



**EKSTRAKSI FOTOSENSITIZER FEOFITIN  
DARI DAUN PEPAYA (*Carica papaya L.*)  
DAN APLIKASINYA SEBAGAI FOTODEGRADASI  
ZAT WARNA REMAZOL BRILLIANT BLUE R (RBBR)**

Skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Kimia

**UNNES**  
oleh  
Hani Pertiwi  
4311412071  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

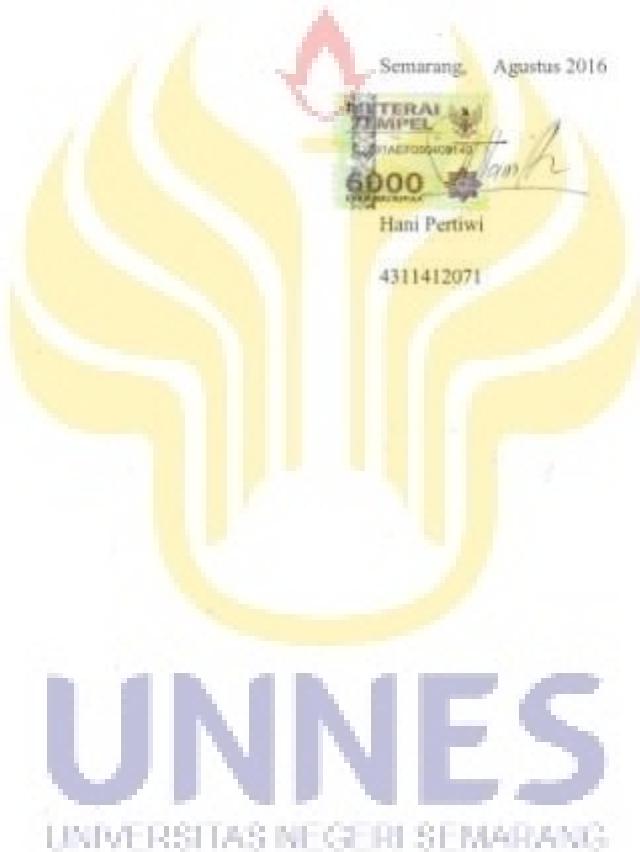
**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2016**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.



---

### PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul

Ekstraksi Fotosensitizer Feofitin dari Daun Pepaya (*Carica papaya L.*) dan Aplikasinya sebagai Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR)

telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Pembimbing 1

Samuel Budi Wardhana K., M.Sc

NIP. 198204182006041002

Semarang, Agustus 2016

Pembimbing 2

Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si

NIP. 197704112005012014



**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Ekstraksi Fotosensitizer Feofitin dari Daun Pepaya (*Carica papaya L.*) dan Aplikasinya sebagai Fotodegradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R (RBBR)

disusun oleh

Hani Pertwi

4311412071

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Unnes pada tanggal

Panitia:



Ketua Pengaji  
UProf. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si, Akt  
NIP. 196412231988031001

Sekretaris Pengaji

Dr. Nanik Wijayanti, M.Si  
NIP. 196910231996032002

Pengaji 1

Dr. Murbangun Nuswowati, M.Si  
NIP. 195811061984032004

Pengaji 2

Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si  
NIP. 197704112005012014

Pengaji 3

Samuel Budi Wardhani Kusuma, M.Sc  
NIP. 198204182006041002

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **Motto:**

- ❖ Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua (Aristoteles).
- ❖ Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah (HR. Turmudzi).
- ❖ Tiada doa yang lebih indah selain doa agar skripsi ini cepat selesai.

### **Persembahan:**

- Untuk ayah tercinta Bp. Haryono, ibuku Nur Rosyidah, dan Kakak tersayang Khanafi Iskandar.
- Untuk sahabat dan teman-teman.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan nikmat dan karunia-Nya, serta kemudahan dan kelancaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Ekstraksi Fotosensitizer Feofitin dari Daun Pepaya (*Carica papaya L.*) dan Aplikasinya sebagai Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)*”. Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Penulis telah banyak mengalami rintangan dari awal sampai akhir dalam menyusun skripsi ini. Berkat bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka segala rintangan tersebut dapat teratasi. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang;
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang;
3. Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang;
4. Samuel Budi Wardhana Kusuma, M.Sc., sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan ilmu, arahan, bimbingan, dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
5. Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si., sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan ilmu, arahan, bimbingan dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
6. Dr. Murbangun Nuswowati, M.Si., sebagai dosen penguji utama yang telah memberikan saran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik;
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA UNNES yang telah memberikan bekal, ilmu kepada penulis selama menjalani studi;
8. Kepala Laboratorium, Mbak Dian, Mbak Yuan, Bu Ida, dan Pak Wiji yang telah memberikan fasilitas untuk penulis melakukan penelitian;

9. Bapak ibuku, kakaku, dan segenap keluarga yang menjadi sumber semangat, yang tak pernah berhenti memberi dukungan semangat dan doa;
10. Nisa, Tiya Ayu, Desy, Lina, Tari, Afria, Ittaqa, Dhewi, Solikhah, Musa, Sule dan teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu; serta
11. Semua pihak yang terlibat dalam penyusunan skripsi ini.

Demikian penyusunan skripsi ini, semoga bermanfaat bagi semua pihak dan pembaca pada umumnya.



## ABSTRAK

Pertiwi, Hani. 2016. *Ekstraksi Fotosensitizer Feofitin dari Daun Pepaya (Carica papaya L.) dan Aplikasinya sebagai Fotodegradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* . Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Samuel Budi Wardhana Kusuma, M.Sc.

Kata Kunci: fotosensitizer, feofitin, fotodegradasi, *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)*

Telah dilakukan penelitian mengenai ekstraksi fotosensitizer feofitin dari daun pepaya (*Carica papaya L.*) ini bertujuan untuk mendegradasi zat warna RBBR. Zat warna RBBR merupakan zat warna reaktif yang sering digunakan dalam proses pencelupan industri batik. Sehingga diperlukan pengolahan limbah zat warna RBBR sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah zat warna RBBR alternatif yaitu dengan cara fotodegradasi zat warna RBBR menggunakan fotosensitizer. Fotosensitizer merupakan bahan yang dapat menyerap foton dan mentransfer energinya ke oksigen triplet sehingga terbentuk oksigen singlet. Oksigen singlet ini dapat mendegradasi zat warna RBBR sehingga kadarnya dapat berkurang. Senyawa yang berfungsi sebagai fotosensitizer yaitu klorofil dan turunannya. Feofitin merupakan senyawa turunan klorofil. Fotosensitizer feofitin diperoleh dengan metode perendaman daun pepaya (*Carica papaya L.*). Dalam penelitian ini dilakukan 3 variasi, yaitu: pH (3, 5, 7, 9, 11), volume fotosensitizer yang ditambahkan: 0; 0,1; 0,5; 1,5; 3 ml dan waktu kontak sinar UV selama 0, 10, 20, 30, 40 menit. Hasil penelitian diperoleh pH optimum dalam fotodegradasi zat warna RBBR yaitu pH 7 (netral). Volume optimum fotosensitizer feofitin sebesar 1,5 ml, dengan waktu kontak sinar UV optimum pada menit ke-30. Kondisi optimum tersebut selanjutnya diaplikasikan kedalam limbah batik dan didapatkan penurunan kadar zat warna RBBR sebesar 84,2021 %.

## ABSTRACT

Pertiwi, Hani. 2016. *Extraction Photosensitizer Feofitin of Papaya Leaf (Carica papaya L.) and Application as photodegradation Remazol Brilliant Blue R (RBBR) Dye.* Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Samuel Budi Wardhana Kusuma, M.Sc.

Keywords: Photosensitizer, pheophytin, photodegradation, *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)*

We report the photosensitizer feofitin extraction from papaya leaves of (*Carica papaya L.*) aims to degrade RBBR dye. RBBR dye a reactive dye that is often used in the dyeing process of batik industry. So, we need RBBR dye wastewater treatment before discharge into the environment. Waste treatment alternative RBBR dye that is by photodegradation of RBBR using photosensitizer. Photosensitizer is a material that can absorb photon and transferring energy to triplet oxygen and singlet oxygen is formed. Singlet oxygen can degrade RBBR dye so that degree can be reduced. The compound that serves as a photosensitizer that chlorophyll and its derivatives. Feofitin is a derivative of chlorophyll. Photosensitizer formation performed by extraction method. In this research, there are 3 variations, i.e: pH (3, 5, 7, 9, 11), volume photosensitizers added: 0; 0.1; 0.5; 1.5; 3 ml and contact time UV light for 0, 10, 20, 30, 40 minutes. The results were obtained pH optimum of dye photodegradation RBBR namely pH 7 (neutral). Volume optimum photosensitizer feofitin 1.5 ml, with contact time optimum UV rays in the 30 minutes. The optimum condition then applied into batik wastewater, and found decreased levels of RBBR dye amounted to 84.2021 %.



## DAFTAR ISI

Hal

HALAMAN JUDUL.....	i
--------------------	---

PERNYATAAN.....	ii
-----------------	----

PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	iii
------------------------------	-----

PENGESAHAN .....	iv
------------------	----

MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
-----------------------------	---

KATA PENGANTAR .....	vi
----------------------	----

ABSTRAK .....	viii
---------------	------

ABSTRACT .....	ix
----------------	----

DAFTAR ISI.....	x
-----------------	---

DAFTAR TABEL.....	xiii
-------------------	------

DAFTAR GAMBAR .....	xiv
---------------------	-----

DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
-----------------------	----

BAB

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pepaya.....	6
2.1.1. Taksonomi Tanaman Pepaya .....	7
2.1.2. Kandungan Klorofil Daun Pepaya.....	7
2.2. Klorofil .....	8
2.3. Senyawa Turunan Klorofil .....	11
2.4. Feofitin .....	12
2.5. Fotosensitizer.....	13
2.6. Zat Warna .....	14
2.6.1. Zat Warna Remazol Brilliant Blue R (RBBR) .....	16

2.7.	Metode Instrumentasi .....	16
2.7.1.	Spektrofotometer UV-Vis.....	16
2.7.2.	Ekstraksi Maserasi .....	19
2.7.3.	Kromatografi Lapis Tipis (KLT) .....	20
3.	METODE PENELITIAN	
3.1.	Lokasi Penelitian .....	22
3.2.	Populasi dan Sampel.....	22
3.2.1.	Populasi.....	22
3.2.2.	Sampel .....	22
3.3.	Variabel Penelitian .....	22
3.3.1.	Variabel Bebas.....	22
3.3.2.	Variabel Terikat .....	23
3.3.3.	Variabel Terkendali .....	23
3.4.	Alat dan Bahan .....	23
3.4.1.	Alat .....	23
3.4.2.	Bahan .....	23
3.5.	Cara Kerja.....	24
3.5.1.	Ekstrasi Pigmen Klorofil .....	24
3.5.2.	Identifikasi Klorofil .....	24
3.5.3.	Feofitinas .....	25
3.5.4.	Identifikasi Feofitin .....	25
3.5.5.	Pembuatan Larutan Induk <i>Remazol Brilliant Blue R</i> (RBBR).....	25
3.5.6.	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum RBBR .....	26
3.5.7.	Pembuatan Kurva Kalibrasi RBBR .....	26
3.5.8.	Penentuan pH Optimum RBBR .....	26
3.5.9.	Penentuan Volume Optimum Fotosensitizer Feofitin .....	26
3.5.10.	Penentuan Waktu Kontak Optimum Sinar UV .....	27
3.5.11.	Aplikasi Limbah .....	27
4.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Ekstraksi Klorofil Daun Pepaya .....	28

4.2. Kandungan Klorofil Daun Pepaya.....	29
4.3. Identifikasi Klorofil Daun Pepaya.....	30
4.3.1. Identifikasi dengan Menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT).....	30
4.3.2. Identifikasi dengan Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.....	32
4.4. Identifikasi Feofitin .....	34
4.5. Panjang Gelombang Maksimum RBBR.....	38
4.6. Kurva Kalibrasi RBBR .....	39
4.7. Pengaruh pH pada Fotodegradasi RBBR .....	40
4.8. Pengaruh Volume Fotosensitizer pada Fotodegradasi RBBR .....	43
4.9. Pengaruh Waktu Kontak Sinar UV pada Fotodegradasi RBBR .....	45
4.10. Aplikasi Limbah .....	46
4.11. Mekanisme Fotosensitizer .....	48
5. PENUTUP	
5.1. Simpulan.....	54
5.2. Saran .....	54
DAFTAR PUSTAKA .....	55
LAMPIRAN .....	59



## DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
2.1. Kandungan Klorofil Total, Klorofil a dan Klorofil b (mg/g) pada Beberapa Tanaman Dan Fitoplankton.....	8
2.2. Senyawa-senyawa Turunan Klorofil .....	12
4.1. Absorbansi Ekstrak Klorofil .....	30
4.2. Identifikasi Ekstrak Klorofil Daun Pepaya dengan Metode Kromatografi Lapis Tipis (KLT) .....	31
4.3. Puncak Absorbansi Ekstrak Klorofil .....	33
4.4. Puncak Absorbansi Ekstrak Feofitin .....	36
4.5. Penurunan Kadar RBBR pada Variasi pH.....	41
4.6. Penurunan Kadar RBBR pada Variasi Volume Fotosensitizer.....	44
4.7. Penurunan Kadar RBBR pada Variasi Waktu Kontak Sinar UV .....	46

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
2.1. Pohon Pepaya ( <i>Carica Papaya L.</i> ) .....	7
2.2. Struktur Kimia Klorofil a dan Klorofil b .....	10
2.3. Spektrum Absorbansi Klorofil a dan Klorofil b .....	11
2.4. Perubahan Klorofil Menjadi Beberapa Senyawa Turunannya .....	12
2.5. Reaksi Feofitinasi .....	13
2.6. Rumus Struktur Zat Warna RBBR .....	16
2.7. Spektrum UV-Vis Klorofil .....	18
2.8. Spektrum UV-Vis Feofitin .....	19
2.9. Hasil Pemisahan Ekstrak Kasar Teh Hijau dengan KLT .....	21
4.1. Hasil Pemisahan Ekstrak Daun Pepaya Menggunakan KLT .....	31
4.2. Perbedaan Klorofil dan Feofitin .....	34
4.3. Reaksi Feofitinasi .....	36
4.4. Pola Spektra Fotodegradasi Klorofil .....	37
4.5. Panjang Gelombang Maksimum RBBR .....	38
4.6. Kurva Kalibrasi <i>Remazol Brilliant Blue R</i> (RBBR) .....	40
4.7. Grafik Pengaruh pH terhadap Fotodegradasi RBBR .....	41
4.8. Mekanisme Efek Penambahan Basa Terhadap Struktur RBBR .....	42
4.9. Grafik Pengaruh Volume Fotosensitizer Terhadap Fotodegradasi RBBR .....	43
4.10. Grafik Pengaruh Waktu Kontak Fotosensitizer Terhadap Fotodegradasi RBBR .....	45
4.11. Kurva Kalibrasi Zat Warna RBBR .....	47
4.12. Mekanisme Pembentukan Oksigen Singlet .....	49
4.13. Orbital Molekul Oksigen Triplet .....	50
4.14. Orbital Molekul Oksigen Singlet .....	50
4.15. Reaksi Degradasi RBBR .....	53

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Hal
1. Skema Kerja Penelitian .....	59
2. Perhitungan Pembuatan Larutan .....	63
3. Perhitungan Kadar Klorofil.....	64
4. Perhitungan Kadar RBBR.....	65
5. Dokumentasi Penelitian .....	70
6. Data Hasil Analisis Spektrofotometer UV-Vis .....	73



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, sektor industri di Indonesia berkembang dengan sangat pesat. Badan Pusat Statistik melaporkan, pertumbuhan industri baik besar, menengah, maupun kecil mengalami peningkatan (BPS, 2013). Hal ini menimbulkan dampak positif karena dengan adanya industri dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat. Namun, keberadaan industri juga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar. Dengan adanya industri, muncul masalah pencemaran air yang disebabkan oleh limbah yang dibuang secara langsung tanpa mengalami pengolahan.

Salah satu penghasil limbah cair terbesar adalah limbah industri batik yang dihasilkan dari proses pencelupan. Air limbah yang dihasilkan diduga dibuang langsung ke perairan tanpa mengalami proses pengolahan, sehingga dapat mencemari lingkungan. Dalam penelitian ini sampel limbah batik diperoleh dari salah satu *home industry* batik di kota Solo yaitu Batik Arum Dalu. Dalam proses pencelupan batik Arum Dalu menggunakan berbagai macam zat warna reaktif diantaranya: *Water dust*, *Custik*, *Remazol Brilliant Blue R*, *Remazol Brilliant Blue br*, *Remazol Brilliant Blue px*, *Remazol Red rb*, *Remazol Orange 3r*, dan *Remazol Yellow fg*. Salah satu zat warna yang digunakan dalam proses pencelupan batik

Arum Dalu adalah zat warna *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR) yang juga digunakan dalam penelitian ini.

Zat warna *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR) merupakan zat warna berbentuk serbuk biru tua. Zat warna ini termasuk dalam golongan zat warna reaktif, dan sering digunakan dalam industri tekstil dan proses pencelupan batik (Indrawati, 2008). Industri batik terus menerus akan membuang zat warna tersebut ke lingkungan. Sehingga secara perlahan limbah zat warna akan mencemari lingkungan sekitar industri. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengolahan limbah untuk mengurangi pencemaran air sebelum limbah zat warna dibuang ke lingkungan.

Pengolahan limbah dapat dilakukan secara kimia, fisika, maupun biologi. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengolah limbah batik. Pengolahan limbah cair secara kimia diantaranya: adsorpsi dengan menggunakan adsorben arang batok kelapa (Jannantin *et al.*, 2003). Cara ini memiliki kelemahan yaitu menghasilkan limbah lain berupa lumpur/endapan sehingga perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah tersebut. Pengolahan limbah cair secara fisika misalnya metode sedimentasi. Namun, metode ini kurang cocok karena hanya mengendapkan limbah dan butuh pengolahan lebih lanjut terhadap limbah yang terendapkan. Pengolahan limbah secara biologi juga sudah sering dilakukan, seperti memanfaatkan jamur *Indigenous* (Stia dan Lestari, 2010), namun hasilnya kurang efektif karena metode ini tidak dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah cair dengan volume besar.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diajukan pengolahan limbah alternatif yaitu fotodegradasi zat warna RBBR dengan penambahan fotosensitizer. Fotosensitizer adalah bahan yang dapat menyerap foton serta mentrasfer kelebihan energinya ke oksigen triplet sehingga terbentuk oksigen singlet (Min dan Boff, 2002). Dalam beberapa dekade terakhir, klorofil dikembangkan sebagai fotosensitizer dalam terapi fotodinamika untuk penghancuran sel tumor dan kanker (Limantara *et al.*, 2006). Berdasarkan penelitian Abidillah *et al.*, (2014), diantara tumbuhan pepaya, singkong, dan kacang, tumbuhan pepaya memiliki kandungan klorofil total, klorofil a dan klorofil b tertinggi. Kandungan klorofil total daun pepaya sebesar 4,6151 mg/g, klorofil a sebesar 3,3948 mg/g, dan klorofil b sebesar 1,2203 mg/g. Selain klorofil senyawa turunan klorofil juga dapat berfungsi sebagai fotosensitizer. Salah satu senyawa turunan klorofil adalah feofitin. Pemanfaatan feofitin telah banyak diaplikasikan diantaranya: pemanfaatan feofitin a dari daun teh sebagai antioksidan (Kusmita *et al.*, 2015), dan pemanfaatan feofitin a dari daun suji sebagai fotosensitizer dalam terapi pengobatan kanker (Arfandi *et al.*, 2013). Namun belum banyak peneliti melakukan penelitian tentang pemanfaatan feofitin sebagai fotosensitizer dalam fotodegradasi zat warna. Permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana pengaruh penambahan fotosensitizer feofitin dari daun pepaya (*Carica papaya L.*) dalam fotodegradasi zat warna RBBR.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan hal-hal yang diungkapkan diatas, dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan fotosensitizer feofitin daun pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap penurunan kadar zat warna RBBR?
2. Berapa pH optimum zat warna RBBR dalam proses fotodegradasi?
3. Berapa volume optimum fotosensitizer feofitin daun pepaya (*Carica papaya L.*) yang ditambahkan untuk mendegradasi zat warna RBBR?
4. Berapa waktu kontak optimum sinar UV untuk mendegradasi zat warna RBBR?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh penambahan fotosensitizer feofitin daun pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap penurunan kadar zat warna RBBR;
2. Mengetahui pH optimum zat warna RBBR dalam proses fotodegradasi;
3. Mengetahui volume optimum fotosensitizer feofitin daun pepaya (*Carica papaya L.*) yang ditambahkan untuk mendegradasi zat warna RBBR;
4. Mengetahui waktu kontak optimum sinar UV untuk mendegradasi zat warna RBBR.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Menyajikan salah satu metode alternatif dalam mendegradasi zat warna RBBR.
2. Memberikan referensi kepada peneliti selanjutnya agar mendapatkan kondisi variabel yang tepat dalam degradasi zat warna RBBR dengan cara penambahan fotosensitizer feofitin a dari daun pepaya (*Carica papaya L.*).



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

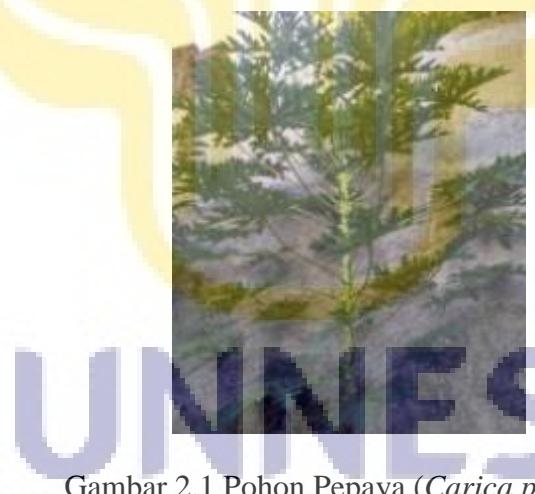
#### **2.1 Pepaya**

Asal mula tanaman pepaya ini berasal dari Amerika tropis, dan menyebar ke seluruh negara di dunia salah satunya Indonesia. Di Indonesia sendiri tanaman pepaya sudah menyebar hampir di setiap pekarangan rumah. Ciri-ciri tanaman pepaya antara lain: tinggi mencapai 3 m, berakar tunggang dan akar samping yang lunak, daun berbentuk menjari (Gambar 2.1), dan batang berongga. Terdapat 2 jenis bunga pepaya yaitu bunga berkelamin tunggal (hanya memiliki putik atau benang sari saja), dan bunga berkelamin sempurna (hermafrodit) yaitu bunga yang memiliki putik dan benang sari. Dengan demikian, pohon pepaya berdasarkan bunga yang dimilikinya dibedakan menjadi 2 yaitu: pohon pepaya jantan, dan pohon pepaya sempurna. Buah pepaya memiliki getah yang mengandung enzim papain yang mana enzim papain ini mampu merombak protein atau bersifat proteolitik. Pemanfaatan pepaya di Indonesia beranekaragam, selain dikonsumsi sebagai buah segar, kini pepaya telah diolah menjadi makanan olahan, seperti: saus dan manisan. Sedangkan papain yang dihasilkan dapat digunakan sebagai: penyamak kulit, pelunak daging, dan sebagai bahan kosmetik (Sunarjono, 2008).

### **2.1.1 Taksonomi Tanaman Pepaya**

Kedudukan tanaman pepaya dalam sistematik (taksonomi) tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut (Rukmana,2005):

- Kingdom : Plantae (tumbuh-tumbuhan)
- Divisi : Spermatophyta (Tumbuhan berbiji)
- Sub-Divisi : Angiosperma (Biji Tertutup)
- Kelas : Dicotyledonae (Biji berkeping dua)
- Ordo : Caricales
- Famili : Caricaceae
- Spesies : *Carica papaya L.*



Gambar 2.1 Pohon Pepaya (*Carica papaya L.*)

### **2.1.2 Kandungan Klorofil Daun Pepaya**

Kandungan klorofil tiap tanaman berbeda, karena kemampuan biosintesis klorofil tanaman satu dengan yang lain juga berbeda (Abdillah *et al.*, 2014). Tabel 2.1 menyajikan kandungan klorofil total, klorofil a, dan klorofil b dalam beberapa tanaman dan fitoplankton. Berdasarkan tabel 2.1 dapat diketahui bahwa: kandungan klorofil total, klorofil a dan klorofil b tertinggi terdapat pada spesies

fitoplankton *Chlorella vulgaris*. Sedangkan untuk kandungan klorofil total, klorofil a dan klorofil b tertinggi pada jenis tanaman terdapat pada tanaman pepaya. Kandungan klorofil total pada daun pepaya sebesar 4,6151 mg/g, klorofil a sebesar 3,3948 mg/g, dan kandungan klorofil b sebesar 1,2203 mg/g.

Tabel 2.1 Kandungan Klorofil Total, Klorofil a dan Klorofil b (mg/g) pada Beberapa Tanaman dan Fitoplankton (Abdilah *et al.*, 2014)

Jenis Tanaman/ Fitoplankton	Kandungan klorofil (mg/g BB)		
	A	B	Total
<i>Chlorella vulgaris</i>	7,3653	4,2835	11,6488
<i>Dunaliella Salina</i>	7,0703	4,5193	11,5896
<i>Isochrysis aff galbana</i>	6,7098	4,6989	11,4087
<i>Tetraselmis Chuii</i>	6,7582	3,8456	10,6038
Pepaya	3,3948	1,2203	4,6151
Singkong	2,9139	0,9287	3,8426
Kacang	1,7258	0,534	2,2598

## 2.2 Klorofil

Klorofil merupakan zat hijau daun yang digunakan dalam proses fotosintesis. Dalam proses fotosintesis, klorofil bertindak sebagai penarik elektron dari cahaya matahari. Struktur kimia klorofil hampir sama dengan heme, suatu senyawa cincin pada hemoglobin. Perbedaannya pada senyawa klorofil mengandung inti Mg, sedangkan senyawa hemoglobin mengandung inti Fe. Klorofil bertindak mengabsorpsi energi sinar matahari sehingga dapat berubah menjadi molekul yang berenergi lebih tinggi (Arrohmah, 2007).

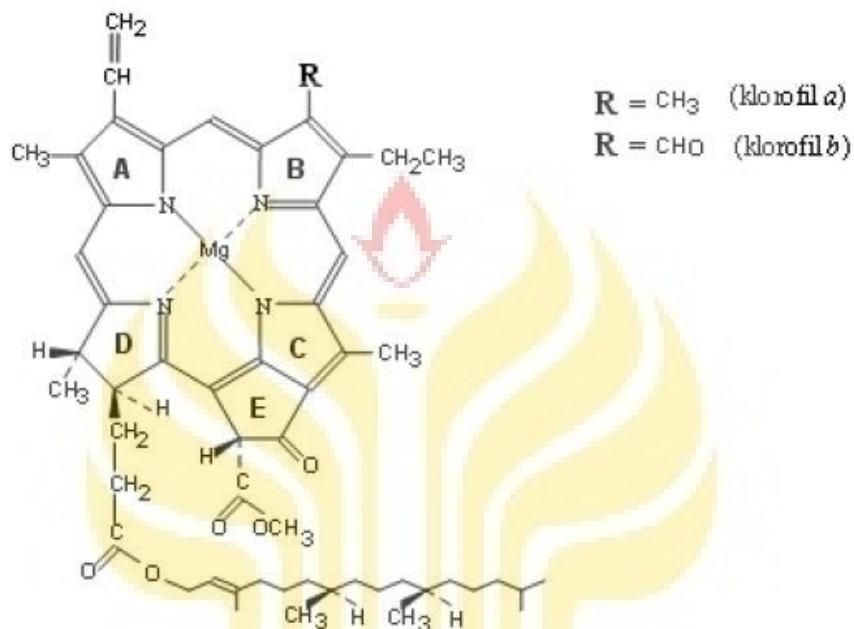
Klorofil berasal dari bahasa Yunani “chloros” yang berarti hijau dan “phyllum” yang berarti daun. Klorofil merupakan pigmen tanaman berwarna hijau. Klorofil terdapat pada kloroplas di dalam sel daun tanaman dan bagian lain

yang berwarna hijau. Klorofil tanaman ada 5 macam, yaitu: klorofil a, klorofil b, klorofil c, klorofil d, dan klorofil e. Klorofil a dan klorofil b terdapat pada tanaman tingkat tinggi, *ferns*, dan *mosses*, sedangkan klorofil c, d, dan e terdapat pada ganggang. Klorofil a berwarna hijau tua dan klorofil b berwarna hijau muda. Klorofil c, d, dan e berwarna merah dan biru (Pitojo, 2008).

Klorofil merupakan senyawa yang tidak stabil dan mudah terdegradasi oleh pengaruh: panas, asam, cahaya, pH, lingkungan dan oksigen. Hal ini disebabkan karena ikatan koordinasi dengan magnesium (Mg) dalam klorofil yang mudah lepas (Mortensen, 2006). Namun berdasarkan penelitian Prima (2013), klorofil dapat distabilkan dengan penambahan bahan penstabil yaitu  $MgCO_3$  dan  $NaHCO_3$ . Dengan adanya bahan penstabil ini klorofil dapat bertahan lebih lama. Selain itu berdasarkan hasil penelitian Rohmat *et al.*, (2014) klorofil dapat lebih stabil apabila disimpan pada suhu dingin. Dengan penambahan *dry ice* dengan suhu 5°C.

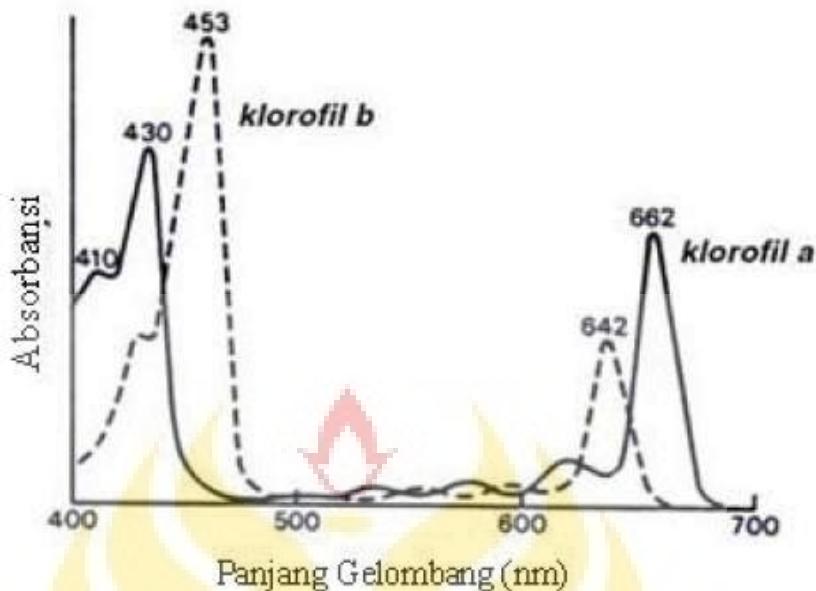
Seiring dengan perkembangan zaman, klorofil telah banyak dimanfaatkan. Diantaranya: klorofil sayuran hijau sebagai alternatif bahan dasar makanan tambahan (Setiari, 2009), klorofil sebagai antioksidan (Prangdimurti, 2006), dll. Menurut Wirahadikusumah, sebagaimana dikutip oleh Tambunan (2009), Tumbuhan umumnya mengandung 2 jenis klorofil, yaitu klorofil a dan klorofil b. Klorofil a adalah suatu senyawa kompleks antara magnesium dan porfirin yang mengandung cincin siklopentanon. Keempat atom nitrogennya dihubungkan secara ikatan koordinasi dengan ion  $Mg^{2+}$  membentuk senyawa kompleks planar (Gambar 2.2). Pada porfirin melekat ekor hidrokarbon yang berinteraksi dengan

daerah hidrofobik protein. Klorofil b adalah klorofil kedua yang terdapat dalam tumbuhan hijau, sedangkan klorofil c terdapat dalam ganggang coklat, diatom, dan dinoflagelata.



Gambar 2.2 Struktur Kimia Klorofil a dan Klorofil b (Kusmita *et al.*, 2009)

Klorofil a memiliki rumus:  $C_{55}H_{72}O_4N_4Mg$ , sedangkan rumus klorofil b:  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ . Perbedaan klorofil a dan klorofil b terletak pada jumlah atom H dan O. Selain itu perbedaannya terletak pada kemampuan mengabsorbsi cahaya. Klorofil a dapat mengabsorpsi panjang gelombang panjang dan sedikit panjang gelombang pendek, sedangkan klorofil b hanya mengabsorpsi panjang gelombang pendek. Gambar 2.3 menyajikan spektrum absorbansi klorofil a dan klorofil b.



Gambar 2.3 Spektrum Absorbansi Klorofil a dan Klorofil b (Larkum dalam Widiastuti, 2015)

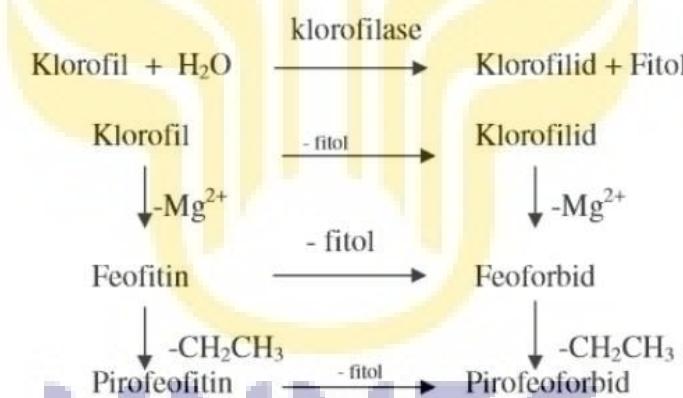
Berdasarkan Gambar 2.3, daerah absorpsi klorofil a menyerap daerah dengan panjang gelombang 430 nm dan 662 nm, sedangkan klorofil b menyerap daerah dengan panjang gelombang 453 nm dan 642 nm.

### 2.3 Senyawa Turunan Klorofil

Klorofil merupakan senyawa yang mudah terdegradasi oleh pengaruh: panas, asam, cahaya, pH, lingkungan dan oksigen. Proses degradasi klorofil akan menghasilkan senyawa-senyawa turunannya (Tabel 2.2). Gambar 2.4 menyajikan reaksi-reaksi perubahan klorofil menjadi senyawa turunannya.

Tabel 2.2 Senyawa-Senyawa Turunan Klorofil (Clydesdale, 1976)

Senyawa Turunan klorofil	Struktur
Klorin	Dihidroporfirin
Rodin	Dihidroporfirin dengan karbonil berdampingan dengan cincin pirol
Forbin	Dihidroporfirin dengan cincin karboksilik tambahan
Forbida	Ester dari forbin
Feoforbida	Ester metil dari forbin
Fitin	Ester fitil dari forbin
Feofitin	Ester metil dan fitil dari forbin
Filin	Turunan magnesium dari salah satu senyawa diatas
Klorofilin	Turunan magnesium dari fitin
Klorofilida	Turunan magnesium dari feoforbida



Gambar 2.4 Perubahan Klorofil menjadi beberapa Senyawa Turunannya (Clydesdale, 1976)

## 2.4 Feofitin

Menurut Gross (1991), reaksi feofitinisasi adalah reaksi pembentukan feofitin yang berwarna hijau kecoklatan. Reaksi ini terjadi karena ion magnesium ( $Mg^{2+}$ ) di pusat molekul klorofil terlepas dan diganti oleh ion hidrogen ( $H^+$ ). Lepasnya ion pusat  $Mg^{2+}$  dalam klorofil terjadi karena denaturasi protein pelindung dalam kloroplas, yang mana selanjutnya digantikan oleh ion hidrogen

sehingga terbentuk feofitin. Selain dapat bereaksi dengan asam, klorofil juga dapat bereaksi dengan basa yang menghasilkan gugus filin (*phyllins*). Filin merupakan komponen porfirin bergugus magnesium. Filin dapat bereaksi dengan asam dan membentuk porfirin.

Proses feofitinasi dapat dilakukan dengan cara penambahan asam maupun dengan pemanasan. Proses feofitinasi dengan penambahan asam (Gambar 2.5) telah dilakukan oleh Kusmita *et al.* (2009), proses feofitinasi lebih cepat terjadi dengan menggunakan asam kuat HCl, karena asam kuat lebih cepat dan lebih mudah menarik logam magnesium dibandingkan asam lemah. Selain itu gugus – Cl merupakan gugus yang bersifat *auxokrom* yaitu gugus jenuh yang dapat mengubah panjang gelombang dan intensitas serapan maksimum apabila berikatan dengan kromofor. Berdasarkan penelitian Budiyanto (2008), titrasi asam klorida (HCl) dengan volume  $>750 \mu\text{L}$  menyebabkan klorofil a mengalami feofitinasi secara cepat.

Proses feofitinasi dengan pemanasan juga telah dilakukan oleh Arfandi *et al.* (2013), suhu maksimum yang diperlukan untuk menghasilkan feofitin adalah  $90^\circ\text{C}$  dengan nilai pH sebesar 3,3. Oktaviani (1987) menyatakan bahwa, pemanasan dapat mengakibatkan denaturasi protein sehingga klorofil menjadi tidak terlindung lagi.

## 2.5 Fotosensitizer

Sensitizer merupakan suatu substansi yang dapat menyerap energi cahaya dan mentransfer kelebihan energinya ke oksigen triplet untuk membentuk oksigen singlet dan kemudian bereaksi secara langsung dengan senyawa yang kaya

elektron (Min dan Bolf, 2002). Fotosensitizer biasa digunakan dalam terapi pengobatan kanker. Fotosensitizer akan aktif saat dikenai cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Sehingga senyawa tersebut dapat membunuh sel kanker. Salah satu senyawa fotosensitizer adalah klorofil. Dalam aplikasinya klorofil akan berinteraksi dengan dua komponen penting yakni oksigen dan cahaya (Fiedor *et al.*, 2002).

## 2.6 Zat Warna

Zat warna adalah bahan yang dipakai untuk memberi warna pada bahan lain seperti: tekstil, kertas dan bahan makanan. Zat warna alami dapat diperoleh dari hewan maupun tumbuhan dengan perlakuan tertentu. Zat warna berdasarkan cara pemakaianya dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain (Isminingsih, 1979):

1. Zat warna asam

Zat warna asam merupakan zat warna anionik yang larut dalam air. Zat warna ini biasanya digunakan untuk mewarnai tekstil seperti bahan sutra, wool, dan nilon. Zat warna aslinya mengandung asam mineral atau asam organik yang dibuat dalam bentuk garam natriumnya.

2. Zat warna basa

Zat warna basa merupakan zat warna kationik, zat warna ini dapat larut dalam air. Zat warna ini biasanya digunakan untuk mewarnai tekstil seperti: bahan sutra, wool, dan nilon. Dalam pewarnaannya untuk membantu mengikat zat warna ditambahkan asam asetat.

### 3. Zat warna direct

Zat warna ini biasa dipakai pada kondisi netral atau alkali kuat dengan pemanasan dan penambahan NaCl atau Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Zat warna ini biasa digunakan untuk mewarnai tekstil seperti bahan: katun, kertas, wool, sutra, dan nilon.

### 4. Zat warna mordant

Sebagian besar zat warna mordant merupakan zat warna alam. Zat warna ini menjadi tidak larut apabila berikatan dengan oksida logam.

#### a. Zat warna bejana

Zat warna bejana merupakan zat warna yang tidak larut dalam air. Namun dengan reaksi reduksi dengan larutan alkali akan terbentuk senyawa leuko yang larut dalam air.

#### b. Zat warna reaktif

Zat warna reaktif mengandung gugus reaktif, sehingga pada kondisi alkali lemah dan asam lemah dapat berikatan dengan bahan.

#### c. Zat warna disperse

Zat warna ini tidak larut dalam air. Rata-rata pewarnaannya dipengaruhi oleh pemilihan agen pendispersi.

#### d. Zat warna azo

Zat warna ini tidak larut dalam air, dan pada proses pewarnaan dipengaruhi oleh pemilihan diazo dan komponen coupling.

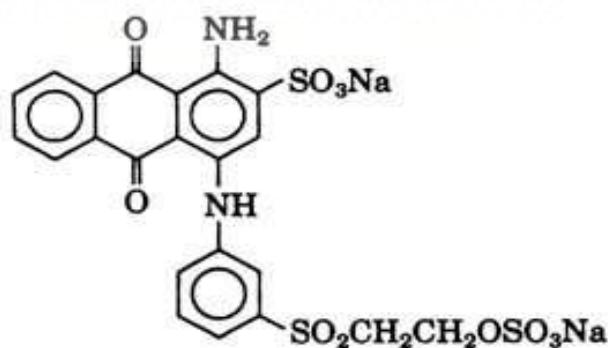
Zat warna reaktif sulit dihilangkan, karena adanya ikatan kovalen yang kuat antara atom karbon dari zat warna dengan atom O, N, atau S dari gugus hidroksi, amino atau thiol dari polimer. Zat warna reaktif mempunyai berat

molekul yang relatif kecil. Keuntungan zat warna reaktif adalah spektra absorpsinya runcing dan jelas, strukturnya relatif sederhana, dan warnanya lebih terang (Hunger K, 2007).

### **2.6.1 Zat Warna Remazol Brilliant Blue R (RBBR)**

Zat warna RBBR merupakan salah satu jenis zat warna reaktif yang banyak digunakan dalam industri tekstil maupun industri batik (Mahmoud, 2007). Sebagian besar industri batik menggunakan zat warna ini saat proses pencelupan. Tidak adanya pengolahan limbah yang dihasilkan sebelum dibuang ke badan lingkungan, menyebabkan dampak negatif bagi kesehatan masyarakat sekitar maupun ekosistem alam. Dampak negatif zat warna RBBR bagi kesehatan antara lain: dapat menimbulkan iritasi kulit, mata, saluran pernafasan, dan saluran pernafasan. Zat warna ini juga berbahaya apabila tertelan dan terhirup (Nirmasari, 2008). Dampak negatif zat warna RBBR bagi lingkungan yaitu dapat menimbulkan pencemaran air bagi badan lingkungan seperti sungai. Sehingga air di sungai menjadi kotor dan tidak dapat dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari oleh masyarakat sekitar. Rumus struktur zat warna RBBR disajikan dalam Gambar 2.5.

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 2.5 Rumus Struktur Zat Warna RBBR (Suteu, D., et al, 2005)

## 2.7 Metode Instrumentasi

### 2.7.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi suatu larutan di daerah ultraviolet dan di daerah tampak. Prinsip spektrofotometer berdasarkan pada serapan sinar oleh atom atau molekul tertentu. Sinar yang digunakan merupakan sinar monokromatis. Intensitas penyerapan dijelaskan dengan hukum lambert-beer. Hukum Lambert menyatakan bahwa proporsi berkas cahaya datang yang diserap oleh suatu bahan/medium tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Hukum Lambert ini hanya berlaku jika di dalam bahan/medium tersebut tidak ada reaksi kimia ataupun proses fisis yang dapat dipicu atau diimbangi oleh berkas cahaya datang (Tahir, 2008).

$$A = \epsilon b c$$

Keterangan:

A = Absorbansi

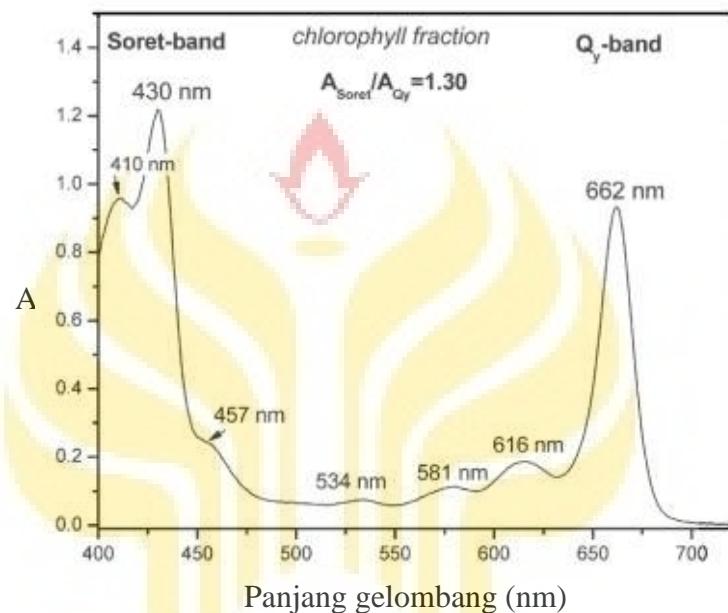
$\epsilon$  = absorbtivitas molar ( $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )

c = konsentrasi molar ( $\text{mol L}^{-1}$ )

b = panjang/ketebalan dari bahan/medium yang dilintasi oleh cahaya (cm).

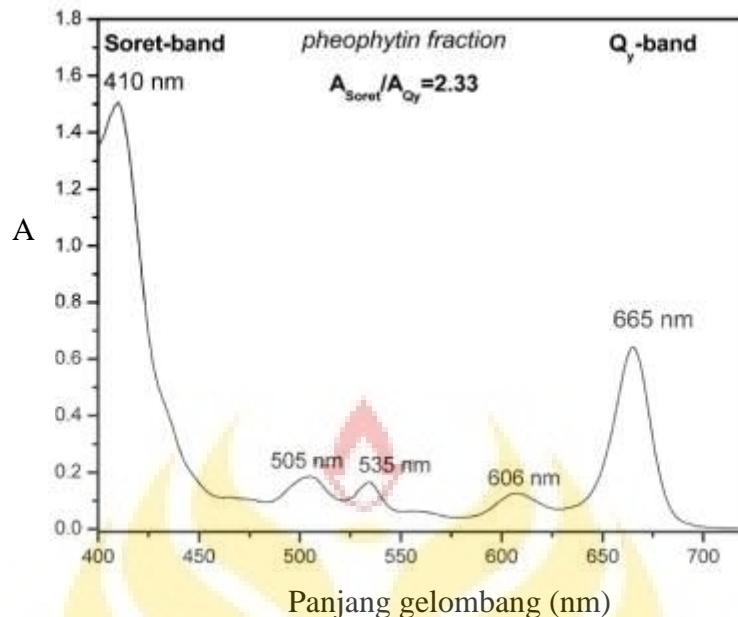
Berdasarkan pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis akan diperoleh grafik hubungan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan absorbansi. Melalui pengukuran absorbansi suatu sampel dan menginterpolasikannya ke kurva kalibrasi, maka konsentrasi sampel dapat ditentukan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Milenkovic *et al.* (2012), dihasilkan grafik hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi pada Gambar 2.6. Berdasarkan spektrum klorofil tersebut, muncul 2 puncak khas yaitu pada daerah 430 nm dan 662 nm.



Gambar 2.6 Spektrum UV-Vis Klorofil (Milenkovic *et al.*, 2012)

Berdasarkan penelitian Milenkovic *et al.*, 2012, terbentuknya feofitin ditandai dengan munculnya serapan pada daerah: 410; 505; 535; 606; dan 665 nm. Sehingga dihasilkan grafik hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Spektrum UV-Vis Feofitin (Milenkovic *et al.*, 2012)

### 2.7.2 Ekstraksi Maserasi

Maserasi merupakan metode ekstraksi yang sederhana. Maserasi dilakukan dengan cara merendam sampel dalam pelarut organik. Pelarut organik akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung zat aktif sehingga zat aktif akan larut. Perbedaan konsentrasi antara larutan zat aktif di dalam sel, mengakibatkan larutan yang terpekat didesak keluar. Keuntungan metode ekstraksi ini, adalah metode dan peralatan yang digunakan sederhana dan mudah diusahakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi ekstraksi, antara lain: ukuran bahan, lama dan suhu ekstraksi, dan jenis dan konsentrasi pelarut (Hukmah, 2007).

Berdasarkan penelitian Kusmita (2015) dalam memisahkan pigmen klorofil digunakan ekstraksi maserasi. Ekstraksi maserasi menggunakan pelarut aseton:metanol dengan perbandingan 3:7. Selama proses ekstraksi ditambahkan

natrium askorbat. Hal ini bertujuan untuk mencegah oksidasi lebih lanjut. Proses ekstraksi dilakukan secepat mungkin untuk menghindari oksidasi lebih lanjut dan degradasi enzimatik. Ekstrak disaring dan residu kembali diekstraksi hingga warna residu menjadi pucat. Ekstrak yang dihasilkan dipartisi dengan menggunakan dietil eter. Berdasarkan penelitian Budiyanto (2008), ekstrak dipartisi dengan dietil eter sebanyak 3x, kemudian fase organik ditambah dengan natrium sulfat anhidrat yang berfungsi untuk mengikat air. Selanjutnya diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator* untuk menguapkan pelarut.

### 2.7.3 Kromatografi Lapis Tipis (KLT)

Kromatografi Lapis Tipis (KLT) merupakan salah satu kromatografi yang berdasarkan proses adsorpsi. Terdiri atas fase diam dan fase gerak. Fase diam yang dapat digunakan adalah silika atau alumina yang dilapiskan pada lempeng kaca atau aluminium. Jika fase diam berupa silika gel maka bersifat asam, jika fase diam alumina maka bersifat basa. Fase gerak atau larutan pengembang biasanya digunakan pelarut organik atau bisa juga campuran pelarut organik anorganik. Untuk identifikasi dari senyawa-senyawa yang terpisah dari lapisan tipis menggunakan harga Rf. Harga Rf didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{Harga Rf} = \frac{\text{jarak yang digerakkan oleh senyawa dari titik asal}}{\text{jarak yang digerakkan oleh pelarut dari titik asal}}$$

Harga Rf untuk senyawa murni dapat dibandingkan dengan harga Rf senyawa standar. Harga-harga Rf yang diperoleh hanya berlaku untuk campuran tertentu dari pelarut dan penyerap yang digunakan, meskipun demikian daftar dari harga-harga untuk berbagai campuran dari pelarut dan penyerap dapat diperoleh (Sastrohamidjojo, 2005).

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan fotosensitizer feofitin daun pepaya (*Carica papaya L.*) dalam sampel zat warna RBBR dapat menurunkan kadar zat warna RBBR.
2. pH optimum zat warna RBBR dalam proses fotodegradasi yaitu 7, dengan % penurunan zat warna RBBR sebesar 20,7055 %.
3. Volume fotosensitizer feofitin daun pepaya optimum yang ditambahkan yaitu sebanyak 1,5 ml dengan % penurunan zat warna RBBR sebesar 26,3465 %.
4. Waktu kontak optimum sinar UV optimum yang diperlukan untuk mendegradasi zat warna RBBR yaitu selama 30 menit dengan % penurunan sebesar 14,8720 %.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menemukan kendala dalam melakukan identifikasi klorofil dengan menggunakan KLT, dan dalam melakukan feofitinasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdilah, F., Indah, R., Ahyar, A. 2014. Pengujian Daya Antioksidan dan Sifat Toksisitas Ekstrak Co(II) Turunan Klorofil. *Jurnal MIPA*.
- Arfandi, A., Ratnawulan, Yenni, D. 2013. Proses Pembentukan Feofitin Daun Suji Sebagai Bahan Aktif *Photosensitizer* Akibat Pemberian Variasi Suhu. *Pillar Of Physics*, 1: 67-68.
- Arrohmah. 2007. *Studi Karakteristik Klorofil pada Daun Sebagai Material Photodetector Organic*. Skripsi. Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- Barrazouk, S., Laurent Bekale, Surat Hotchandani. 2012. Enhanced Photostability of Chlorophyll-a Using Gold Nanoparticles as an Efficient Photoprotector. *Journal of Materials Chemistry*, 22: 25316-25324.
- Budiyanto, A.W., Soenarto Notosudarmo, Leenawaty Limantara. 2008. Pengaruh Pengasaman terhadap Fotodegradasi Klorofil a. *Jurnal Matematika dan Sains*, 13(3): 66-75.
- Clydesdale, F.M. 1976. Principles of Food Science. Marcel Dekker, Inc: New York.
- Dinas Perindustrian Provinsi Jawa Tengah. 2015. *Banyaknya Perusahaan/ Unit Usaha Menurut Jenis Industri di Jawa Tengah Tahun 2009 – 2013*. Online. Tersedia di [www.jateng.bps.go.id/linkTabelStatistik/view/id/715.html](http://www.jateng.bps.go.id/linkTabelStatistik/view/id/715.html) [diakses 22-08-2015].
- Erprihana, A, A., Dhoni Hartanto. 2014. Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Jeruk Keprok (*Citrus reticulata*) untuk Adsorpsi Pewarna Remazol Brilliant Blue. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2): 26-32.
- Fachri, A.R., R.M. Arief Sastrawan., Guntur Svingkoe. 2012. Kondisi Optimum Proses Tanin dari Daun Jambu Biji dengan Menggunakan Pelarut Etanol. *Prosiding Stnk Topi*, 1907-0500.
- Fiedor, J., Fiedor, L. Kammhuber, N. Scherz, A., Scheer, H. 2002. Photodynamics Of The Bacteriochlorophyll-Carotenoid System. 2. Influence Of Central Metal, Solvent and Beta Carotene on Photobleaching Of Bacteriochlorophyll Derivatives. *Photochem Photobiol* , 76(2): 145-152.

- Gross, J. 1991. Pigment in Vegetables, Chlorophylls and Carotenoids. dalam Arfandi, A. & Yenni, D. Proses Pembentukan Feofitin Daun Suji Sebagai Bahan Aktif Photosensitizer Akibat Pemberian Variasi Suhu. *Pillar of Physics*, 1: 68-76.
- Hukmah, S. 2007. *Aktivitas Antioksidan Katekin dari Teh Hijau (Camellia Sinensis O.K. Var. Assamica (maw) Hasil Ekstraksi Dengan Variasi Pelarut dan Suhu*. Skripsi. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.
- Hunger, K. 2007. *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Application*. Jerman: Wiley-vch
- Indrawati. 2008. *Dekolorisasi Larutan Remazol Brilliant Blue Menggunakan Ozon Hasil Elektrolisis*. Makalah Penelitian UNDIP. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Isminingsih, G. 1979. *Pengantar Kimia Zat Warna*. Bandung: Institut Teknologi Tekstil.
- Jannatin, R.D., M. Razif, M. Mursid. 2003. *Uji Efisiensi Removal Adsorpsi Arang Batok Kelapa Untuk Mereduksi Warna Dan Permanganat Value Dari Limbah Cair Industri Batik*. Laporan Penelitian. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Kusmita, L. & L. Limantara. 2009. Pengaruh Asam Kuat dan Asam Lemah terhadap Agregasi dan Feofitinas Klorofil a dan b. *Indo. J. Chem*, 9(1): 70-76.
- Kusmita, L., I. Puspitaningrum, Leenawaty Limantara. 2015. Identification, Isolation, and Antioxidant Activity of Pheophytin from Green Tea (*Camelia sinensis (L.) Kuntze*). *Procedia Chemistry*, 14: 232-238.
- Limantara, L., Peter Koehler, Brigitte Wilhelm, Robert J.P., Hugo Scheer. 2006. Photostability of Bacteriochlorophyll a and Derivatives: Potential Sensitizers for Photodynamic Tumor Therapy. *Photochemistry and Photobiology*, 82: 770-780.
- Linar, J. 2009. *Karakteristik Optik dan Elektronik Ekstrak Klorofil Spirulina Fusiformis*. Skripsi. Bogor: FMIPA Institut Pertanian Bogor.
- Mahmoud, A.S., A.E. Ghaly, S.L Brooks. 2007. Influence of Temperature and pH on the Stability and Calorimetric Measurement of Textile Dyes. *American Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 3 (1): 33-41.

- Milenkovic, S.M., Jelena B.Z., Tatjana D.A., Dejan Z.M. 2012. The Identification of Chlorophyll and its Derivates in The Pigment Mixtures: HPLC-Chromatography, Visible and Mass Spectroscopy Studies. *Advanced technologies*, 1(1):16-24.
- Min, D.B., J.M. Boff. 2002. Chemistry and Reaction of Singlet Oxygen in Foods. *Food Science and Food Safety*, 1: 58-72.
- Mortensen, A. 2006. Carotenoids and Other Pigments as Natural Colorants. *Pure Appl Chem*, 78(8): 1477-1491.
- Nirmasari, Asty Dwi. 2008. Pengaruh pH Terhadap Elektrodegradasi Zat Warna Remazol Black B dengan Elektroda PbO<sub>2</sub>. *Makalah Penelitian*. Semarang: UNDIP.
- Oktaviani, Lira. 1987. *Perubahan-perubahan yang Terjadi pada Ekstrak Warna Hijau Daun Suji (Pleomele angustifolia) Selama Penyimpanan*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Osma, J.F., Jose, L., Toca Herrera, Susana, R.C. 2010. Transformation Pathway of Remazol Brilliant Blue R by Immobilised Laccase. *Bioresource Technology*, 101: 8509-8514.
- Pitojo, S. 2008. *Khasiat Cincau Perdu*. Online. Tersedia di [www.books.google.co.id/books?id=dOUSVKtfQ5UC&pg=PT23&dq=klorofil+daun&hl=id&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=klorofil%20daun&f=false.html](http://www.books.google.co.id/books?id=dOUSVKtfQ5UC&pg=PT23&dq=klorofil+daun&hl=id&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=klorofil%20daun&f=false.html) [diakses 22-08-2015].
- Prangdimurti, E., Deddy Muchtadi, Made Astawan, dan Fransiska, R.Z. 2006. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Suji (Pleomele angustifolia N.E. Brown). *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 17(2).
- Prima, M.K. 2013. Pengaruh Penambahan MgCO<sub>3</sub> dan NaHCO<sub>3</sub> dengan Perbedaan Pencahayaan Terhadap Stabilitas Pigmen Klorofil-a Mikroalga . *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 2(3): 25-33.
- Rohmat, N., Ratna Ibrahim, Putut, H.R. 2014. Pengaruh Perbedaan Suhu dan Lama Penyimpanan Rumput Laut (*Sargassum polycystum*) Terhadap Stabilitas Ekstrak Kasar Pigmen Klorofil. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(1): 118-126.
- Rohmawati, S. 2011. *Degradasi Remazol Brilliant Blue dalam Limbah Tenun Kain dengan Metode Elektrokoagulasi*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Rukamana, R. 1995. *Pepaya: Budidaya dan Pascapanen*. Yogyakarta: Kanisius.

- Sastrohamidjojo. 2005. *Kromatografi*. UGM Press: Yogyakarta.
- Setiari, N., Yulita, N. 2009. Eksplorasi Kandungan Klorofil pada beberapa Sayuran Hijau sebagai Alternatif Bahan Dasar Makanan Tambahan. *Bioma*, 11(1): 6-10.
- Stia, D.R., Sri Lestari. 2010. Dekolorisasi Limbah Batik Tulis Menggunakan Jamur *Indigenous* Hasil Isolasi pada Konsentrasi Limbah yang Berbeda. *Molekul*, 5 (2): 75-82.
- Sunarjono, H. 2008. *Berkebun 21 Jenis Tanaman Buah*. Online. Tersedia di [www.books.google.co.id/books?id=5SPir7LxpVQC&pg=PA61&dq=tanaman+pepaya&hl=id&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=tanaman%20pepaya&f=false.html](http://www.books.google.co.id/books?id=5SPir7LxpVQC&pg=PA61&dq=tanaman+pepaya&hl=id&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=tanaman%20pepaya&f=false.html) [diakses 22-08-2015].
- Suteu, D., dan Bilba, D. 2005. *Equilibrium and Kinetic study of reactive Dye BrilliantRed HE-3B Adsorbtion by Actived Charcoal*. Romania: Departement of Analitical Chamistry, Technical University of Lasi.
- Tahir, Iqmal. 2008. Arti Penting Kalibrasi pada Proses Pengukuran Analitik: Aplikasi pada Penggunaan pH meter dan Spektrofotometer UV-Vis. *Paper seri Manajemen Laboratorium*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Tambunan, Jessy. L. 2009. *Karakteristik Optik dan Elektronik Ekstrak Klorofil Spirilina fusiformis*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Widiastuti Nanik, Risa Suryana, Agus Supriyanto. Karakteristik Sifat Optik Lapisan Tipis Material PCB M Hibrid Klorofil *Spirullina sp.* dengan Metode Spin Coating. *Berkala Fisika Indonesia*, 7(1).

