

**UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN SENYAWA FUKOSANTIN DARI
Cyclotella striata MENGGUNAKAN METODE VOLTAMMETRI SIKLIK**

(Skripsi)

Oleh

WULANDARI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN SENYAWA FUKOSANTIN DARI *Cyclotella striata* MENGGUNAKAN METODE VOLTAMMETRI SIKLIK

Oleh

WULANDARI

Fukosantin merupakan salah satu pigmen utama dari karotenoid laut yang bersumber dari makroalga dan mikroalga jenis diatom. Fukosantin memiliki kemampuan dalam meredam radikal bebas sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai antioksidan alami. Metode voltametri siklik menjadi metode alternatif untuk penentuan aktivitas antioksidan fukosantin karena memiliki kelebihan berupa sensitivitas, kecepatan, dan sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai arus dan potensial fukosantin serta menentukan aktivitas antioksidan senyawa fukosantin dari *C.striata* menggunakan metode voltametri siklik. Fukosantin diperoleh pada penelitian ini melalui tahapan kultivasi, preparasi seperti pemanenan, ekstraksi menggunakan pelarut etanol, pemisahan dengan kolom kromatografi terbuka, identifikasi menggunakan kolom kromatografi lapis tipis (KLT). Pemurnian fukosantin menggunakan *Medium pressure Liquid Chromatography* (MPLC), identifikasi fukosantin berdasarkan karakteristik serapan *Visible* pada daerah λ_{maks} 448 nm, dan uji aktivitas antioksidan menggunakan metode voltametri siklik. Voltammogram fraksi fukosantin konsentrasi 3 mM memiliki aktivitas antioksidan yang paling baik ditunjukkan dengan nilai puncak arus oksidasi (I_{pa}) yaitu 8,68 μA dan nilai puncak potensial oksidasi (E_{pa}) yakni sebesar 0,487 V. Nilai koefisien aktivitas antioksidan fraksi fukosantin memberikan nilai *slope* dengan kemiringan negatif sebesar 0,277. Nilai puncak arus oksidasi (I_{pa}), puncak potensial oksidasi (E_{pa}), dan nilai koefisien aktivitas antioksidan fraksi fukosantin tersebut menunjukkan fukosantin memiliki aktivitas antioksidan yang baik, sehingga dapat dikembangkan sebagai antioksidan alami.

Kata kunci: *C.striata*, fukosantin, antioksidan, voltametri siklik.

ABSTRACT

ANTIOXIDANT ACTIVITY TEST OF FUCOXANTHIN COMPOUNDS FROM *Cyclotella striata* USING CYCLIC VOLTAMMETRY METHOD

By

WULANDARI

Fucoxanthin is one of the main pigments of marine carotenoids which are sourced from macroalgae and microalgae of the diatom type. Fucoxanthin has the ability to reduce free radicals so that it has the potential to be developed as a natural antioxidant. The cyclic voltammetry method is an alternative method for determining the antioxidant activity of fucoxanthin because it has the advantages of sensitivity, speed, and simplicity. This study aims to measure the current and potential values of fucoxanthin and determine the antioxidant activity of fucoxanthin compounds from *C. striata* using the cyclic voltammetry method. Fucoxanthin was obtained in this study through the stages of cultivation, preparation such as harvesting, extraction using ethanol solvent, separation using open column chromatography, identification using column thin layer chromatography (TLC). Purification of fucoxanthin using Medium pressure Liquid Chromatography (MPLC), identification of fucoxanthin based on Visible absorption characteristics at λ_{\max} 448 nm, and testing of antioxidant activity using cyclic voltammetry method. The voltammogram of the fraction of fucoxanthin at a concentration of 3 mM had the best antioxidant activity as indicated by the peak value of the oxidation current (I_{pa}) of 8.68 μ A and the peak value of the oxidation potential (E_{pa}) of 0.487 V. The coefficient value of the antioxidant activity of the fucoxanthin fraction gives a slope value with negative slope of 0.277. The peak value of oxidation current (I_{pa}), peak oxidation potential (E_{pa}), and the coefficient value of the antioxidant activity of the fucoxanthin fraction show that fucoxanthin has good antioxidant activity, so it can be developed as a natural antioxidant.

Key words: *C.striata*, fukosantin, antioxidants, cyclic voltammetry.

**UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN SENYAWA FUKOSANTIN DARI
Cyclotella striata MENGGUNAKAN METODE VOLTAMMETRI SIKLIK**

Oleh

WULANDARI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul : **UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN SENYAWA
FUKOSAN DARI *Cyclotella striata* MENGGUNAKAN
METODE VOLTAMMETRI SIKLIK**

Nama : **Wulandari**

NPM : **1817011018**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

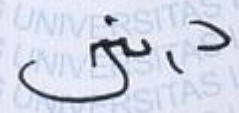


1. **Komisi Pembimbing**


Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.
NIP. 197707132009122002


Prof. Andi Setiawan, Ph.D.
NIP. 195809221988111001

2. **Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung**


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.**



Sekretaris

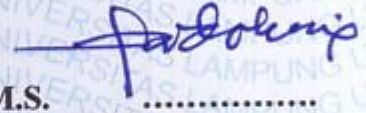
: **Prof. Andi Setiawan, Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 Januari 2023**

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wulandari
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011018
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan skripsi yang berjudul, **“Uji Aktivitas Antioksidan Senyawa Fukosantin dari *Cyclotella striata* Menggunakan Metode Voltammetri Siklik”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak berkeberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 26 Januari 2023
Yang Menyatakan,



Wulandari
NPM. 1817011018

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Wulandari, dilahirkan di Terpandi pada 19 Maret 2000, sebagai anak kedua dari dua bersaudara pasangan Alm. bapak Sukirman dan ibu Rubiyati.

Pendidikan penulis mulai dari Taman Kanak-kanak (TK) di TK Tunas Harapan diselesaikan tahun 2006, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 2 Lehan pada tahun 2012, SMP PGRI 1 Bumi Agung lulus pada tahun 2015. Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas pada tahun 2015 di MAN 1 Metro dan lulus pada tahun 2018. Tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai Kader Muda Himaki tahun 2018-2019, menjadi anggota muda Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) pada tahun 2019-2020. Penulis juga aktif mengikuti organisasi tingkat universitas sebagai sekretaris Departemen Hubungan Masyarakat (Humas) UKM-U Sains dan Teknologi Unila 2020 dan anggota departemen Hubungan Masyarakat (Humas) UKM-U Sains dan Teknologi Unila tahun 2019.

Penulis juga terdaftar sebagai penerima beasiswa Bidikmisi dari tahun 2018-2022. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Sukadana Ilir, kecamatan Sukadana, kabupaten Lampung Timur pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis telah menyelesaikan Kerja Praktik Lapangan (PKL) di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar dan praktikum kimia analitik I untuk jurusan kimia semester genap 2021/2022. Penulis juga pernah menjadi ketua Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan lulus pendanaan pada tahun 2021.



Atas izin dan keridhoan Allah SWT, atas Rahmat dan Hidayah-Nya serta rasa syukur yang luar biasa

Ku persembahkan karya sederhanaku ini kepada

*Ibu dan Alm. ayahku tercinta
Ibuku ibu Rubiyati dan Alm. Ayahku bapak Sukirman
Kakak-kakakku tersayang
Nining Solehatun dan Sumantri
Keponakanku
M. Kenzie Azka Frandika dan Kheyra Ainin Qulaibah
Yang senantiasa mendoakan, menyayangi, mendukung,
memberi semangat dalam proses penyelesaian pendidikanku*

*Rasa Hormat kepada
Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.,
Prof. Andi Setiawan, Ph.D.,
Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.,
dan seluruh dosen jurusan Kimia FMIPA UNILA
Yang senantiasa sabar membimbing, memberi banyak ilmu
yang bermanfaat, memberi nasehat, saran, dan masukan
terhadap proses penyelesaian pendidikan hingga mencapai
gelar sarjana.*

*Keluarga besar, Sahabat dan seluruh teman di kampus
Yang senantiasa mendoakan, mendukung, dan memberi
semangat*

*Almamater tercinta
Universitas Lampung*

MOTTO

Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad

(Abu Hamid Al Ghazali)

*Raihlah ilmu,
dan untuk meraih ilmu belajarlah tenang dan sabar*

(Umar bin Khattab)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya

(QS. AL-Baqarah : 286)

Usaha dan doa tergantung cita-cita. Manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya

(Jalaluddin Rumi)

Berusaha, Berdoa, Yakin Bisa

Usaha tanpa doa takkan sempurna

Usaha tanpa rasa yakin takkan maksimal

(Penulis)

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini yang berjudul :

Uji Aktivitas Antioksidan Senyawa Fukosantin dari *Cyclotella striata* Menggunakan Metode Voltammetri Siklik

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Atas segala bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si. selaku pembimbing pertama. Terima kasih atas segala bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, saran, dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas kebaikan ibu serta diberi keberkahan dunia maupun akhirat;
2. Bapak Prof. Andi Setiawan, Ph.D. selaku pembimbing kedua atas kesediannya untuk memberikan waktu, bimbingan, ide, semangat, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
3. Bapak Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku penguji atas ketersediaannya memberikan waktu, bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Ibu Rinawati, Ph.D. selaku pembimbing akademik atas ketersediaannya memberikan arahan, motivasi, saran, dan kritik selama perkuliahan;
5. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah menyetujui skripsi ini;
6. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;

7. Kedua orang tuaku tercinta yang selalu memberikan dukungan baik materi maupun moral, cinta, kasih sayang, dan ketulusan, dalam membesarkanku selama ini, yang tak henti-hentinya memberikan do'a disetiap langkahku. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian yang tidak ternilai harganya, Aamiin;
8. Kakakku Nining Solehatun dan Sumantri serta keponakanku M. Kenzie Azka Frandika dan Kheyra Ainin Qulaibah yang selalu memberi dukungan, bantuan motivasi dan do'a untuk penulis;
9. Keluarga besar Pawiro atas segala dukungan serta doa bagi penulis;
10. Kepada rekan saya Fauzia Sabrina dan Anggi Lefiyani sebagai rekan seperjuangan yang senantiasa memberikan semangat, dukungan serta bantuan dalam menyelesaikan skripsi;
11. Kepada sahabat-sahabatku Eka Indriani, Jilda Sofiana Dewi, Zhaafira Allia Zahra, Syta Afina, "Shohib until Jannah" ku Khusnul, Yuli dan Windi. Sahabat "Tergabut" ku Ninid, Savira, Yasmin, sahabat "Tadika Mesra" Dea, Nia, Nurmay, Rizkana, Mega, Nisa yang telah memberikan dukungan moril kepadaku;
12. Kakak-kakak Ni Luh *Research* 16 dan 17, kak Dea, kak Vio, kak Dahlia, Kak Nadya, kak Gisti, kak Lia, kak Merry, dan kak Widya atas dukungan dan bimbingan selama ini hingga penelitian dapat terselesaikan;
13. Adik-adik Ni Luh *Research* 19 Novita, Leha, Sinur, dan Ify atas dukungan dan bantuannya selama ini hingga penelitian dapat terselesaikan;
14. Rekan-rekan UPT-LTSIT, kak Fendi, Reyzka, Lanang, Ika, kak Caca, Indra, kak Nafila, kak Rosy, Chasya, dan rekan-rekan lain yang telah memberi dukungan dalam menyelesaikan penelitian;
15. Kimia 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas kebersamaannya dalam melalui hari demi hari di kehidupan kampus;
16. Semua pihak tertentu yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara langsung ataupun tidak langsung sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
17. Almamater tercinta, Universitas Lampung.

Dengan kerendahan hati penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pada pembaca demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Bandar Lampung, 26 Januari 2023
Penulis,

Wulandari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Diatom <i>C.striata</i>	4
2.2 Fukosantin.....	5
2.3 Antioksidan.....	6
2.4 Voltammetri	8
2.4.1 Elektroda.....	9
2.4.2 Voltammetri siklik.....	10
2.4.3 Pengukuran Kapasitas Antioksidan.....	13
2.5 Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	14
2.6 <i>Medium Pressure Liquid Chromatography</i> (MPLC).....	15
2.7 Spektrofotometri UV-Vis.....	16
III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.3.1 Kultivasi Mikroalga	20
3.3.2 Preparasi Fukosantin.....	20
3.3.3 Pembuatan Larutan Blangko.....	22
3.3.4 Uji Aktivitas Antioksidan	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Kultivasi Mikroalga	24

4.2 Preparasi Fukosantin.....	25
4.3 Uji Antioksidan menggunakan Metode Voltammetri Siklik.....	29
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Simpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Voltammogram Fraksi Kolom Ekstrak Kasar <i>C.striata</i>	30
2. Data Voltammogram Fraksi Fukosantin	32
3. Data Voltammogram Reduksi Oksigen Fukosantin.....	35
4. Perubahan Relatif Densitas Arus Reduksi Oksigen terhadap Konsentrasi Fraksi Fukosantin	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Senyawa Fukosantin	5
2. Mekanisme Reaksi Karotenoid sebagai Antioksidan.....	8
3. Ilustrasi Diagram Sel Voltammetri	8
4. Elektroda yang Digunakan dalam Voltammetri.....	9
5. Sinyal Eksitasi Voltammetri Siklik.....	11
6. Kurva Voltamogram dari Elektrode Kimia Reversibel.....	11
7. Skema Instrumentasi MPLC Sederhana.....	15
8. Diagram Alat Spektrofotometer UV-Vis	18
9. Skema Prosedur Penelitian.....	21
10. Kultur <i>C. striata</i> Hari ke-1 (a) dan hari ke-14 (b).....	24
11. Kurva Pertumbuhan <i>C. striata</i>	25
12. KLT Fraksi 3 Hasil Pemisahan Kolom Kromatografi Silika Terbuka.....	27
13. Kromatogram MPLC Fraksi Fukosantin menggunakan Fase Gerak Etanol dan Fase Diam Silika	28
14. Panjang Gelombang Maksimum Fraksi Fukosantin	29
15. Voltammogram Fraksi Kolom Ekstrak Kasar <i>C.striata</i>	30
16. Voltammogram Fraksi Fukosantin.....	32
17. Voltammogram Reduksi Oksigen	34
18. Kurva Perubahan Relatif Densitas Arus Reduksi Oksigen Terhadap Konsentrasi Antioksidan Fraksi Fukosantin	36
19. Pemisahan menggunakan Kolom Kromatografi Silika Terbuka	51
20. Lima Fraksi Hasil Kolom.....	51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eksplorasi antioksidan yang bersumber dari alam untuk industri mengalami peningkatan pada dekade ini (Sansone and Brunet, 2019). Fukosantin, salah satu yang menjadi perhatian saat ini sebagai senyawa antioksidan yang bersumber dari alam. Fukosantin merupakan pigmen utama karotenoid laut yang banyak ditemukan pada makroalga maupun mikroalga jenis diatom (Wang *et al.*, 2018). Fukosantin mencakup sekitar 10% dari total produksi karoten dilautan (Peng *et al.*, 2011). Kandungan fukosantin dalam diatom dapat mencapai lebih dari 21,67 mg/g (berat kering/*dry weight*), sehingga menjadi daya tarik untuk dikembangkan secara intensif (Petrushkina *et al.*, 2017).

Beberapa hasil kajian ilmiah yang telah dilakukan menunjukkan bahwa fukosantin memiliki beragam fungsi fisiologis maupun biologis dalam bidang kesehatan, salah satunya sebagai antioksidan (Azizan *et al.*, 2018). Fukosantin memiliki ikatan allenik, gugus epoksi, dan gugus hidroksil membuat fukosantin kaya akan elektron yang mampu meredam radikal bebas (Miyashita and Hosokawa, 2017). Kemampuan fukosantin dalam meredam radikal bebas tersebut, menjadikan fukosantin berpotensi untuk dikembangkan sebagai senyawa antioksidan (Nursid *et al.*, 2013).

Aktivitas antioksidan suatu senyawa hingga saat ini banyak ditentukan menggunakan beberapa metode diantaranya adalah menggunakan pereaksi radikal seperti 2,2-Azinobis-3-ethyl benzothiazoline 6- sulfonic acid (ABTS) (Agustini dan Setyaningrum, 2018) dan dydhenilpicrylhydrazyl (DPPH) (Nursid *et al.*, 2013). Namun, metode-metode tersebut membutuhkan pereaksi spesifik, harga pereaksi yang cukup mahal dan membutuhkan waktu yang relatif lama untuk penyiapan sampel. Berdasarkan penelitian Ragubeer *et al.*, (2012), menyatakan

bahwa pengukuran secara elektrokimia merupakan metode alternatif yang cepat dan sederhana untuk analisis senyawa dengan sifat antioksidan dalam suatu sampel.

Metode Voltametri siklik merupakan salah satu metode elektrokimia untuk penentuan antioksidan telah banyak diterapkan. Metode tersebut memiliki keuntungan berupa sensitivitas, kecepatan, sederhana, dan volume sampel sedikit. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Goiris *et al.*, (2012), metode voltametri digunakan sebagai metode alternatif yang cepat untuk menentukan aktivitas antioksidan. Apabila dibandingkan dengan metode DPPH, penentuan aktivitas antioksidan dengan metode DPPH hanya dapat dilihat dari persentase inhibisi, sedangkan metode voltametri siklik dapat dilihat dari tiga parameter, yaitu daerah anode, arus, dan potensial (Arteaga *et al.*, 2012). Kelebihan lain metode Voltametri siklik yakni antioksidan cepat teroksidasi pada elektroda inert, sehingga potensi setengah gelombang dapat dimanfaatkan untuk menentukan aktivitas antioksidan (Masek *et al.*, 2014).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada pengukuran aktivitas antioksidan senyawa fukosantin. Senyawa fukosantin yang diperoleh berasal dari mikroalga diatom jenis *Cyclotella striata*. *C. striata* salah satu sumber fukosantin alami yang ramah lingkungan dan berkelanjutan serta belum banyak dieksploitasi. Senyawa fukosantin diperoleh dengan cara mengekstraksi biomassa *C. striata* dengan pelarut etanol kemudian ekstrak diidentifikasi, dipisahkan, dan dimurnikan menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT), kromatografi kolom terbuka, MPLC dan Spektrofotometer UV-Vis. Aktivitas antioksidan senyawa fukosantin dianalisis menggunakan metode Voltametri siklik.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur nilai arus dan potensial fukosantin dan menentukan aktivitas antioksidan senyawa fukosantin dari *C. striata* menggunakan metode Voltametri siklik.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai aktivitas antioksidan senyawa fukosantin dari *C. striata* menggunakan metode voltametri siklik sebagai pengembangan kajian ilmiah yang berkaitan dengan sifat antioksidan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Diatom *C.striata*

Diatom merupakan mikroalga uniseluler yang distribusinya sangat universal di semua tipe perairan. Diatom mempunyai keunikan dan sangat spesifik, karena arsitektur dan anatomi dinding selnya yang tersusun dari silika (Sanjaya dan Danakusuma, 2018). Diatom merupakan sumber fukosantin yang potensial. Kandungan fukosantin dapat berkisar antar 0,224% sampai 2,167% dari berat kering dalam diatom, sehingga menjadi daya tarik untuk dikembangkan (Kim *et al.*, 2012).

C. striata merupakan salah satu spesies diatom dari genus *Cyclotella* yang umum ditemukan di lingkungan laut, sungai, danau, dan air payau (Vuuren *et al.*, 2006). *Cyclotella* merupakan jenis diatom yang berbentuk cakram kecil. Bagian tengah berbentuk rata. Di sekitar tepi terdapat pita lebar. Sel *Cyclotella* berbentuk segi empat. Setiap sel mengandung banyak kloroplas berbentuk diskoid, sel berdiameter antara 5-30 μm (Harmoko dan Krisnawati, 2018). *C. striata* memiliki pigmen yang terletak dalam kromatofora hijau kekuningan sampai coklat keemasan yang disebabkan oleh kandungan karoten dan xantofil yang predominan (Sulisetijono, 2009). Berikut klasifikasi dari *C. striata*:

Kingdom : Plantae

Phylum : Bacillariophyta

Class : Bacillariopyceae

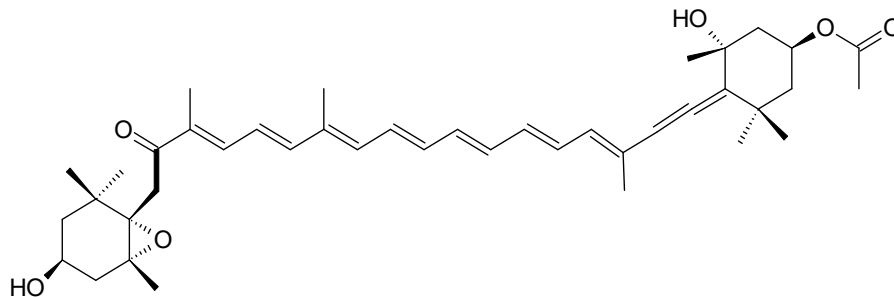
Ordo : Centrales

Genus : *Cyclotella*

Spesies : *Cyclotella striata*

2.2 Fukosantin

Fukosantin merupakan senyawa karotenoid yang termasuk dalam golongan santofil. Perbedaan utama antara fukosantin dengan senyawa karotenoid lainnya adalah kehadiran ikatan allenik, monoepoksida, dua gugus hidroksil, gugus karbonil, dan gugus asetil di ujung cincin fukosantin. Ikatan allenik bertanggung jawab terhadap aktivitas antioksidan dari fukosantin (Peng *et al.*, 2011; Fung, 2012). Fukosantin adalah karotenoid polar, terdapat beberapa gugus fungsi dalam struktur kimianya, berupa : alkohol, alkana, alkena, ester, metil, dan alkena aromatik (Renmhoran *et al.*, 2017). Struktur dari senyawa fukosantin ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Senyawa Fukosantin

Fukosantin adalah salah satu dari golongan karotenoid. Fukosantin banyak diteliti dan dieksplorasi karena memiliki beragam fungsi fisiologis dan biologis dalam bidang kesehatan, yaitu sebagai : antikanker (Kumar *et al.*, 2013), antiradang (Heo *et al.*, 2010), antiobesitas dan diabetes (Maeda *et al.*, 2008), antibakteri (Renmhoran *et al.*, 2017), maupun antioksidan (Nursid *et al.*, 2013; Foo *et al.*, 2017; Azizan *et al.*, 2018). Aisyah *et al.*, (2020) menyatakan bahwa fukosantin dalam bidang industri pangan merupakan suplemen makanan kesehatan yang sangat baik dan terbukti memiliki sifat non toksik.

Fukosantin memiliki sifat labil pada kondisi lingkungan basa. Oleh karena itu, perlu diperhatikan saat mengekstraksi pigmen ini, lingkungan basa harus dihindari. Ini berarti fukosantin merupakan jenis pigmen karotenoid yang sangat

sensitif. Perlunya pengalaman dan teknik yang mencukupi dari peneliti agar dapat mengekstraksi pigmen ini dengan sempurna (Maeda *et al.*, 2008). Fukosantin memiliki sifat sebagai antioksidan, karena fukosantin mudah terdegradasi oleh pH, suhu dan cahaya (Aisyah *et al.*, 2020).

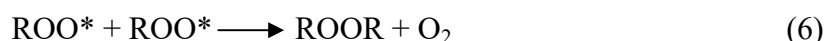
2.3 Antioksidan

Antioksidan adalah senyawa yang dapat mendonorkan elektronnya kepada radikal bebas. Radikal bebas merupakan molekul yang mengandung satu atom atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbital terluarnya, radikal bebas sangat reaktif dan tidak stabil. Radikal bebas akan bereaksi dengan atom atau molekul disekitarnya untuk memperoleh pasangan elektron sebagai usaha mencapai kesetabilannya. Reaksi tersebut dalam tubuh dapat menimbulkan kerusakan struktur sel dan dapat menimbulkan berbagai penyakit (Hamid *et al.*, 2010).

Antioksidan merupakan penghambat dari proses oksidasi. Antioksidan bersifat sangat mudah dioksidasi sehingga radikal bebas akan mengoksidasi antioksidan. Antioksidan tersebut akan melindungi molekul lain dalam sel dari kerusakan akibat oksidasi oleh radikal bebas atau oksigen reaktif lingkungan menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2) yang masih bersifat reaktif (Wedhasari, 2014). Antioksidan diperlukan untuk kesehatan dalam tubuh maupun diluar tubuh, antioksidan dapat mencegah terjadinya peradangan, melindungi sel berperan dalam menghambat pertumbuhan sel kanker pada hati, prostat, paru-paru, kelenjar getah bening, lambung, dan sel darah putih atau leukemia (Aisyah *et al.*, 2020).

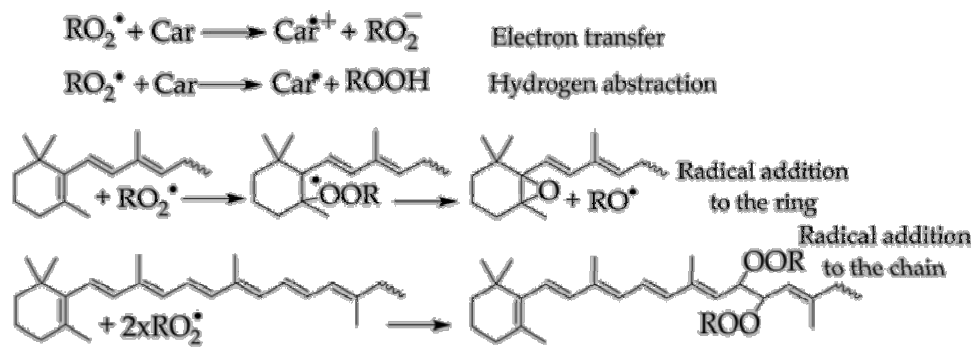
Senyawa antioksidan secara umum menghambat oksidasi substrat yang terjadi dalam tiga tahap utama, yaitu: inisiasi, propagasi, dan terminasi. Tahap inisiasi terjadi pembentukan radikal substrat, yaitu turunan substrat yang bersifat tidak stabil dan sangat reaktif akibat hilangnya satu atom H. Radikal substrat akan bereaksi dengan oksigen membentuk radikal peroksi pada tahap propagasi. Radikal peroksi lebih lanjut akan menyerang substrat yang menghasilkan

hidroperoksida dan radikal substrat baru (Javanmardi *et al.*, 2003). Berikut tiga tahapan reaksi tersebut :



Antioksidan dengan berat molekul rendah, molekul yang mencegah molekul lain teroksidasi dengan bertindak sebagai agen pereduksi, penting dalam sel hidup karena menghambat kerusakan atau kematian sel yang disebabkan oleh reaksi oksidasi yang menghasilkan radikal. Salah satu aspek yang mendukung metode elektrokimia adalah elektroaktivitas dari banyak antioksidan, transfer elektron yang terlibat dalam antioksidan-reaksi radikal bebas, yang memungkinkan analisa cepat dari kapasitas antioksidan dari serangkaian biocompounds organik bahkan dalam sampel kompleks atau berwarna (de Lima *et al.*, 2007).

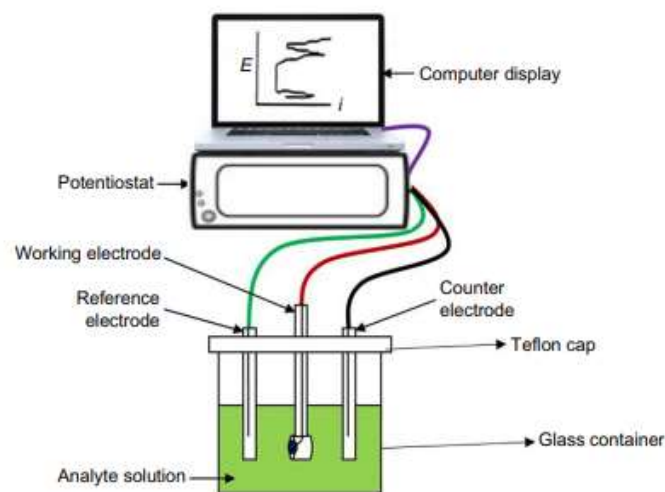
Fukosantin berpotensi sebagai antioksidan yang dapat meredam radikal bebas. Ciri utama fukosantin yakni memiliki ikatan allenic dengan gugus fungsi epoksi, hidroksi, dan karbonil (Peng *et al.*, 2011). Gugus aktif yang umum berfungsi sebagai penangkap dan penghambat reaksi radikal bebas selanjutnya adalah gugus-gugus -OH dan ikatan rangkap dua (>C=C<) karena gugus-gugus ini dapat memberikan 1 molekul hidrogennya sehingga *Reactive Oxygen Species* (ROS) menjadi stabil dan terbentuk radikal bebas baru yang kurang reaktif. Pada reaksi suatu antioksidan dengan radikal bebas dapat terjadi berdasarkan transfer proton atau elektron yang berlangsung secara bersamaan (Lovric and Jovanovic, 2016). Fukosantin salah satu pigmen yang dominan dari golongan karotenoid. Karotenoid dapat meredam radikal bebas melalui transfer elektron. Mekanisme reaksi transfer elektron pada karotenoid ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Reaksi Karotenoid sebagai Antioksidan (Perez-Galvez *et al.*, 2020)

2.4 Voltametri

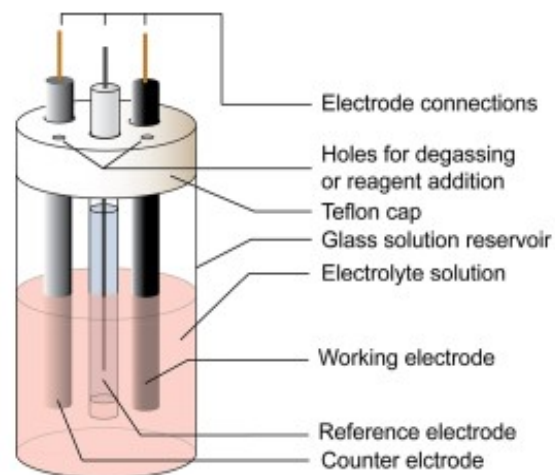
Voltametri merupakan salah satu metode elektroanalisis yang mengkaji informasi mengenai analit berdasarkan pada pengukuran arus dan fungsi potensial. Meskipun ada banyak jenis dari Voltametri, *linear sweep voltammetry* dan *cyclic voltammetry* merupakan metode yang paling umum dan banyak digunakan dalam analisis (Saito and Kikuchi, 2014). Voltametri berkembang pesat dibanding metode analisis lain, hal ini dikarenakan kelebihan dalam sensitifitas, selektifitas, kesederhanaan dan kemudahan penganalisisan. Ilustrasi diagram sel Voltametri dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Diagram Sel Voltametri (Nnamchi dan Obayi, 2018)

2.4.1 Elektroda

Elektroda merupakan suatu media penghantar yang dapat mengumpulkan atau mengendalikan aliran partikel-partikel bermuatan baik itu di dalam cairan, gas ataupun semikonduktor. Elektroda ini dapat dalam berbagai macam bentuk seperti batang, kawat maupun lempengan (Mulyono, 2006). Elektroda merupakan komponen yang mengalami kontak langsung dengan zat yang akan diukur. Satu sel Voltametri terdiri dari tiga jenis elektroda yaitu elektroda kerja, elektroda referensi atau pembanding dan elektroda bantu. Elektroda yang digunakan dalam Voltametri dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Elektroda yang Digunakan dalam Voltametri (Elgrishi *et al.*, 2017)

a. Elektroda kerja

Bagian paling penting dalam analisis elektrokimia adalah elektroda kerja. Elektroda kerja yang digunakan harus stabil, reaktif, memiliki konduktivitas yang baik, dan memiliki sifat elektrokatalitik. Logam padat seperti platinum (Pt), emas (Au), Nikel (Ni) dan karbon (C) memiliki kemampuan yang baik sebagai elektroda kerja (Janah, 2018). Luas permukaan elektroda kerja berpengaruh terhadap penyerapan analit. Luas permukaan elektroda akan mempengaruhi nilai arus yang diperoleh, semakin besar luas permukaan elektroda maka arus yang diperoleh akan semakin tinggi. Tingginya arus yang

dihasilkan mempengaruhi penyerapan analit, semakin tinggi arus maka akan semakin baik penyerapan analit (Ghalkani *et al.*, 2009).

b. Elektroda referensi

Elektroda referensi (RE) digunakan untuk menjaga sel elektrokimia berada dalam keadaan potensial yang konstan dan mengukur potensial yang berada pada elektroda kerja (Scholz, 2010). Beberapa syarat elektroda pembanding diantaranya adalah harus reversible sesuai dengan persamaan Nerst, memiliki tegangan yang konstan, dan bisa kembali ke potensial awal setelah dialiri oleh arus kecil (Robert *et al.*, 1995).

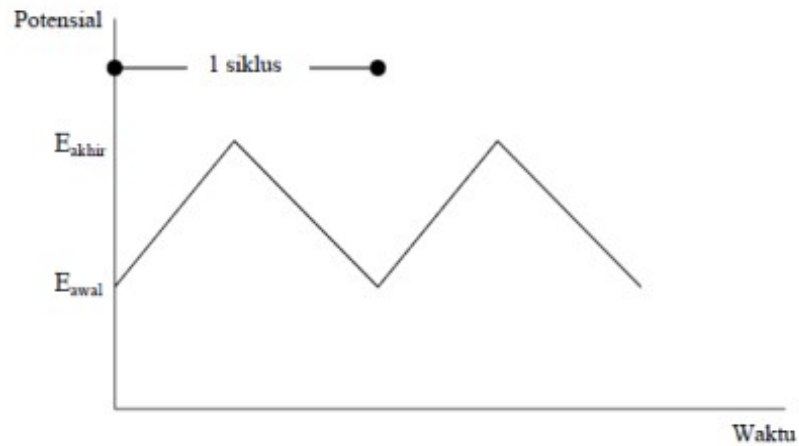
c. Elektroda bantu

Elektroda bantu (AE) adalah elektroda yang melengkapi sel biasanya terbuat dari konduktor inert seperti platina dan grafit atau logam yang sama yang digunakan pada elektroda kerja. Arus akan mengalir diantara elektroda kerja dan elektroda pembanding. Luas area dari elektroda pembanding dan elektroda diusahakan ada jarak dan tidak bersentuhan agar tidak terjadi blocking dan arus tidak mengalir (Scholz, 2010). Elektroda platina digunakan karena memiliki kestabilan yang tinggi, reaktif, memiliki konduktivitas yang baik, dan memiliki sifat elektrokatalitik.

2.4.2 Voltammetri siklik

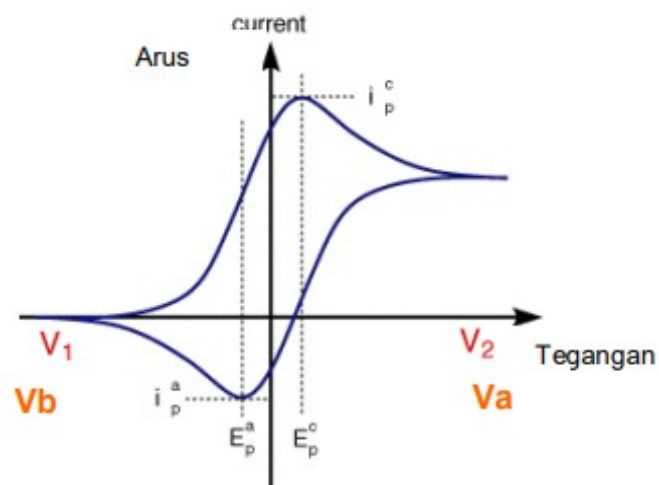
Voltammetri siklik merupakan suatu metode elektroanalisis yang secara luas telah dipakai untuk mendapatkan informasi tentang reaksi elektrokimia dalam larutan (Wang, 2001). Prinsip kerja dari teknik Voltammetri siklik adalah mengukur arus selama scanning potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal, sehingga arus katodik dan anodik dapat terukur. Teknik ini dapat dengan cepat menentukan kisaran daerah potensial redoks suatu komponen elektroaktif serta dapat mengevaluasi pengaruh media terhadap suatu proses redoks. Bagian bagian penting dari Voltammetri siklik terdiri dari elektroda kerja (WE), elektroda pembanding (CE), dan elektroda rujukan (RE), larutan elektrolit

dan potensiostat. Ilustrasi tentang teknik Voltametri siklik ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sinyal Eksitasi Voltametri Siklik (Syafindra dkk., 2017)

Pengukuran menggunakan metode Voltametri siklik ini, memerlukan suatu instrumen pengukuran yang tepat. Instrumen yang digunakan pada pengukuran ini dinamakan potensiostat. Instrumen ini berfungsi untuk memberikan scan tegangan pada elektroda kerja sekaligus mengukur besarnya tegangan dan arus yang melewati elektroda kerja tersebut. Scan tegangan dengan metode Voltametri siklik ini tentunya menghasilkan respon arus yang spesifik. Jika respon arus fungsi scan potensial ini digambarkan, maka akan berbentuk kurva voltamogram. Kurva voltamogram ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Voltamogram dari Elektrode Kimia Reversibel (Puranto, 2010)

Hasil yang didapatkan dari metode Voltametri siklik adalah beberapa parameter penting seperti potensial puncak anoda (E_{pa}), potensial puncak katoda (E_{pc}), puncak arus anoda (i_a), puncak arus katoda (i_{pc}), potensial setengah katoda ($E_{p1/2}$) dan potensial setengah gelombang ($E_{1/2}$). Besarnya arus untuk pasangan puncak dari reaksi yang berlangsung secara reversible pada suhu 25°C ditentukan dengan persamaan Randles-Sevcik:

$$I_p = (2,69 \times 10^5) n^{3/2} A C D^{1/2} v^{1/2} \quad (7)$$

dimana I_p merupakan arus puncak, n merupakan jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi, A merupakan luas efektif permukaan elektroda (cm^2), C merupakan konsentrasi (mol/cm^3), D merupakan koefisien difusi (cm^2/s), dan v merupakan laju potensial atau scan rate (V/s) (Riyanto, 2013).

Posisi puncak pada sumbu potensial (E_p) berhubungan dengan potensial keseimbangan dari proses redoks. Potensial keseimbangan untuk pasangan reversibel terletak antara E_{pa} dan E_{pc} , seperti yang diberikan dalam Persamaan (8).

$$E^{\circ} = \frac{E_{pa} + E_{pc}}{2} \quad (8)$$

Dimana E° merupakan potensial reduksi standar (V), E_{pa} merupakan potensial puncak anodik (V) dan E_{pc} merupakan potensial puncak katodik (V).

Jika posisi puncak arus maksimum sehubungan dengan potensinya tidak berubah sebagai fungsi dari laju pemindaian, dan ketinggian puncak anodik dan katodik tampak sama, maka proses yang terjadi bersifat reversibel. Jika puncak-puncaknya berjarak sekitar 59 mV, maka prosesnya adalah transfer satu elektron yang dapat dibalik ($n = 1$):

$$\Delta E_p = E_{pa} - E_{pc} = 0,059/n \text{ V} \quad (9)$$

Persamaan (9) dapat digunakan untuk menentukan jumlah elektron yang ditransfer (Aristov and Habekost, 2015).

Nilai potensial puncak anodik (E_{pa}) yang diperoleh dapat memberikan informasi terkait aktivitas antioksidan suatu senyawa. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Simic *et al.*, (2007), bahwa senyawa dengan nilai E_{pa} tinggi yakni >45 mV menunjukkan aktivitas antioksidan yang kurang signifikan. Menurut Firuzi *et al.*, (2005) nilai E_{pa} 0,79-1,2 V menunjukkan aktivitas antioksidan yang rendah.

2.4.3 Pengukuran Kapasitas Antioksidan

Voltammetri siklik merupakan teknik yang paling umum digunakan untuk karakterisasi melalui sistem redoks. Voltammetri siklik memberikan informasi terkait jumlah keadaan redoks dan informasi kualitatif terkait stabilitas keadaan oksidasi dan kinetika transfer elektron (Jelen *et al.*, 2009). Voltammetri siklik melibatkan pemindaian tegangan dari elektroda kerja sambil merekam arus anodik yang dihasilkan oleh antioksidan dalam larutan yang dioksidasi oleh permukaan elektroda kerja. Arus yang diperoleh sebanding dengan konsentrasi gabungan antioksidan (Kilmartin *et al.*, 2002).

Arus yang dihasilkan pada teknik voltammetri terdapat tiga macam, yaitu arus difusi, arus migrasi, dan arus konveksi. Arus difusi merupakan arus yang terjadi akibat perubahan gradien konsentrasi pada lapis difusi. Besarnya arus sebanding dengan konsentrasi analit dalam larutan. Arus migrasi merupakan arus yang terjadi akibat gaya tarik elektrostatis elektroda dengan ion-ion dalam analit. Arus migrasi tidak dapat dihindari karena ketika arus mengalir muatan dibawa melalui larutan. Arus migrasi dapat diminimalkan dengan menambahkan garam inert konsentrasi tinggi seperti KCl sebagai elektrolit pendukung sehingga muatan akan dibawa oleh ion garam ini. Sedangkan arus konveksi adalah arus yang terjadi akibat gerakan fisik, seperti rotasi atau vibrasi elektroda dan perbedaan rapat massa (Skoog *et al.*, 1998).

Pengukuran kapasitas antioksidan menggunakan metode voltammetri siklik dilakukan berdasarkan perpindahan elektron bebas (PEB). Pengukuran didasarkan pada daerah anode yang dihasilkan dari voltammogram. Kurva yang dihasilkan daerah anode bergantung pada donor elektron suatu zat antioksidan ke suatu senyawa yang mengandung radikal. Besarnya kapasitas antioksidan dengan menggunakan voltammetri siklik diukur berdasarkan donor elektron suatu zat antioksidan tersebut yang dihasilkan pada daerah anode tempat terjadinya donor elektron (Campanella *et al.*, 2006).

2.5 Kromatografi Lapis Tipis (KLT)

Kromatografi merupakan suatu metode yang digunakan untuk memisahkan campuran komponen. Pemisahan campuran komponen tersebut didasarkan pada distribusi komponen pada fase gerak dan fase diamnya. Kromatografi lapis tipis biasanya digunakan untuk tujuan analisis kualitatif, analisis kuantitatif dan analisis preparatif. Suatu sistem KLT terdiri dari fase diam dan fase gerak (Jayanti *et al.*, 2015).

Prinsip KLT adalah pendistribusian senyawa antara fase diam berupa padatan diletakkan pada plat kaca atau plastik dan fase gerak berupa cairan, yang bergerak di atas fase diam. Sejumlah kecil dari senyawa (analit) ditotolkan pada titik awal tepat di atas bagian bawah plat KLT. Plat tersebut kemudian dimasukkan dalam chamber yang berisi fase gerak atau eluen untuk dielusi. Pelarut bergerak melalui partikel senyawa pada plat, selama pelarut bergerak campuran masing-masing senyawa akan tetap dengan fase diam atau larut dalam pelarut dan bergerak ke atas plat. Senyawa bergerak naik ke atas plat atau tetap pada fase diam tergantung dari sifat fisik masing-masing senyawa dan dengan demikian tergantung pada struktur molekuler, terutama gugus fungsi. Kelarutan senyawa mengikuti aturan *like dissolves like*. Senyawa yang sifat fisiknya semakin sama dengan fase gerak akan semakin lama larut dalam fase gerak (Kumar *et al.*, 2013).

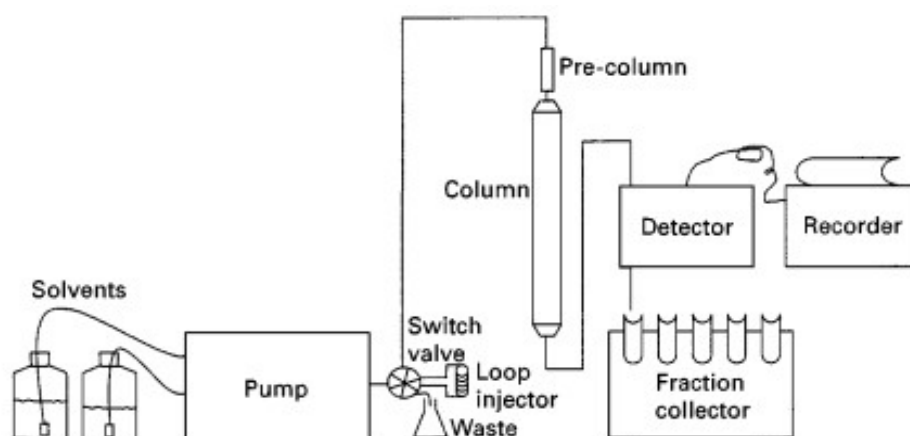
Sifat setiap senyawa dalam KLT ditandai dengan suatu kuantitas yang dikenal dengan Rf (*Retention/Retardation Factor*) dan dinyatakan sebagai pecahan desimal. Adsorben yang memiliki sifat berbeda akan memberikan nilai Rf yang berbeda juga untuk pelarutan yang sama (Kumar *et al.*, 2013). Reprodusibilitas dari nilai Rf tergantung oleh banyak faktor seperti kualitas sorben, kelembaban, lapisan ketebalan lapisan, jarak pengembangan dan suhu lingkungan. *Overload* sampel biasanya menghasilkan sedikit peningkatan pada nilai Rf (Srivastava, 2011). Adapun persamaan penentuan nilai Rf sebagai berikut:

$$R_f = \frac{\text{Jarak yang ditempuh senyawa}}{\text{Jarak yang ditempuh pelarut}} \quad (10)$$

Rf dihitung dengan membagi jarak perjalanan senyawa dari posisi aslinya dengan jarak perjalanan pelarut dari posisi semula. Nilai Rf dinyatakan dari 0,0 hingga angka 1,0 dan nilai Rf yang menunjukkan keterpisahan yang baik berkisar 0,2-0,8. Penotolan sampel yang berlebih biasanya menghasilkan sedikit peningkatan pada nilai Rf. Kesalahan pembuatan sistem akan mempengaruhi nilai kualitatif dari KLT ketika perhitungan pelarut tidak tepat. Nilai Rf dalam hal tersebut secara sistematis menjadi terlalu besar. Hilangnya fase gerak atau bertumpuknya komponen-komponen fase gerak menghasilkan nilai Rf yang kecil (Srivastava, 2011).

2.6 *Medium Pressure Liquid Chromatography (MPLC)*

MPLC adalah salah satu dari berbagai teknik kromatografi kolom preparatif. MPLC merupakan salah satu teknik kromatografi yang umum digunakan dalam pemisahan dan pemurnian senyawa organik. Pemisahan di bawah tekanan membuat penggunaan ukuran partikel yang lebih kecil mendukung kemungkinan dan meningkatkan keragaman fase diam yang dapat digunakan (Hostettmann and Terreaux, 2010). MPLC menggunakan tekanan yang berkisar antara 5-20 bar, hingga 50 gram fraksi semipurifikasi dapat dengan mudah dimurnikan dalam sekali proses (Claeson *et al.*, 1993). Skema instrumentasi MPLC sederhana dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Instrumentasi MPLC sederhana (Hostettmann and Terreaux, 2010)

Instrumentasi terdiri dari pompa untuk pengiriman pelarut, sistem injeksi sampel, dan kolom dapat dilihat pada Gambar 7. Kolom adalah titik pusat saat mengoptimalkan pemisahan kromatografi preparatif dan kriteria seperti jumlah sampel yang akan dimurnikan dan jenis kolom perlu diperhatikan. Pemisahan produk yang baik dapat dilihat secara manual dengan menggunakan kromatografi lapis tipis (KLT) atau secara otomatis dengan detektor dan perekam yang terhubung ke *outlet* kolom. Senyawa yang terpisah dikumpulkan oleh *fraction collector* (Hostettmann and Terreaux, 2010).

Prinsip kerja MPLC sama dengan kromatografi kolom dan kromatografi kolom vakum (KCV), perbedaannya yaitu adanya bantuan pompa dan detektor sehingga proses pengambilan dapat berjalan dengan baik otomatis. MPLC memiliki 2 buah pompa yang sistem pompanya kuat dan tahan terhadap bahan kimia, pompa tersebut berguna untuk mendorong fase gerak masuk dan dapat bergerak melalui kolom. Deteksi pada MPLC menggunakan detektor UV Vis 220 nm dan 254 nm (Day and Underwood, 2002).

2.7 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan metode analisis kimia yang menggunakan sumber radiasi gelombang elektromagnetik ultraviolet (UV) pada panjang gelombang 190 nm-380 nm dan cahaya tampak (visible) pada panjang gelombang 380 nm-780 nm dengan menggunakan instrumen spektrofotometer (Noviyanti, 2020). Spektrofotometri UV-Vis berdasar pada hukum Lambert-Beer. Jika sinar monokromatik melewati suatu senyawa maka sebagian sinar akan diabsorpsi, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi akan dipancarkan. Cermin yang berputar pada bagian dalam spektrofotometer akan membagi sinar dari sumber cahaya menjadi dua (Sembiring *et al.*, 2019).

Hukum Lambert-Beer menyatakan bahwa konsentrasi berbanding lurus dengan absorbansi. Jika konsentrasinya tinggi maka absorbansinya juga tinggi,

begitu pun sebaliknya. Jika nilai absorbansi larutan berkisar 0,2-0,8 maka korelasi antara absorbansi dengan konsentrasi akan linier ($A \approx C$) disebut daerah berlakunya hukum Lambert-Beer. Apabila diperoleh nilai absorbansi yang lebih tinggi maka korelasi absorbansi tidak linier lagi (Nisyak *et al.*, 2019). Adapun persamaan hukum Lambert-Beer adalah sebagai berikut :

$$A = \log I_0/I = a \cdot b \cdot c = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (11)$$

Keterangan:

A = absorban

a = absorptivitas ($\text{g}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

b = lebar sel yang dilalui sinar (cm)

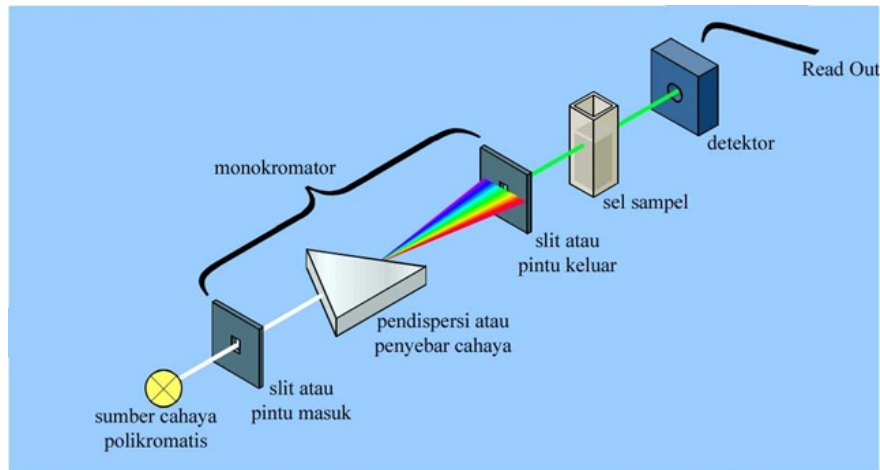
c = konsentrasi (mol/L)

ϵ = ekstinsi (absorptivitas) molar ($\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

I_0 = intensitas sinar sebelum melalui sampel

I = intensitas sinar setelah melalui sampel

Prinsip kerja pada spektrofotometri pada umumnya yaitu berdasarkan korelasi radiasi elektromagnetik dengan materi. Energi yang ditransfer pada kecepatan tinggi disebut radiasi elektromagnetik, sedangkan materi dapat berupa ion atau molekul dan atom. Jika suatu cahaya berinteraksi dengan suatu bahan atau senyawa maka molekul di dalamnya akan menyerap sebagian cahaya tersebut, (Gulo, 2016). Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis (Ultra Violet-Visible) berdasar pada serapan cahaya, dimana atom dan molekul berinteraksi dengan cahaya.



Gambar 8. Diagram Alat Spektrofotometer UV-Vis (Suhartati, 2017)

Adapun komponen spektrofotometer yaitu sumber radiasi, monokromator, sel, foto sel, pendeteksi dan tampilan (display).

1. Sumber radiasi, memiliki fungsi untuk memberikan energi radiasi pada daerah yang panjang gelombang yang tepat dalam pengukuran dan menjaga intensitas cahaya yang konstan dalam pengukuran. Lampu filamen dan lampu hidrogen merupakan sumber radiasi dalam spektrofotometer UV-Vis (Warono dan Syamsuddin, 2013).
2. Monokromator memiliki fungsi untuk menghasilkan radiasi monokromatis yang didapatkan melalui kuvet berisi sampel dan blanko yang diteruskan secara bersamaan melalui putaran cermin.
3. Sel atau kuvet memiliki fungsi sebagai wadah yang akan diukur absorbansinya. Syarat dari kuvet tersebut yaitu harus terbuat dari bahan anti radiasi pada daerah yang digunakan, umumnya kuvet terbuat dari kaca tembus sinar maupun terbuat dari plastik.
4. Fotosel memiliki fungsi untuk menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel lalu diubah menjadi energi listrik yang selanjutnya akan disampaikan ke detektor. Detektor merupakan bahan yang mampu menyerap energi dari foton lalu mengonversinya dalam bentuk lain.
5. Tampilan (tampilan) berfungsi mengubah sinyal listrik dari detektor menjadi pembacaan berupa angka atau meter dan sesuai dengan hasil yang dianalisis.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni-November 2022 di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *autoclave* Tomy SX-700 High-Pressure Steam Sterilizer, *Medium Pressure Liquid Chromatography* (MPLC) (BUCHI sepacore Flash System X50) dengan kolom silika 40 m 40 g Buchi Reveleris, sentrifuge seri HITACHI CF16RXII), spektrofotometer UV-Vis, aerator, lampu TL (*Tube Light*) 35 watt, mikro pipet Wigggen Hauser 100-1000 μL , *software* E.Chem, alat potensiostat (eDaQ Pty Ltd), elektroda kerja Au (gold electrode ET076-0052), elektroda bantu Platina (Platinum electrode ET075), elektroda referensi Ag/AgCl (*reference electrode* ET072-0075), sel elektrokimia 2,5 mL, *metallographic polishing cloth*, neraca analitik Wigggen Hauser JD 300-3, *rotary evaporator* Buchi/Ratavor R-20, plat kaca silika 60G F254 (Merck), lampu UV Kohler/SN402006, pipet kapiler, pipa L, erlenmeyer, gelas ukur 250 mL, tabung evendop, gelas kimia, pipet tetes, batang pengaduk, spatula, labu bulat, botol vial, labu ukur, kapas, *aluminium foil* dan tisu.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah akuades, garam krosok, KNO_3 dari pupuk pertanian sebagai sumber nitrogen, Na_2SiO_3 , FeCl_3 , pupuk TSP (*triple super phosphate*) sebagai sumber fosfor, etanol (EtOH Merck-Sigma), fraksi fukosantin, metanol pa, dan gas N_2 .

Diatom *C.striata* yang ditumbuhkan pada penelitian ini adalah spesies mikroalga yang berasal dari Tanjung Bidadari Kepulauan Seribu Indonesia yang merupakan koleksi Laboratorium Biokimia Gedung Riset dan Inovasi Institut Teknologi Bandung.

3.3 Prosedur Penelitian

Skema penelitian ini disajikan pada Gambar 9.

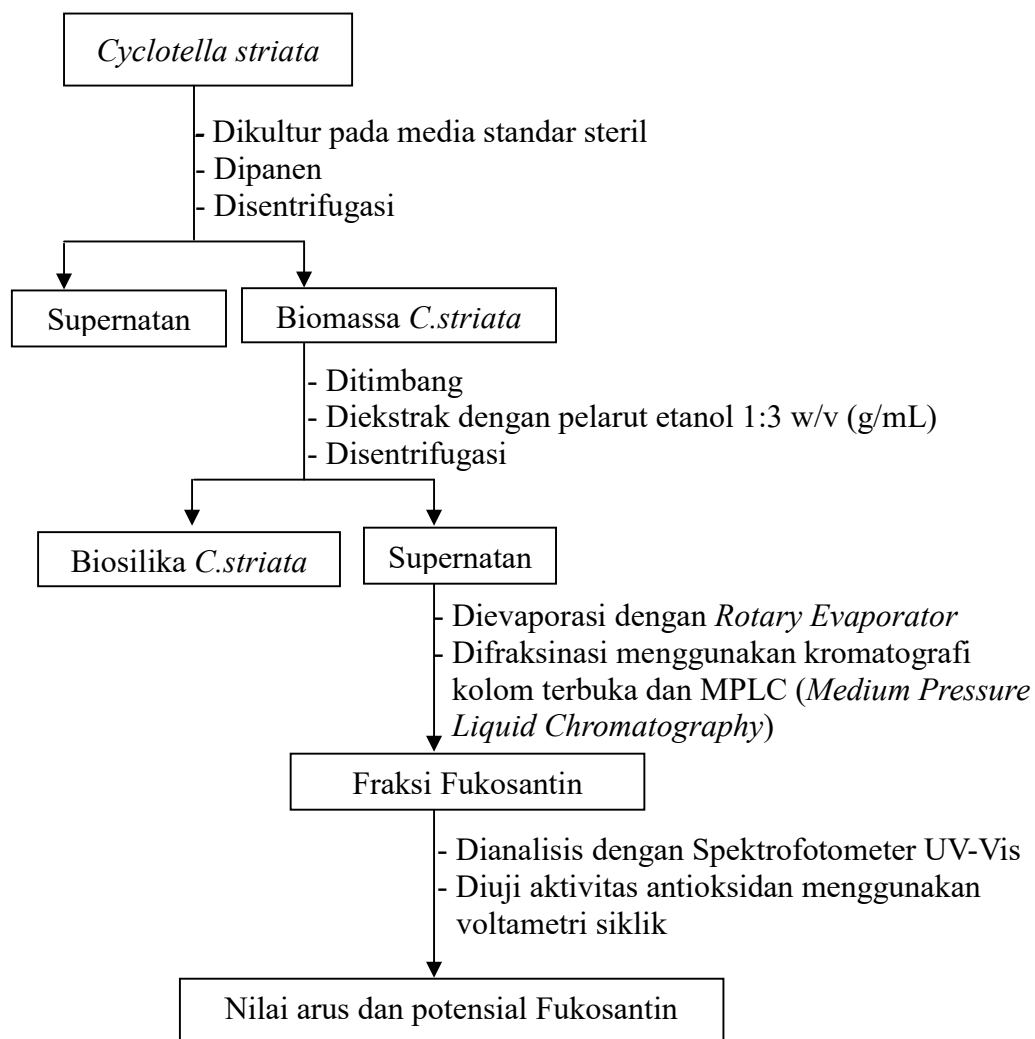
3.3.1 Kultivasi Mikroalga

Kultur indukan *C.striata* dikultivasi dalam media air laut buatan 22 ppt (*part per thousand*) yang telah disterilisasi selama 15 menit dengan suhu 121°C pada 1,2 Mpa dengan menggunakan *autoclave* untuk mencegah terjadinya kontaminasi (Bochenski *et al.*, 2019). Air laut buatan yang telah steril ditambahkan dengan media standar, yakni larutan KNO₃ sebanyak 1,8 mL/1000 mL, FeCl₃ 1,8 mL/1000 mL, TSP 2,3 mL/1000 mL, dan NaSiO₃ 1,38 mL/1000 mL (Nurachman *et al.*, 2012). Kondisi cahaya diatur 12 jam terang dan 12 jam gelap dengan intensitas cahaya 95 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, serta diaerasi selama proses kultivasi berlangsung untuk proses fotosintesis *C.striata* (Kusumaningtyas *et al.*, 2017).

3.3.2 Preparasi Fukosantin

a) Pemanenan dan Ekstraksi Biomassa *C.striata*

C. striata yang telah dikultur selama 14 hari dipanen dengan teknik sentrifugasi menggunakan centrifuge 4000 rpm selama 5 menit (Medina *et al.*, 2019), sehingga diperoleh biomassa *C. striata*. Biomassa yang diperoleh kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik selanjutnya diekstraksi dengan menggunakan pelarut etanol 1:3 w/v (g/mL). Filtrat hasil ekstraksi dipekatkan menggunakan *vacum Rotary Evaporator* pada tekanan awal 250 Mbar dan berat ekstrak ditimbang menggunakan neraca analitik.



Gambar 9. Skema Prosedur Penelitian

b) Pemisahan, Pemurnian, dan Identifikasi Fukosantin

Ekstrak kasar yang diperoleh diidentifikasi menggunakan plat kaca silika sebagai fase diam dan etanol sebagai eluen. Plat KLT selanjutnya diamati di bawah lampu UV Kohler pada λ 254 nm untuk mendeteksi ikatan konjugasi, kemudian dihitung nilai Rfnya. Ekstrak tersebut kemudian dipisahkan dan dimurnikan dengan kromatografi kolom terbuka silika menggunakan eluen etanol, kemudian difraksinasi menggunakan kromatografi cair bertekanan sedang (MPLC). Kromatografi dilakukan pada sistem Buchi tipe Sepacore X50 yang dihubungkan dengan kolom silika dan dielusi menggunakan etanol, laju alir diatur 25 mL/min dan λ dideteksi menggunakan detektor PDA (Photo Diode Array) pada 364, 254 dan 220 nm. Fraksi yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 447-500 nm (Medina *et al.*, 2019).

3.3.3 Pembuatan Larutan Blangko

Larutan blangko dibuat dengan mencampurkan 2 mL metanol dan 0,5 mL elektrolit pendukung KCl 0,1 M. Larutan blangko dibuat duplo yaitu tanpa dan dengan kandungan oksigen. Larutan blangko tanpa oksigen dibuat dengan cara dijenuhkan dengan gas nitrogen selama 5 menit.

3.3.4 Uji Aktivitas Antioksidan

Sampel berupa fraksi fukosantin diukur aktivitas antioksidannya menggunakan metode Voltametri siklik. Metode analisis mengacu pada penelitian Goiris *et al.*, (2012) dengan modifikasi, yaitu kondisi analisis sampel direkam pada 100 mVs^{-1} . Sampel diukur aktivitas antioksidannya menggunakan alat potensiostat-galvanostat (eDAQ Pty Ltd) dengan sistem tiga elektroda yaitu elektroda kerja, bantu, dan referensi. Tiga elektroda tersebut dibilas terlebih dahulu sebelum digunakan dengan metanol (MeOH pa) sedikit demi sedikit, dikeringkan dengan tisu lalu dipolish dengan *metallographic polishing cloth* yang berupa karbon dengan pola angka 8 kemudian dibilas kembali dengan metanol (MeOH pa) dan dikeringkan dengan tisu (Elgrishi *et al.*, 2017).

Tiga elektroda yang digunakan dihubungkan dengan kabel penghubung arus, yaitu kabel hijau dihubungkan dengan elektroda kerja (Au), kabel kuning dihubungkan dengan elektroda pembanding (Ag/AgCl) dan kabel merah dihubungkan dengan elektroda bantu (Pt). Tiga elektroda yang telah dihubungkan dengan kabel penghubung arus kemudian dialirkan ke dalam sel elektrokimia yang telah berisi larutan uji (sampel) dengan tiga variasi konsentrasi. Larutan uji (sampel) tersebut masing-masing dimasukkan ke dalam sel elektrokimia sebanyak 2 mL dan ditambahkan 1 mL larutan elektrolit pendukung (KCl) yang akan diuji aktivitas antioksidannya. Pengukuran juga dilakukan pada larutan blangko dengan kondisi analisis yang sama dengan sampel.

Voltammogram (potensial vs arus) hasil *output* alat potensiostat diperoleh setelah proses analisis selesai dengan menggunakan perangkat lunak EChem. Nilai potensial dan arus oksidasi (E_{pa}) yang diperoleh dari voltammogram pada penelitian ini digunakan sebagai indikator potensi antioksidan. Kekuatan antioksidan dari sampel juga dapat dinyatakan dengan nilai koefisien aktivitas antioksidan. Koefisien aktivitas antioksidan (K) ditentukan dengan rumus:

$$K = \frac{\Delta j}{(j_{or} - j_{res})\Delta c} \quad (12)$$

Keterangan:

Δj : perubahan densitas arus reduksi oksigen

j_{or} : densitas arus limit dari reduksi oksigen tanpa antioksidan (blanko)

j_{res} : densitas arus residual tanpa oksigen

Δc : perubahan konsentrasi antioksidan

Arus hasil pengukuran (I_p) voltammogram dari sisi reduksi oksigen diubah menjadi densitas arus (J) untuk mendapatkan nilai koefisien aktivitas, dengan persamaan:

$$J \text{ (A/cm}^2\text{)} = \frac{I \text{ (A)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \quad (13)$$

A adalah luas permukaan elektroda emas yang digunakan yaitu $0,00785 \text{ cm}^2$.

Apabila nilai I_{res} (arus reduksi tanpa oksigen) diketahui maka dapat ditentukan nilai $J/J_{or} - J_{res}$.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Voltammogram fraksi fukosantin dari *C.striata* yang diperoleh menunjukkan bahwa pada konsentrasi 3 mM memiliki aktivitas antioksidan yang paling baik, ditunjukkan dengan nilai puncak arus oksidasi (I_{pa}) yaitu 8,68 μ A dan nilai puncak potensial oksidasi (E_{pa}) yakni sebesar 0,487 V.
2. Nilai koefisien aktivitas antioksidan fraksi fukosantin yang diperoleh memberikan nilai *slope* dengan kemiringan negatif sebesar 0,277 yang menunjukkan berfungsi sebagai antioksidan.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah fukosantin yang akan diuji aktivitas antioksidannya perlu dilakukan analisis lebih lanjut tingkat kemurniannya dan dilakukan validasi atau verifikasi pada metode voltametri ini untuk penentuan aktivitas antioksidan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, N. W. S., dan Setyaningrum, M. 2018. Screening Fitokimia, Uji Aktivitas Antimikroba dan Antioksidan, serta Identifikasi Senyawa dari Ekstrak Biomassa *Chlorella vulgaris*. *Warta IHP/Journal of Agro-Based Industry*. 35(1). 29–37.
- Aisyah, R., Rachmat, R., Rahmat, D., dan Noviendri, D. 2020. Pembuatan Fukosantin Nanospere dengan Metode Gelasi Ionik dan Uji Efektivitas Antioksidan. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*. 19(2). 59–63.
- Aristov, N., and Habekost, A. 2015. Cyclic Voltammetry - A Versatile Electrochemical Method Investigating Electron Transfer Processes. *World Journal of Chemical Education*. 3(5). 115–119.
- Arteaga, J. F., Ruiz-montoya, M., Palma, A., Alonso-garrido, G., Pintado, S., and Rodríguez-Mellad, J. M. 2012. Comparison of The Simple Cyclic Voltammetry (CV) and DPPH Assays for The Determination of Antioxidant Capacity of Active Principles. *Molecules*. 17. 5126–5138.
- Azizan, A., Safwan, M. A. B., Maulidiani, M., Shaari, K., Ismail, I. S., Nagao, N., and Abas, F. 2018. Metabolite Profiling of the Microalgal Diatom *Chaetoceros Calcitrans* and Correlation with Antioxidant and Nitric Oxide Inhibitory Activities via 1H NMR-Based Metabolomics. *Marine Drugs*. 16. 1–19.
- Bochenski, T., Chaturvedi, T., Thomsen, M.N., and Schmidt, J.E. 2019. Evaluation of Marine *Synechococcus* for an Algal Biorefinery in Arid Regions. *Energies*. 12. 1–13.
- Campanella, L., Martini, E., Rita, G., and Tomassetti, M. 2006. Antioxidant Capacity of Dry Vegetal Extracts Checked by Voltammetric Method. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 4(1). 135–144.

- Chandrasekaran, B., Annadurai, K., and Somasundaram, E. 2014. *Season and System of Farming*. New Age International Publishers. New Dehli.
- Claeson, P., Tuchinda, P., and Reutrakul, V. 1993. Some Empirical Aspect Use of Flash Chromatography and Medium Pressure Liquid Chromatography for The Isolation of Biologically Active Compound from Plants. *J.Sci.Soc.Thailand*. 19. 73–86.
- Cupo, A., Landi, S., Morra, S. Nuzzo, G., Manzo, E., Fontana, A., and D'Ippolito, G. 2021. Autotrophic vs Heterotrophic Cultivation of The Marine Diatom *Cyclotella Cryptica* for EPA Production. *Marine Drugs*. 19(355). 1–11.
- Day, R. A and Underwood, A. L. 2002. *Quantitative Analysis Sixth Edition*. Prentice-Hall. New York.
- De Lima, A. A., Sussuchi, E. M., and Giovani, W. F. De. 2007. Electrochemical and Antioxidant Properties of Anthocyanins and Anthocyanidins. *Croatica Chemica Acta*. 80(1). 1–6.
- Elgrishi, N., Rountree, K. J., Mccarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T., and Dempsey, J. L. 2017. A Practical Beginner' s Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*. 95. 197–206.
- Firuzi, O., Lacanna, A., Petrucci, R., Marrosu, G., and Saso, L. 2005. Evaluation of The Antioxidant Activity of Flavonoids by “Ferric Reducing Antioxidant Power” Assay and Cyclic Voltammetry. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1721. 174–184.
- Foo, S.C., Yusoff, F.M., Ismail, M., Basri, M., Yau, S.K., Khong, N.M.H., Chan, K.W. and Ebrahimi, M. 2017. Antioxidant Capacities of Fucoxanthin-Producing Algae as Influenced by Their Carotenoid and Phenolic Contents. *Journal Biotechnol*. 241. 175–183.
- Fung, A.Y.C. 2012. The Fucoxanthin Content and Antioxidant Properties of *Undaria Pinnatifida* from Marlborough Sound, New Zealand. *Thesis*. Auckland University of Technology University.
- Ghalkhani, M., Shahrohkian, S., and Ghorbani-Bidkorbeh, F. 2009. Voltammetric Studies of Sumatriptan on The Surface of Pyrolytic Graphite Electrode

Modified with Multi-Walled Carbon Nanotubes Decorated with Silver Nanoparticles. *Talanta*. 80. 31–38.

- Goiris, K., Vreese, P. De, Cooman, L. De, and Muylaert, K. 2012. Rapid Screening and Guided Extraction of Antioxidants from Microalgae Using Voltammetric Methods. *Journal Agricultural an Food Chemistry*. 60. 7359–7366.
- Gross J. 1991. *Pigments in Vegetable, Chlorophylls and Carotenoids*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Gulo, E. S. F. 2016. Aplikasi Spektrofotometri UV dan Kalibrasi Multivariat untuk Analisis Parasetamol, Guaifenesin dan Klorfeniramin Maleat dalam Sirup. *Universitas Sanata Dharma Yogyakarta*. Yogyakarta.
- Hamid, A.A., Aiyelaagbe, O.O., Usman, L.A., Ameen, O.M., and Lawal, A. 2010. Antioxidant: Its Medicinal and Pharmacological Applications. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. 4(8). 142–151.
- Harmoko dan Krisnawati, Y. 2018. Mikroalga Divisi *Bacillariophyta* yang Ditemukan di Danau Aur Kabupaten Musi Rawas. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 6(1). 30–35.
- Heo, S.J., Yoon, W.J., Kim, K.N., Ahn, G.N., Kang, S.M., Kang, D.H., Affan, A., Oh C., Jung, W.K. and Jeon, Y.J. 2010. Evaluation of Anti-inflammatory Effect of Fucoxanthin Isolated from Brown Algae in Lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 *Macrophages*. *Food Chem. Toxicol*. 48. 2045–2051.
- Herrero, M., Cifuentes, A., and Ibarf ez, E. 2006. Sub-aad Supercritical Fluid Extraction of Functional Ingredients from Different Nafural Sources: Plants, Food-by-Products, Algae and Microalgae: Areview. *Food. Chem*. 98. 136–148.
- Hostettmann, K and Terreaux, C. 2010. *Medium Pressure Liquid Chromatography*. Academic Press. Switzerland.
- Janah, J. M. 2018. Validasi Metode Analisis Formalin dengan CV menggunakan Elektroda Platina, Emas, dan Nikel. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

- Javanmardi, J., Stushnoff, C., Locke, E., and Vivanco, J. M. 2003. Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Iranian Ocimum Accessions. *Food Chemistry*. 83. 547–550.
- Jayanti, R., Aprilia, H., dan Lukmayani, Y., 2015. Analisis Bahan Kimia Obat (BKO) Glibenklamid dalam Sediaan Jamu Diabetes yang Beredar Dipasaran. *Prosiding Penelitian SPeSIA 2015*. 649–653.
- Jelen, F., Kourilova, A., Hason, S., Kizek, R., and Trnkova, L. 2009. Voltammetric Study of Adenine Complex with Copper on Mercury Electrode. *Electroanalysis*. 21(3-5). 439–444.
- Kawee-ai, A., Kuntiya, A., and Kim, S.M. 2013. Anticholinesterase and Antioxidant Activities of Fucoxanthin Purified from The Microalga *Phaeodactylum tricornutum*. *Natural Product Communications*. 8(10). 1381–1386.
- Kilmartin, P.A., Zou, H., and Waterhouse, A.L. 2002. Correlation of Wine Phenolic Composition versus Cyclic Voltammetry Response. *Am. J. Enol Vitic*. 53. 294–302.
- Kim, S. M., Jung, Y., and Kwon, O. 2012. A Potential Commercial Source of Fucoxanthin Extraced from The Microalga *Phaeodactylum tricornutum*. *Appl. Biochem. Biotenchnol*. 166. 1843–1855.
- Kumar S, Jyotimaryee K, Sarangi M. 2013. Thin Layer Chromatography: A Tool of Biotechnology for Isolation of Bioactive Compounds from Medicinal Plants. *Int J Pharm Sci Rev Res*. 18(1). 126–132.
- Korotkova, E. I., Avramchik, O. A., Plotinov, E. V., Lukina, A. N., and Karbainov, Y. A. 2005. Antioxidant and Electrochemical Properties of Calcium and Lithium Ascorbates. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 37. 1149–1154
- Korotkova, E. I., Karbanov, Y. A., and Shevchuk, A. V. 2002. Study of Antioxidant Properties by Voltammetri. *Journal of Electronical Chemistry*. Polandia.
- Kumar, S. R., Hosokawa, M., and Miyashita, K. 2013. Fucoxanthin: A Marine

Carotenoid Exerting Anti-Cancer Effects by Affecting Multiple Mechanisms. *Marine Drugs*. 11. 5130–5147.

Kusumaningtyas, P., Nurbaiti, S., Suantika, G., Amran, M. B., and Nurachman, Z. 2017. Enhanced Oil Production by The Tropical Marine Diatom *Thalassiosira sp.* Cultivated in Outdoor Photobioreactors. *Appl Biochem Biotechnol*. 182(4). 1605–1618.

Liu, D., Gao, Y., and Kispert, L. D. 2000. Electrochemical Properties of Natural Carotenoids. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 488. 140–150.

Lovric, K.S., and Jovanovic, N.I. 2016 Abrasive Stripping Square Wave Voltammetry of Some Natural Antioxidants. *Int J Electrochem Sci*. 11. 836–842.

Macedo, J. A., Battestin, V., Ribeiro, M. L., and Macedo, G. A. 2017. Increasing The Antioxidant Power of Tea Extracts by Biotransformation of Polyphenols. *Food Chemistry*. 126(2). 491–497.

Maeda, H., Tsukui, T., Sashima, T., and Hosokawa, M. 2008. Seaweed Carotenoid , Fucoxanthin , as a Multi-Functional Nutrient. *Asia Pac J Clin Nutr*. 17. 196–199.

Masek, A., Chrzescijanska, E., Kosmalka, A., and Zaborski, M. 2014. Characteristics of Compounds In Hops Using Cyclic Voltammetry, UV–VIS, FTIR and GC–MS Analysis. *Food Chemistry Journal*. 156. 353–361.

Medina, E., Cerezal, P., Morales, J., and Dominguez, M.C.R. 2019. Fucoxanthin from Marine Microalga *Isochrysis Galbana*: Optimization of Extraction Methods with Organic Solvents. *DYNA*. 86(210). 174–178.

Miyashita, K., and Hosokawa, M. 2017. Fucoxanthin in The Management of Obesity an its Related Disorders. *J. Functional Foods*. 36. 195–202.

Mulyono, H. 2006. *Kamus Kimia*. PT. Bumi Aksara. Jakarta.

Nisyak, K., Prasetya, Y. A., dan Hisbiyah, A. 2019. *Penuntun Praktikum Biokimia*. Qiara Media. Surabaya.

- Nnamchi, P.S., and Obayi, C.S. 2018. Electrochemical Characterization of Nanomaterials. *Characterization of Nanomaterials*. 103-127.
- Noviyanti, F. 2020. *Penetapan Kadar Ketoprofen dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis*. Media Sains Indonesia. Bandung.
- Nurachman, Z., Brataningtyas, D.S., Panggabean, L.M.G, and Hartati. 2012. Oil from The Tropical Marine Benthic-Diatom *Navicula* sp. *Appl Biochem Biotechnol*. 168. 1065–1075.
- Nursid, M., Wikanta, T., dan Susilowati, R. 2013. Aktivitas Antioksidan, Sitotoksitas dan Kandungan Fukosantin Ekstrak Rumput Laut Coklat dari Pantai Binuangeun, Banten. *JPB Kelautan Dan Perikanan*. 8(1). 73–84.
- Peng, J., Yuan, J., Wu, C., and Wang, J. 2011. Fucoxanthin, a Marine Carotenoid Present in Brown Seaweeds and Diatoms : Metabolism and Bioactivities Relevant to Human Health. *Marine Drugs*. 9. 1806–1828.
- Pérez-Gálvez, A., Viera, I., and Roca, M. 2020. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants. *Antioxidants*. 9(505). 1–34.
- Petrushkina, M., Gusev, E., Sorokin, B., Zotko, N., Mamaeva, A., Filimonova, A., and Kuzmin, D. 2017. Fucoxanthin Production by Heterokont Microalgae. *Algal Research*. 24. 387–393.
- Puranto, P. 2010. Pengembangan Instrumen Pengkarakterisasi Sensor Elektrokimia Menggunakan Metode Voltametri Siklik. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH*. 28. 20–28.
- Ragubeer, N., Limson, J.L., and Beukes, D.R. 2012. Electrochemistryguided Isolation of Antioxidant Metabolites from *Sargassum elegans*. *Food Chemistry*. 131(1). 286–290.
- Rahman, N. A., Katayama, T., Effendy, M., Wahid, A., Monica, H., and Peralta, M. 2020. Taxon and Growth Phase-Specific Antioxidant Production By *Chlorophyte*, *Bacillariophyte*, and *Haptophyte* Strains Isolated From Tropical Waters. *Frontiers In Bioengineering and Biotechnology*. 8. 1–16.

- Remmhoran, W., Noviendri, D., Setyaningsih, I. dan Uju. 2017. Ekstraksi dan Purifikasi Fukosantin dari *Sargassum sp.* sebagai Anti-Acne. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20 (2). 370–379.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Robert, J., Sobkowiak, and Sawyer, D. 1995. *Eksperimental Electrochemistry for Chemist (2nd ed.)*. John Willey Inc. Canada.
- Saito, Y., and Kikuchi, T. 2014. *Voltammetry: Theory, Types, and Application*. Nova Science Publisher. New york.
- Sanjaya, F., dan Danakusuma, E. 2018. Evaluasi Kerja Pertumbuhan Diatom (*Thalassiosira sp*) yang Diberi Dosis Silikat. *Jurnal Satya Minabahari*. 3(2). 82–93.
- Sansone, C., and Brunet C. 2019. Promises an Challenges of Microalgal Antioxidant Production. *Antioxidans*. 8(199). 1–9.
- Scholz F. 2010. *Electroanalytical Methods Guide to Experiments and Applications 2nd Edition*. Springer. Heidelberg (DE).
- Sembiring, T., Dayana, I., dan Rianna, M. 2019. *Alat Penguji Material*. Guepedia. Bogor.
- Simic, A., Manojlovic, D., Segan, D., and Todorovic, M. 2007. Electrochemical Behavior and Antioxidant and Prooxidant Activity of Natural Phenolics. *Molecules*. 12(10). 2327–2340.
- Singh, K., Paidi, M. K., Kulshrestha, A., Bharmoria, P., Mandal, S. K., and Kumar, A. 2022. Deep Eutectic Solvents Based Biorefining of Value-added Chemicals From The Diatom *Thalassiosira Andamanica* at Room Temperature. *Separation and Purification Technology*. 298. 1–15.
- Skoog, D.A., Donald, M., West, F., and James, H. 1998. *Principles of Analysis*, 5th ed. Saunders College Publishing.

- Sodik, V., Swasono, R., Suwarno, T., dan Noviendri, D. 2022. Ekstraksi dan Purifikasi Fukosantin dari Rumput Laut Cokelat *Sargassum sp.* Sebagai Antioksidan. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes DEPKES*. Bandung.
- Srivastava, M. M. 2011. *High-Performance Thin-Layer Chromatography (HPTLC)*. Springer Verlag Berlin Heidelberg. New York. 32–60.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrofotometri Massa untuk Penentuan Senyawa Organik*. AURA. Lampung.
- Sulisetijeno. 2009. *Bahan seraha Alga*. UIN Press. Malang.
- Syafindra, D., Budi, E., dan Sugihartono, I. 2017. Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino Uno. *Prosiding Snips 2017*. 72–81.
- Vuuren, S.J.V., Jonathan, T., Carin, V.G., and Annelise, G. 2006. *Easy Identification of The Most Common Fresh Water Algae*. North-West University Noorowes-Universitiet. South African.
- Wang, J. 2001. *Analytical Electrochemistry Second Edition*. John Wiley dan Sons, Inc. New York.
- Wang, L., Fan, Y., Parsons, R. L., Hu, G., and Zhang, P. 2018. A Rapid Method for The Determination of Fucoxanthin in Diatom. *Marine Drugs*. 16(33). 1–13.
- Warono, D. dan Syamsudin. 2013. Unjuk Kerja Spektrofotometer Untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen. *Jurnal Konversi*. 2(2). 57–65.
- Wedhasari, A. 2014. Peran Antioksidan Bagi Kesehatan. *Jurnal Biotek Medisiana Indonesia*. 3(2). 59–68.
- Xia, S., Wang, K., Wan, L., Li, A., Hu, Q., Zhang, C. 2013. Production, Characterization, and Antioxidant Activity of Fucoxanthin from The Marine Diatom *Odontella aurita*. *Marine Drugs*. 11. 2667–2681.