrasi dan tegangan terukur.



6

Gambar 4.1 Regresi Linear Tegangan Dan Ppm

Secara fisis, semakin banyak zat terlarut dalam larutan maka, jumlah cahaya yang lewat akan semakin sedikit. Hal ini akan menyebabkan penurunan cahaya yang dideteksi oleh Fotodiode. Konsekwensi dari hal tersebut, tegangan pada Fotodiode menurun.

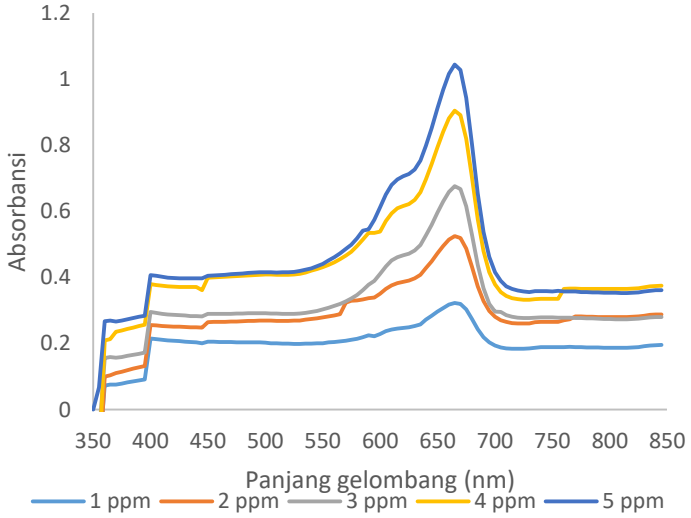
Berdasarkan perbandingan tegangan dan konsentrasi, didapatkan grafik regresi linear seperti pada Gambar 4.4. Pada Gambar 4.4 dapat diketahui persamaan regresi yaitu

$$y = -64{,}214x + 316{,}73 \quad (4.1)$$

dan koefisien relasi (R^2) sebesar 0,8789. Persamaan 4.1 digunakan sebagai acuan untuk mengetahui nilai konsentrasi (y) pada larutan yang telah melalui treatment dari nilai tegangannya yang merupakan variabel (x).

4.2.2 Merumuskan Formula Statistik untuk Spektrofotometer

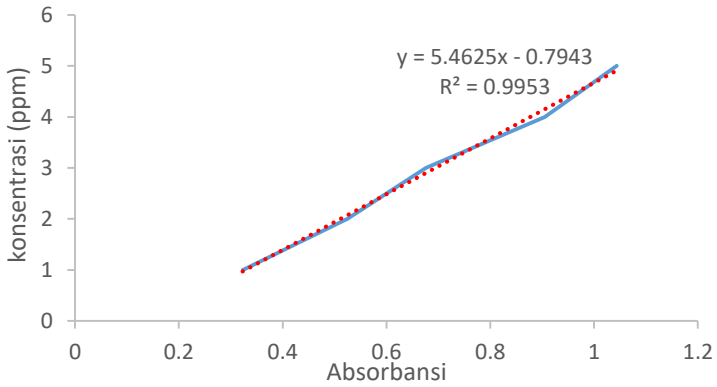
Gambar 4.2 Merupakan hasil uji spektrum absorbansi tiap ppm.



Gambar 4.2 Spektrum Absorbansi Uji Kalibrasi Spektrofotometer

Setelah uji absorbansi dilakukan menggunakan spektrofotometer. Digunakan Rentang nilai panjang gelombang yang digunakan ialah 350 nm sampai 850 nm.

Hasil data menunjukkan penurunan pada spektrum absorbansi, yaitu seperti pada Gambar semakin besar konsentrasi absorbansi di tiap spektrum panjang gelombang semakin menurun. Hal ini sesuai dengan analisis Fisis bahwa semakin banyak zat terlarut, maka akan semakin banyak pula cahaya yang diserap. Konsekwensinya intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui larutan akan semakin rendah.



Gambar 4.3 Regresi Linear Absorbansi Dan Ppm

Untuk memudahkan analisis maka diambil nilai absorbansi pada puncak kurva absorbansi tiap spektrum. Setiap larutan memiliki titik puncak nilai absorbansi pada panjang gelombang yang sama, yaitu 665nm. Panjang gelombang tersebut dijadikan acuan dalam kurva standar larutan. kemudian dibuat grafik linear dari nilai absorbansi tersebut dan didapatkan regresi seperti pada Gambar 4.3. Pada Gambar 4.3 dapat diketahui persamaan regresi yaitu

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

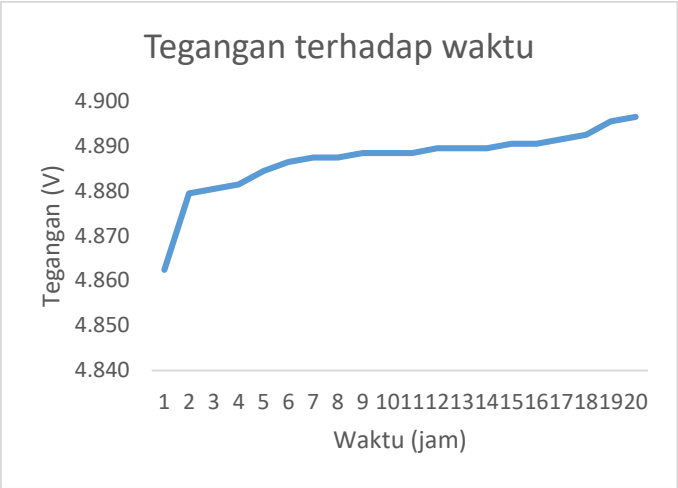
dan koefisien relasi (R^2) sebesar 0,9953. Persamaan 4.1 digunakan sebagai acuan untuk mengetahui nilai konsentrasi (y) pada larutan yang telah melalui treatment dari nilai absorbansinya yang merupakan variabel (x).

4.3 Analisa Uji Larutan Metilen biru

Uji larutan Metilen biru dengan reaktor fotokatalisis dilakukan selama 20 jam. Larutan yang diuji adalah larutan dengan konsentrasi 5 ppm sebanyak 5 liter. Uji larutan dilakukan dalam debit fluida sebesar 4,4 ml/s, pengukuran debit fluida dilakukan dengan menghitung waktu yang dibutuhkan air yang keluar dari reaktir untuk memenuhi gelas beaker 500 ml.

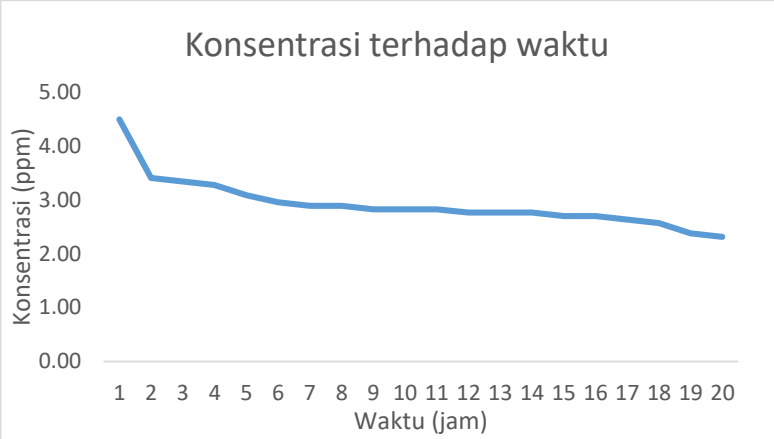
4.3.1 Uji Sensor Fotodioda Larutan Metilen biru

Gambar 4.4 merupakan grafik antara tegangan yang terbaca pada sensor fotodioda dan lama waktu penyinaran atau reaksi. Penurunan tegangan yang tajam terjadi pada 2 jam pertama penyinaran kemudian penurunan tegangan yang lebih landai di jam ke-5.



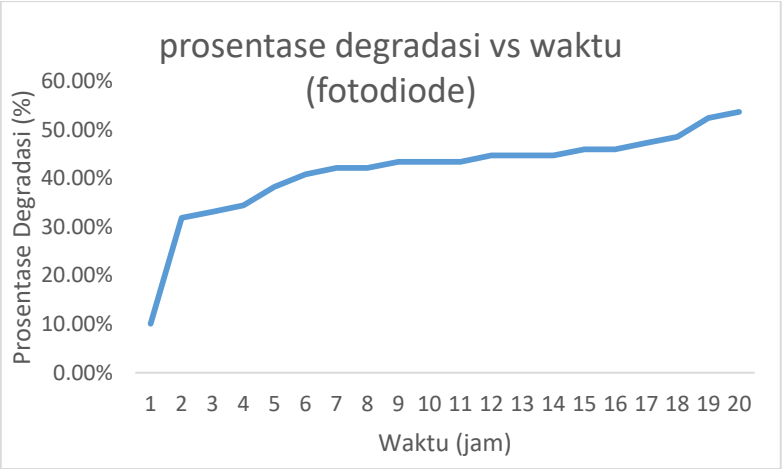
Gambar 4.4 Hubungan Tegangan dan Waktu Penyinaran Menggunakan Sensor Fotodioda

Gambar 4.5 merupakan grafik antara konsentrasi larutan metilen biru terhadap lama waktu penyinaran. Konsentraasi larutan didapat dengan memasukan nilai tegangan yang terukur di tiap jam kepada formula statistik yang didapat di persamaan 4.1. Terlihat, bahwa selaras dengan penurunan tajam pada tegangan terukur konsentrasi juga menurun tajam.



Gambar 4.5 Hubungan Konsentrasi dan Waktu Penyinaran Menggunakan Sensor Fotodioda

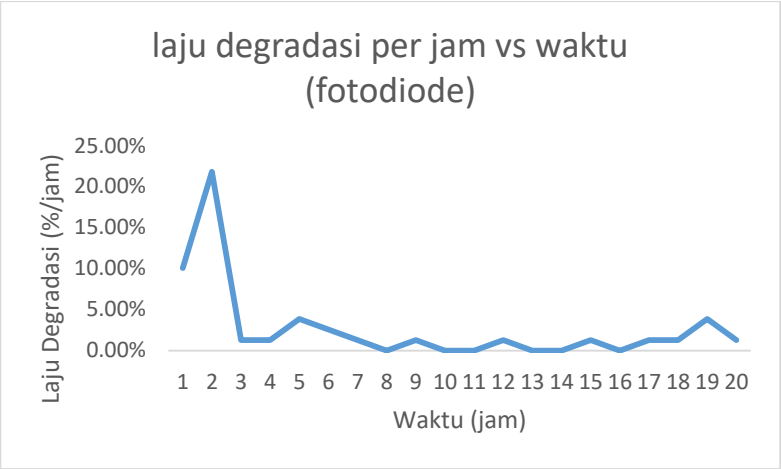
Analisis yang lebih detail dilakukan dengan menghitung nilai konsentrasi larutan yang terdegradasi atau hilang, prosentassenya, serta laju prosentase degradasi tiap jam nya. Prosentase Degradasi didapat dengan mengurangi konsentrasi awal dengan konsentrasi hasil perhitungan lalu dibagi dengan konsentrasi awal, lalu dinyatakan bentuk desimal nya dalam bentuk persen. Laju degradasi per jam didapat dengan mengurangi prosentase degradasi konsentrasi tiap jam, dengan prosentase degradasi jam sebelumnya, lalu dibagi 1 jam.



Gambar 4.6 Hubungan Prosentase degradasi terhadap waktu penyinaran menggunakan Sensor Fotodioda

Dapat kita lihat dari grafik konsentrasi yang terdegradasi dan prosentasenya seperti yang sudah dikonversikan pada Grafiik 4.6, terjadi aktivitas degradasi yang sangat besar dalam reaktor pada 2 jam pertama. Larutan sudah kehilangan 1,6 ppm pada 2 jam pertama atau 31,90% dari metilen biru di dalam sudah hilang akibat reaksi fotokatalisis dalam reaktor. Setelahnya kenaikan degradasi cenderung lambat, sampai akhirnya di akhir masa pengamatan, larutan kehilangan 2.69 ppm zat terlarut, atau 53,74% metilen biru yang terlarut terdegradasi.

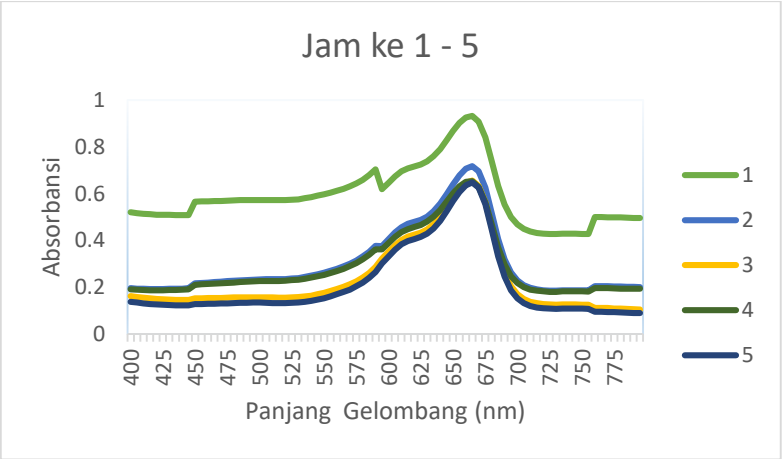
Hal yang lebih rinci lagi terungkapkan pada grafik laju degradasi tiap jamnya. Laju reaksi amat cepat pada 2 jam pertama, dimana pada jam pertama 10 *%/jam* kemudian pada jam ke 2 yaitu 21,83 *%/jam*. Lalu, pada jam – jam berikutnya laju reaksi tidak pernah melebihi 3,85 *%/jam* sampai jam ke 20.



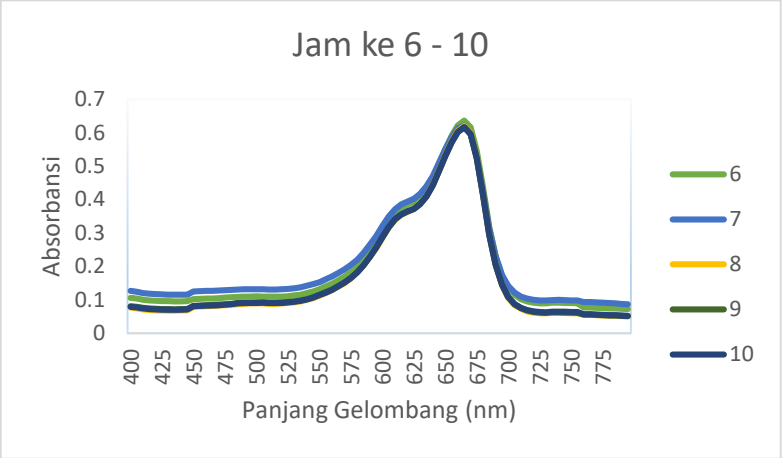
Gambar 4.7 Hubungan Konsentrasi dan Waktu Penyinaran Menggunakan Sensor Fotodioda

4.3.2 Uji Spektrofotometer Larutan Metilen biru

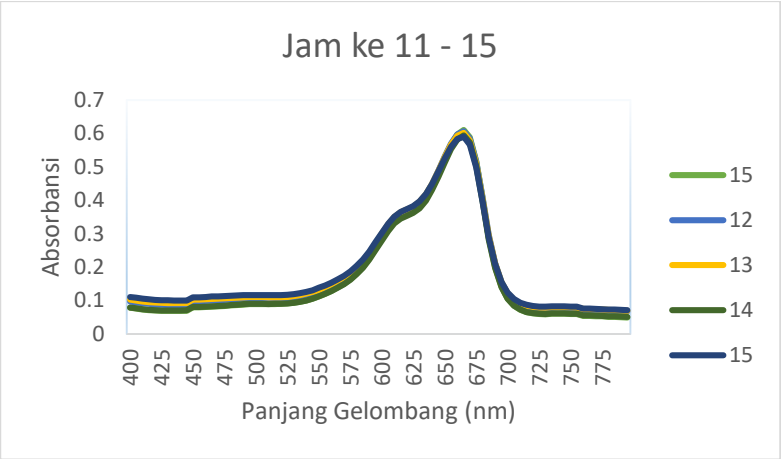
Hasil pengukuran absorbansi spektrofotometer berupa kurva absorbansi tiap spektrum panjang gelombang. Untuk mengamati adanya degradasi maka kita kumpulkan 5 kurva absorbansi tiap spektrum ini pada satu grafik. Pada Gambar 4.8 terlihat jelas penurunan absorbansi tiap spektrum dari jam ke 1 sampai jam ke 5. Pada grafik kumpulan kurva absorbansi tiap spektrum pada jam ke 6 -10 (Gambar 4.9), lalu jam 11 – 15 (Gambar 4.10), kemudian jam 16 – 20 (Gambar 4.11), penurunan kurva absorbansi tidak dapat teramati secara jelas. Maka untuk memudahkan analisis, kita ambil nilai puncak pada tiap kurva absorbansi yang terjadi pada panjang gelombang yang sama yaitu 665 nm.



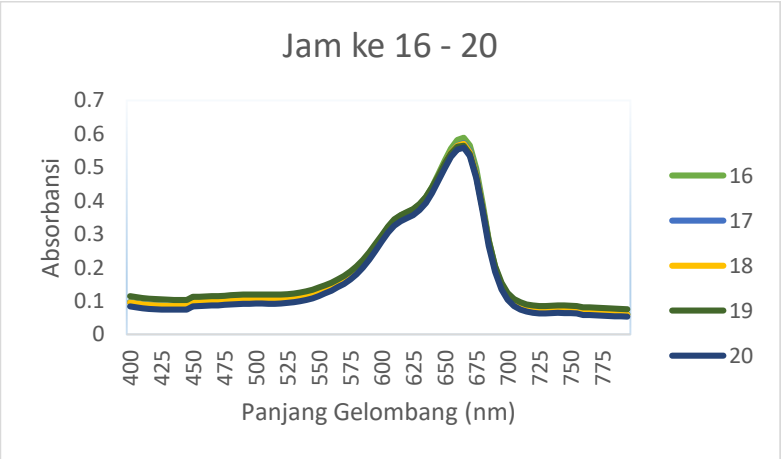
Gambar 4.8 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 1 sampai jam ke 5



Gambar 4.9 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 6 sampai jam ke 10

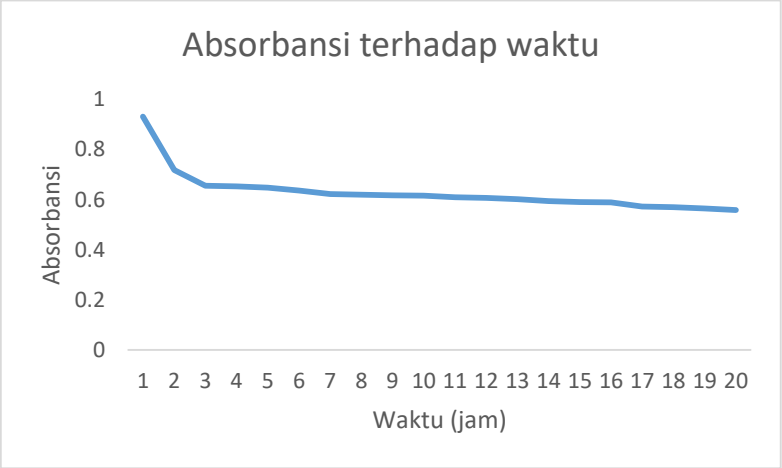


Gambar 4.10 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 11 sampai jam ke 15



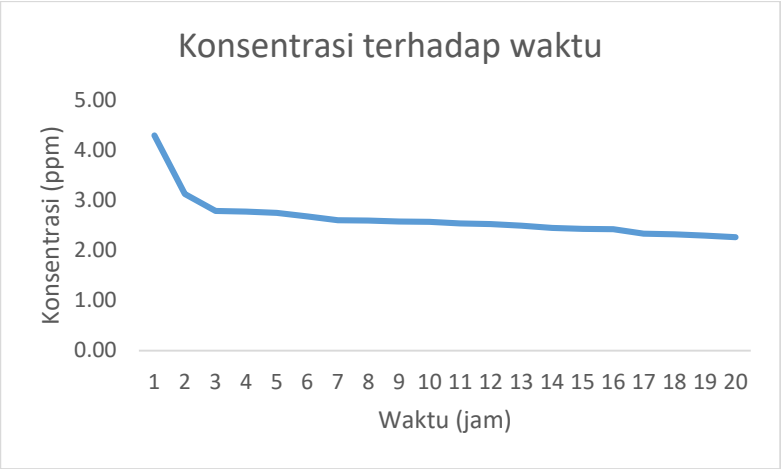
Gambar 4.11 Kurva Absorbansi tiap spektrum panjang gelombang dari jam ke 16 sampai jam ke 20

Grafik pada Gambar 4.12 ialah nilai absorbansi pada puncak kurva absorbansi tiap spektrum terhadap lamnya waktu penyinaran. Penurunan absorbansi yang tajam terjadi pada tiga jam pertama penyinaran. Pada jam – jam berikutnya penurunan absorbansi cenderung melambat.



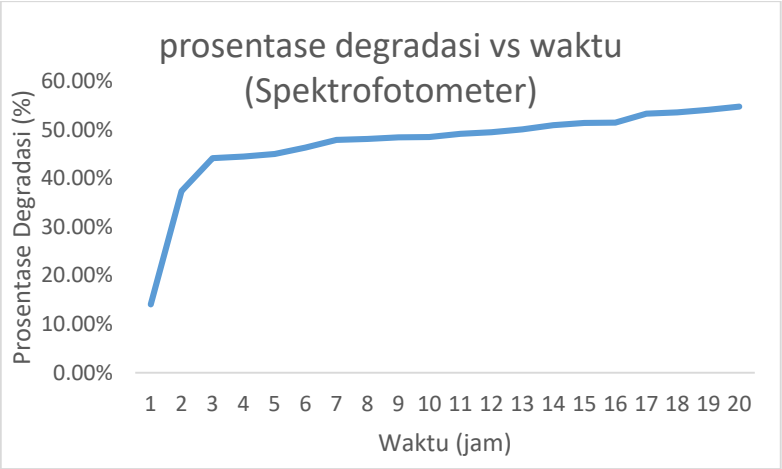
Gambar 4.12 Absorbansi (puncak kurva) terhadap waktu penyinaran

Sementara Gambar 4.13 merupakan grafik antara konsentrasi larutan metilen biru terhadap lama waktu penyinaran . Konsentrasi larutan didapat dengan memasukan nilai tegangan yang terukur di tiap jam kepada formula statistik yang didapat di persamaan 4.2. Terlihat, bahwa selaras dengan penurunan tajam pada absorbansi terukur konsentrasi juga menurun tajam.



Gambar 4.13 Hubungan Konsentrasi terhadap waktu penyinaran Menggunakan Spektrofotometer

Langkah analisis yang sama seperti saat kita menganalisis data konversi dari fotodioda juga kita lakukan pada hasil konversi absorbansi dari spektrofotometer. Hal ini untuk menghasilkan analisis yang lebih detail berdasar beberapa parameter fisis. Langkah selanjutnya dengan menghitung nilai konsentrasi larutan yang terdegradasi atau hilang, prosentasenya, serta laju prosentase degradasi tiap jam nya. Prosentase degradasi tiap jam diiustrasikan pada Gambar 4.14.

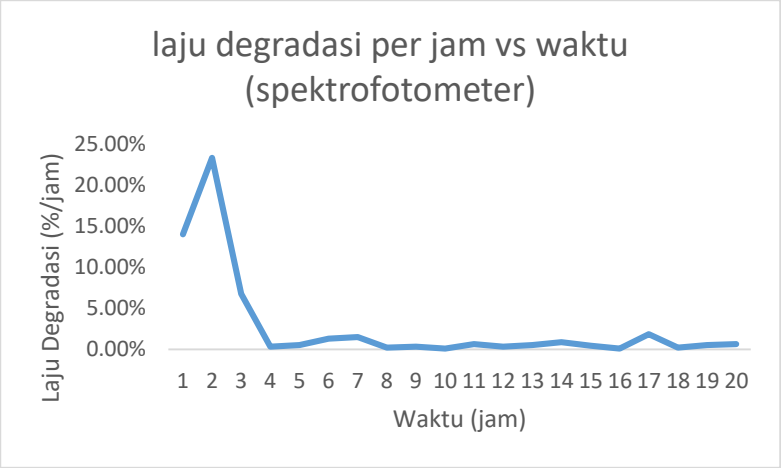


Gambar 4.14 Hubungan Prosentase Degradasi konsentrasi terhadap waktu penyinaran Menggunakan Spektrofotometer

Selanjutnya juga dapat kita amati dari grafik konsentrasi yang terdegradasi dan prosentasenya, menurut hasil konversi absorbansi dari spektrofotmeter, terjadi aktivitas degradasi yang sangat besar dalam reaktor pada 3 jam pertama. Larutan sudah kehilangan 2,21 ppm pada 3 jam pertama atau 44,22% dari metilen biru di dalam sudah hilang akibat reaksi fotokatalisis dalam reaktor. Setelahnya kenaikan zat metilen biru yang terdegradasi cenderung lambat, sampai akhirnya di akhir masa pengamatan, larutan kehilangan 2.69 ppm zat terlarut, atau 53,74% metilen biru yang terlarut terdegradasi.

Kemudian dapat pula kita perhatikan lebih rinci lagi pada grafik 4.15 terkait laju degradasi tiap jamnya. Laju reaksi amat cepat pada 3 jam pertama, dimana pada jam pertama 14 *%/jam* kemudian pada jam ke 2 laju reaksinya sangat cepat yaitu 23,38 *%/jam*. Lalu, ada jam ke 3 laju reaki mulai menurun menjadi sebesar 6.77 *%/jam*. Laju reaksi tidak pernah pulih menjadi cepat lagi pada jam – jam

berikutnya, laju reaksi tidak pernah melebihi 1.86 *%/jam* sampai jam ke 20.

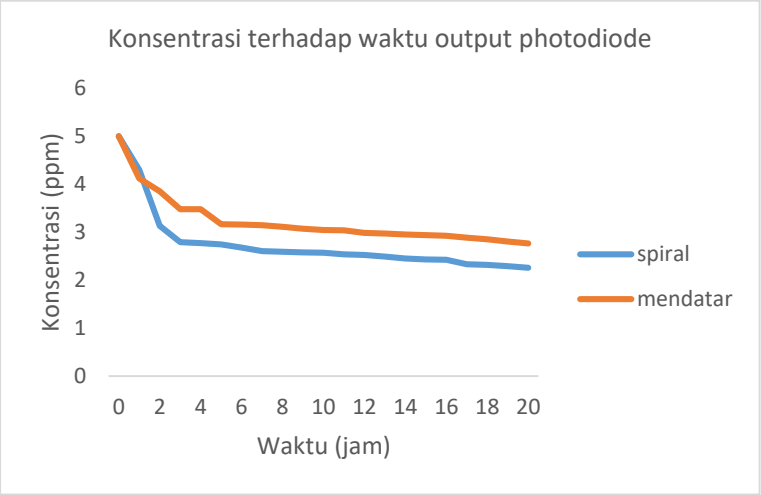


Gambar 4.15 Hubungan Laju degradasi terhadap waktu penyinaran menggunakan Spektrofotometer.

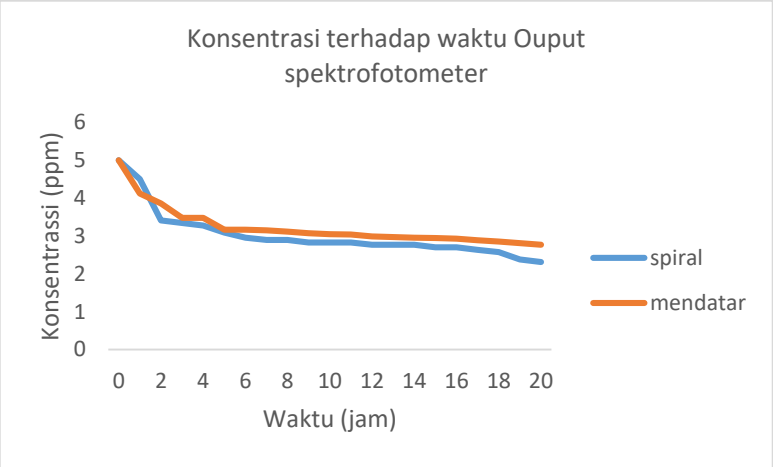
4.3.3 Perbandingan Efektifitas penataan Substrat

Studi Fotokatalisis TiO_2 dengan substrat spiral telah dilakukan dalam penelitian ini, sementara Penelitian sebelumnya telah membahas Ftotokatalisis dengan substrat mendatar. Perbandingan efektifitas ialah dengan cara melihat grfik karakteristik konsentrasi tiap jamnya. Detail perbandingan ini dilakukan dengan cara memasukkan grafik konsentrasi terhadap waktu penyinaran output dari *photodiode* dan spektrofotometer massing – masing pada gambar 4.5 dan gambar 4.13, dan grafik lain yang berdasarkan data sekunder dari peneitian sebelumnya kedalam satu gambar atau grafik. Hal ini akan memudahkan analisis karena kita dapat membandingkan karakteristik grafik tiap

jam nya secara langsung. Hasilnya dapat kita lihat pada gambar 4.16 dan gambar 4.17.



Gambar 4.16 Perbandingan grafik Konsentrasi terhadap waktu berdasar hasil perhitungan output *photodiode*



Gambar 4.17 Perbandingan grafik konsentrasi terhadap waktu berdasar output spektrofotometer

Dua grafik diatas pada gambar 4.16 dan Gambar 4.17 mengkonfirmasi bahwa baik pada hasil perhitungan output pengukuran *photodiode* maupun spektrofotometer menunjukkan bahwa penataan substrat spiral lebiih efektif daripada penataan substrat mendatar. Menurut ouput hasil perhitungan data *photodiode*, setelah 20 jam penyinaran, larutan metilen biru dengan substrat dengan penataan mendatar mengalami fotodegradasi sebesar 44,76% dari konsentrasi mula – mula, sementara larutan dengan substrat spiral berhasil mengalami fotodegradasi sebesar 53,74%. Kemudian, menurut ouput hasil perhitungan spektrofotometer, setelah 20 jam penyinaran larutan metilen biru dengan substrat mendatar mengalami fotodegradasi sebesar 44,76% dari konsentrasi mula – mula, sementara larutan dengan substrat spiral mengalami fotodegradasi sebesar dari 54,82% konsentrasi mula – mula.

4.3.4 Pembahasan

Dapat kita lihat bahwa pada grafik - grafik hasil konsentrasi, degradasi, prosentse degradasi, dan laju reaksi secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan yang mencolok antara hasil perhitungan output fotodioda dan spektrofotometer. Secara umum memiliki karakteristik yang sama, yaitu peningkatan degradasi pada jam – jam awal. Kemudian, hasil perhitungan dari output keduanya menunjukkan perlambataan degradasi degradasi yang sangat signifikan di jam - jam berikutnya.

Karakteristik lain yang cenderung memiliki kesamaan ialah hasil perhitungan laju degradasi berdasar hasil output data kedua alat. Dua grafik laju degradasi tersebut menunjukkan kenaikan laju degradasi yang pesat pada dua jam penurunan. Laju degradasi pada jam – jam berikutnya menunjukkan penurunan mulai jam ke 3. Kemudian, laju degradasi cenderung tetap sampai akhir masa 20 jam pengamatan.

Memang ada hal yang berbeda pada hasil perhitungan laju reaksi menurut output fotodiode. Yaitu, laju reaksi sempat

mengalami peningkatan sedikit sampai angka 3,85%, dibandingkan dengan hasil perhitungan laju reaksi berdasar output spektrofotmeter yang tidak pernah melebihi 1,86% setelah melambat. Namun, patut diperhatikan bahwa nilai laju reaksi tidak pernah meningkat melebihi 3,85%, kemudian nilai laju reaksi turun kembali.

Hal yang sedikit berbeda ialah, hasil perhitungan pada output fotodioda memperlihatkan peningkatan aktivitas pada 2 jam pertama, dan perlambatan signifikan pada jam – jam berikutnya. Yaitu, selama jam pertama 10,07%, dan jam kedua 31,90%. Sementara pada hasil perhitungan output spektrofotometer peningkatan degradasi yang signifikan terjadi pada 3 jam pertama. Yaitu, jam pertama 14,07%, jam kedua 37,44%, dan jam ke 3 44,22%.

Kedua grafik hasil perhitungan laju reaki mengkonfirmasi hal yang sama, yaitu melambatnya reaksi setelah reaktor bekerja selama beberapa jam. Perlambatan ini dapat disebabkan oleh kejenuhan zat hasil reaksi dalam larutan. Setelah reaktor bekerja sampai suatu saat tertentu, jumlah zat hasil reaksi dalam larutan akan semakin banyak. Hal ini karena laju reaksi fotokatalisis metilen biru sebanding dengan jumlah konsentrasi metilen biru yang ada dalam larutan, maka ketika konsentrasi metilen biru berkurang secara signifikan, laju reaksi akan berkurang secara signnifikan pula.

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh *noise* pengukuran. *Noise* pada spektrofotometer dapat disebabkan oleh adanya goresan pada *cuvet* yang digunakan untuk menampung cairan metilen biru, sehingga menyebabkan anomali pada spektrum yang terbaca. *Noise* ini mungkin juga terdapat pada modul sensor fotodioda. Melemahnya kemampuan sensor Fotodiode dapat pula menyebabkan gangguan pada pembacaan tegangan yang terbaca.

Hal lain yang mungkin menyebabkan perbedaan ialah perbedaan dalam perumusan formula hubungan statistik, yaitu antara tegangan terhadap konsentrasi, dan abosrbansi terhadap konsentrasi. Patut diketahui bahwa dalam perumusan formula

statistik hubungan antara absorbansi dan konsentrasi kita mengambil nilai puncak kurva absorbansi yaitu 665 nm. Sementara itu, pada perumusan formula statisitik antara tegangan dan konsentrasi, tegangan yang digunakan ialah output dari pembacaan sensor fotodioda. Padahal, sumber cahaya yang digunakan bukanlah cahaya yang murni monokromatis. Cahaya merah pada LED merah masih memiliki rentang panjang gelombang 620 nm – 750 nm.

Sementara itu perihal efektifitas penataaan Substrat spiral dibandingkan substrat mendatar terhadap laju fotodegradasi, sudah dibuktikan dalam data yang sudah kita kaji bahwa penataan dengan Substrat spiral lebih efektif daripada dengan substrat mendatar. Hal ini dikarenakan bahwa dengan Substrat tipe spiral, luas permukaan substrat lebih luas. Hal ini bisa dilihat dari penataan tipe spiral yang berlapis- lapis. Cahaya dari lampu TL tidak akan berhenti di satu lapisan saja, tapi ia menembus lapisan pertama sampai ia terhenti di suatu lapisan tertentu. Konsekwensinya ialah TiO_2 yang berinteraksi dengan larutan lebih banyak Efeknya laju reaksi akan menjadi lebih cepat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Reaktor fotokatalisis tipe *plug flow* dirancang dengan tiga resevoir dengan instalasi O_2 *Catcher*, memiliki kapasitas sebesar 5 liter, dan sensor fotodegradasi yang mampu membaca degradasi secara *realtime.* Sensor fotodegradasi menggunakan LED Merah untuk kemudahan analisis perhitungan konsentrasi.
2. Degradasi terbesar menurut hasil perhitungan output fotodioda terjadi pada 2 jam pertama yaitu sebesar 31,90%. Sementara itu, menurut hasil perhitungan output Spektrofotometer degradasi terbesar pada 3 jam pertama dengan degradasi sebesar 44,22%. Laju reaksi terbesar menurut hasil perhitungan output spektrofotometer dan fotodioda terjadi pada 2 jam pertama dengan puncaknya pada jam ke 2 yang masing masing nilai nya sebesar 21,83% dan 23,38%.
3. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa Penataan Substrat Spiral lebih efektif dalam meningkatkan prosentase degradasi dan memiliki laju reaksi yang lebih cepat.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini lebih lanjut antara lain adalah:

1. Mencari formula matematis yang lebih akurat antara hubungan tegangan dan kosnentrasi pada sensor fotodioda.
2. Menggunakan monokromator untuk mengerucutkaan renatng keluaran cahaya pada LED merah yang masih ploikromatis.
3. Melakukan pengkajian treatment dengan konsentrasi dan volume yang berbeda untuk mengetahui tingkat kejenuhan reaksi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Mikrajuddin, A. "*Pengantar Fisika zat Padat*". Bandung: Penerbit ITB.

Neamen, D., 2003. "*Semiconductor Physics and Devices, Basic Priciples"*. San Fransisco: Mc Graw Hill.

Seeger, K. 2004. "*Semiconductor Physics an Introduction*". Vienna: Springer.

Sutrisno. 1986. "*Elektronika Dasar*". Bandung: Penerbit ITB.

Sze, SM. 2007. "*Physics of Semiconductor Devices*". New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.

Lilik, W. Dkk. "*Adsorpsi Senywawa Metilen Biru Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi*". Jurnal Momentum Vol. 11, no.1, April 2015.

Angga, F. Dkk. "*Pengaruh Komposisi TiO_2-Beontit Terhadap Degradasi Metilen Biru*". Kimia Student Journal, Vol. 2, pp 555 – 561.

Huda, dkk. "*Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakass Selulosa dari Alang – Alang*". Indonesian Journal of Chemical Analysis, Vol 01, No 01, 2018, pp 09-19.

Fatimah, Is, dkk. "*Sintesis Tio2/Zeolit Sebagai Fotokatalis Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi*". TEKNOIN, Vol. 10, No. 4, Desember 2005, 257-267.

Fitriani, dyah, dkk. "*Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue*". Jurnal Gradien Vol. 11 No. 2 Juli 2015: 1091-1095.

Wahyu, Eka, dkk. "*Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis Zno-Zeolit*". Univ. Brawijaya: Chem. Prog. Vol. 7, No.1. Mei 2014.

Nevi, Dwi, dkk. "*Fotokatalis Tio2-Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru*". Univ. Brawijaya: Chem. Prog. Vol. 7, No.1. Mei 2014.

LAMPIRAN

.Lampiran 1. Tabel 1 Hasil Uji Spektrofotometer dan Konversi

jam	abs	C	degradasi	prosentase	laju
1	0.932	4.30	0.70	14.07%	14.07%
2	0.718	3.13	1.87	37.44%	23.38%
3	0.656	2.79	2.21	44.22%	6.77%
4	0.653	2.77	2.23	44.55%	0.33%
5	0.648	2.75	2.25	45.09%	0.55%
6	0.636	2.68	2.32	46.40%	1.31%
7	0.622	2.60	2.40	47.93%	1.53%
8	0.62	2.59	2.41	48.15%	0.22%
9	0.617	2.58	2.42	48.48%	0.33%
10	0.616	2.57	2.43	48.59%	0.11%
11	0.61	2.54	2.46	49.24%	0.66%
12	0.607	2.52	2.48	49.57%	0.33%
13	0.602	2.49	2.51	50.12%	0.55%
14	0.594	2.45	2.55	50.99%	0.87%
15	0.59	2.43	2.57	51.43%	0.44%
16	0.589	2.42	2.58	51.54%	0.11%
17	0.572	2.33	2.67	53.40%	1.86%
18	0.57	2.32	2.68	53.61%	0.22%
19	0.565	2.29	2.71	54.16%	0.55%
20	0.559	2.26	2.74	54.82%	0.66%

Lampiran 2. Tabel Hasil Uji Sensor Fotodioda dan Konversi

jam	V	C	degradasi	prosentase	Laju
1	4.909	4.50	0.50	10.07%	10.07%
2	4.892	3.40	1.60	31.90%	21.83%
3	4.891	3.34	1.66	33.19%	1.28%
4	4.890	3.28	1.72	34.47%	1.28%
5	4.887	3.08	1.92	38.32%	3.85%
6	4.885	2.96	2.04	40.89%	2.57%
7	4.884	2.89	2.11	42.18%	1.28%
8	4.884	2.89	2.11	42.18%	0.00%
9	4.883	2.83	2.17	43.46%	1.28%
10	4.883	2.83	2.17	43.46%	0.00%
11	4.883	2.83	2.17	43.46%	0.00%
12	4.882	2.76	2.24	44.75%	1.28%
13	4.882	2.76	2.24	44.75%	0.00%
14	4.882	2.76	2.24	44.75%	0.00%
15	4.881	2.70	2.30	46.03%	1.28%
16	4.881	2.70	2.30	46.03%	0.00%
17	4.880	2.63	2.37	47.31%	1.28%
18	4.879	2.57	2.43	48.60%	1.28%
19	4.876	2.38	2.62	52.45%	3.85%
20	4.875	2.31	2.69	53.74%	1.28%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis adalah Moh Rosul dengan nama panggilan Rosul. Penulis dilahirkan di Samapang, 14 September 1995 dan merupakan anak ke sembilan dari (Alm.) Bapak Holis dan Ibu Siti Ulfah. Saat ini penulis tingggal di Sampang Madura, RT 001 RW 002, Kecamatan Sampang, Kabupaten Sampang. Penulis telah menempuh pendidikan formal selama di Sampang yaitu SDN Dalpenang 1 (2002-2008), SMPN 1 Sampang (2008-2011), SMAN 1 Sampang (20011-2014). Setelah lulus dari SMAN 1 Sampang pada tahun 2014 penulis diterima di Jurusan Fisika FS-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 01111440000022.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan dan organisasi. Penulis mengambil bidang studi instrumentasi dan elektronika. . *Dalam kampus, p*enulis aktif mengikuti organisasi himpunan dan fosif. Penulis juga aktif diluar kampus, menjadi pengurus komunitas Horologi yg mencakup Nasional, serta beberapa komunitas lainnya.

E-mail : moh.rosul22@gmail.com