

**KARAKTERISASI MORFOLOGI DAN BIOKIMIA SENYAWA
NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN ALGA MERAH
*Palmaria palmata***

SKRIPSI

**Oleh:
HAFIDAH NAZLATUL AULIYAH
NIM. 18620062**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**KARAKTERISASI MORFOLOGI DAN BIOKIMIA SENYAWA
NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN ALGA MERAH
*Palmaria palmata***

SKRIPSI

**Oleh:
HAFIDAH NAZLATUL AULIYAH
NIM. 18620062**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

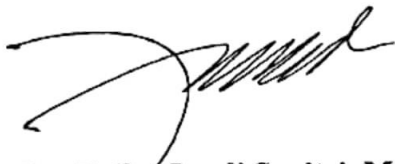
**KARAKTERISASI MORFOLOGI DAN BIOKIMIA SENYAWA
NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN ALGA MERAH *Palmaria
palmata***

SKRIPSI

Oleh:
HAFIDAH NAZLATUL AULIYAH
NIM. 18620062

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Tanggal: 3 Juni 2022

Pembimbing I



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

Pembimbing II



Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I
NIPT. 201402011409

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

**KARAKTERISASI MORFOLOGI DAN BIOKIMIA SENYAWA
NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN ALGA MERAH *Palmaria
palmata***

SKRIPSI

**Oleh:
HAFIDAH NAZLATUL AULIYAH
NIM. 18620062**

**Telah dipertahankan
di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai salah satu
persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 10 Juni 2022**

**Penguji Utama : Prof. Dr. drh. Hj. Bayyinatul
Muchtaromah, M.Si
NIP. 19741018 200312 2 002**

(.....)

**Ketua Penguji : Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd
NIP. 19630114 199903 1 001**

(.....)

**Sekretaris Penguji : Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002**

(.....)

**Anggota Penguji : Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I
NIPT. 201402011409**

(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Program Studi Biologi**


**Dr. Evika Sandi Savitri, M. P
NIP. 19741018 200312 2 002**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk semua pihak yang telah mendukung penulis dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini, khususnya:

1. Ayah dan ibu tercinta (bapak Joni Trisnowanto dan ibu Mas'ulah Sa'adah), nenek, kakak, dan keluarga yang telah merawat, mendidik, memberikan motivasi, dan mendoakan penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Teman-teman seperjuangan tim alga (Febry, Dea, dan Fajar).
3. Teman-teman kos muslimah griya Elis (Nisa, Khusnul, Mega, Bidri, Dea, Khalili, Kiki) yang telah menghibur, memberi motivasi, menyemangati dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Teman-teman seperjuangan Booster Biologi 2018 dan Biologi B 2018 yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman fast track 2021 (Inung, Donny, Fitri, Mimif, Faza, Rana) yang telah memberikan semangat dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

MOTTO HIDUP

“Memaksimalkan usaha, melangitkan do’a, berpegang pada keyakinan, dan bersyukur di setiap keadaan”

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hafidah Nazlatul Auliyah
NIM : 18620062
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Karakterisasi Morfologi dan Biokimia Senyawa
Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria
palmata*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 30 Mei 2022

Yang membuat pernyataan,



Hafidah Nazlatul Auliyah
NIM. 18620062

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

Karakterisasi Morfologi dan Biokimia Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria palmata*

Hafidah Nazlatul Auliyah, Evika Sandi Savitri, M. Mukhlis Fahrudin

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

Palmaria palmata merupakan spesies alga merah yang mengandung pigmen fikoeitritin dan fikosianin serta memiliki senyawa fitokimia seperti MAAs dan polifenol yang berpotensi sebagai antioksidan. Penuaan dini dapat diakibatkan oleh radikal bebas dan aktivitas enzim kolagenase yang berlebih. *Palmaria palmata* dalam bentuk nanopartikel perak diduga memiliki aktivitas antioksidan dan dapat menghambat enzim kolagenase, sehingga dapat digunakan untuk mencegah penuaan dini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik morfologi dan biokimia senyawa nanopartikel perak *Palmaria palmata*. Penelitian ini termasuk penelitian deskriptif eksploratif. Sampel yang digunakan adalah nanopartikel perak *Palmaria palmata* yang disintesis dengan metode *green synthesis*. Parameter yang diamati adalah karakter morfologi (ukuran dan bentuk) serta karakter biokimia (aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase) senyawa nanopartikel perak *Palmaria palmata*. Ukuran dan bentuk nanopartikel diuji menggunakan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Aktivitas antioksidan diuji menggunakan metode 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH). Aktivitas penghambatan enzim diuji menggunakan enzim kolagenase *Clostridium histolyticum* dan substrat *bovine collagen*. Analisis data secara statistik meliputi regresi linear untuk mengetahui nilai IC_{50} dari aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase, dilanjutkan dengan analisis korelasi Pearson. Hasil penelitian menunjukkan AgNP *Palmaria palmata* berbentuk *spherical* berukuran 185,5 nm. Aktivitas antioksidan AgNP *Palmaria palmata* memiliki nilai IC_{50} $17,113 \pm 1,584$ ppm, lebih kuat dari ekstrak $133,875 \pm 11,238$ ppm. Aktivitas penghambatan enzim kolagenase AgNP *Palmaria palmata* memiliki nilai IC_{50} $13,099 \pm 5,767$ ppm, lebih kuat dari ekstrak $65,849 \pm 2,636$ ppm. Nilai koefisien korelasi antara aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase AgNP *Palmaria palmata* adalah ($r = 0,940$) yang termasuk kategori korelasi positif kuat.

Kata kunci: antioksidan, enzim kolagenase, nanopartikel perak, *Palmaria palmata*

Morphological and Biochemical Characterization of Silver Nanoparticles using Red Algae *Palmaria palmata*

Hafidah Nazlatul Auliyah, Evika Sandi Savitri, M. Mukhlis Fahrudin

Biology Program Study, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam
Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRACT

Palmaria palmata is a red algae species that contains phycoerythrin and phycocyanin pigments and has phytochemical compounds such as MAAs and polyphenols that have potential as antioxidants. Premature aging can be caused by free radicals and excessive collagenase enzyme activity. *Palmaria palmata* in the form of silver nanoparticles is thought to have antioxidant activity and can inhibit the collagenase enzyme, so it can be used to prevent premature aging. The purpose of this study was to determine the morphological and biochemical characteristics of *Palmaria palmata* silver nanoparticles. The type of research is descriptive exploratory. The sample used was *Palmaria palmata* silver nanoparticles synthesized by the green synthesis method. Parameters observed were morphological characters (size and shape) and biochemical characters (antioxidant activity and collagenase enzymes inhibition) of *Palmaria palmata* silver nanoparticles. The size and shape of the nanoparticles were tested using a Particle Size Analyzer (PSA) and Scanning Electron Microscopy (SEM). Antioxidant activity was tested using the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) method. The enzyme inhibitory activity was tested using the enzyme *Clostridium histolyticum* collagenase and bovine collagen as a substrate. Statistical data analysis included linear regression to determine the IC₅₀ value of antioxidant activity and inhibition of the collagenase enzyme, followed by Pearson correlation analysis. The results showed that AgNP *Palmaria palmata* had a spherical shape measuring 185.5 nm. Antioxidant activity of AgNP *Palmaria palmata* has an IC₅₀ value of 17,113±1,584 ppm, stronger than the extract 133.875±11,238 ppm. The collagenase enzyme inhibitory activity of the AgNP *Palmaria palmata* had an IC₅₀ value of 13,099±5,767 ppm, stronger than the extract of 65.849±2,636 ppm. The correlation coefficient value between antioxidant activity and collagenase enzyme inhibition of AgNP *Palmaria palmata* is ($r = 0.940$) which belongs to the category of strong positive correlation.

Keywords: antioxidant, collagenase enzyme, silver nanoparticle, *Palmaria palmata*

التوصيف المورفولوجي والكيميائي الحيوي لمركبات الجسيمات النانوية الفضية باستخدام الطحالب الحمراء

Palmaria palmata

حافضة نزلة الاولياء, ايفيكا ساندي سافيتري, محمد مخلص فحرالدين

قسم علم الحياة, كلية العلوم والتكنولوجيا, جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج

ملخص البحث

Palmaria palmata هو نوع من الطحالب الحمراء يحتوي على أصباغ phycoerythrin و phycocyanin ويحتوي على مركبات كيميائية نباتية مثل MAAs و polyphenols التي لها إمكانات كمضادات للأكسدة. يمكن أن تحدث الشيخوخة المبكرة بسبب الجنور الحرة وزيادة نشاط إنزيم الكولاجيناز. يُعتقد أن بالماريا بالمياتا على شكل جزيئات فضية نانوية لها نشاط مضاد للأكسدة ويمكن أن تمنع إنزيم الكولاجيناز، لذلك يمكن استخدامها لمنع الشيخوخة المبكرة. كان الغرض من هذه الدراسة هو تحديد الخصائص المورفولوجية والكيميائية الحيوية لجسيمات الفضة النانوية *Palmaria palmata*. يشمل هذا البحث البحث الوصفي الاستكشافي. كانت العينة المستخدمة عبارة عن جزيئات الفضة النانوية *Palmaria palmata* التي تم تصنيعها بطريقة التخليق الأخضر. العوامل التي لوحظت هي الصفات المورفولوجية (الحجم والشكل) والصفات البيوكيميائية (نشاط مضادات الأكسدة وتثبيط إنزيمات الكولاجيناز) لجسيمات الفضة النانوية بالماريا بالمياتا. تم اختبار حجم وشكل الجسيمات النانوية باستخدام محلل حجم الجسيمات (PSA) والفحص المجهر الإلكتروني (SEM). تم اختبار نشاط مضادات الأكسدة باستخدام طريقة DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) -1، تم اختبار النشاط المثبط للإنزيم باستخدام إنزيم كلوستريديوم هيسطوليتيكوم كولاجيناز وكولاجين بقر كركيزة. تضمن تحليل البيانات الإحصائية الانحدار الخطي لتحديد قيمة IC_{50} للنشاط المضاد للأكسدة وتثبيط إنزيم الكولاجيناز، متبوعاً بتحليل ارتباط بيرسون. أظهرت النتائج أن *AgNP Palmaria palmata* كان له شكل كروي بقياس 185.5 نانومتر. النشاط المضاد للأكسدة لـ *AgNP Palmaria palmata* له قيمة IC_{50} تبلغ 17113 ± 1.584 جزء في المليون، أقوى من المستخلص 11238 ± 133.875 جزء في المليون. كان للنشاط المثبط لإنزيم *AgNP Palmaria palmata* قيمة IC_{50} تبلغ 5767 ± 13099 جزء في المليون، أقوى من المستخلص 2636 ± 65.849 جزء في المليون. قيمة معامل الارتباط بين النشاط المضاد للأكسدة وتثبيط إنزيم الكولاجيناز *AgNP Palmaria palmata* هي ($r = 0.940$) والتي تنتمي إلى فئة الارتباط الإيجابي القوي.

Palmaria palmata, مضادات الأكسدة، إنزيمات الكولاجيناز، جزيئات الفضة النانوية: الكلمات المفتاحية

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Bismillaahirrohmaanirrohiim, Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Karakterisasi Morfologi dan Biokimia Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria Palmata*” dengan baik. Tidak lupa pula sholawat dan salam disampaikan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW yang telah menegakkan Diinul Islam yang terpatri hingga akhirul zaman. Aamiin.

Berkat bimbingan, bantuan, doa, dan dorongan dari berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terima kasih yang tak terkira khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P dan Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I selaku pembimbing I dan II, yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Prof. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si dan Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd selaku dosen penguji, yang telah memberikan saran dan masukan untuk perbaikan dan penyelesaian tugas akhir ini.

6. Dr. Kiptiyah, M.Si selaku dosen wali, yang telah membimbing dan memberikan motivasi kepada penulis dari awal hingga akhir studi.
7. Seluruh dosen dan laboran di Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang setia menemani penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium tersebut.
8. Ibu, Ayah, dan keluarga tercinta yang telah memberikan doa, dukungan, serta motivasi kepada penulis.
9. Teman-teman seperjuangan Booster Biologi 2018, Biologi B 2018, dan teman-teman seperjuangan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan.

Semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 30 Mei 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
MOTTO HIDUP	v
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vi
HALAMAN PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
ملخص البحث	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Hipotesis	10
1.5 Manfaat Penelitian	10
1.6 Batasan Masalah	11
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Tinjauan Alga dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains	12
2.2 Alga Merah	15
2.3 <i>Palmaria palmata</i>	16
2.3.1 Klasifikasi	16
2.3.2 Ciri Morfologi dan Siklus Hidup	17
2.3.3 Distribusi dan Habitat	19
2.3.4 Kandungan Senyawa	19
2.4 Nanopartikel	20

2.5	Karakterisasi Nanopartikel	22
2.6	Penuaan Kulit	23
2.7	Peran Antioksidan dalam Penghambatan Penuaan Dini	24
2.8	Penghambatan Enzim Kolagenase pada Penuaan Kulit	27
BAB III. METODE PENELITIAN		30
3.1	Jenis Penelitian	30
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	31
3.4	Prosedur Penelitian.....	31
3.4.1	Persiapan Bahan Baku.....	31
3.4.2	Sintesis Nanopartikel	32
3.4.3	Karakterisasi Morfologi Nanopartikel	32
3.4.4	Uji Antioksidan	33
3.4.4.1	Pembuatan Larutan DPPH	33
3.4.4.2	Pengenceran bahan	33
3.4.4.3	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	34
3.4.4.4	Pengujian Antioksidan.....	34
3.4.5	Uji Penghambatan Enzim Kolagenase	35
3.5	Analisis Data	36
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Karakterisasi Morfologi Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah <i>Palmaria palmata</i>	37
4.2	Aktivitas Antioksidan AgNP <i>Palmaria palmata</i>	41
4.3	Aktivitas Penghambatan Enzim Kolagenase AgNP <i>Palmaria palmata</i> ...	44
4.4	Korelasi Aktivitas Antioksidan dan Penghambatan Enzim Kolagenase AgNP <i>Palmaria palmata</i>	47
4.5	Kajian Al Qur'an dan Hadist terkait Hasil Penelitian	48
BAB V. PENUTUP.....		54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN.....		66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1. Hasil ringkasan data <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	38
4.2. Hasil uji aktivitas antioksidan AgNP <i>Palmaria palmata</i>	42
4.3. Hasil uji aktivitas penghambatan enzim kolagenase AgNP <i>Palmaria palmata</i>	45
4.4. Hasil analisis korelasi Pearson aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase AgNP <i>Palmaria palmata</i> menggunakan <i>software</i> SPSS.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Ilustrasi skematik <i>Palmaria palmata</i>	17
2.2 Morfologi <i>Palmaria palmata</i>	17
2.3 Mekanisme inhibitor kompetitif.....	29
2.4 Mekanisme inhibitor non kompetitif.....	29
4.1 Distribusi ukuran AgNP <i>Palmaria palmata</i> menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	37
4.2 Bentuk AgNP <i>Palmaria palmata</i> menggunakan <i>Scanning</i> <i>Electron Microscopy</i> (SEM).....	40
4.3 Komponen AgNP <i>Palmaria palmata</i> menggunakan <i>Energy</i> <i>Dispersive X-ray</i> (EDX).....	41

DAFTAR LAMPIRAN

1. Penghitungan IC ₅₀ aktivitas antioksidan AgNP <i>Palmaria palmata</i> menggunakan <i>Microsoft Excel</i> 2013.....	66
2. Penghitungan IC ₅₀ aktivitas penghambatan enzim kolagenase AgNP <i>Palmaria palmata</i> menggunakan <i>Microsoft Excel</i> 2013.....	70
3. Penghitungan konsentrasi bahan.....	74
4. Penghitungan pengenceran asam askorbat dan kolagen sintetis.....	76
5. Penghitungan konsentrasi larutan nanopartikel dan ekstrak.....	78
6. Kurva panjang gelombang maksimum DPPH.....	79
7. Analisis korelasi Pearson aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase menggunakan SPSS.....	80
8. Dokumentasi penelitian.....	81
9. Bukti konsultasi.....	87
10. Bukti cek plagiasi.....	89

DAFTAR SINGKATAN

Simbol/singkatan	Keterangan
UV	<i>Ultraviolet</i>
ROS	<i>Reactive Oxygen Species</i>
DNA	<i>Deoxyribo Nucleic Acid</i>
MMP	<i>Matrix Metallo Proteinase</i>
DPPH	<i>1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl</i>
IC ₅₀	<i>Inhibition Concentration 50%</i>
ECM	<i>Extra Cellular Matrix</i>
AgNP	Nanopartikel perak
PSA	<i>Particle Size Analyzer</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
EDX	<i>Energy Dispersive X-ray</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alga merah *Palmaria palmata* merupakan spesies alga dari kelompok Rhodophyta. *Palmaria palmata* tumbuh berlimpah di Samudra Atlantik Utara, Arktik (Mutripah *et al.*, 2014), dan Pasifik (Gallagher *et al.*, 2021). *Palmaria palmata* digunakan pada penelitian karena mudah ditemukan dan tersebar di berbagai daerah di Indonesia, di antaranya adalah Yogyakarta (Darsih dkk, 2020), Bali (Maharani dkk, 2021), dan Jawa Barat (Mutripah *et al.*, 2014). Selain itu, *Palmaria palmata* memiliki kandungan senyawa bioaktif diantaranya adalah MAAs, polifenol, glisin, dan arginin. *Mycrosporine-like Amino Acids* (MAAs) diproduksi berkaitan dengan penyerapan energi matahari dan melindungi organisme laut dari paparan sinar UV yang tinggi (Pereira, 2018). Senyawa bioaktif tersebut memiliki potensi sebagai antioksidan, osmolit, penyimpanan nitrogen, dan pelindung terhadap kekeringan (Lalegerie *et al.*, 2020). Manfaat dari tumbuh-tumbuhan telah dijelaskan dalam QS: As Syu'ara [26]: 7 sebagai berikut:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾

“Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami telah menumbuhkan di sana segala jenis (tanaman) yang tumbuh baik?”

Tafsir ayat di atas menjelaskan bahwa Allah Subhanahu Wata'ala telah menciptakan dan menumbuhkan berbagai jenis tumbuhan yang baik. Makna tumbuhan yang baik adalah tumbuhan yang subur dan bermanfaat. Penciptaan tersebut menjadi bukti kekuasaan Allah Subhanahu Wata'ala (Shihab 2002). Satu di antara tumbuhan yang baik adalah alga merah *Palmaria palmata*. *Palmaria palmata* memiliki senyawa fitokimia seperti polifenol yang diduga dapat berpotensi

sebagai antioksidan dan penghambat enzim kolagenase. Aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase bermanfaat dalam mencegah penuaan dini.

Penuaan merupakan proses alami yang dialami oleh manusia seiring dengan perubahan waktu. Penuaan disertai dengan menurunnya struktur anatomi dan fungsi fisiologis organ secara bertahap (Lephart, 2016). Proses penuaan dijelaskan dalam firman Allah Subhanahu Wata'ala dalam QS: Ar-Rum [30]: 54 sebagai berikut:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَكُمْ مِنْ ضَعْفٍ ثُمَّ جَعَلَ مِنْ بَعْدِ ضَعْفٍ قُوَّةً ثُمَّ جَعَلَ مِنْ بَعْدِ قُوَّةٍ ضَعْفًا وَشَيْبَةً يَخْلُقُ
مَا يَشَاءُ وَهُوَ الْعَلِيمُ الْقَدِيرُ ﴿٥٤﴾

“Allah adalah zat yang menciptakan kamu dari keadaan lemah, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah keadaan lemah itu menjadi kuat, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah kuat itu lemah (kembali) dan beruban. Dia menciptakan apa yang Dia kehendaki. Dan Dia Maha Mengetahui, Maha Kuasa.”

Tafsir ayat di atas menjelaskan tentang perkembangan dan perjalanan hidup manusia mulai dari janin kemudian dilahirkan, menuju masa kanak-kanak, menjadi masa muda yang penuh dengan semangat dan kekuatan, lalu tua. Pada usia tua, manusia menjadi makhluk yang lemah kembali dan mengalami perubahan fisik di antaranya adalah rambut yang tadinya hitam menjadi beruban, daya penglihatan dan pendengaran semakin melemah, serta kulit menjadi keriput (Al Mahalli & As Suyuti, 2009).

Tanda-tanda proses penuaan yang dapat dilihat langsung menggunakan indera penglihatan adalah penuaan pada kulit karena merupakan organ terluar tubuh. Penuaan kulit adalah proses biologis yang kompleks dan menyebabkan perubahan struktural dan fisiologis kumulatif secara bertahap pada setiap lapisan kulit (Zouboulis *et al.*, 2019). Penuaan kulit ditandai dengan kulit yang lebih kering, tekstur tidak teratur, terdapat kerutan, dan berkurangnya volume serta elastisitas (Pereira, 2018). Berdasarkan tafsir ayat dapat diketahui bahwa penuaan pada kulit

adalah hal yang alami terjadi pada manusia seiring dengan bertambahnya usia, namun terdapat beberapa faktor yang dapat mempercepat proses penuaan kulit secara dini sebelum usia tua.

Secara umum, penuaan kulit dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal meliputi kadar hormon, genetik, dan metabolisme endokrin. Faktor eksternal meliputi radiasi ultraviolet, tingkat nutrisi, polusi, dan paparan bahan kimia (Cao *et al.*, 2020). Mekanisme penuaan kronologis dipengaruhi oleh faktor internal yaitu genetik, sedangkan penuaan *photoaging* dipengaruhi oleh faktor lingkungan (Rinnerthaler *et al.*, 2015). Pada penelitian ini akan dibahas lebih khusus mengenai penuaan *photoaging* yang banyak memicu penuaan dini pada kulit.

Faktor penyebab penuaan *photoaging* yang paling sering terjadi adalah radiasi ultraviolet yang dapat menginduksi produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) (Eren *et al.*, 2018). ROS adalah produk samping dari metabolisme oksigen yang menjadi produk kimia dengan satu elektron tidak berpasangan atau disebut oksigen singlet yang dapat bereaksi cepat dengan pasangan elektron lain (Slimen *et al.*, 2014). ROS dapat mendegradasi sel, DNA (seperti putusnya untai DNA dan aberasi kromosom), membran lipid, struktur kolagen, dan fungsi mitokondria. ROS diproduksi oleh keratinosit dan hampir semua jenis sel kulit sebagai respon dari berbagai faktor lingkungan termasuk radiasi ultraviolet (Baek & Lee, 2015).

ROS dapat menyebabkan stress oksidatif yang memicu penuaan pada kulit. ROS dapat memicu penuaan pada kulit karena dapat menginduksi pembentukan MMP dengan mengaktifkan jalur pensinyalan MAPK dan AP-1 yang terdiri dari c-Fos dan c-Jun. MMP inilah yang dapat mendegradasi dan menurunkan jumlah

kolagen serta elastin pada ECM yang berperan penting dalam penuaan kulit (Gu *et al.*, 2020). Produksi ROS dapat dicegah dengan pertahanan antioksidan. Antioksidan sebagai reduktor dapat menghambat penuaan sel-sel kulit melalui stabilitas ROS yang sudah terbentuk. Stabilitas ROS dapat dilakukan dengan reduksi elektron oleh antioksidan (Zhang & Duan, 2018).

Antioksidan sebenarnya telah dihasilkan oleh tubuh yang biasa disebut dengan antioksidan endogen. Namun, adanya induksi sinar ultraviolet secara berlebih pada kulit mengakibatkan antioksidan yang dihasilkan tubuh untuk melawan ROS tidak mencukupi, sehingga dibutuhkan asupan antioksidan dari luar tubuh atau antioksidan eksogen (Djapiala dkk, 2013). Satu di antara potensi antioksidan eksogen untuk pencegahan penuaan dini pada kulit yang diuji pada penelitian ini adalah menggunakan makroalga merah spesies *Palmaria palmata* sebagai sumber antioksidan alami.

Warna merah pada alga *Palmaria palmata* dipengaruhi oleh kandungan pigmen di dalamnya yaitu kelompok pigmen fikobiliprotein yang terdiri dari r-fikoeritrin dan fikosianin. Pigmen yang mendominasi pada alga merah adalah r-fikoeritrin (Khatulistiani *et al.*, 2020). Pigmen fikobiliprotein dapat berperan sebagai antioksidan dengan cara donor proton dan pengkelat ion logam oleh sisi hidrofobik (Sonani *et al.*, 2015). Komponen apoprotein dan prostetik dari struktur fikobiliprotein dapat bertindak dalam stabilisasi ROS. Komponen apoprotein dapat mengurangi radikal hidroksil dan radikal asam hipoklorit melalui reaksi dengan residu sistein dan metionin. Fikosianin dapat menstabilkan oksigen tunggal dan oksidasi ikatan rangkap (Lo *et al.*, 2019).

Potensi antioksidan pada *Palmaria palmata* telah dinyatakan dalam hasil penelitian Setyorini & Puspitasari (2021) bahwa ekstrak *Palmaria palmata* yang berasal dari Pantai Sepanjang Yogyakarta dengan diuji DPPH memiliki nilai IC_{50} sebesar 38,525 g/ml yang termasuk kategori aktivitas antioksidan sangat kuat karena nilai $IC_{50} < 50$ ppm. Hasil penelitian Ballesteros *et al.* (2020) juga melaporkan terdapat potensi antioksidan pada nanopartikel perak alga merah *Sargassum muticum* yang diuji DPPH dengan nilai IC_{50} sebesar $69,50 \pm 0,02$ mg/ml.

Uji aktivitas antioksidan pada penelitian ini menggunakan metode DPPH. Metode DPPH merupakan satu di antara metode kuantitatif untuk mengukur aktivitas antioksidan sampel dalam menangkal radikal bebas DPPH (Rahmawati dkk, 2015). Parameter yang digunakan untuk mengetahui aktivitas antioksidan adalah nilai IC_{50} yang didefinisikan sebagai konsentrasi senyawa antioksidan yang menyebabkan hilangnya 50% aktivitas DPPH. Alasan penggunaan metode DPPH adalah prosesnya sederhana, mudah, cepat, peka, serta memerlukan sedikit reagen (Erviana dkk, 2016).

Senyawa bioaktif pada *Palmaria palmata* juga diduga dapat menghambat aktivitas enzim kolagenase sebagai satu di antara enzim yang berperan dalam penuaan kulit. Hal ini didasari oleh hasil penelitian Hartmann *et al.* (2015) bahwa ekstrak *Palmaria palmata* yang mengandung senyawa MAAs dapat menghambat enzim kolagenase dengan kategori sedang. Fungsi fisiologis enzim kolagenase adalah untuk degradasi kolagen dan *remodelling* matriks ekstraseluler (ECM). Namun, apabila jumlah enzim kolagenase berlebih maka akan menyebabkan penyakit (Tohar *et al.*, 2021). Degradasi kolagen dan elastin dapat menyebabkan kerutan dan penuaan pada kulit (Pientaweeratch *et al.*, 2016). Aktivitas enzim

kolagenase dapat dipicu dengan adanya ROS yaitu dengan aktivasi *Matrix Metalloproteinase* (MMP) yang akan mendegradasi jaringan ikat termasuk kolagen (Gu *et al.*, 2020). Oleh karena itu, penghambatan enzim kolagenase dapat digunakan sebagai upaya untuk menghambat penuaan dini pada kulit (Chatatikun & Chiabchalard, 2017).

Aktivitas penghambatan enzim kolagenase diuji menggunakan enzim kolagenase dari bakteri *Clostridium histolyticum* dan substrat *bovine collagen*. Enzim kolagenase ditemukan pada hewan, mikroorganisme, dan tumbuhan. Enzim kolagenase mikroba lebih baik untuk digunakan dibandingkan dengan enzim kolagenase hewan (Pal & Suresh, 2016). Enzim kolagenase dari mikroorganisme patogen *Clostridium* sp. adalah satu di antara kolagenase bakteri yang telah dipelajari sifat biokimia dan enzimatiknya (Shi *et al.*, 2010).

Aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase akan dilihat korelasinya. Nilai korelasi bermanfaat untuk mengetahui hubungan atau keterkaitan antar variabel. Korelasi antara aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase telah dijelaskan dalam penelitian Byun *et al.* (2021) yang menunjukkan aktivitas penghambatan enzim kolagenase secara signifikan berkorelasi dengan aktivitas antioksidan yang diuji dengan DPPH. Hal yang sama diungkapkan dalam penelitian Nurulita dkk (2019) bahwa aktivitas antioksidan dapat memberikan efek sinergis terhadap penghambatan enzim kolagenase pada proses penuaan kulit.

Aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase oleh *Palmaria palmata* berpotensi dikembangkan menjadi agen bahan baku kosmetik untuk mencegah penuaan dini pada kulit. Kosmetik merupakan bahan yang dimaksudkan untuk diaplikasikan pada tubuh manusia dengan cara digosok, dituang, ditabur, atau

disemprotkan untuk membersihkan, meningkatkan daya tarik, dan memperindah penampilan. Kosmetikal adalah produk kosmetik yang memiliki beberapa efek terapeutik tertentu (Augustine & Hasan, 2020).

Aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim dapat didapatkan melalui proses ekstraksi dalam bentuk ekstrak. Namun, saat ini perlu digunakan teknologi baru sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas dan efektivitas kosmetik dari bahan alami yaitu dengan menggunakan nanoteknologi. Nanoteknologi adalah teknologi baru yang dilakukan pada skala nano atau nanopartikel dengan kisaran ukuran 1-1000 nm (Santos *et al.*, 2019). Nanopartikel telah banyak dikembangkan dalam produk karena memiliki beberapa kelebihan yaitu sifat-sifat yang unik khususnya pada ukuran partikel, luas permukaan, reaktivitas permukaan, muatan, dan bentuknya yang memungkinkan untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti pemanfaatan kosmetik, farmasi, dan medis (Bundschuh *et al.*, 2018).

Makroalga merah *Palmaria palmata* disintesis dalam bentuk nanopartikel perak (AgNp). Nanopartikel perak merupakan satu di antara jenis nanopartikel yang digunakan dalam bidang kosmetik (Raj *et al.*, 2012). Nanopartikel perak dipilih karena memberikan sifat material yang lebih unggul untuk produk kosmetik dan juga berperan sebagai antimikroba (Borah *et al.*, 2020). Peran antimikroba pada nanopartikel perak telah diuji lebih efektif dibandingkan jenis nanopartikel logam lain (Ismail *et al.*, 2021). Nanopartikel perak yang disintesis dengan metode *green synthesis* menggunakan alga merah seperti spesies *Kappaphycus* sp., *Gelidiella acerosa*, *Gracilaria dura*, dan *Gelidium amansii* memiliki kelebihan yaitu lebih efisien dan ramah lingkungan (Chaudhary *et al.*, 2020).

Metode *green synthesis* lebih efisien dibandingkan metode fisika dan kimia. Hal ini dikarenakan nanopartikel dapat diproduksi dalam skala besar tanpa memerlukan suhu dan tekanan tinggi (Ayromlou *et al.*, 2019), waktu inkubasi yang lebih singkat, dan prosesnya mudah (Begic *et al.*, 2021). Selain itu metode ini lebih ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan kimia beracun untuk sintesis, sehingga residu hasil sintesis yang dibuang tidak membahayakan lingkungan (Kurahde *et al.*, 2021).

Nanopartikel perak menggunakan alga merah *Palmaria palmata* dikarakterisasi morfologi dan biokimianya. Karakterisasi morfologi dilakukan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX). Karakterisasi nanopartikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) bertujuan untuk mengetahui ukuran diameter dan distribusi dari nanopartikel (Wahab *et al.*, 2018). Karakterisasi nanopartikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) berfungsi untuk mengetahui sifat morfologi partikel, komposisi, dan distribusi elemen yang terkandung dalam nanopartikel (Akalin *et al.*, 2022). Karakterisasi biokimia dilakukan meliputi aktivitas antioksidan dan aktivitas penghambatan enzim kolagenase.

Uraian sebelumnya menjadi dasar pentingnya dilakukan penelitian tentang karakterisasi morfologi dan biokimia senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*. Penelitian ini berbeda dari penelitian yang telah ada yang telah menguji karakter biokimia yaitu aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase pada bentuk ekstrak *Palmaria palmata*. Pada penelitian ini pengujian karakter biokimia yang berupa aktivitas antioksidan dan

penghambatan enzim kolagenase dikembangkan dalam bentuk nanopartikel perak *Palmaria palmata*. Oleh karena itu, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat diketahui potensi alga merah *Palmaria palmata* sebagai agen bahan baku kosmetikal terutama melalui kandungan antioksidan dan efek penghambatan enzim kolagenase dalam bentuk nanopartikel perak untuk meningkatkan kualitas penghantaran partikel dalam produk kosmetikal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian adalah:

1. Bagaimana karakteristik morfologi senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*?
2. Bagaimana aktivitas antioksidan pada senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*?
3. Bagaimana aktivitas penghambatan enzim kolagenase oleh senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*?
4. Apakah terdapat korelasi antara aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase oleh senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik morfologi senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.
2. Untuk mengetahui aktivitas antioksidan pada senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.

3. Untuk mengetahui aktivitas penghambatan enzim kolagenase oleh senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.
4. Untuk mengetahui korelasi antara aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase oleh senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.

1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian adalah:

1. Terdapat karakteristik morfologi pada senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.
2. Terdapat aktivitas antioksidan pada senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.
3. Terdapat aktivitas penghambatan enzim kolagenase pada senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.
4. Terdapat korelasi antara aktivitas antioksidan dengan aktivitas penghambatan enzim kolagenase senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah:

1. Penelitian dapat bermanfaat untuk penulis dan pembaca dalam memberikan informasi dan pengetahuan terkait dengan aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase oleh senyawa nanopartikel perak menggunakan alga merah spesies *Palmaria palmata*.

2. Penelitian dapat digunakan sebagai dasar pengembangan riset terkait yaitu dalam bidang kosmetikal menggunakan senyawa nanopartikel perak dari alga merah spesies *Palmaria palmata*.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah alga merah spesies *Palmaria palmata* yang didapatkan dari perairan daerah Saumlaki Maluku dengan kondisi pantai berkarang dan diambil pada kedalaman 5-8 meter.
2. Nanopartikel alga merah disintesis dalam bentuk nanopartikel perak menggunakan metode *green synthesis*.
3. Karakteristik nanopartikel diuji menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).
4. Uji aktivitas antioksidan dilakukan menggunakan metode 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH).
5. Uji penghambatan enzim kolagenase menggunakan enzim kolagenase dari *Clostridium histolyticum* dan substrat *bovine collagen*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Alga dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains

Alga pada awalnya digolongkan sebagai tumbuhan atau kingdom plantae yang kemudian dipisahkan dan masuk dalam golongan protista mirip tumbuhan yang sangat melimpah di alam. Alga dipisahkan dari golongan tumbuhan karena tidak memiliki akar, batang, bunga, dan daun sejati sehingga alga hanya memiliki semacam daun, batang, bunga, dan akar sebagai bagian dari morfologi tubuhnya. Alga dikelompokkan menjadi dua macam yaitu makroalga dan mikroalga. Makroalga memiliki ukuran yang besar, sedangkan mikroalga memiliki ukuran yang sangat kecil. Dalam Al Qur'an, alga dapat digolongkan sebagai tumbuhan ciptaan Allah Subhanahu Wata'ala dengan ciri khas memiliki pigmen atau zat warna. Seperti halnya makroalga yang diklasifikasikan menjadi empat kelas berdasarkan warna kandungan alga yaitu Cyanophyta (alga hijau biru), Chlorophyta (alga hijau), Phaeophyta (alga coklat), dan Rhodophyta (alga merah) (Kasim, 2016). Keanekaragaman jenis alga sebagaimana dijelaskan dalam QS: Ar-Ra'd [13]: 4 sebagai berikut:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرَةٌ وَجَنَّتْ مِنْ أَعْنَابٍ وَزَرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ وَغَيْرُ صِنَوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ
وَنُفِضَ لَهَا عَلَى بَعْضِ فِي الْأُكُلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿٤﴾

“Di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, dan pohon kurma yang bercabang dan yang tidak bercabang. (semua) disirami dengan air yang sama, tetapi Kami melebihkan tanaman yang satu atas yang lainnya dalam hal rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar (terdapat) tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti.”

Makna ayat di atas menurut tafsir Ibnu Katsir yaitu Allah Subhanahu Wata'ala telah menciptakan bumi dengan bagian yang berdampingan dan menjelaskan penciptaan tumbuhan yang beranekaragam dari bentuk, warna, rasa, aroma, daun dan bunganya atas izin Allah Subhanahu Wata'ala (Abdullah, 2003). Hal ini termasuk dalam penggolongan jenis alga yang beranekaragam didasarkan pada pigmen warna yang dimiliki yaitu Cyanophyta (alga hijau biru), Chlorophyta (alga hijau), Phaeophyta (alga cokelat), dan Rhodophyta (alga merah). Phaeophyta memiliki warna cokelat yang didominasi oleh pigmen xantofil, fucoxanthin, dan tannin yang menutupi pigmen lainnya seperti klorofil a dan c, dan β -karoten, sedangkan Rhodophyta didominasi oleh pigmen fikoeritrin dan fikotsianin, serta klorofil a, β -karoten, dan xantofil dalam jumlah tertentu. Dari segi bentuknya, alga dibedakan menjadi dua jenis yaitu mikroalga dan makroalga yang memiliki beragam bentuk dan manfaat (Kasanah dkk, 2021).

Lafadz di akhir kalimat yang berbunyi إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ menjelaskan bahwa fenomena keanekaragam tumbuhan tersebut merupakan tanda-tanda kebesaran Allah Subhanahu Wata'ala bagi kaum yang mengerti. Berdasarkan ayat tersebut maka perlu dilakukan penelitian-penelitian dalam rangka mempelajari ciptaan dan tanda-tanda kebesaran Allah Subhanahu Wata'ala. Satu di antaranya adalah mempelajari kandungan dalam alga sebagai makhluk hidup yang terdapat di lautan agar dapat mengetahui manfaatnya. Alga memiliki manfaat sebagai komoditas pangan dan pakan. Alga banyak digunakan sebagai bahan baku polisakarida khusus seperti agar, karagenan, dan alginat. Selain itu, pada saat sekarang banyak ditemukan produk fungsional seperti bahan *cosmeceutical*, *nutraceutical*, obat-obatan, dan bioenergi (Buschmann *et al.*, 2017).

Pemanfaatan alga dalam bidang kosmetik dikarenakan alga memiliki kandungan senyawa penting seperti karotenoid, astaxanthin, dan florotannin (Kasanah dkk, 2021). Produk kosmetik berbahan alga dapat digunakan untuk menjaga dan merawat kesehatan kulit. Dalam perspektif Islam, penggunaan kosmetik diperbolehkan bahkan dianjurkan sebagai bentuk merawat dan memelihara diri sebagaimana dijelaskan dalam sabda Rasulullah Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wasallam sebagai berikut:

إِنَّ اللَّهَ جَمِيلٌ يُحِبُّ الْجَمَالَ

“*Sesungguhnya Allah indah dan menyukai keindahan*” (HR. Muslim)

Hadist di atas menjelaskan bahwa sesungguhnya Allah itu indah dan menyukai keindahan sehingga tidak ada larangan untuk berhias dan merawat diri. Cara yang dapat dilakukan untuk merawat dan menjaga kesehatan diri khususnya kulit adalah dengan menggunakan kosmetik. Namun, Islam mengatur penggunaan kosmetik yang diperbolehkan yaitu tidak berlebihan, tidak mengubah ciptaan Allah Subhanahu Wata’ala, dan berasal dari bahan halal yang tidak membahayakan tubuh (Umbarani & Agus, 2021).

Pemanfaatan alga sebagai bahan kosmetik dimaksudkan untuk menciptakan produk kosmetik dengan bahan yang halal, baik, dan bermanfaat bagi manusia. Alga coklat (Phaeophyta) mengandung alginat atau algin yang merupakan senyawa hidrokoloid. Senyawa alginat adalah suatu polimer panjang yang disusun oleh dua unit monometrik yaitu β -D-manurronic acid dan α -L-guluronic acid. Alginat banyak dimanfaatkan untuk kosmetik yaitu sabun, krim, lotion, shampo, dan perawatan rambut. Alga merah (Rhodophyta) mengandung karagenan dan agar

sehingga banyak dimanfaatkan untuk industri pangan, kimia, dan obat-obatan (Ode & Wasahua, 2014).

2.2 Alga Merah

Alga merah (Rhodophyta) merupakan kelompok alga yang mempunyai warna kemerahan. Alga merah memiliki pigmen fotosintetik berupa klorofil a, fikobilin (r-fikosianin dan r-fikoeritrin), dan karotenoid (lutein, zeaxanthin, β -karoten) (Pereira, 2018). Warna merah pada alga disebabkan karena adanya pigmen fikoeritrin yang lebih dominan dibandingkan dengan pigmen klorofil, karoten, dan xantofil. Alga merah memiliki talus-talus yang berkembang dari hasil diferensiasi perkembangan sel-sel yang membentuk semacam cabang-cabang talus yang seragam dengan talus induknya. Sel dari alga merah tersusun berlapis dan talusnya memiliki pigmen fotosintetis fikobilin serta memiliki pirenoid di dalam kloroplas. Pirenoid adalah penyimpanan cadangan makanan atau hasil asimilasi (Kasim, 2016). Alga merah (filum Rhodophyta) banyak diteliti karena memiliki senyawa bioaktif yang khas seperti R-fikoeritrin, agar, dan karagenan. Selain itu, alga merah memiliki kegunaan yang lebih besar dalam industri makanan (Ferreira *et al.*, 2019).

Alga merah merupakan organisme fotoautotrof yang tersebar luas baik di laut maupun di air tawar dengan struktur uniseluler atau multiseluler. Karakter yang membedakan alga merah dengan alga lain adalah tidak memiliki flagela dan sentriol, terdapat fikobilisom pada tilakoid yang tidak bertumpuk pada kloroplas, tidak terdapat parenkim, dan terdapat struktur sambungan pit antara sel yang berdekatan. Ukuran alga merah adalah sedang dan jarang besar. Spesies makroalga merah memperlihatkan karakteristik *triphasic* siklus hidup haplodiplobiontik

dengan satu tahap haploid (gametofit) dan dua tahap diploid (*carposporophytic* dan *tetrasporophytic*) (Fredericq & Schmidt, 2016).

Alga merah terdiri dari tujuh kelas yaitu Bangiophyceae, Cyanidiophyceae, Porphyridiophyceae, Rhodellophyceae, Stylonematophyceae, Florideophyceae, dan Compsopogonophyceae. Florideophyceae merupakan kelas terbesar sekitar 95% (Fredericq & Schmidt, 2016). Kelompok Florideophyceae sebagian besar multiseluler dan makroskopis. Habitatnya hampir ditemukan di semua habitat laut mulai dari teluk yang tenang hingga bebatuan terbuka. Spesies alga merah seringkali ditemukan epifit pada alga lain dan cangkang moluska (Kornprobst, 2014). Satu di antara spesies dari kelas Florideophyceae yang dibahas dalam penelitian ini yaitu spesies *Palmaria palmata*.

2.3 *Palmaria palmata*

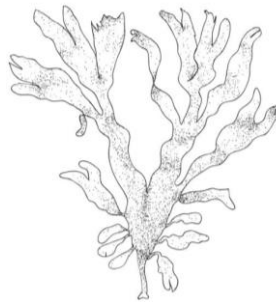
2.3.1 Klasifikasi

Klasifikasi *Palmaria palmata* menurut Werner & Dring (2011) adalah sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: Protista
<i>Division</i>	: Rhodophyta
<i>Subdivision</i>	: Eurhodophytina
<i>Class</i>	: Florideophyceae
<i>Subclass</i>	: Nemaliophycidae
<i>Order</i>	: Palmariales
<i>Family</i>	: Palmariaceae
<i>Genus</i>	: <i>Palmaria</i>
<i>Species</i>	: <i>Palmaria palmata</i>

2.3.2 Ciri Morfologi dan Siklus Hidup

Palmaria palmata merupakan alga merah dengan bentuk yang relatif kecil. Talus tumbuh hingga mencapai panjang 50 cm dan lebar 3-8 cm dengan tekstur yang lembut, atau sedikit kasar, dan seperti kulit. *Palmaria palmata* memiliki cakram kecil dan agak rapuh seperti *holdfast*. Warna ketika basah adalah ungu, merah tua, atau merah kecoklatan yang kemudian dapat berubah menjadi merah muda apabila dikeringkan di bawah sinar matahari. Talus *Palmaria palmata* berbentuk tegak, memanjang, seperti irisan dengan ujung seringkali berbentuk seperti garpu. Struktur *Palmaria palmata* berbentuk seperti tangan atau telapak tangan, dimana struktur ini menggambarkan nama latinnya yaitu *palmata* (Mouritsen *et al.*, 2013).



Gambar 2.1. Ilustrasi skematik *Palmaria palmata*

(Sumber: Mouritsen *et al.*, 2013)



Gambar 2.2. Morfologi *Palmaria palmata*

(Sumber: Werner & Dring 2011)

Ordo Palmariales memiliki siklus hidup yang unik dalam alga merah karena mengalami fase karposporofit yang lebih singkat dibandingkan fase tetrasporofit. Tetrasporofit berkembang pada saat gametofit betina telah dibuahi. Gametofit betina bersifat mikroskopis, sedangkan gametofit jantan dan tetrasporofit bersifat makroskopis (Faes & Viejo, 2003). Siklus hidupnya dikenal juga sebagai bifasik dengan fase gametofit seksual bergantian dengan fase tetrasporofit aseksual. Tetrasporofit dan gametofit jantan memiliki morfologi serupa sehingga sulit dibedakan. Tetrasporofit matang setelah tahun pertama pertumbuhan, kemudian berkembang menjadi sori tetrasporangial pada talus dengan bentuk tidak beraturan, sedikit meninggi, dan berwarna merah tua. Tetraspora menempel pada substrat dan berkembang menjadi gametofit jantan dan betina dengan perbandingan 1:1 (Werner & Dring, 2011). Gametofit betina adalah talus tipis berkulit keras dengan diameter 0,1 mm. Karpogonia gametofit betina dibuahi oleh gamet jantan yang dikeluarkan pada tahun sebelumnya. Setelah pembuahan, zigot dan tetrasporofit baru berkembang dari gametofit betina dan menumbuhkan talus baru (Grote, 2017).

Siklus hidup alga sebagaimana dijelaskan dalam QS: Yasin [36]: 36 sebagai berikut:

سُبْحَنَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ ﴿٣٦﴾

“Mahasuci (Allah) yang telah menciptakan semuanya berpasang-pasangan, baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka sendiri maupun dari apa yang tidak mereka ketahui.”

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah Subhanahu Wata’ala telah menciptakan segala sesuatu secara berpasangan baik jantan maupun betina, termasuk tumbuhan (Al Qurthubi, 2009). Tumbuhan mulai dari tingkat rendah sampai tingkat tinggi memiliki proses reproduksi secara seksual dan aseksual. Reproduksi seksual

terjadi melalui proses peleburan gamet jantan dan betina yang dapat menghasilkan individu baru (Rossidi, 2014). Reproduksi seksual disebutkan dalam ayat ini melalui tumbuhan yang berpasang-pasangan, sedangkan reproduksi aseksual terjadi tanpa peristiwa pertemuan dan peleburan dua jenis sel gamet.

2.3.3 Distribusi dan Habitat

Distribusi *Palmaria palmata* mencakup Arktik Utara menuju Atlantik Tengah, Atlantik Barat, dan Atlantik Timur. *Palmaria palmata* biasanya ditemukan di daerah pantai berbatu dengan arus sedang atau bergelombang. Selain itu juga terdapat pada zona intertidal bawah dan subtidal dangkal hingga kedalaman maksimum 20 m. Spesies ini seringkali ditemukan sebagai epifit pada spesies *Laminaria hyperborea*, *Laminaria digitata*, *Fucus* sp., dan pada substrat yang keras (Grote, 2017). Di Indonesia, spesies *Palmaria palmata* ditemukan berdistribusi di beberapa tempat. Satu di antaranya adalah di Yogyakarta seperti pada hasil penelitian Aziz dan Chasani (2020) yang melaporkan adanya *Palmaria palmata* di pantai Krakal Gunungkidul. Habitat pada daerah tersebut sesuai untuk tumbuhnya *Palmaria palmata* yaitu di zona intertidal hingga laut dalam dengan wilayah berkarang dan berarus besar.

2.3.4 Kandungan Senyawa

Palmaria palmata yang umumnya dikenal dengan nama dulce merupakan jenis makroalga merah (Rhodophyta, palmariaceae) yang dapat dikonsumsi. *Palmaria palmata* telah dikonsumsi secara tradisional sebagai sumber protein atau vitamin karena memiliki efek positif bagi kesehatan manusia (Lalegerie *et al.*, 2020). *Palmaria Palmata* banyak dikonsumsi di negara Eropa seperti Prancis, Islandia, dan Irlandia, serta di beberapa bagian Amerika Utara termasuk Maine,

Hawai, dan Nova Scotia (Nayyar & Skonberg, 2019). Alga laut dulce dianggap sebagai sumber senyawa antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan anti kanker. Selain itu, *Palmaria palmata* mengandung pigmen khusus untuk alga merah yaitu *phycoerythrin* (PE) yang memiliki nilai komersial tinggi untuk berbagai sektor industri seperti medis dan makanan (Lalegerie *et al.*, 2020).

Palmaria palmata tinggi akan protein yaitu mencapai 35%. Sejumlah turunan protein, hidrolisat protein, fraksi peptida, *Microsporyne-like Amino Acids* (MAAs) (Harnedy *et al.*, 2017), dan xylan ditemukan pada spesies ini (Holdt & Kraan, 2011). Turunan asam amino dan peptida pada *Palmaria palmata* memiliki kemampuan untuk merangsang produksi kolagen di kulit, sedangkan hidrolisat protein menunjukkan aktivitas antioksidan. Selain itu, spesies *Palmaria* juga dilaporkan mengandung glisin dan arginin dalam jumlah tinggi sehingga dapat menjadi prekursor urea yang merupakan komponen *Natural Moisturizing Factor* (NMF) bagi kulit (Bedoux *et al.*, 2014).

2.4 Nanopartikel

Nanopartikel adalah partikel *ultrafine* dengan ukuran nanometer. Awalan “nano” menunjukkan nilai 10^{-9} m. Nanopartikel dalam arti sempit dianggap sebagai partikel yang lebih kecil dari 10-20 nm. Di sisi lain, partikel berukuran 1-100 nm juga disebut sebagai nanopartikel (Naito *et al.*, 2018). Demikian juga partikel dengan ukuran kurang dari 1000 nm masih termasuk dalam kategori nanopartikel (Fitri dkk, 2020). Material struktur nanopartikel umumnya memiliki sifat yang berbeda dengan struktur aslinya. Nanopartikel memiliki sejumlah sifat fisikokimia yang lebih unggul daripada partikel berukuran besar. Selain itu, nanopartikel

memiliki sifat yang kaya karena menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh partikel berukuran besar (Fahmi, 2019).

Saat ini, teknologi nano banyak dikembangkan dalam rangka meningkatkan kualitas produk (Ningsih dkk, 2017). *Nanomedicine* merupakan bidang baru yang menggabungkan nanoteknologi dengan ilmu farmasi dan biomedis yang bertujuan untuk mengembangkan obat-obatan dan agen pencitraan yang lebih baik dan tingkat toksikologi yang lebih aman (Bobo *et al.*, 2016). Kelebihan nanopartikel di antaranya adalah mampu menembus ruang antar sel yang hanya dapat ditembus oleh ukuran partikel koloidal melalui difusi, fleksibilitasnya dapat dikombinasi dengan teknologi lain sehingga berpotensi untuk dikembangkan dalam berbagai kebutuhan dan target, serta memiliki peningkatan afinitas sistem akibat adanya peningkatan luas permukaan kontak pada jumlah yang sama (Martien dkk, 2012).

Aplikasi nanoteknologi telah diterapkan di berbagai bidang seperti biomedis, optik, elektronik, mekanik, kimia, bahan makanan, dan kosmetik. Penghantaran nanopartikel berpotensi bagi industri kosmetik. Beberapa di antaranya adalah sistem penghantaran vesikular enkapsulasi nano seperti nanoemulsi, nanokristal, liposom dan niosom, misel, nanokapsul polimerik, *solid lipid* nanopartikel, *nano-structure lipid carrier*, *carbon nanotube* dan *fullerene*, dendrimer (Mu & Sprando, 2010), *nanosilver*, dan *nanogold* (Raj *et al.*, 2012). Keuntungan penggunaan nanopartikel pada kosmetik adalah dapat meningkatkan stabilitas berbagai bahan kosmetik seperti asam lemak tak jenuh, vitamin, atau antioksidan yang dienkapsulasi dalam nanopartikel. Selain itu, nanopartikel dapat meningkatkan penetrasi bahan tertentu seperti vitamin dan antioksidan, meningkatkan manfaat

dan toleransi filter UV pada permukaan kulit, dan meningkatkan estetika produk (Mu & Sprando, 2010).

Nanosilver atau nanopartikel perak (AgNp) merupakan jenis nanopartikel logam mulia yang dapat disintesis menggunakan metode fisika, kimia, dan biologis. Namun, metode fisika dan kimia memiliki beberapa kekurangan seperti kontaminasi pelarut, biaya tinggi, konsumsi energi tinggi, distribusi nanopartikel tidak seragam, reagen pereduksi dapat beracun dan berbahaya, serta residunya dapat terakumulasi pada nanopartikel. Oleh karena itu, pada saat sekarang banyak dikembangkan metode biologis atau yang dikenal sebagai metode *green synthesis* dengan bahan alami untuk pembuatan nanopartikel (Begic *et al.*, 2021).

Metode *green synthesis* dapat dilakukan dengan menggunakan bahan alami seperti mikroba, parasit, ragi, rumput laut, dan tumbuhan (Aiswariya & Jose, 2021). Ekstrak bahan alami berfungsi sebagai reduktor dan stabilizer dalam sintesis nanopartikel perak, serta dapat mengurangi penggunaan bahan kimia (Yap *et al.*, 2020). Nanopartikel yang disintesis dengan metode *green synthesis* memiliki kelebihan yaitu sederhana, hasil tinggi, tidak beracun, efisien, aman, dan ramah lingkungan (Sharma *et al.*, 2018).

2.5 Karakterisasi Nanopartikel

Karakterisasi nanopartikel digunakan untuk melihat ukuran partikel yang telah terbentuk menggunakan PSA dan SEM. Karakterisasi ukuran dan distribusi nanopartikel dilakukan dengan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA) (Ariyanta, 2014). PSA menggunakan metode *Dinamyc Light Scattering* (DLS) yang memanfaatkan sinar inframerah. Sinar inframerah yang terhambur, ditembakkan menuju sampel sehingga dapat bereaksi menghasilkan gerak brown yang akan

dianalisis oleh alat. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin cepat gerakan yang dihasilkan. PSA dapat menganalisis partikel dalam rentang ukuran 10 - 10.000 nm (Margareta dkk, 2021). Karakterisasi nanopartikel dengan PSA dinilai lebih akurat untuk menentukan ukuran dan distribusi partikel. Data ukuran partikel yang dianalisis dengan PSA adalah berupa intensitas, nomor, dan volume (Taba dkk, 2019).

Karakterisasi ukuran dan bentuk nanopartikel dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM sangat baik untuk karakterisasi ukuran dan bentuk partikel karena persiapan sampel dan pembentukan gambar relatif cepat dan sederhana. Hasil SEM berupa gambar dua dimensi (2D) dari objek tiga dimensi (3D). Hasil gambar SEM dibentuk oleh sinyal yang diberikan oleh elektron sekunder (SE) dan elektron hamburan balik (BSE) yang dibuat saat sampel ditembakkan oleh berkas elektron primer (PE). Tegangan kecepatan maksimum khas SEM adalah 30 kV (Vladar & Hodoroaba, 2020). Beberapa jenis SEM juga dilengkapi dengan analisis *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) yang menampilkan informasi terkait dengan komposisi unsur yang terkandung dalam partikel (Hodoroaba *et al.*, 2016).

2.6 Penuaan Kulit

Penuaan kulit merupakan suatu proses penurunan kemampuan fungsi jaringan yang membawa pengaruh bagi kulit. Proses penuaan kulit terjadi melalui dua mekanisme biologis yang berbeda yaitu penuaan kronologis dan penuaan *photoaging* yang dapat menyebabkan perubahan pada fungsi dan estetika kulit (Eren *et al.*, 2018). Penuaan kronologis disebut juga dengan penuaan intrinsik, sedangkan penuaan *photoaging* disebut sebagai penuaan ekstrinsik. Penuaan

kronologis bergantung pada berlalunya waktu atau usia, sedangkan penuaan *photoaging* bergantung pada tingkat paparan sinar matahari dan pigmentasi kulit (Peres *et al.*, 2011). Dalam proses penuaan kulit, paparan sinar matahari yang mengandung sinar UV menjadi penyebab ekstrinsik utama yang disebut juga sebagai *photoaging*. Paparan sinar UV yang berlebihan menyebabkan terbentuknya radikal bebas dalam sel yang dapat merusak komponen sel dan menyebabkan kulit menjadi kering, keriput, dan kusam (Natanael dkk, 2021). Radikal bebas yang terbentuk karena stress oksidatif merupakan penyebab utama proses penuaan kulit baik intrinsik maupun ekstrinsik (Apraj dan Pandita, 2016).

Kulit terdiri dari tiga lapisan yaitu epidermis, dermis, dan jaringan subkutan. Bagian terluar dari kulit adalah *Extracellular Matrix* (ECM) yang terdiri dari fibroblas dan protein termasuk kolagen dan elastin. ECM memberikan kerangka struktural yang penting bagi pertumbuhan, elastisitas kulit, dan memelihara fungsi fisiologis tubuh. Degradasi ECM berkaitan dengan terjadinya penuaan pada kulit. Degradasi ECM juga berhubungan dengan adanya peningkatan aktivitas enzim yang terlibat pada penuaan kulit yaitu hialuronidase, elastase, dan kolagenase. Peningkatan enzim-enzim tersebut dapat menurunkan kadar asam hialuronat, elastin, dan kolagen sehingga dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan, kelenturan, dan timbulnya kerutan pada kulit (Ndlovu *et al.*, 2013).

2.7 Peran Antioksidan dalam Penghambatan Penuaan Dini

Antioksidan merupakan komponen kimia yang terdiri dari monohidroksil atau polohidrosil fenol (Andriana & Djauhari, 2017). Antioksidan diperlukan oleh tubuh untuk mengatasi dan mencegah stress oksidatif. Stress oksidatif adalah suatu keadaan ketika kadar radikal bebas di dalam tubuh lebih banyak dibandingkan

kadar antioksidan (Prasonto dkk, 2017). Antioksidan dapat menangkal radikal bebas yang terdapat di dalam tubuh yang berasal dari polusi, cemaran makanan, serta sinar matahari (Werdhasari, 2014). Radikal bebas adalah atom atau gugus yang memiliki satu atau lebih elektron tidak berpasangan (Dungir dkk, 2012). Radikal bebas tersebut bersifat tidak stabil sehingga mencari pasangan elektron dari molekul disekitarnya agar stabil. Reaktivitas radikal bebas dapat menyebabkan gangguan dan kerusakan struktur sel, modifikasi molekul, dan mutasi. Target utama radikal bebas di dalam tubuh adalah protein, asam lemak tak jenuh, lipoprotein, dan unsur DNA (Rahmawan & Dwiatmaka, 2013).

Antioksidan dibagi menjadi dua jenis berdasarkan sumbernya, yaitu antioksidan endogen dan antioksidan eksogen. Antioksidan endogen yaitu enzim-enzim yang bersifat antioksidan seperti Superoksida Dismutase (SOD), katalase (Cat), dan Glutathione peroksidase (Gpx). Antioksidan eksogen yaitu antioksidan yang didapat dari luar tubuh atau dari makanan. Jenisnya adalah vitamin C (asam askorbat), vitamin E (alfa tokoferol), vitamin A (retinoid) dan ubiquinon (Werdhasari, 2014). Antioksidan berdasarkan fungsinya dibagi menjadi dua jenis yaitu antioksidan primer dan antioksidan sekunder. Antioksidan primer berfungsi sebagai donor hidrogen yaitu dengan mendonorkan atom hidrogen pada radikal peroksida pada tahap inisiasi. Antioksidan sekunder tidak mengubah radikal bebas menjadi lebih stabil tetapi berfungsi sebagai *chelator* untuk ion logam, menonaktifkan *singlet oxygen*, menyerap radiasi ultraviolet, *metal deactivator*, *oxygen scavenger*, dan *reducing agents*. Antioksidan sekunder dapat meningkatkan aktivitas antioksidan primer (Ayucitra dkk, 2011).

Antioksidan berfungsi menambahkan atau menghilangkan satu elektron untuk menetralisasi *Reactive Oxygen Species* (ROS) sehingga radikal bebas menjadi stabil dan menghambat proses oksidasi. Antioksidan juga bekerja secara sinergis menstabilkan radikal bebas yang berperan pada proses *photoaging*, karsinogenesis, dan imunosupresi. Peran antioksidan bagi penstabilan radikal bebas yang dapat menyebabkan penuaan dini merupakan gabungan antara mekanisme pertahanan antioksidan enzimatik dan non enzimatik terhadap ROS (Andriana dan Djauhari, 2017).

Peran antioksidan untuk mengatasi penuaan dini sebagaimana dijelaskan dalam sabda Rasulullah Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wasallam sebagai berikut:

إِنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ الدَّاءَ وَالِدَوَاءَ وَجَعَلَ لِكُلِّ دَاءٍ دَوَاءً فَتَدَاوُوا وَلَا تَدَاوُوا بِحَرَامٍ

“Sesungguhnya Allah telah menurunkan penyakit dan obat, dan menjadikan bagi setiap penyakit terdapat obatnya. Maka berobatlah dan jangan berobat dengan sesuatu yang haram” (HR. Abu Dawud No. 3376)

Penjelasan hadist di atas adalah Allah Subhanahu Wata’ala telah menciptakan segala penyakit yang disertai dengan obatnya. Allah Subhanahu Wata’ala juga memerintahkan kepada seseorang yang terkena penyakit untuk berobat dengan obat yang sesuai dengan penyakitnya dan bukan obat yang berasal dari sesuatu yang haram (Abduh, 2017). Satu di antara pengobatan yang dapat digunakan untuk merawat kesehatan kulit dan mencegah penuaan dini pada kulit adalah melalui aktivitas antioksidan.

Uji aktivitas antioksidan pada penelitian ini menggunakan metode DPPH. Metode DPPH merupakan satu di antara metode kuantitatif untuk mengukur aktivitas antioksidan yang terdapat dalam sampel. Prinsip pengukuran aktivitas antioksidan menggunakan DPPH ditandai dengan adanya perubahan intensitas

warna dari ungu menjadi kuning yang sebanding dengan konsentrasi larutan DPPH. Perubahan intensitas warna terjadi karena adanya reaksi antara molekul DPPH yang mendapatkan pasangan dengan atom hidrogen yang dilepaskan oleh molekul senyawa sampel. Perubahan warna akan memberikan perubahan absorbansi pada panjang gelombang maksimum DPPH saat diukur dengan spektrofotometer UV vis (Muthia dkk, 2019). Parameter yang digunakan untuk mengetahui aktivitas antioksidan adalah nilai IC_{50} yang didefinisikan sebagai konsentrasi senyawa antioksidan yang menyebabkan hilangnya 50% aktivitas DPPH. Kelebihan dari metode DPPH adalah sederhana, mudah, cepat, peka, serta memerlukan sedikit sampel (Erviana dkk, 2016).

2.8 Penghambatan Enzim Kolagenase pada Penuaan Kulit

Kolagen adalah protein polimer silindris panjang yang merupakan komponen utama *Extracellular Matrix* (ECM). Kolagen merupakan protein fungsional yang tersebar luas pada mamalia, yaitu sekitar 25% - 30% dari total protein (Cao *et al.*, 2020). Kolagen berperan penting sebagai perlekatan pada jaringan ikat (Vijayakumar *et al.*, 2017) dan memberikan kekakuan pada jaringan ikat (Ko *et al.*, 2011). Penurunan kadar kolagen dan elastin dapat menyebabkan pembentukan kerutan dan penuaan kulit. Penurunan kadar kolagen diakibatkan karena peningkatan kadar enzim kolagenase (Apraj dan Pandita, 2016).

Enzim kolagenase adalah enzim golongan *Metalloproteinase* (MMP) yang dapat mendegradasi matriks ekstraseluler dan memecah kolagen. Peningkatan enzim kolagenase menjadi indikator penuaan kulit yang disebabkan oleh paparan sinar UV (Nurulita dkk, 2019). Penuaan kulit ditandai dengan menurunnya kadar kolagen I, III, dan VII. Serat kolagen, serat elastis, glikoprotein, dan

glikosaminoglikan tidak lagi terjalin membentuk jaringan fungsional, tetapi membentuk aglomerasi tidak terstruktur yang tersebar di kulit. Aktivasi MMP terutama MMP 1, 2, 3, dan 9 terlibat dalam degradasi ECM. Kolagen hanya dapat dipecah oleh MMP 1 kemudian didegradasi sempurna oleh MMP 2, 3, dan 9 (Rinnerthaler *et al.*, 2015).

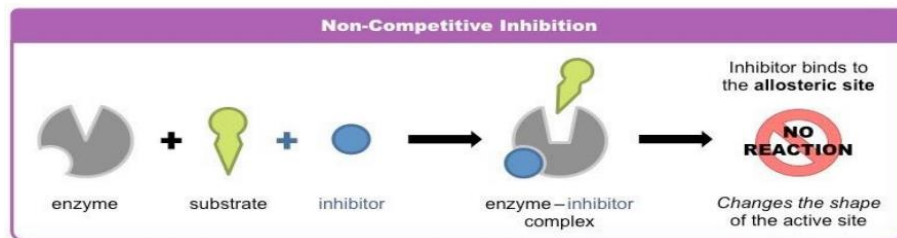
Kolagen diciptakan oleh Allah Subhanahu Wata'ala secara berpasangan dengan enzim kolagenase. Enzim kolagenase berperan dalam degradasi kolagen. Degradasi kolagen oleh enzim kolagenase tidak selalu merugikan. Pada kondisi normal, enzim kolagenase mendegradasi kolagen dengan tujuan untuk meregenerasi serat kolagen yang telah tua, mengurangi jumlah kolagen berlebih dari yang dibutuhkan, atau yang diproduksi pada tempat yang tidak sesuai (Alipour *et al.*, 2016). Enzim kolagenase pada beberapa jenis bakteri seperti *Clostridium* sp. berperan penting dalam proses pembusukan dan degradasi berbagai kolagen dari organisme yang telah mati. Proses degradasi tersebut berperan penting untuk pelepasan nitrogen ke dalam siklus nitrogen global (Zhang *et al.*, 2015).

Penghambatan enzim terdiri dari dua mekanisme yaitu inhibitor kompetitif dan non kompetitif. Inhibitor kompetitif terjadi apabila dua substrat bersaing untuk situs aktif yang sama. Kompetisi terjadi karena inhibitor menyerupai substrat dalam situs pengikatan. Inhibitor non kompetitif berikatan dengan enzim tetapi tidak pada situs aktif (Patadiya *et al.*, 2021). Inhibitor non kompetitif umumnya tidak memiliki kemiripan struktur dengan substrat karena berikatan dengan situs alosterik. Inhibitor non kompetitif menyebabkan perubahan konformasi dalam struktur situs aktif sehingga situs aktif kehilangan afinitas untuk substrat. Hal ini menyebabkan tidak ada persaingan langsung antara inhibitor dan substrat di situs aktif. Inhibitor

non kompetitif berlangsung lama dan tidak dapat diatasi dengan meningkatkan konsentrasi substrat (Deodhar *et al.*, 2020).



Gambar 2.3. Mekanisme inhibitor kompetitif
(Sumber: Patadiya *et al.*, 2021)



Gambar 2.4. Mekanisme inhibitor non kompetitif
(Sumber: Patadiya *et al.*, 2021)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian dengan judul “Karakterisasi Morfologi dan Biokimia Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria palmata*” ini berjenis deskriptif eksploratif yaitu menguji karakteristik morfologi yang meliputi ukuran dan bentuk nanopartikel, serta karakteristik biokimia yang meliputi aktivitas antioksidan dan aktivitas penghambatan enzim kolagenase. Data karakteristik morfologi dinyatakan dalam bentuk gambar morfologi dan grafik distribusi ukuran nanopartikel. Uji aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase dilakukan dengan pembacaan nilai absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase dinyatakan dalam nilai IC_{50} . Nilai IC_{50} aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase diuji korelasi menggunakan korelasi Pearson.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul “Karakterisasi Morfologi dan Biokimia Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria palmata*” dilaksanakan pada bulan Maret - April 2022. Sintesis nanopartikel, uji aktivitas antioksidan, dan uji penghambatan enzim kolagenase dilakukan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan dan Laboratorium Biokimia Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Uji PSA (*Particle Size Analyzer*) dilakukan di Laboratorium Farmasi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Uji

SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan di Laboratorium Biosains, Universitas Brawijaya.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gunting, blender, saringan mesh 100, inkubator (Mettler), neraca analitik (Sartorius), *particle size analyzer* (Microtrac), *scanning electron microscope* (Hitachi TM3000), kuvet, mikropipet (Biorad), tip mikropipet (OneMed), *hot plate* (Thermo scientific), beaker glass (Iwaki), spatula, mortal dan pistil, *magnetic stirrer*, erlenmeyer (Iwaki), corong kaca, tabung *centrifuge* 15 ml (OneMed), tabung reaksi (Iwaki), spektrofotometer UV-Vis (Biorad smartspec plus), kertas label, kamera, dan alat tulis.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah alga merah *Palmaria palmata* yang didapatkan dari pantai perairan Saumlaki Maluku, akuades, kertas saring, AgNO₃ (Merck), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) (Smartlab), asam askorbat (Merck), etanol pro analisis (Smartlab), buffer tris-HCl, asam trikloroasetat (Merck), reagen Folin-Ciocalteu (Merck), tirosin, enzim kolagenase dari bakteri *Clostridium histolyticum*, kolagen sintetis (Youtheory), dan substrat *bovine collagen* (Science based nutrition).

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku penelitian yaitu berupa alga merah *Palmaria palmata* yang didapatkan dari petani alga di perairan daerah Saumlaki Maluku dalam keadaan kering. Alga kering kemudian dihaluskan dengan menggunakan blender kemudian disaring menggunakan saringan mesh 100 untuk mendapatkan simplisia serbuk.

3.4.2 Sintesis Nanopartikel

Metode sintesis nanopartikel perak menggunakan alga merah *Palmaria palmata* mengacu pada penelitian Borah *et al.* (2020) dan Rajivgandhi *et al.* (2020) dengan modifikasi. Serbuk alga merah *Palmaria palmata* diambil sebanyak 1 gram dan dicampurkan ke dalam 10 ml larutan AgNO_3 1 mM (perbandingan 1:10). Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan *hotplate* pada suhu 28°C selama 4 jam dengan kecepatan 400 rpm dalam keadaan gelap dengan ditutup aluminium foil. Larutan diinkubasi selama 1 jam. Pembentukan nanopartikel perak ditandai dengan adanya perubahan warna larutan yaitu dari kuning bening menjadi kuning kecoklatan atau merah kecoklatan. Larutan kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 30 menit pada suhu 20°C . Pelet atau endapan hasil sentrifugasi dikeringkan dalam inkubator pada suhu 45°C selama 24 jam. Serbuk nanopartikel yang telah kering kemudian digerus hingga halus dengan mortal dan pistil.

3.4.3 Karakterisasi Morfologi Nanopartikel

Karakterisasi morfologi nanopartikel dilakukan dengan uji PSA dan SEM. Uji PSA dilakukan dengan melarutkan 1 mg serbuk nanopartikel perak menggunakan alga merah *Palmaria palmata* dalam 10 ml akuades. Larutan dianalisis dengan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA). Hasil analisis PSA meliputi ukuran, nilai zeta potensial, dan distribusi nanopartikel. Uji SEM dilakukan dengan menganalisis 10 mg serbuk nanopartikel menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil analisis SEM meliputi bentuk dan ukuran nanopartikel.

3.4.4 Uji Antioksidan

3.4.4.1 Pembuatan Larutan DPPH

Larutan DPPH dibuat dalam konsentrasi 0,2 mM. Serbuk DPPH ditimbang sebanyak 3,94 gram, kemudian dilarutkan dalam etanol p.a hingga mencapai volume 50 ml. Larutan DPPH digunakan sebagai larutan blanko (Pakki dkk, 2016) modifikasi.

3.4.4.2 Pengenceran bahan

Larutan sampel nanopartikel alga *Palmaria palmata* digunakan sebagai larutan uji I. Pembuatan larutan uji dilaksanakan dengan melarutkan sampel nanopartikel dalam akuades hingga volume 5 ml dan dibuat dalam 5 variasi konsentrasi yaitu 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, dan 250 ppm. Penghitungan menggunakan rumus $\text{ppm} = \text{mg/L}$ sehingga didapatkan massa yang dibutuhkan untuk membuat konsentrasi larutan (Sari dkk, 2015) dan (Li *et al.*, 2011) modifikasi.

Larutan sampel ekstrak alga *Palmaria palmata* digunakan sebagai larutan uji II. Pembuatan larutan uji dilaksanakan dengan melarutkan sampel ekstrak dalam akuades hingga volume 5 ml dan dibuat dalam 5 variasi konsentrasi yaitu 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, dan 250 ppm. Penghitungan menggunakan rumus $\text{ppm} = \text{mg/L}$ sehingga didapatkan massa yang dibutuhkan untuk membuat konsentrasi larutan (Sari dkk, 2015) dan (Li *et al.*, 2011) modifikasi.

Larutan asam askorbat/vitamin C digunakan sebagai larutan kontrol positif. Pembuatan larutan kontrol positif dilaksanakan dengan melarutkan asam askorbat/vitamin C dalam akuades hingga volume 5 ml dan dibuat dalam 5 variasi konsentrasi yaitu 1 ppm, 2 ppm, 4 ppm, 8 ppm, dan 16 ppm. Penghitungan

menggunakan rumus $M_1.V_1 = M_2.V_2$ sehingga didapatkan volume yang dibutuhkan untuk membuat konsentrasi larutan (Sari dkk, 2015) dan (Li *et al.*, 2011) modifikasi.

3.4.4.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Larutan DPPH 0,2 mM sebagai larutan blanko diambil sebanyak 5 ml kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan diinkubasi selama 10 menit. Larutan hasil inkubasi dimasukkan ke dalam kuvet untuk diukur panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer. Panjang gelombang maksimum yang didapat dicatat untuk digunakan pada tahap pengukuran larutan uji dan kontrol positif (Mardiyah dkk, 2014). Hasil panjang gelombang maksimum yang didapatkan adalah pada 517 nm.

3.4.4.4 Pengujian Antioksidan

Pengujian antioksidan mengacu pada Sari dkk (2015) dan Mardiyah dkk (2014) dengan modifikasi. Pengujian dilakukan pada larutan sampel nanopartikel (larutan uji I), larutan sampel ekstrak (larutan uji II), dan larutan kontrol positif. Dimasukkan larutan uji I sebanyak 4,5 ml ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 1,5 ml larutan DPPH 0,2 mM (perbandingan larutan DPPH dan larutan uji adalah 1:3). Hal yang sama dilakukan pada larutan uji II dan larutan kontrol positif. Perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Setelah itu larutan dihomogenkan dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 30 menit. Masing-masing larutan yang telah diinkubasi, kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum yang telah didapat sebelumnya yaitu pada 517 nm. Data absorbansi yang diperoleh dari tiap konsentrasi masing-masing larutan uji dan

kontrol positif dihitung nilai persentase aktivitas antioksidannya menggunakan rumus:

$$\% \text{ penghambatan} = \frac{\text{Abs kontrol} - \text{Abs sampel}}{\text{Abs kontrol}} \times 100\%$$

3.4.5 Uji Penghambatan Enzim Kolagenase

Uji penghambatan enzim kolagenase dilakukan dengan menggunakan enzim kolagenase dari *Clostridium histolyticum* dan substrat *bovine collagen*. Sampel nanopartikel perak menggunakan alga *Palmaria palmata* sebagai inhibitor dibuat dalam 5 variasi konsentrasi yaitu 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, dan 250 ppm. Larutan sampel nanopartikel sebagai sampel inhibitor dibuat dengan diambil 20 µl atau 0,02 gram sampel nanopartikel untuk setiap konsentrasi dan ditambahkan 20 µl enzim kolagenase serta 20 µl larutan buffer tris-HCl. Larutan sampel non inhibitor dibuat dengan mencampurkan 20 µl enzim kolagenase dan 20 µl larutan buffer tris-HCl. Larutan blanko dibuat dengan menggunakan 60 µl larutan buffer tris-HCl dan ditambahkan 20 µl akuades sebagai pengganti enzim. Larutan standar dibuat dengan mencampurkan 40 µl tirosin, 20 µl larutan buffer tris-HCl, dan 400 µl TCA. Larutan kontrol positif dibuat dengan mencampurkan 20 µl larutan kolagen sintetis, 20 µl enzim kolagenase, dan 20 µl larutan buffer tris-HCl. Masing-masing larutan diinkubasi pada suhu 37°C selama 30 menit. Setelah diinkubasi, setiap larutan ditambahkan 100 µl substrat *bovine collagen*, 400 µl TCA, dan 200 µl reagen Folin-Ciocalteu dan diinkubasi kembali pada suhu 37°C selama 30 menit. Setelah diinkubasi, masing-masing larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 578 nm. Pengukuran absorbansi diulang sebanyak tiga kali (Apraj & Prandita, 2016), (Sutjiatmo dkk, 2020), dan (Salem *et*

al., 2020) modifikasi. Data absorbansi yang diperoleh dihitung nilai persentase aktivitas penghambatan enzim kolagenase menggunakan rumus:

$$\% \text{ Penghambatan} = \frac{\text{Aktivitas sampel non inhibitor} - \text{Aktivitas sampel inhibitor}}{\text{Aktivitas sampel non inhibitor}} \times 100\%$$

3.5 Analisis Data

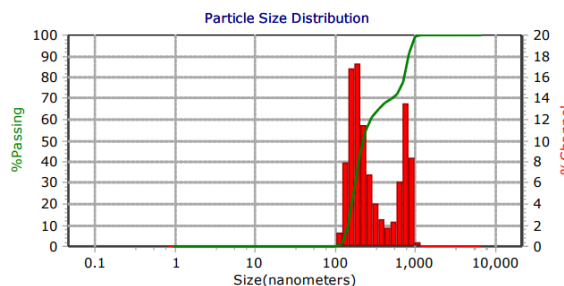
Data hasil karakterisasi morfologi nanopartikel berupa distribusi ukuran menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) disajikan dalam bentuk grafik. Data bentuk nanopartikel menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) disajikan dalam bentuk gambar. Data hasil nilai absorbansi aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase dianalisis statistik menggunakan persamaan regresi linear untuk mengetahui nilai IC50 dan standar deviasi menggunakan *software* Microsoft Excel 2013. Analisis korelasi Pearson untuk mengetahui korelasi antara aktivitas antioksidan dan aktivitas penghambatan enzim kolagenase dilakukan menggunakan *software* IBM SPSS versi 25.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Morfologi Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria palmata*

Hasil distribusi ukuran AgNP *Palmaria palmata* yang diuji menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA) ditunjukkan pada gambar 4.1. berada pada kisaran 100-1000 nm. Ukuran diameter rata-rata AgNP *Palmaria palmata* dengan volume tertinggi (67,8%) adalah sebesar 185,5 nm, sedangkan ukuran diameter dengan volume terendah (32,2%) adalah sebesar 746 nm. Menurut Fitri dkk (2020) partikel dengan ukuran kurang dari 1000 nm termasuk dalam kategori nanopartikel. Penelitian Abdassah (2013) juga menjelaskan ukuran nanopartikel disarankan pada rentang ukuran 200-400 nm. Dengan demikian dapat diketahui bahwa AgNP *Palmaria palmata* berhasil terbentuk dengan rata-rata distribusi ukuran terbanyak adalah pada ukuran 185,5 nm. Variasi ukuran dan bentuk partikel menurut Khodashenas & Ghorbani (2015) dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, konsentrasi prekursor perak, pH larutan, zat pereduksi, dan metode yang digunakan. Selain itu, menurut Taba dkk (2019) faktor lain yang berpengaruh yaitu peristiwa agregasi nanopartikel.



Gambar 4.1. Distribusi ukuran AgNP *Palmaria palmata* menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Ringkasan data *Particle Size Analyzer* (PSA) dari AgNP *Palmaria palmata* ditampilkan pada tabel 4.1. yang memiliki nilai MI (*Mean Intensity Diameter*) sebesar 372,0 nm, nilai MN (*Mean Number Diameter*) sebesar 169,3 nm, nilai MA (*Mean Area Diameter*) sebesar 243,7 nm, dan nilai SD (*Standard Deviation*) sebesar 295,1 nm. Menurut Microtrac (2007) nilai MI (*Mean Intensity Diameter*) menunjukkan rata-rata intensitas diameter yang dihitung dari distribusi intensitas (sinyal). Nilai MI menunjukkan hubungan sinyal cahaya yang terdeteksi. Nilai MN (*Mean Number Diameter*) merupakan nilai diameter angka rata-rata yang dihitung melalui data distribusi volume partikel kecil. Nilai MA (*Mean Area Diameter*) merupakan nilai diameter area rata-rata yang dihitung dari distribusi volume dan menunjukkan luas permukaan partikel. Nilai SD (*Standard Deviation*) menjelaskan lebar distribusi ukuran partikel yang diukur dan bukan sebagai indikasi kesalahan statistik pada pengukuran. Penelitian Mujiyanti dkk (2019) menyatakan bahwa semakin kecil nilai SD maka semakin sempit distribusi ukuran partikel.

Tabel 4.1. Hasil Ringkasan Data *Particle Size Analyzer* (PSA)

Data	Nilai
MI (<i>Mean Intensity Diameter</i>)	372,0 nm
MN (<i>Mean Number Diameter</i>)	169,3 nm
MA (<i>Mean Area Diameter</i>)	243,7 nm
SD (<i>Standard Deviation</i>)	295,1 nm
PDI (<i>Polydispersion Index</i>)	0,628
Zeta Potential	+113,9 mv

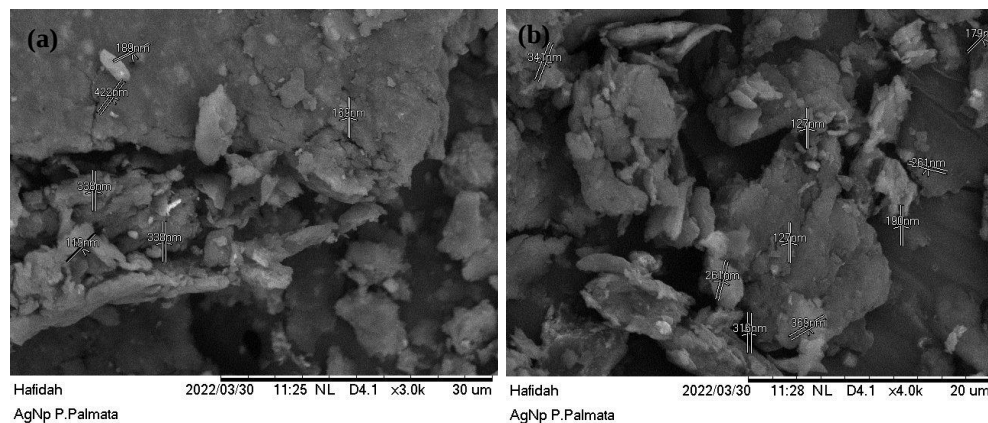
Nilai PDI (*Polydispersion Index*) dari AgNP *Palmaria palmata* adalah sebesar 0,628. Fungsi nilai PDI menurut Putri dkk (2018) adalah untuk menunjukkan tingkat kehomogenan ukuran partikel. Kehomogenan ukuran partikel menunjukkan stabilitas partikel. Apabila partikel tersebut semakin homogen maka akan semakin stabil. Nugroho dkk (2020) menyatakan Nilai PDI yang baik berada pada rentang $< 0,7$. Partikel dengan ukuran $< 0,7$ memiliki tingkat homogenitas yang tinggi atau disebut monodispersi, sedangkan partikel dengan ukuran $> 0,7$ memiliki distribusi ukuran partikel yang luas dan kurang homogen. Nilai PDI AgNP *Palmaria palmata* sebesar $(0,628) < 0,7$, sehingga ukuran partikel tergolong homogen dan stabil.

Nilai potensial zeta AgNP *Palmaria palmata* adalah sebesar +113,9 mv. Fungsi potensial zeta menurut Abdassah (2013) adalah untuk mengetahui sifat dan ukuran muatan partikel yang berinteraksi dengan elektrostatis nanopartikel yang tersebar dalam medium pendispersi. Interaksi elektrostatis memungkinkan terjadinya agregasi dan tolak menolak. Menurut Juliantoni (2020) nilai potensial zeta nanopartikel yang kurang dari -30 mv atau lebih dari +30 mv memiliki stabilitas yang tinggi. Nilai potensial zeta yang rendah menunjukkan bahwa partikel mudah mengalami agregasi yang dipicu oleh gaya *Van der Waals* dalam interaksi partikel. Nilai potensial zeta AgNP *Palmaria palmata* (+113,9 mv) adalah lebih dari +30 mv, sehingga dapat dikatakan muatan partikel yang terbentuk tergolong stabil.

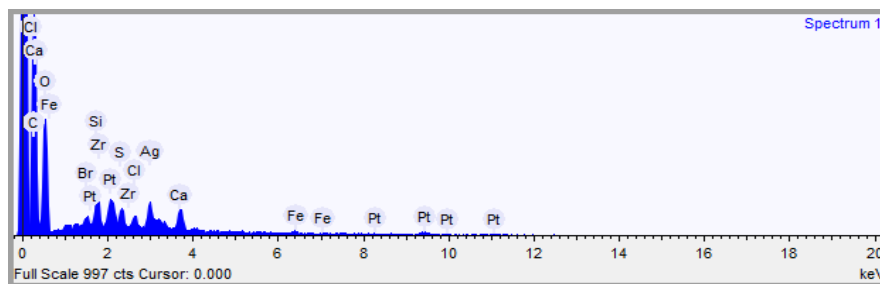
Hasil karakterisasi AgNP *Palmaria palmata* menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ditunjukkan pada gambar 4.2. Bentuk AgNP *Palmaria palmata* yang berhasil diamati adalah bentuk *spherical* atau bulat. Ukuran AgNP

yang diamati pada perbesaran 3000x dan 4000x berada pada rentang 119 nm – 422 nm. Hasil pengamatan SEM memiliki kemiripan dengan hasil PSA yaitu distribusi ukuran terbanyak dalam rentang kurang dari 400 nm.

Gambar 4.3. menunjukkan komponen-komponen yang terkandung dalam AgNP *Palmaria palmata* yang diamati menggunakan *Energy Dispersive X-ray* (EDX). Fungsi EDX menurut Rades *et al.* (2014) adalah untuk menganalisis elemen unsur yang terdapat pada partikel. AgNP *Palmaria palmata* mengandung elemen unsur Ag, Cl, Ca, C, O, Fe, Si, Zr, Br, Pt. Hal ini juga dinyatakan oleh Yap *et al.* (2020) pada AgNP ekstrak kulit *Allium cepa* yang dianalisis menggunakan EDX mengandung elemen utama Ag dan komponen organik lain seperti C, O, Ca, Mg, S, Si, dan Al. Keberadaan elemen-elemen tersebut menurut Dawadi *et al.* (2021) berfungsi untuk memastikan keberhasilan pembentukan AgNP. Elemen karbon (C) dan oksigen (O) dapat berinteraksi dengan senyawa metabolit AgNP.



Gambar 4.2. Bentuk AgNP *Palmaria palmata* menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). (a) perbesaran 3000x dan (b) perbesaran 4000x



Gambar 4.3. Komponen AgNP *Palmaria palmata* menggunakan *Energy Dispersive X-ray* (EDX)

Pembentukan AgNP dipengaruhi oleh komponen fitokimia yang terkandung dalam *Palmaria palmata*. *Palmaria palmata* mengandung karbohidrat, protein, lipid, pigmen (fikoeritrin, klorofil a, karotenoid), dan senyawa fenolik (Gallagher *et al.*, 2021). Senyawa fenolik dapat berperan dalam sintesis AgNP. Beberapa senyawa metabolit seperti gugus karbonil flavonoid, terpenoid, karbohidrat, dan fenolik berperan sebagai reduktor yang dapat memicu terjadinya bioeduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 dalam AgNP (Shaikh *et al.*, 2021). Hal yang sama juga dinyatakan oleh Borah *et al.* (2019) bahwa interaksi langsung antara ion Ag^+ dengan serbuk alga kering dalam larutan mengakibatkan ion Ag^+ tereduksi menjadi Ag^0 . Mekanisme reduksi tersebut melibatkan gugus fenolik (-OH) yang mengikat ion Ag^+ , kemudian dioksidasi menjadi kuinon sehingga dapat berubah menjadi Ag^0 .

4.2 Aktivitas Antioksidan AgNP *Palmaria palmata*

Hasil pengujian aktivitas antioksidan AgNP *Palmaria palmata* menggunakan metode DPPH ditampilkan pada tabel 4.2. Sampel AgNP *Palmaria palmata* memiliki nilai IC_{50} sebesar $17,113 \pm 1,584$ ppm dengan kategori aktivitas antioksidan sangat kuat. Sampel ekstrak *Palmaria palmata* memiliki nilai IC_{50} sebesar $133,875 \pm 11,238$ ppm dengan kategori aktivitas antioksidan sedang. Sampel asam askorbat sebagai kontrol positif memiliki nilai IC_{50} sebesar $0,002 \pm 0,001$ ppm

dengan kategori aktivitas antioksidan sangat kuat. Menurut Setyorini (2021) nilai IC_{50} dikategorikan dengan aktivitas antioksidan sangat kuat ($IC_{50} < 50$ ppm), kuat (50-100 ppm), sedang (100-150 ppm), dan lemah (150-200 ppm).

Tabel 4.2. Hasil uji aktivitas antioksidan AgNP *Palmaria palmata*

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Nilai IC_{50} (ppm)	Kategori (Setyorini, 2021)
AgNP <i>Palmaria palmata</i>	50	17,113±1,584	Sangat Kuat
	100		
	150		
	200		
	250		
Ekstrak	50	133,875±11,238	Sedang
	100		
	150		
	200		
	250		
Asam Askorbat	50	0,002±0,001	Sangat Kuat
	100		
	150		
	200		
	250		

Nilai IC_{50} yang didapat menunjukkan bahwa sampel AgNP *Palmaria palmata* memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat dibandingkan dengan sampel ekstrak. Hasil yang sama juga diungkapkan dalam penelitian Ballesteros *et al.* (2020) bahwa AgNP yang disintesis menggunakan *Sargassum muticum* memiliki daya reduksi dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel ekstrak dengan nilai IC_{50} sebesar 56,6 µg/ml. Menurut Cyril *et al.* (2019) aktivitas antioksidan yang lebih tinggi pada sampel nanopartikel dapat disebabkan oleh rasio ukuran dan volume yang berbeda yaitu lebih kecil dari ukuran partikel sebelumnya. Partikel berukuran kecil memiliki permukaan yang luas sehingga

jumlah sisi aktif yang digunakan untuk menangkap radikal bebas dan menghambat reaksi oksidasi semakin tinggi.

Selain faktor ukuran dan volume AgNP, Aktivitas antioksidan pada AgNP *Palmaria palmata* yang lebih tinggi dari pada ekstrak diduga dipengaruhi oleh perbedaan kandungan fitokimia yang terdapat di dalamnya. Hasil penelitian Aziz *et al.* (2014) menunjukkan bahwa kadar total flavonoid pada AgNP *Chenopodium murale* lebih tinggi dibandingkan ekstrak saja dan berkaitan dengan tingginya kadar antioksidan yang didapat. Menurut Otunola *et al.* (2017) senyawa polifenol seperti flavonoid, flavonol, proantosianidin, dan fenolat memiliki aktivitas antioksidan kuat yang dapat mencegah degradasi sel oleh radikal bebas.

Hasil penelitian Hernandez *et al.* (2018) mengungkapkan bahwa senyawa fenolik ini juga dimiliki oleh *Palmaria palmata* sehingga AgNP yang disintesis dari *Palmaria palmata* dapat bertindak sebagai antioksidan. Alahmad *et al.* (2021) juga menyatakan bahwa AgNP yang disintesis menggunakan ekstrak tumbuhan memiliki aktivitas antioksidan dan *scavenging* yang lebih tinggi karena terdapat kandungan polifenol dalam ekstrak. Mekanisme senyawa fenolik sebagai antioksidan menurut Moorthy *et al.* (2021) dengan cara donor atom hidrogen, memutus siklus produksi radikal bebas, dan mencegah stress oksidatif. Menurut Anouar *et al.* (2013) aktivitas antioksidan polifenol berkaitan dengan gugus OH pada cincin aromatik. Antioksidan dapat menangkap radikal bebas melalui transfer atom H.

Penelitian Zhang & Duan (2018) menjelaskan juga tentang mekanisme antioksidan dalam menangkal ROS penyebab penuaan dini. Radiasi UV berlebih dapat meningkatkan produksi ROS. ROS dapat menghambat *Receptor Protein*

Tyrosine Phosphatases (RPTPs) yang dalam kondisi normal berfungsi untuk menghambat aktivitas *Receptor Tyrosine Kinases* (RTKs). Penghambatan RPTPs akibat ROS yang berlebih dapat meningkatkan aktivitas RTKs sehingga memicu aktivasi *Mitogen Activated Protein Kinase* (MAPK), *Nuclear Factor-kB* (NF-kB), dan faktor transkripsi *Activator Protein-1* (AP-1). NF-kB dan AP-1 dapat meningkatkan transkripsi gen *Matrix Metalloproteinase* (MMP) dan menghambat produksi kolagen sehingga kandungan kolagen dalam tubuh berkurang. Antioksidan berperan dalam menetralisasi ROS dan mencegah berikatan dengan RPTPs sehingga jalur pensinyalan berada pada tingkat normal.

4.3 Aktivitas Penghambatan Enzim Kolagenase AgNP *Palmaria palmata*

Hasil pengujian aktivitas penghambatan enzim kolagenase oleh AgNP *Palmaria palmata* ditampilkan pada tabel 4.3. Sampel AgNP *Palmaria palmata* memiliki nilai IC_{50} sebesar $13,099 \pm 5,767$ ppm dengan kategori aktivitas penghambatan enzim kolagenase sangat kuat. Sampel ekstrak *Palmaria palmata* memiliki nilai IC_{50} sebesar $65,849 \pm 2,636$ ppm dengan kategori aktivitas penghambatan enzim kolagenase kuat. Sampel kolagen sintesis sebagai kontrol positif memiliki nilai IC_{50} sebesar $0,001 \pm 0,0012$ ppm dengan kategori aktivitas penghambatan enzim kolagenase sangat kuat. Kategori ini sesuai dengan pernyataan Tanur *et al.* (2020) bahwa nilai IC_{50} pada penghambatan enzim kolagenase terdiri dari aktivitas sangat kuat ($IC_{50} < 50$ ppm), aktivitas kuat (IC_{50} 50-100 ppm), aktivitas sedang (IC_{50} 101-150 ppm), dan aktivitas lemah ($IC_{50} > 150$ ppm).

Tabel 4.3. Hasil uji aktivitas penghambatan enzim kolagenase AgNP *Palmaria palmata*

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Nilai IC ₅₀	Kategori (Tanur <i>et al.</i> , 2020)
AgNP <i>Palmaria palmata</i>	50	13,099±5,767	Sangat Kuat
	100		
	150		
	200		
	250		
Ekstrak	50	65,849±2,636	Kuat
	100		
	150		
	200		
	250		
Kolagen Sintetis	50	0,001±0,0012	Sangat Kuat
	100		
	150		
	200		
	250		

Nilai IC₅₀ yang didapat menunjukkan bahwa sampel AgNP *Palmaria palmata* memiliki aktivitas penghambatan enzim kolagenase yang lebih kuat dibandingkan dengan sampel ekstrak. Hasil yang sama juga dijelaskan pada penelitian Shah *et al.* (2020) bahwa AgNP yang disintesis dari *Silybum marianum* mampu menghambat aktivitas enzim kolagenase dengan nilai persentase penghambatan sebesar 48,89±1,34. Penelitian Jan *et al.* (2021) melaporkan AgNP ekstrak *Aquilegia pubiflora* dapat menghambat aktivitas enzim kolagenase dengan nilai IC₅₀ sebesar 18,27±0,59 Menurut Jose & Netto (2018) nanopartikel memiliki aktivitas penghambatan enzim kolagenase yang lebih tinggi dari pada ekstrak karena partikelnya berukuran kecil sehingga bahan penyerap UV semakin baik. Selain itu, Younis *et al.* (2021) menyatakan nanopartikel yang disintesis dari ekstrak tumbuhan dapat mendukung bahan produk *anti-aging* yang potensial karena mengandung banyak senyawa fitokimia.

Senyawa fitokimia pada AgNP ekstrak tumbuhan yang dapat bertindak dalam penghambatan enzim kolagenase adalah senyawa dari golongan fenolik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Silva *et al.* (2017) bahwa ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa fenolik mampu menghambat enzim proteinase spesifik seperti kolagenase dan elastase. Ekstrak *Palmaria palmata* mengandung senyawa fenolik sehingga AgNP yang disintesis dengan ekstrak tersebut memiliki aktivitas penghambatan enzim kolagenase (Machu *et al.*, 2015).

Mekanisme senyawa fenolik dalam menghambat enzim kolagenase adalah dengan adanya interaksi gugus hidroksil fenol dengan gugus fungsi kolagenase atau dengan terjadinya ikatan hidrofobik antara cincin benzena fenol dengan kolagenase yang dapat mengubah bentuk molekul dan penurunan aktivitas enzim (Mostafa *et al.*, 2019). Mekanisme lain yaitu senyawa fitokimia seperti asam fenolat, flavonoid, dan tanin yang dikenal sebagai kelator logam dapat mengikat sisi aktif ion Zn pada enzim kolagenase sehingga dapat mencegah enzim untuk mencerna substrat (Pientaweeratch *et al.*, 2016). Selain berikatan dengan Zn, molekul kationik juga dapat menetralkan sisi aktif Ca pada enzim kolagenase *Clostridium histolyticum* (Kishen *et al.*, 2016).

Enzim kolagenase merupakan enzim golongan *Matrix Metalloproteinases* (MMP) yang dapat mendegradasi kolagen. Enzim kolagenase terdiri dari kolagenase interstisial (MMP 1), kolagenase neutrofil (MMP 8), dan kolagenase 3 (MMP 13) (Murlistyarini & Dani, 2022). Pada kondisi normal, enzim golongan MMP berperan dalam perbaikan luka, morfogenesis, perkembangan serta pertumbuhan jaringan, serta mendegradasi dan mengatur jumlah kolagen (Brett,

2019). Enzim kolagenase yang berupa protein dapat mengkatalisis reaksi kimia dan memutuskan ikatan peptida kolagen (Alipour *et al.*, 2016).

4.4 Korelasi Aktivitas Antioksidan dan Penghambatan Enzim Kolagenase AgNP *Palmaria palmata*

Hasil analisis korelasi Pearson antara aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase AgNP *Palmaria palmata* disajikan pada tabel 4.4. Aktivitas antioksidan dinyatakan berkorelasi dengan aktivitas penghambatan enzim kolagenase yang ditandai dengan besarnya nilai signifikansi (0,017) ($p\text{ value} < 0,05$). Nilai koefisien korelasi (r) antara aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase AgNP *Palmaria palmata* adalah sebesar 0,940 yang menunjukkan kategori korelasi positif kuat. Hasil korelasi menunjukkan semakin tinggi aktivitas antioksidan, maka semakin tinggi pula aktivitas penghambatan enzim kolagenase. Kategori ini didasarkan pada nilai koefisien korelasi yang mendekati -1 atau +1 memiliki hubungan yang semakin kuat antar variabel dengan arah negatif atau positif (Setyawati dkk, 2019). Nilai koefisien korelasi dibagi menjadi tiga kategori yaitu kategori lemah (0,1-0,3), kategori sedang (0,4-0,6), dan kategori kuat (0,7-1) (Erwinda dkk, 2022).

Tabel 4.4. Hasil analisis korelasi Pearson aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase AgNP *Palmaria palmata* menggunakan software SPSS

Sampel	Taraf Signifikansi	Nilai Signifikansi	Nilai Koefisien Korelasi
Aktivitas antioksidan	0,05	0,017	0,940
Aktivitas Penghambatan Enzim Kolagenase	0,05	0,017	0,940

Korelasi antara aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase pada AgNP *Palmaria palmata* disebabkan karena adanya kandungan fenolik. Senyawa fenolik dapat meningkatkan aktivitas antioksidan dan menghambat enzim kolagenase. Penelitian Zakiah *et al.* (2018) melaporkan bahwa penghambatan enzim kolagenase berkorelasi dengan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan DPPH. Semakin tinggi aktivitas polifenol dan flavonoid, maka semakin tinggi pula aktivitas antioksidan (Byun *et al.*, 2021). Aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase bergantung pada jumlah dan urutan gugus OH pada flavonoid (Sim *et al.*, 2007). Mekanisme hubungannya adalah terjadi pola hidroksilasi pada gugus OH cincin-B flavonoid sehingga dapat menghambat aktivitas enzim kolagenase (Mandrone *et al.*, 2015).

4.5 Kajian Al Qur'an dan Hadist terkait Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa AgNP yang disintesis dari alga merah *Palmaria palmata* berhasil terbentuk dengan distribusi ukuran terbanyak adalah 185,5 nm dan berukuran *spherical*. Konsep nanopartikel sebagai partikel yang

berukuran sangat kecil atau nanometer telah dijelaskan dalam Al Qur'an yaitu pada QS: Saba' [34]: 3 sebagai berikut:

وَقَالَ الَّذِينَ كَفَرُوا لَا تَأْتِينَا السَّاعَةُ قُلْ بَلَىٰ وَرَبِّي لَتَأْتِيَنَّكُمْ عِلْمُ الْغَيْبِ لَا يَعْزُبُ عَنْهُ مِثْقَالُ ذَرَّةٍ فِي السَّمُوتِ وَلَا فِي الْأَرْضِ وَلَا أَصْغَرُ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرُ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُّبِينٍ ﴿٣﴾

“Dan orang-orang yang kafir berkata, “Hari Kiamat itu tidak akan datang kepada kami.” Katakanlah (Nabi Muhammad), “Pasti datang, Demi Tuhanku yang mengetahui yang gaib, kiamat itu pasti mendatangi kamu. Tidak ada yang tersembunyi bagi-Nya sekalipun seberat dzarrah, baik yang di langit maupun yang di bumi, yang lebih kecil dari itu atau yang lebih besar, kecuali semuanya ada dalam kitab yang jelas (Lauh Mahfuz)”.

Tafsir kata *dzarrah* pada ayat di atas digunakan untuk menggambarkan sesuatu yang sangat kecil. Pada zaman dahulu, masyarakat jahiliah memahami arti *dzarrah* sebagai kepala semut, debu yang berterbangan, atau telur semut. Namun, pada masa sekarang kata *dzarrah* digunakan dalam arti atom. Sesuatu yang lebih kecil dari *dzarrah* adalah proton dan neutron sebagai dua unsur dari atom (Shihab, 2002). Nanopartikel dapat dikatakan sebagai kategori *dzarrah* dengan ukuran partikel yang sangat kecil yaitu dalam rentang 10-1000 nm. AgNP *Palmaria palmata* ini juga berasal dari susunan unsur logam yaitu Ag atau perak.

AgNP *Palmaria palmata* memiliki potensi aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase. Potensi tersebut dipengaruhi karena adanya senyawa fitokimia seperti polifenolik yang terdapat pada *Palmaria palmata*. Penciptaan tumbuhan dengan potensi manfaat yang baik dijelaskan dalam QS. As Syu'ara [26]: 7 sebagai berikut:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾

“Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami telah menumbuhkan di sana segala jenis (tanaman) yang tumbuh baik?”

Tafsir ayat menjelaskan bahwa Allah Subhanahu Wata'ala telah menciptakan dan menumbuhkan berbagai jenis tumbuhan yang baik. Makna tumbuhan yang baik adalah tumbuhan yang subur dan bermanfaat. Penciptaan tersebut menjadi bukti kekuasaan Allah Subhanahu Wata'ala (Shihab 2002). Melalui ayat ini dapat diketahui bahwa alam telah menyediakan kebaikan dan manfaat. Satu di antaranya adalah dengan memperoleh manfaat dari tumbuhan yaitu alga merah *Palmaria palmata*. Selain itu juga tersirat bahwa penciptaan Allah Subhanahu Wata'ala tidak ada yang sia-sia.

Potensi antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase dapat dimanfaatkan sebagai obat untuk mencegah penuaan dini yang dipicu oleh adanya ROS yang berlebih. Mekanisme antioksidan dalam menangkal radikal bebas dan menetralisasi ROS menunjukkan aktivitas pengobatan yang dapat digunakan untuk memelihara kesehatan tubuh. Konsep pengobatan dalam perspektif Islam telah dijelaskan dalam hadist Rasulullah Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam sebagai berikut:

إِنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ الدَّاءَ وَالذَّوَاءَ وَجَعَلَ لِكُلِّ دَاءٍ دَوَاءً فَتَدَاوَوْا وَلَا تَدَاوَوْا بِحَرَامٍ

“Sesungguhnya Allah telah menurunkan penyakit dan obat, dan menjadikan bagi setiap penyakit terdapat obatnya. Maka berobatlah dan jangan berobat dengan sesuatu yang haram” (HR. Abu Dawud No. 3376)

Hadist di atas menjelaskan bahwa Allah Subhanahu Wata'ala telah menciptakan segala penyakit disertai dengan obatnya dan memerintahkan kepada seseorang yang terkena penyakit untuk berobat dengan obat yang sesuai dengan penyakitnya dan bukan obat yang berasal dari sesuatu yang haram (Abduh, 2017). Hadist ini tidak hanya menganjurkan untuk berobat tetapi juga menjadi inspirasi untuk mempelajari ilmu medis dalam rangka menemukan obat dari suatu penyakit dan mempelajari sebab musabbab penyakit serta kesembuhannya. Penelitian ini

menjadi satu di antara cara dalam menemukan obat dari penyakit penuaan dini yang diakibatkan oleh radikal bebas dan aktivitas enzim kolagenase yang berlebih dengan menggunakan bahan yang halal yaitu ekstrak alga *Palmaria palmata* yang disintesis dalam bentuk AgNP.

Mekanisme antioksidan dan enzim kolagenase dalam tubuh merupakan ketetapan Allah Subhanahu Wata'ala dalam batas normal, seimbang, dan sesuai fungsinya. Konsep keseimbangan mekanisme di dalam tubuh dalam perspektif Islam dijelaskan dalam QS. Al A'la [87]: 2-3 sebagai berikut:

الَّذِي خَلَقَ فَسَوَّى ۖ وَالَّذِي قَدَّرَ فَهَدَى ۖ ﴿٢﴾

“Yang menciptakan, lalu menyempurnakan (ciptaan-Nya). Yang menentukan kadar (masing-masing) dan memberi petunjuk.”

Tafsir ayat di atas menjelaskan bahwa Allah Subhanahu Wata'ala tidak hanya sekedar menciptakan, tetapi juga menyempurnakan dan menentukan kadar serta petunjuk bagi setiap ciptaannya sehingga dapat melaksanakan fungsi dan peran yang sesuai dengan tujuan penciptaannya. Lafadz *qaddara* memiliki arti kadar, ukuran, dan batas-batas tertentu dalam diri. Semua makhluk telah ditetapkan sesuai kadarnya dan tidak melampaui batas ketetapan tersebut (Shihab, 2002). Allah Subhanahu Wata'ala telah menciptakan manusia dalam bentuk yang sebaik-baiknya dan menyeimbangkan sesuatu baik kualitas maupun kuantitasnya agar dapat menjalankan tugas dan fungsi masing-masing, termasuk keseimbangan mekanisme antioksidan dalam menangkal ROS dan mekanisme enzim kolagenase dalam mendegradasi kolagen.

Konsep keseimbangan ini tidak hanya terjadi pada mekanisme antioksidan dan enzim kolagenase dalam tubuh. Konsep tersebut juga dapat dipelajari melalui

lingkungan. Anjuran untuk menjaga lingkungan dijelaskan dalam firman Allah Subhanahu Wata'ala pada QS. Al A'raf [7]: 56 sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

“Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik.”

Tafsir ayat di atas berisi tentang larangan berbuat kerusakan di muka bumi.

Allah Subhanahu Wata'ala telah menciptakan alam raya dengan keadaan harmonis, serasi, dan memenuhi kebutuhan makhluk. Allah Subhanahu Wata'ala telah menjadikannya baik dan memerintahkan hambaNya untuk memperbaiki dan menjaganya (Shihab, 2002). Satu di antara cara yang dapat dilakukan untuk menjaga lingkungan adalah dengan menjaga keseimbangan ekosistem laut. Keseimbangan ekosistem laut mempengaruhi produktivitas biologis laut sehingga terjaga kelestariannya, termasuk kelestarian alga.

Peran alga secara ekologis diantaranya adalah sebagai produsen dalam rantai makanan, sumber makanan bagi biota lain, tempat perlindungan bagi biota laut berukuran kecil, dan penyerap karbon. Selain peran tersebut, alga juga memiliki peran secara ekonomis karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan industri seperti farmasi dan kosmetik (Handayani, 2019). Maka dari itu, sebagai seorang muslim wajib menjaga keseimbangan lingkungan karena keuntungan dari terjaganya kelestarian lingkungan dirasakan kembali oleh manusia itu sendiri. Allah Subhanahu Wata'ala berfirman dalam QS. Al Baqarah [2]: 30 sebagai berikut:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَن يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَآءَ ۚ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۚ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ ﴿٣٠﴾

“(Ingatlah) ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat, “Aku hendak menjadikan khalifah di bumi.” Mereka berkata, “Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama-Mu?” Dia berfirman, “Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui.”

Tafsir An Nuur menjelaskan bahwa manusia diciptakan oleh Allah Subhanahu Wata’ala sebagai khalifah di muka bumi. Manusia memiliki kekuatan akal dan kecerdasan ilmu yang tak terhingga. Manusia mampu mengelola dan mengolah alam seperti menggali hasil perut bumi dan memproduksi aneka barang. Manusia juga mampu mengubah kondisi bumi seperti tanah kering menjadi subur dan meningkatkan kualitas tumbuh-tumbuhan serta hewan ternak sehingga semuanya dapat memberikan manfaat yang lebih besar dan memenuhi kebutuhan hidup manusia (Ash-Shiddieqy, 2000).

Bentuk mensyukuri nikmat Allah Subhanahu Wata’ala yang berupa akal dan kecerdasan adalah dengan mengolah alga sebagai bahan baku kosmetik alami. Dalam penelitian ini, alga dimanfaatkan sebagai penghambat penuaan dini karena memiliki aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase. Hasil yang diperoleh dari penelitian dapat meningkatkan iman dan takwa kepada Allah Subhanahu Wata’ala yaitu dengan cara menghargai alam, menghargai tumbuhan sebagai ciptaan Allah Subhanahu Wata’ala, dan berakhlak baik kepada alam, sehingga didapatkan manfaat yang baik pula bagi manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian dengan judul “Karakterisasi Morfologi dan Biokimia Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria palmata*” adalah sebagai berikut:

1. Karakterisasi morfologi senyawa AgNP *Palmaria palmata* mendapatkan hasil bentuk *spherical* dengan distribusi ukuran partikel rata-rata adalah 185,5 nm, nilai potensial zeta sebesar +113,9 mv, dan nilai PDI sebesar 0,628.
2. Aktivitas antioksidan senyawa AgNP *Palmaria palmata* memiliki nilai IC₅₀ sebesar 17,113±1,584 ppm dengan kategori sangat kuat, sedangkan sampel ekstrak memiliki nilai IC₅₀ sebesar 133,875±11,238 ppm dengan kategori sedang.
3. Aktivitas penghambatan enzim kolagenase senyawa AgNP *Palmaria palmata* memiliki nilai IC₅₀ sebesar 13,099±5,767 ppm dengan kategori sangat kuat, sedangkan sampel ekstrak memiliki nilai IC₅₀ sebesar 65,849±2,636 ppm dengan kategori kuat.
4. Aktivitas antioksidan AgNP *Palmaria palmata* berkorelasi dengan aktivitas penghambatan enzim kolagenase dengan nilai koefisien korelasi 0,940 yang termasuk kategori korelasi positif kuat. Semakin tinggi aktivitas antioksidan maka semakin tinggi pula aktivitas penghambatan enzim kolagenase.

5.2 Saran

Penelitian ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis memberikan saran untuk pengembangan riset selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan karakterisasi profil metabolit pada AgNP *Palmaria palmata*
2. Perlu dilakukan uji toksisitas terhadap AgNP *Palmaria palmata*
3. Perlu dilakukan pengembangan uji aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase serta aplikasi krim topikal secara *in vivo*
4. Perlu dilakukan uji aktivitas antimikroba

DAFTAR PUSTAKA

- Abdassah, M. 2013. Nanopartikel dengan Gelasi Ionik. *Farmaka*. 15 (1):45-52.
- Abduh, M. 2017. Larangan menggunakan Bahan Haram sebagai Obat. *Tahdis*. 8 (1):21-31.
- Abdullah. 2003. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 4*. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Aiswariya, K. S. & Jose, V. 2021. Bioactive Molecules Coated Silver Oxide Nanoparticle Synthesis from *Curcuma zanthorriza* and HR-LCMS Monitored Validation of Its Photocatalytic Potency Towards Malachite Green Degradation. *Journal of Cluster Science*. 1-12.
- Akalin, G. O., Taner, O. O., & Taner, T. 2022. The Preparation, Characterization, and Antibacterial Properties of Chitosan/Pectin Silver Nanoparticle Films. *Polymer Bulletin*. 79:3495-3512.
- Alahmad, A., Feldhoff, A., Bigall, N. C., Rusch, P., Scheper, T., & Walter, J. G. 2021. *Hypericum perforatum* L.-Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles Exhibiting Antioxidant and Anticancer Activities. *Nanomaterials*. 11 (487):1-25.
- Alipour, H., Raz, A., Zakeri, S., & Djadid, N. D. 2016. Therapeutic Applications of Collagenase (Metalloproteases): A Review. *Asian Pasific Journal of Tropical Biomedicine*. 6 (11):975-981.
- Andriana, R. & Djauhari, T. 2017. Antioksidan dalam Dermatologi. *JKK*. 4 (1):39-48.
- Anouar, E. H., Raweh, S., Bayach, I., Taha, M., Baharudin, M. S., Meo, F. D., Hasan, M. H., Adam, A., Ismail, N. H., Weber, J. F. F., & Trouillas, P. 2013. Antioxidant Properties of Phenolic Schiff Bases: Structure-Activity Relationship and Mechanism of Action. *Journal of Computer-Aided Molecular Design*. 27:951-964.
- Apraj, V. D. & Pandita, N. S. 2016. Evaluation of Skin Anti-aging Potential of *Citrus reticulata* Blanco Peel. *Pharmacognosy Research*. 8 (3):160-168.
- Ariyanta, H. A. 2014. Preparasi Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi dan Aplikasinya sebagai Antibakteri Penyebab Luka Infeksi. *Jurnal MKMI*. 36-42.
- Ash-Shiddieqy, T. M. H. 2000. *Tafsir Al Qur'anul Majid An Nuur*. Semarang: Pustaka Rizki Putra.
- Augustine, R. & Hasan, A. 2020. Multimodal Applications of Phytonanoparticles. *Phytonanotechnology*. 195-219.
- Ayromlu, A., Masoudi, S., & Mirzaie, A. 2019. *Scorzonera calyculata* Aerial Part Extract Mediated Synthesis of Nanoparticles: Evaluation of Their Antibacterial, Antioxidant, and Anticancer Activities. *Journal of Cluster Science*. 30:1037-1050.
- Ayucitra, A., Indraswati, N., Mulyandasari, V., & Dengi, Y. K. 2011. Potensi Senyawa Fenolik Bahan Alam sebagai Antioksidan Alami Minyak Goreng Nabati. *Widya Teknik*. 10 (1):1-10.
- Aziz, L. & Chasani, A. R. 2020. Perbandingan Struktur dan Komposisi Makroalga di Pantai Drini dan Pantai Krakal. *Jurnal Kelautan*. 13 (2):75-86.
- Aziz, M. S. A., Shaheen, M. S., El-Nekkeety, A. A., & Wahhab, M. A. A. 2014. Antioxidant and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Biosynthesized using *Chenopodium murale* Leaf Extract. *Journal of Saudi Chemical Society*. 18:356-363.
- Baek, J. & Lee M. G. 2015. Oxidative Stress and Antioxidant Strategies in Dermatology. *Redox Report*. 1-6.

- Ballesteros, N. G., Arguelles, M. C. R., Valdor, M. L., Mediero, G. G., Cao, S. R., Grimaldi, M., Cavazza, A., & Bigi, F. 2020. Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles by *Sargassum muticum* Biomolecules and Evaluation of their Antioxidant Activity and Antibacterial Properties. *Journal of Nanostructure in Chemistry*. 10:317-330.
- Bedoux, G., Hardouin, K., Burlot, A. S., & Bourgougnon, N. 2014. Bioactive Components from Seaweeds: Cosmetic Applications and Future Development. *Advances in Botanical Research*. 71:345-378.
- Begic, N., Bener, M., & Apak, R. 2021. Development of a Green Synthesized Silver Nanoparticle-based Antioxidant Capacity Method using Carob Extract. *Journal of Nanostructure in Chemistry*. 11:381-394.
- Bobo, D., Robinson, K. J., Thurecht, K. J., & Corrie, S. R. 2016. Nanoparticle-Based Medicine: A Review of FDA-Approved Materials and Clinical Trials to Date. *Pharmaceutical Research*. 33:2373-2387.
- Borah, D., Das, N., Das, N., Bhattacharjee, A., Sarmah, P., Ghosh, K., Chandel, M., Rout, J., Pandey, P., Ghosh, N. N., & Bhattacharjee, C. R. 2020. Alga-mediated Facile Green Synthesis of Silver Nanoparticles: Photophysical, Catalytic, and Antibacterial Activity. *Applied Organometallic Chemistry*. 1-10.
- Brett, D. W. 2019. A Historical Review of Enzymatic Debridement: Revisited. *HSPI*. 16-32.
- Bundschuh, M., Filser, J., Luderwald, S., McKee, M. S., Metreveli, G., Schaumann, G. E., Schulz, R., & Wagner, S. 2018. Nanoparticles in the Environment: Where do We Come from, Where do We Go to. *Environmental Science Europe*. 30 (6):1-17.
- Buschmann, A. H., Camus, C., Infante, J., Neori, A., Israel, A., Gonzales, M. C. H., Pereda, S. V., Gomes, J. L., Golberg, A., Tadmor, N., & Critchley, A. T. 2017. Seaweed Production: Overview of The Global State of Exploitation, Farming, and Emerging Research Activity. *European Journal of Phycology*. 52 (4):391-406.
- Byun, N. Y., Cho, J. H., & Yim, S. H. 2021. Correlation between Antioxidant Activity and Anti-Wrinkle Effect of Ethanol Extracts of *Sanguisorba officinalis* L. *Food Science and Technology*. 41 (2):791-798.
- Byun, N. Y., Heo, M. R., Yim, S. H. 2021. Correlation of Anti Wrinkling and Free Radical Antioxidant Activities of *Areca nut* with Phenolic and Flavonoid Contents. *Food Science and Technology*. 1-9.
- Cao, C., Xiao, Z., Wu, Y., & Ge, C. 2020. Diet and Skin Aging-From the Perspective of Food Nutrition. *Nutrients*. 12 (870):1-25.
- Chatatikun, M. & Chiabchalard, A. 2017. Thai Plants with High Antioxidant Levels, Free Radical Scavenging Activity, Anti-tyrosinase, and Anti-collagenase Activity. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 17 (487):1-9.
- Chaudhary, R., Nawaz, K., Khan, A. K., Hano, C., Abbasi, B. H., & Anjum, S. 2020. An Overview of the Algae-Mediated Biosynthesis of Nanoparticles and Their Biomedical Application. *Bimolecules*. 10 (1498):1-36.
- Cyril, N., George, J. B., Joseph, L., Raghavamenon, A. C., & Syllas, V. P. 2019. Assessment of Antioxidant, Antibacterial, and Antiproliferative (Lung Cancer Cell Line A549) Activities of Green Synthesized Silver Nanoparticles from *Derris trifoliata*. *Toxicology Research*. 8:297-308.

- Darsih, C., Indrianingsih, A. W., Poeloengasih, C. D., Prasetyo, D. J., & Indirayati, N. 2020. In vitro Antioxidant Activity of Macroalgae *Sargassum duplicatum* and *Palmaria palmata* Extracts Collected from Sepanjang Beach, Gunungkidul, Yogyakarta. *Materials Science and Engineering*. 1-6.
- Dawadi, S., Kautwal, S., Gupta, A., Lamichhane, U., Thapa, R., Jaisi, S., Lamichhane, G., Bhattarai, D. P., & Parajuli, N. 2021. Current Research on Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Applications. *Journal of Nanomaterials*. 1-23.
- Deodhar, M., Rihani, S. B. A., Arwood, M. J., Darakjian, L., Dow, P., Turgeon, J., & Michaud, V. 2020. Mechanisms of CYP450 Inhibition: Understanding Drug-Drug Interactions Due to Mechanism-Based Inhibition in Clinical Practice. *Pharmaceutics*. 12:1-18.
- Djapiala, F., Montolalu, L., & Mentang, F. 2013. Kandungan Total Fenol dalam Rumput Laut *Caulerpa racemosa* yang Berpotensi sebagai Antioksidan. *Media Teknologi Hasil Perikanan*. 1 (2):1-5.
- Dungir, S. G., Katja, D. G., & Kamu, V. S. 2012. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Fenolik dari Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Jurnal Mipa Unsrat*. 1 (1):11-15.
- Eren, B., Tanriverdi S. T., Kose, F. A., & Ozer, O. 2018. Antioxidant Properties Evaluation of Topical Astaxanthin Formulations as Anti-aging Products. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 1-9.
- Erviana, L., Malik, A., & Najib, A. 2016. Uji Aktivitas Anti Radikal Bebas Ekstrak Etanol Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dengan Menggunakan Metode DPPH. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*. 3 (2):164-168.
- Erwinda, A., Suharto, E., & Anwar, G. 2022. Korelasi antara Kadar Timbal dengan Kadar Klorofil dan Jumlah Stomata pada Daun Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) di Jalur Hijau Kota Bengkulu. 2 (1): 89-97.
- Faes, V. A., & Viejo, R. M. 2003. Structure and Dynamics of a Population of *Palmaria palmata* (Rhodophyta) in Northern Spain. *Journal of Phycology*. 39:1038-1049.
- Fahmi, M. Z. 2019. *Nanoteknologi dalam Perspektif Kesehatan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Ferreira, J., Marques, A., Abreu, H. Pereira, R., Rego, A., & Pacheco, M. 2019. Red Seaweed *Porphyra umbilicalis* and *Grateloupia turuturu* Display Antigenotoxic and Longevity-promoting Potential in *Drosophila melanogaster*. *European Journal of Phycology*. 1-13.
- Fitri, D., Naelaz, Z., Kiromah, W., & Widiastuti, T. C. 2020. Formulasi dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) pada Berbagai Variasi Komposisi Kitosan dengan Metode Gelasi Ionik. *Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*. 1:61-69.
- Fredericq, S. & Schmidt, W. E. 2016. Red Algae. *ELS*. 1-7.
- Gallagher, J. A., Adams, J. M. M., Turner, L. B., Kirby, M. E., Toop, T. A., Mirza, M. W., & Theodorou, M. K. Bioprocessing of Macroalgae *Palmaria palmata*: Metabolite Fractionation from Pressed Fresh Material and Ensiling Considerations for Long-term Storage. *Journal of Applied Phycology*. 33:533-544.
- Grote, B. 2017. Recent Developments in Aquaculture of *Palmaria palmata* (Linnaeus) (Weber & Mohr 1805): Cultivation and Uses. *Reviews in Aquaculture*. 1-17.

- Gu, Y., Han, J., Jiang, C., & Zhang, Y. 2020. Biomarkers, Oxidative Stress and Autophagy in Skin Aging. *Ageing Research Reviews*. 1-12.
- Handayani, T. 2019. Peran Ekologi Makroalga Bagi Ekosistem Laut. *Oseana*. 44 (1):1-14.
- Harnedy, P. A., Okeeffe, M. B., & FitzGerald, R. J. 2017. Fractionation and Identification of Antioxidant Peptides from an Enzymatic Hydrolysed *Palmaria palmata* Protein Isolate. *Food Research International*. 1-30.
- Hartmann, A., Gostner, J., Fuchs, J. E., Chaita, E., Aligiannis, N., Skaltsounis, L., & Ganzera, M. 2015. Inhibition of Collagenase by Mycosporine-like Amino Acids from Marine Sources. *Planta Med*. 81 (10):813-820.
- Hernandez, G. B. M., Castillejo, N., Monteagudo, M. M. C., Artes, F., & Hernandez, F. A. 2018. Nutritional and Bioactive Compounds of Commercialized Algae Powders used as Food Supplements. *Food Science and Technology International*. 24 (2):172-182.
- Hodoroaba, V. D., Rades, S., Salge, T., Mielke, J., & Schmidt, R. 2016. Characterization of Nanoparticles by Means of High-Resolution SEM/EDS in Transmission Mode. *Materials Science and Engineering*. 109:1-12.
- Holdt, S. L. & Kraan, S. 2011. Bioactive Compounds in Seaweed: Functional Food Applications and Legislation. *Journal of Applied Phycology*. 23:543-597.
- Ismail, G. A., El-Sheekh, M. M., Samy, R. M., & Gheda, S. F. 2021. Antimicrobial, Antioxidant, and Antiviral Activities of Biosynthesized Silver Nanoparticles by Phycobiliprotein Crude Extract of the Cyanobacteria *Spirulina platensis* and *Nostoc linckia*. *Bionanoscience*. 11:355-370.
- Jan, H., Zaman, G., Usman, H., Ansir, R., Drouet, S., Guivarch, N. G., Hano, C., & Abbasi, B. H. 2021. Biogenically Proficient Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (Ag-NPs) Employing Aqueous Extract of *Aquilegia pubiflora* along with their *In Vitro* Antimicrobial, Anti-cancer, and Other Biological Applications. *Journal of Materials Research and Technology*. 15:950-968.
- Jose, J. & Netto, G. 2018. Role of Solid Lipid Nanoparticles as Photoprotective Agents in Cosmetics. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 1-7.
- Juliantoni, Y., Hajrin, W., & Subaidah, W. A. 2020. Nanoparticle Formula Optimization of Juwet Seeds Extract (*Syzigium cumini*) using Simplex Lattice Design Method. *Jurnal Biologi Tropis*. 20 (3):416-422.
- Kasanah, N., Ulfah, M., Nugroho, A., Wijnana, A. P. A., & Triyanto. 2021. *Rumput Laut Indonesia Keanekaragaman Rumput Laut Nusa Tenggara Timur*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kasim, M. 2016. *Makro Alga Kajian Biologi, Ekologi, Pemanfaatan, dan Budidaya*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Khatulistiani, T. S., Novindri, D., Munifah, I., & Melanie, S. Bioactive of Red Seaweed Extracts from Banten, Indonesia. *Earth and Environmental Science*. 404:1-9.
- Khodashenas, B. & Ghorbani, H. R. 2015. Synthesis of Silver Nanoparticles with Different Shapes. *Arabian Journal of Chemistry*. 1-44.
- Kishen, A., Shrestha, S., Shrestha, A., Cheng, C., & Goh, C. 2016. Characterizing the Collagen Stabilizing Effect of Crosslinked Chitosan Nanoparticles Against Collagenase Degradation. *Dental Materials*. 32 (8):968-977.

- Ko, R. K., Kim, G. O., Hyun, C. G., Jung, D. S., & Lee, N. H. 2011. Compounds with Tyrosinase Inhibition, Elastase Inhibition, and DPPH Scavenging Activities from the Branches of *Distylium racemosum* Sieb. et Zucc. *Phytotherapy Research*. 25:1451-1456.
- Kornprobst, J. M. 2014. *Encyclopedia of Marine Natural Products Second Edition*. Amerika: Wiley-VCH Publisher.
- Kurhade, P., Kodape, S., & Choudhury, R. 2021. Overview on Green Synthesis of Metallic Nanoparticles. *Chemical Papers*. 75: 5187-5222.
- Lalegerie, F., Pouvreau, V. S., & Connan, S. 2020. Temporal Variation in Pigment and Mycosporine-like Amino Acid Composition of the Red Macroalga *Palmaria palmata* from Brittany (France): Hypothesis on the MAA Biosynthesis Pathway Under High Irradiance. *Journal of Applied Phycology*. 32:2641-2656.
- Lephart, E. D. 2016. Skin Aging and Oxidative Stress: Equol's Anti-Aging via Biochemical and Molecular Mechanism. *Ageing Research Review*. 1-79.
- Li, Z. R., Wang, B., Zhang, Q. H., Huang, F. F., Ma, J. H. 2011. Microwave-assisted Extraction and The Antioxidant Activity of Water-Soluble Polysaccharide from *Palmaria palmata*. *International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*. 1-5.
- Lo, M. H., Castillo, G., Beccera, M. A. O., & Mojica, L. 2019. Phycocyanin and Phycoerythrin: Strategies to Improve Production Yield and Chemical Stability. *Algal Research*. 42:1-11.
- Machu, L. Misurcova, L., Ambrozova, J. V., Orsavova, J. Mlcek, J., Sochor, J., & Jurikova, T. 2015. Phenolic Content and Antioxidant Capacity in Algal Food Products. *Molecules*. 20:1118-1133.
- Maharani, N. P. S., Watiniasih, N. L., & Dewi, A. P. W. K. 2021. Struktur Komunitas Makroalga di Pantai Geger dan Pantai Mengening Kabupaten Badung. *Simbiosis*. 9 (1):51-61.
- Mandrone, M., Lorenzi, B., Venditti, A., Guarcini, L., Bianco, A., Sanna, C., Ballero, M., Poli, F., & Antognoni, F. 2015. Antioxidant and Anti-Collagenase Activity of *Hypericum hircinum* L. *Industrial Crops and Products*. 76:402-408.
- Mardiyah, U., Fasya, A. G., Fauziyah, B., & Amalia, S. 2014. Ekstraksi, Uji Aktivitas Antioksidan dan Identifikasi Golongan Senyawa Aktif Alga Merah *Eucheuma spinosum* dari Perairan Banyuwangi. *Alchemy*. 3 (1):39-46.
- Margareta, C., Sundaryono, A., & Nurhamidah. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Kebiul (*Caesalpinia bonduc* L.) Tersalut Lipid Padat Trimirsitin. *Alotrop Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 5 (2):159-167.
- Martien, R., Adhyatmika, Irianto, I. D. K., Farida, V., & Sari, D. P. 2012. Perkembangan Teknologi Nanopartikel sebagai Sistem Penghantaran Obat. *Majalah Farmaseutik*. 8 (1):133-144.
- Microtrac. 2007. *Microtrac FLEX Software Operations Manual*. Montgomeryville: Microtrac Inc.
- Moorthy, K., Chang, K. C., Wu, W. J., Hsu, J. Y., Yu, P. J., & Chiang, C. K. 2021. Systematic Evaluation of Antioxidant Efficiency and Antibacterial Mechanism of Bitter Gourd Extract Stabilized Silver Nanoparticles. *Nanomaterials*. 11 (2278): 1-20.

- Mostafa, E., Fayed, M. A. A., Radwan, R. A., & Bakr, R. O. 2019. *Centaurea pumilio* L. Extract and Nanoparticles: A Candidate for Healthy Skin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 182: 1-8.
- Mouritsen, O. G., Dawczynski, C., Duelund, L., Jahreis, G., Vetter, W., & Schroder, M. 2013. On the Human Consumption of the Red Seaweed Dulse (*Palmaria palmata* (L.) Weber & Mohr). *Journal of Applied Phycology*. 25:1777-1791.
- Mu, L. & Sprando, R. L. 2010. Application of Nanotechnology in Cosmetics. *Pharmaceutical Research*. 27:1746-1749.
- Mujiyanti, D. R., Surianthy, M. D., & Junaidi, A. B. 2019. Kajian Karakterisasi Nanosilika dari Tetraethylorthosilicate (TEOS) dengan Penambahan Polivinil Alkohol (PVA) menggunakan Scanning Electron Microscopy dan Particle Size Analyzer. *Jurnal Fisika Flux*. 16 (2):103-111.
- Murlistyarini, S. & Dani, A. A. 2022. Peran Matriks Metaloproteinase (MMP) pada Proses Photoaging. *Journal of Dermatology, Venereology, and Aesthetic*. 13-22.
- Muthia, R., Saputri, R., & Verawati, S. A. 2019. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Kulit Buah Mundar (*Garcinia forbesii* King.) menggunakan Metode DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazil). *Jurnal Pharmascience*. 6 (1):74-82.
- Mutripah, S., Meinita, M. D. N., Kang, J. Y., Jeong, G. T., Susanto, A. B., Prabowo, R. E., & Hong, Y. K. 2014. Bioethanol Production from the Hydrolisate of *Palmaria palmata* using Sulfuric Acid and Fermentation with Brewer's Yeast. *Journal of Applied Phycology*. 26:687-693.
- Naito, M., Yokoyama, T., Hosokawa, K., & Nogi, K. 2018. *Nanoparticle Technology Handbook Third Edition*. Netherland: Elsevier.
- Natanael, G. I., Simorangkir, G. F., Purba, N. P., Tambunan, M. P., Amansyah, A., & Nasution, A. N. 2021. Potensi Antioksidan dan Anti-Elastase Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) terhadap Antiaging. *Jurnal Keperawatan Priority*. 4 (1):69-76.
- Nayyar, D. & Skonberg, D. I. 2019. Contrasting Effects of Two Storage Temperature on the Microbial, Physicochemical, and Sensory Properties of Two Fresh Red Seaweeds, *Palmaria palmata* and *Gracilaria tikvahiae*. *Journal of Applied Phycology*. 31:731-739.
- Ndlovu, G., Fouche, G., Tselanyane, M., Cordier, W., & Steenkarnp, V. 2013. In vitro Determination of the Anti-aging Potential of Four Southern African Medicinal Plants. *Complementary and Alternative Medicine*. 13 (304):1-7
- Ningsih, N., Yasni, S., & Yuliani, S. 2017. Sintesis Nanopartikel Ekstrak Kulit Manggis Merah dan Kajian Sifat Fungsional Produk Enkapsulasinya. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 28 (1):27-35.
- Nugroho, B. H., Wardani, M. T., & Suparmi. 2020. Perbandingan Teknik Aerasi dan Ultrasonikasi Gelasi Ionik Nanopartikel Deksametason Natrium Fosfat. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*. 10 (2):102-109.
- Nurulita, N. A., Sundhani, E., Amalia, I., Rahmawati, F., & Utami, N. H. D. 2019. Uji Aktivitas Antioksidan dan Anti-aging Body Butter dengan Bahan Aktif Ekstrak Daun Kelor. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*. 17 (1):1-8.
- Ode, I. & Wasahua, J. 2014. Jenis-Jenis Alga Coklat Potensial di Perairan Pantai Desa Hutumuri Pulau Ambon. *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan*. 7 (2):1-7
- Otunala, G. A., Afolayan, A. J., Ajayi, E. O., & Odeyemi, S. W. 2017. Characterization, Antibacterial, and Antioxidant Properties of Silver Nanoparticles Synthesized from

- Aqueous Extracts of *Allium sativum*, *Zingiber officinale*, and *Capsicum frutescens*. *Pharmacognosy Magazine*. 13 (50):201-208.
- Pakki, E., Sumaerheni, Ismail, A. F., & Safirahidzni, S. 2016. Formulasi Nanopartikel Ekstrak Bawang Dayak (*Eleutherine americana* (Aubl) Merr) dengan Variasi Konsentrasi Kitosan-Tripolifosfat (TPP). *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*. 3 (4):251-263.
- Pal, G. K. & Suresh, P. V. 2016. Microbial Collagenases: Challenges and Prospect in Production and Potential Applications in Food and Nutrition. *Royal Society of Chemistry*. 1-58.
- Patadiya, N., Panchal, N., & Vaghela, V. 2021. A Review on Enzyme Inhibitors. *International Research Journal of Pharmacy*. 12 (6): 60-66.
- Pereira, L. 2018. Seaweeds as Sources of Bioactive Substances and Skin Care Therapy- Cosmeceuticals, Algotherapy, and Thalassotherapy. *Cosmetics*. 5 (68):1-41.
- Peres, P. S., Terra, V. A., Guarnier, F. A., Cecchini, R., & Cecchini, A. L. 2011. Photoaging and Chronological Aging Profile: Understanding Oxidation of the Skin. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 103:93-97.
- Pientaweeratch, S., Panapisal, V., & Tansirikongkol, A. 2016. Antioxidant, Anti-collagenase and Anti-elastase Activities of *Phyllanthus emblica*, *Manilkara zapota*, and Silymarin: An *In Vitro* Comparative Study for Anti-aging Applications. *Pharmaceutical Biology*. 1-8.
- Prasonto Prasonto, D., Riyanti, E., & Gartika, M. 2017. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Bawang Putih (*Allium sativum*). *Odonto Dental Journal*. 4 (2):122-128.
- Putri, A. I., Sundaryono, A., & Candra, I. N. 2018. Karakterisasi Nanopartikel Kitosan Ekstrak Daun Ubi Jalar (*Ipomea batatas* L.) menggunakan Metode Gelasi Ionik. *Alotrop Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 2 (2):203-207.
- Rades, S., Hodoroaba, V. D., Salge, T., Wirth, T., Lobera, M. P., Labrador, R. H., Natte, K., Behnke, T., Gross, T., & Unger, W. E. S. 2014. High-Resolution Imaging with SEM/T-SEM, EDX, and SAM as a Combined Methodical Approach for Morphological and Elemental Analyses of Single Engineered Nanoparticles. *Royal Society of Chemistry*. 4:49577-49587.
- Rahmawan, J. B. P. & Dwiatmaka, Y. 2013. Penetapan Kandungan Fenolat Total dan Uji Aktivitas Antioksidan Menggunakan Radikal DPPH Fraksi Etil Asetat Sari Buah Apel Beludru (*Diospyros blancoi* A. DC.). *Jurnal Farmasi Sains dan Komunitas*. 10 (2):101-110.
- Rahmawati, Muflihunna, A., & Sarif L. M. 2015. Analisis Aktivitas Antioksidan Produk Sirup Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) dengan Metode DPPH. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*. 2 (2):97-101.
- Raj, S., Jose, S., Sumod, U. S., & Sabitha M. 2012. Nanotechnology in Cosmetics: Opportunities and Challenges. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. 4 (3):186-194.
- Rajivgandhi, G. N., Raachandran, G., Maruthupandy, M., Manoharan, N., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Khaled, J. M., Almanaa, T. N., & Li, W. J. 2020. Antioxidant, Anti-bacterial, and Anti-biofilm Activity of Biosynthesized Silver Nanoparticles using *Gracilaria corticata* Against Biofilm Producing *K. pneumoniae*. *Colloid and Surfaces A*. 600:1-15.

- Rinnerthaler, M., Bischof, J., Streubel, M. K., & Trost, A. 2015. Oxidative Stress in Aging Human Skin. *Biomolecules*. 5:545-589.
- Rossidi, I. 2014. *Fenomena Flora dan Fauna dalam Al-Qur'an*. Malang: UIN-Maliki Press.
- Salem, M. A., Rasha, A. R., Eman, S. M., Saleh, A., Alisdair, R. F., & Shahira, M. E. 2020. Using an UPLC/MS-based Untargeted Metabolomics Approach for Assessing the Antioxidant Capacity and Anti-Aging Potential of Selected Herbs. *Royal Society of Chemistry*. 10:31511-31524.
- Santos, A. C., Morais, F., Simoes, A., Pereira, I., Sequeira, J. A. D., Silva, M. P., Veiga, F., & Ribeiro, A. 2019. Nanotechnology for the Development of New Cosmetic Formulation. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 16 (4):313-330.
- Sari, B. L., Susanti, N., & Sutanto. 2015. Skrining Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan Fraksi Etanol Alga Merah *Eucheuma spinosum*. *Pharmaceutical Sciences and Research*. 2 (2):59-67.
- Setyawati, E., Rahayu, C. K., & Haryanto, E. 2019. Korelasi Kadar Likopen dengan Aktivitas Antioksidan pada Buah Semangka (*Citrullus lanatus*) dan Tomat (*Lycopersicum esculentum*). *Analisis Kesehatan Sains*. 8 (2): 717-724.
- Setyorini, H. B. & Puspitasari, A. 2021. Aktivitas Antioksidan Berbagai Jenis Makroalga di Pantai Sepanjang, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 17 (2):130-137.
- Shah, M., Nawaz, S., Jan, H., Uddin, N., Ali, A., Anjum, S., Guivarch, N. G., Hano, C., & Abbasi, B. H. 2020. Synthesis of Bio-mediated Silver Nanoparticles from *Silybum marianum* and their Biological and Clinical Activities. *Materials Science & Engineering C*. 112:1-14.
- Shaikh, W. A., Chakraborty, S., Owens, G., & Islam, R. U. 2021. A Review of the Phytochemical Mediated Synthesis of AgNP (Silver Nanoparticle): the Wonder Particle of the Past Decade. *Applied Nanoscience*. 11:2625-2660.
- Sharma, P., Pant, S., Rai, S., Yadav, R. B., & Dave, V. 2018. Green Synthesis of Silver Nanoparticle Capped with *Allium cepa* and Their Catalytic Reduction of Textile Dyes: An Ecofriendly Approach. *Journal of Polymers and the Environment*. 26:1795-1803.
- Shi, L., Ermis, R., Garcia, A., Telgenhoff, D., & Aust, D. 2010. Degradation of Human Collagen Isoforms by *Clostridium* Collagenase and The Effects of Degradation Products on Cell Migration. *International Wound Journal*. 7 (2):87-95
- Shihab, M. Q. 2002. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an Volume 5*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. 2002. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an Volume 10*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. 2002. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an Volume 11*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. 2002. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an Volume 15*. Jakarta: Lentera Hati.
- Silva, S. A. M., Leonardi, G. R., & Kohn, B. M. 2017. An Overview about Oxidation in Clinical Practice of Skin Aging. *Anais Brasileiros de Dermatologia*. 2017. 92 (3):367-374.

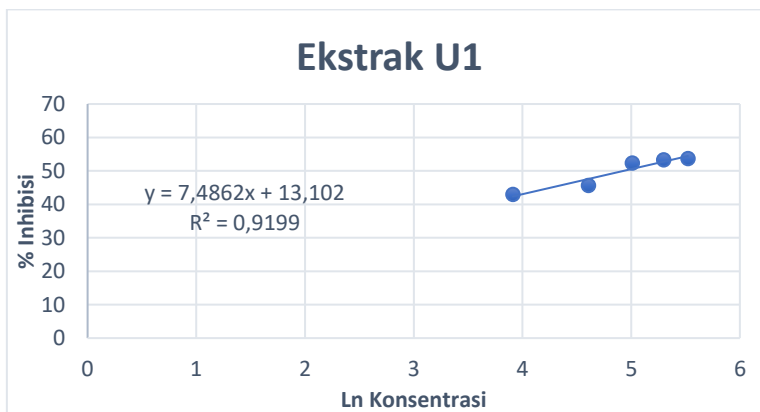
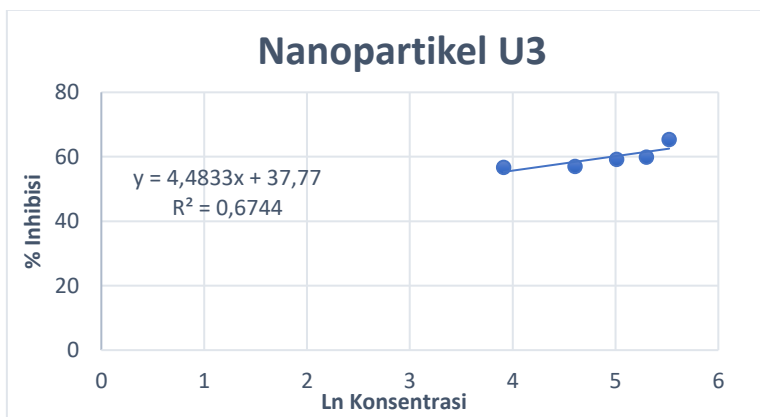
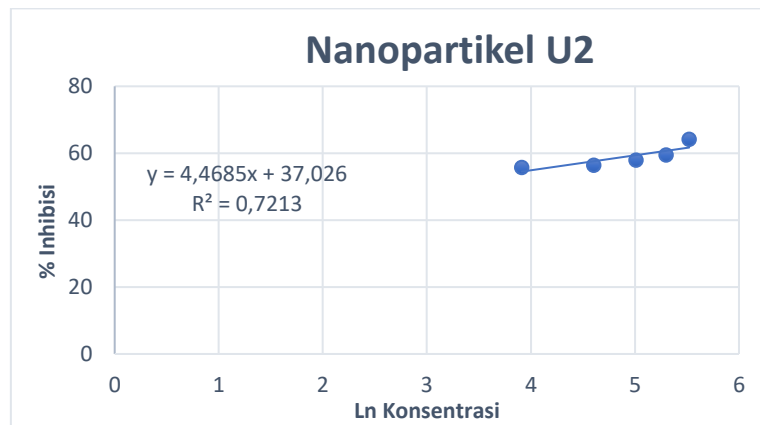
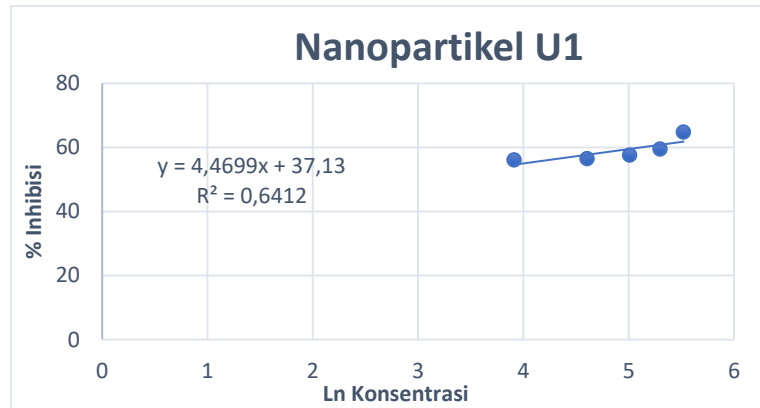
- Sim, G. B., Lee, B. C., Cho, H. S., Lee, J. W., Kim, J. H., Lee, D. H., Kim, J. H., Pyo, H. B., Moon, D. C., Oh, K. W., Yun, Y. P., & Hong, J. T. 2007. Structure Activity Relationship of Antioxidative Property of Flavonoids and Inhibitory Effect on Matrix Metalloproteinase Activity in UVA-Irradiated Human Dermal Fibroblast. *Archives of Pharmacal Research*. 30 (3):290-298.
- Slimen, I. B., Najar, T., Ghram, A., Dabbebi, H., Mrad, M. B., & Abdrabbah, M. 2014. Reactive Oxygen Species, Heat Stress and Oxidative-induced Mitochondrial Damage A Review. *International Journal of Hyperthermia*. 30 (7):513-523.
- Sonani, R. R., Rastogi, R. P., & Madamwar, D. 2015. Antioxidant Potential of Phycobiliproteins: Role in Anti-Aging Research. *Biochemistry & Analitical Biochemistry*. 4 (2): 1-8.
- Sutjiatmo, A. B., Novi, E., Tira, E. M., Faizal, H., Elin, Y. S., Hanna, S. W. K., Rizal, R., & Wahyu, W. 2020. Antioxidant and Antiaging Assays of *Ageratum conyzoides* Ethanolic Extract. *Pharmaceutical Sciences and Research*. 7 (3):145-142.
- Taba, P., Parmitha, N. Y., & Kasim, S. 2019. Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivitasnya sebagai Antioksidan. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 7 (1):51-60.
- Tanur, E., Lister, I. N. E., Fachrial, E., & Girsang, E. 2020. Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) and Inhibition of Collagenase Enzyme Activity from Ethanol Extract of Pineapple (*Ananas cosmos* (L.) Merr) Core. *American Scientific Journal for Engineering, Technology, and Sciences*. 70 (1):99-105.
- Umbarani, E. M. & Agus, F. 2021. Konsep Mempercantik Diri dalam Perspektif Islam dan Sains. *Dinamika Sosial Budaya*. 23 (1):115-125.
- Vijayakumar, R., Gani, S. S. A., & Mokhtar, N. F. 2017. Anti-elastase, Anti-collagenase, and Antimicrobial Activities of the Underutilized Red Pitaya Peel: An In Vitro Study for Anti-aging Applications. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinica Research*. 10 (8):251-255.
- Vladar, A. E. & Hodoroba, V. D. 2020. Characterization of Nanoparticles by Scanning Electron Microscopy. *Characterization of Nanoparticles*. 7-27.
- Wahab, A. W., Karim, A., La Nafie, N., Nurafni, & Sutapa, I. W. 2018. Synthesis of Silver Nanoparticles using *Muntingia calabura* L. Extract as Bioreduktor and Applied as Glucose Nanosensor. *Oriental Journal of Chemistry*. 34 (6):3088-3094.
- Werdhasari, A. 2014. Peran Antioksidan bagi Kesehatan. *Jurnal Biotek Medisiana Indonesia*. 3 (2):59-68.
- Werner, A. & Dring, M. 2011. *Aquaculture Explained Cultivating No. 27 Palmaria palmata*. Board Iascaigh Mhara.
- Yap, Y. H., Azmi, A. A., Mohd, N. K., Yong, F. S. J., Kan, S. Y., Thirmizir, M. Z. A., & Chia, P. W. 2020. Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Water Extract of Onion Peel and Application in the Acetylation Reaction. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 45:4797-4807.
- Younis, I. Y., El-Hawary, S. S., Eldahshan, O. A., Aziz, M. M. A., & Ali, Z. Y. 2021. Green Synthesis of Magnesium Nanoparticles Mediated from *Rosa floribunda* Charisma Extract and its Antioxidant, Antiaging, and Antibiofilm Activities. *Scientific Reports*. 11:1-15.

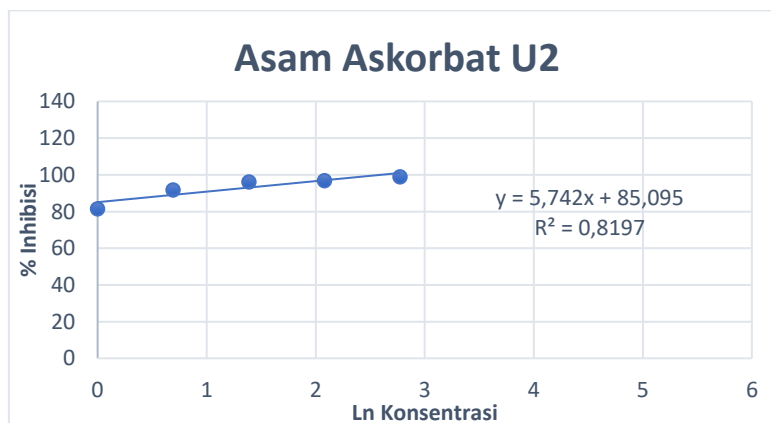
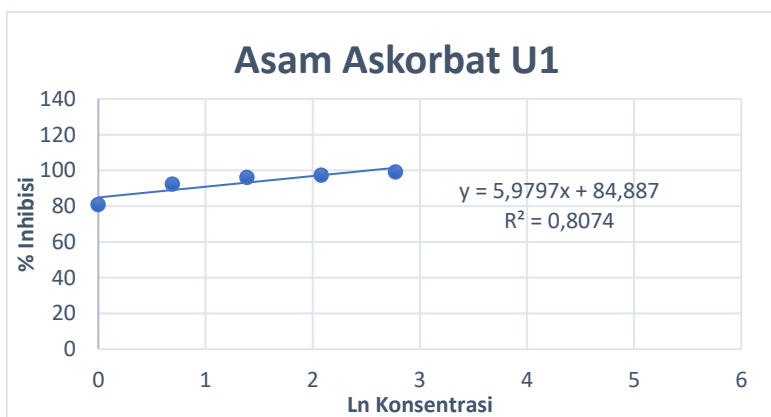
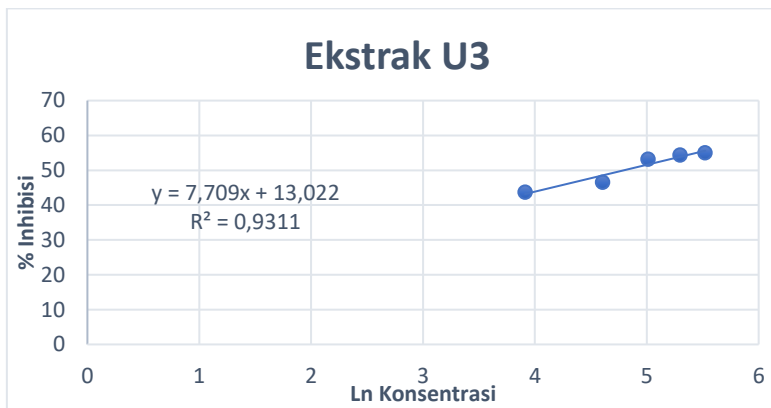
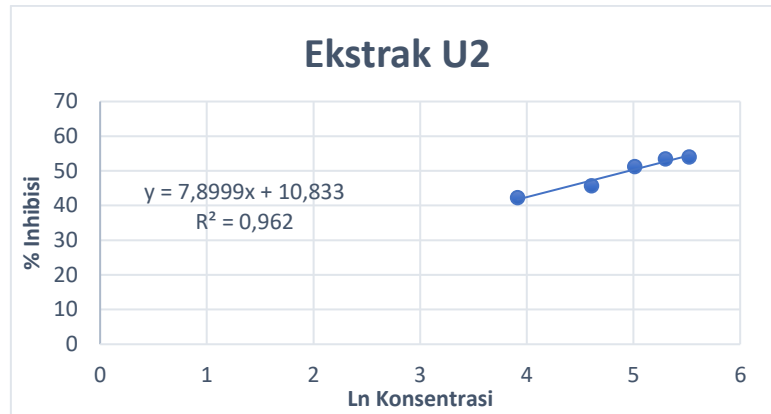
- Zakiah, K., Anwar, E., & Nurhayati, T. 2018. In-vitro Evaluation of Antioxidant Activity and Anti-collagenase Activity of *Thalassia hempricii* as a Potent Ingredients for Anti-Wrinkle Cosmetics. *Pharmacognosy Journal*. 10 (4): 778-782.
- Zhang, S. & Duan, E. 2018. Fighting Against Skin Aging: The Way from Bench to Bedside. *Cell Transplantation*. 27 (5):729-738.
- Zhang, Y. Z., Ran, L. Y., Li, C. Y., & Chen, X. L. 2015. Diversity, Structures, and Collagen-Degrading Mechanisms of Bacterial Collagenolytic Proteases: an Overview. *Applied and Environmental Microbiology*. 1-30.
- Zouboulis, C. C., Ganceviciene, R., Liakou, A. I., Theodoridis, A., Elewa, R., & Makrantonaki, E. 2019. Aesthetic Aspect of Skin Aging, Prevention, and Local Treatment. *Clinics in Dermatology*. 37:365-372.

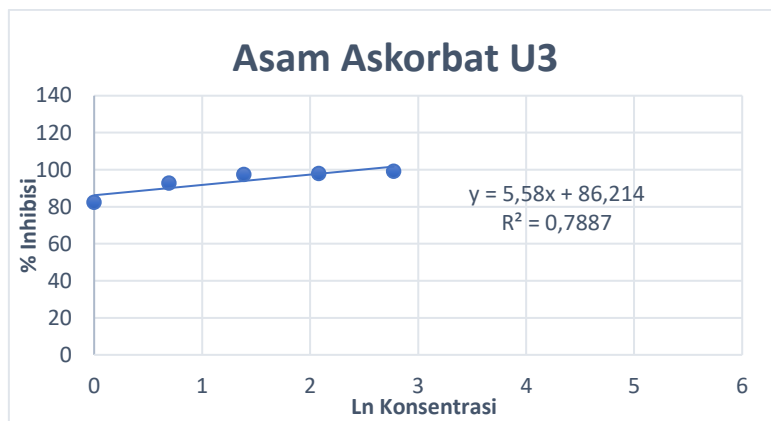
LAMPIRAN

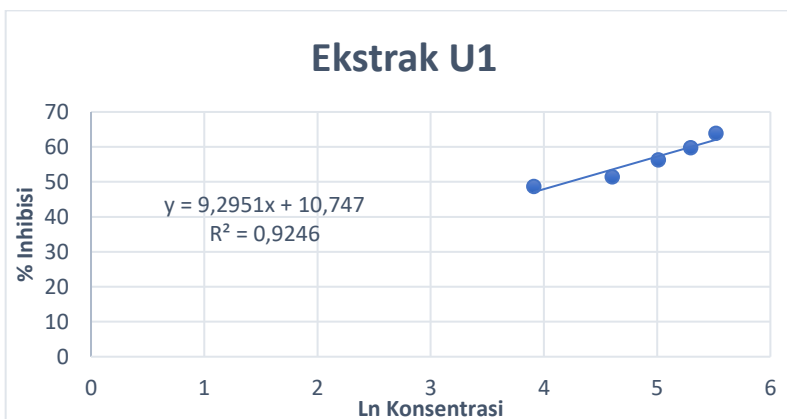
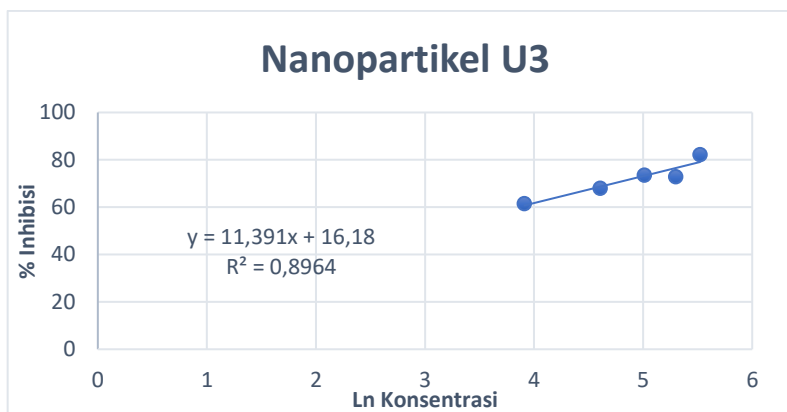
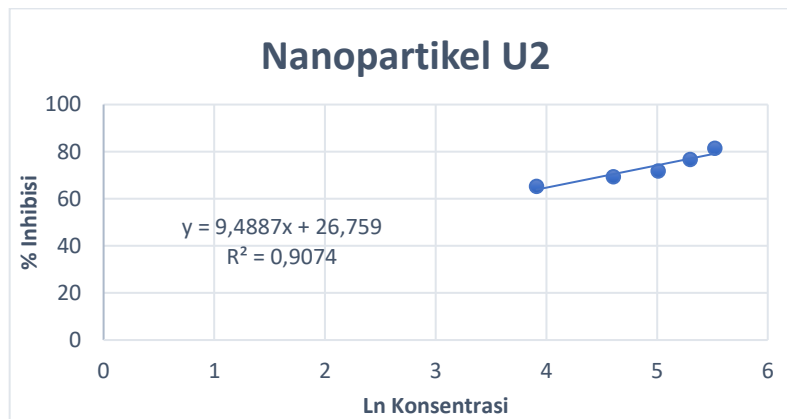
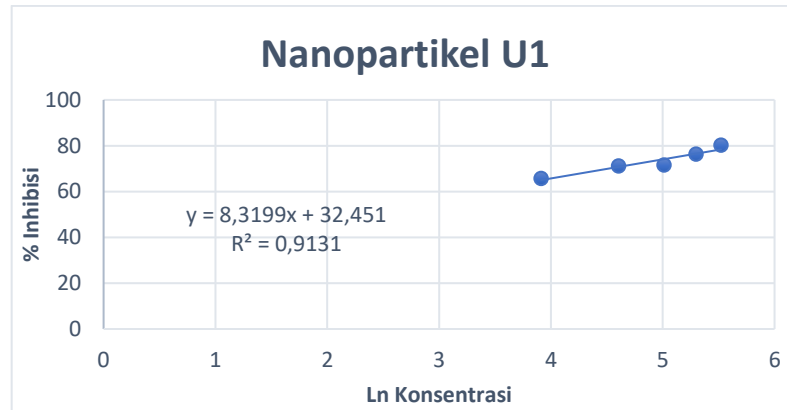
Lampiran 1. Penghitungan IC₅₀ aktivitas antioksidan AgNP *Palmaria palmata* menggunakan *Microsoft Excel 2013*

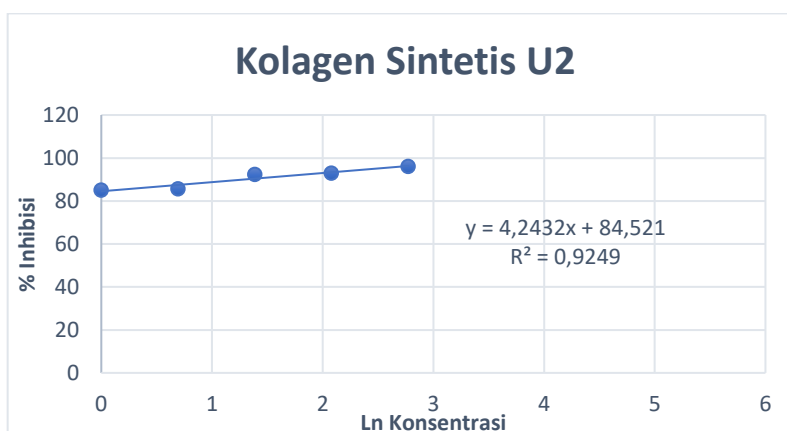
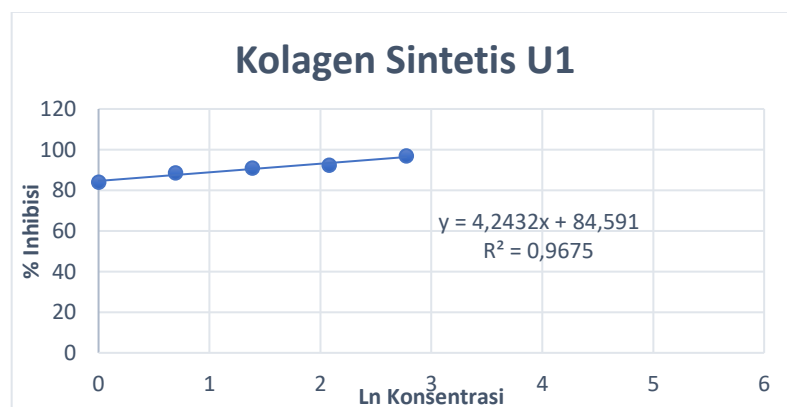
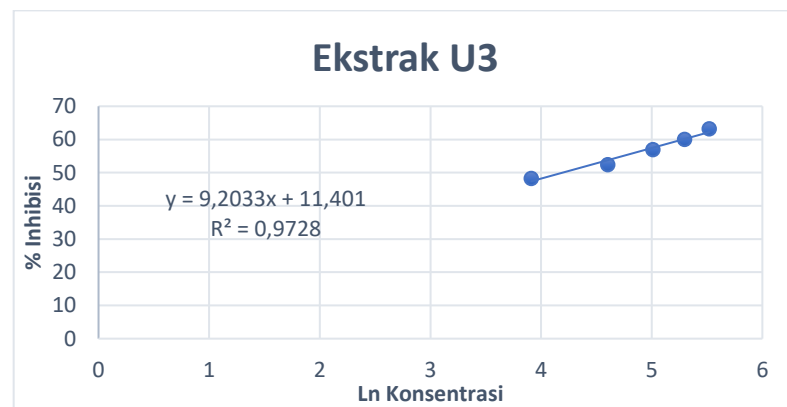
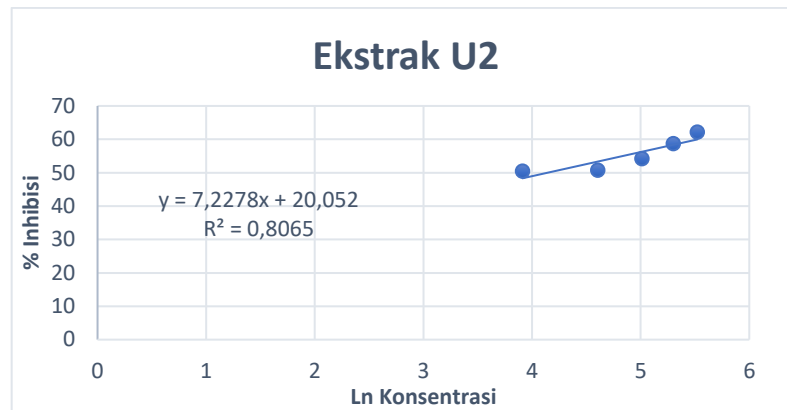
SAMPSEL	KONSENTRASI	LN KONSENTRASI	ULANGAN			ABSORBANSI SAMPSEL			% INHIBISI			IC50			RATA- RATA IC50	SD	IC50±SD	KATEGORI
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Nanopartikel	50	3,912	0,496	0,499	0,497	0,485	0,488	0,478	56,109	55,757	56,703	17,8011	18,2367	15,3007	17,1128	1,5844	17,1128±1,5844	SANGAT KUAT
	100	4,605	0,492	0,491	0,494	0,481	0,480	0,475	56,471	56,482	56,975							
	150	5,011	0,479	0,474	0,470	0,468	0,463	0,451	57,647	58,024	59,149							
	200	5,298	0,459	0,458	0,462	0,448	0,447	0,443	59,457	59,474	59,873							
	250	5,521	0,400	0,406	0,402	0,389	0,395	0,383	64,796	64,189	65,308							
Ekstrak	50	3,912	0,642	0,648	0,640	0,631	0,637	0,621	42,896	42,248	43,750	138,2139	142,2962	121,1139	133,8747	11,23807	133,8747±11,23807	SEDANG
	100	4,605	0,612	0,610	0,609	0,601	0,599	0,590	45,611	45,694	46,558							
	150	5,011	0,538	0,549	0,536	0,527	0,538	0,517	52,308	51,224	53,170							
	200	5,298	0,527	0,525	0,523	0,516	0,514	0,504	53,303	53,400	54,348							
	250	5,521	0,523	0,519	0,516	0,512	0,508	0,497	53,665	53,944	54,982							
Asam Askorbat	1	0	0,222	0,215	0,213	0,211	0,204	0,194	80,905	81,505	82,428	0,0029	0,0022	0,0015	0,0022	0,0007	0,0022±0,0007	SANGAT KUAT
	2	0,693	0,095	0,101	0,099	0,084	0,090	0,080	92,398	91,840	92,754							
	4	1,386	0,054	0,053	0,047	0,043	0,042	0,028	96,109	96,192	97,464							
	8	2,079	0,041	0,046	0,042	0,030	0,035	0,023	97,285	96,827	97,917							
	16	2,773	0,020	0,023	0,028	0,009	0,012	0,009	99,186	98,912	99,185							

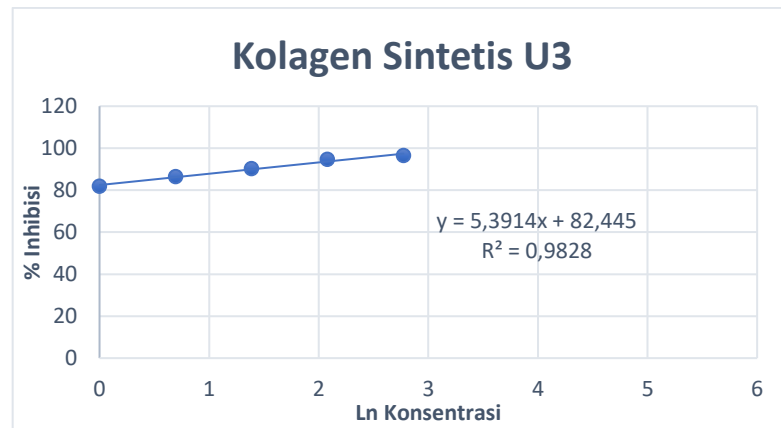












Lampiran 3. Penghitungan Konsentrasi Bahan

1) Konsentrasi Larutan AgNO₃ 1 mM

Diketahui: Berat molekul AgNO₃ = 169,87

Volume yang dibutuhkan (V) = 100 ml

Konsentrasi yang dibutuhkan (mM) = 1 mM

Ditanya: Massa AgNO₃ (mg)

$$\text{Jawab: } 1 \text{ mM} = \frac{\text{Massa AgNO}_3}{\text{BM AgNO}_3} \times \frac{1000}{V}$$

$$1 \text{ mM} = \frac{X \text{ (mg)}}{169,87} \times \frac{1000}{100} = 16,987 \text{ mg}$$

2) Konsentrasi Larutan DPPH 0,2 Mm

Diketahui: Berat molekul DPPH = 394,32

Volume yang dibutuhkan (V) = 50 ml

Konsentrasi yang dibutuhkan (Mm) = 0,2 Mm

Ditanya: Massa DPPH (mg)

$$\text{Jawab: } 0,2 \text{ mM} = \frac{\text{Massa DPPH}}{\text{BM DPPH}} \times \frac{1000}{V}$$

$$0,2 \text{ mM} = \frac{X \text{ (mg)}}{394,32} \times \frac{1000}{50} = 3,94 \text{ mg}$$

3) Konsentrasi Larutan Buffer Tris-HCl 0,1 M

Diketahui: Berat molekul buffer Tris-HCl = 157,56

Volume yang dibutuhkan (V) = 2 ml

Konsentrasi yang dibutuhkan (M) = 0,1 M

Ditanya: Massa buffer Tris-HCl (g)

$$\text{Jawab: } 0,1 \text{ M} = \frac{\text{Massa buffer Tris-HCl}}{\text{BM buffer Tris-HCl}} \times \frac{1000}{V}$$

$$0,1 M = \frac{X (g)}{157,56} \times \frac{1000}{2} = 0,03 g$$

- 4) Konsentrasi Larutan TCA 0,2 M

Diketahui: Berat molekul TCA = 163,38

Volume yang dibutuhkan (V) = 30 ml

Konsentrasi yang dibutuhkan (M) = 0,2 M

Ditanya: Massa TCA (g)

$$\text{Jawab: } 0,2 M = \frac{\text{Massa TCA}}{\text{BM TCA}} \times \frac{1000}{V}$$

$$0,2 M = \frac{X (g)}{163,38} \times \frac{1000}{30} = 0,98028 g$$

- 5) Enzim dilarutkan sebanyak 1 mg dalam 10 ml akuades
- 6) Substrat dilarutkan sebanyak 7 mg dalam 7 ml akuades

Lampiran 4. Penghitungan Pengenceran Asam Askorbat dan Kolagen Sintetis

1) Rumus Pelarutan Asam Askorbat dan Kolagen Sintetis

Diketahui: Konsentrasi stok yang dibutuhkan = 20 ppm

Volume larutan yang dibutuhkan = 20 ml

Ditanya: Massa asam askorbat dan kolagen sintetis (mg)

Jawab: $ppm = \frac{mg}{L}$

$$mg = ppm \times L = 20 \times 0,02 = 0,4 \text{ mg}$$

2) Rumus Pengenceran

a. Pengenceran konsentrasi 1 ppm dalam 1 ml

$$M1.V1 = M2.V2$$

$$20.V1 = 1.1$$

$$V1 = 0,05 \text{ ml atau } 50 \text{ } \mu\text{l}$$

b. Pengenceran konsentrasi 2 ppm dalam 1 ml

$$M1.V1 = M2.V2$$

$$20.V1 = 2.1$$

$$V1 = 0,1 \text{ ml atau } 100 \text{ } \mu\text{l}$$

c. Pengenceran konsentrasi 4 ppm dalam 1 ml

$$M1.V1 = M2.V2$$

$$20.V1 = 4.1$$

$$V1 = 0,2 \text{ ml atau } 200 \text{ } \mu\text{l}$$

d. Pengenceran konsentrasi 8 ppm dalam 1 ml

$$M1.V1 = M2.V2$$

$$20.V1 = 8.1$$

$$V1 = 0,4 \text{ ml atau } 400 \text{ } \mu\text{l}$$

- e. Pengenceran konsentrasi 16 ppm dalam 1 ml

$$M1.V1 = M2.V2$$

$$20.V1 = 16.1$$

$$V1 = 0,8 \text{ ml atau } 800 \mu\text{l}$$

Lampiran 5. Penghitungan Konsentrasi Larutan Nanopartikel dan Ekstrak

- 1) Pengenceran konsentrasi 50 ppm dalam 5 ml

$$ppm = \frac{mg}{L}$$

$$mg = ppm \times L = 50 \times 0,005 = 0,25 \text{ mg}$$

- 2) Pengenceran konsentrasi 100 ppm dalam 5 ml

$$ppm = \frac{mg}{L}$$

$$mg = ppm \times L = 100 \times 0,005 = 0,5 \text{ mg}$$

- 3) Pengenceran konsentrasi 150 ppm dalam 5 ml

$$ppm = \frac{mg}{L}$$

$$mg = ppm \times L = 150 \times 0,005 = 0,75 \text{ mg}$$

- 4) Pengenceran konsentrasi 200 ppm dalam 5 ml

$$ppm = \frac{mg}{L}$$

$$mg = ppm \times L = 200 \times 0,005 = 1 \text{ mg}$$

- 5) Pengenceran konsentrasi 250 ppm dalam 5 ml

$$ppm = \frac{mg}{L}$$

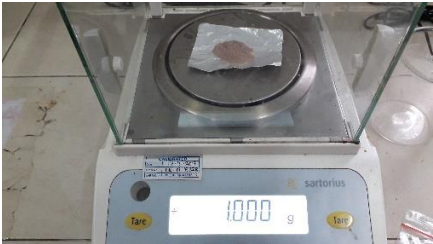
$$mg = ppm \times L = 250 \times 0,005 = 1,25 \text{ mg}$$

Lampiran 6. Kurva Panjang Gelombang Maksimum DPPH

Lampiran 7. Analisis korelasi Pearson aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase menggunakan SPSS

Correlations			
		Antioksidan	Enzim Kolagenase
Antioksidan	Pearson Correlation	1	.940*
	Sig. (2-tailed)		.017
	N	5	5
Enzim Kolagenase	Pearson Correlation	.940*	1
	Sig. (2-tailed)	.017	
	N	5	5
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).			

Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian

Gambar	Keterangan
	Pengayakan serbuk simplisia <i>Palmaria palmata</i> menggunakan ayakan mesh 100
	Hasil serbuk setelah diayak
	Penimbangan simplisia serbuk untuk sintesis nanopartikel

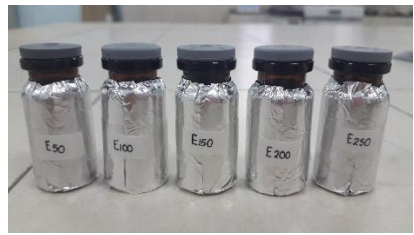
	Pelarutan AgNO_3 dalam akuades
	Pencampuran serbuk simplisia <i>Palmaria palmata</i> dengan larutan AgNO_3 1 mM
	Homogenisasi campuran larutan AgNO_3 dan serbuk simplisia <i>Palmaria palmata</i> menggunakan stirer dalam suhu ruang (28°C) dengan kecepatan 400 rpm selama 4 jam, kemudian diinkubasi selama 1 jam
	Warna larutan AgNP <i>Palmaria palmata</i> sebelum dihomogenisasi dan diinkubasi

	Warna larutan AgNP <i>Palmaria palmata</i> setelah dihomogenisasi dan diinkubasi
	Penyaringan larutan AgNP <i>Palmaria palmata</i> setelah homogenisasi
	Larutan yang telah disaring diletakkan pada tabung <i>centrifuge</i> 15 ml untuk disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm pada suhu 20°C selama 30 menit
	Supernatan dipisahkan dari pelet

	Pelet dikeringkan dengan oven pada suhu 45°C selama 24 jam
	Hasil AgNP <i>Palmaria palmata</i> setelah dikeringkan
	AgNP <i>Palmaria palmata</i> yang telah kering dihaluskan dengan mortal dan pistil



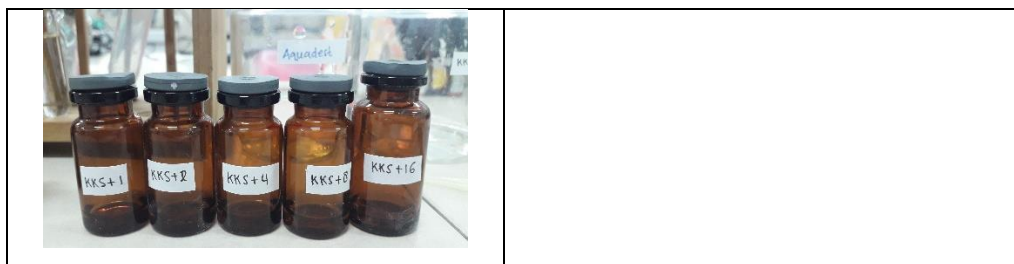
Hasil AgNP *Palmaria palmata* setelah dihaluskan



Uji aktivitas antioksidan



Uji penghambatan enzim kolagenase



Lampiran 9. Bukti Konsultasi

6/6/22, 7:43 AM

https://siakad.uin-malang.ac.id/jurusan/print_jurnal_bimbingan_tugas_akhir.php?397f9cd22f4d5d5749a5ac4703cea0056


KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
 Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533
 Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 18620062
 Nama : HAFIDAH NAZLATUL AULIYAH
 Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
 Jurusan : BIOLOGI
 Dosen Pembimbing 1 : Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.
 Dosen Pembimbing 2 : Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I
 Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Uji Aktivitas Antioksidan dan Penghambatan Enzim Kolagenase Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria palmata*

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	2021-06-30	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Pengajuan Judul	2021/2022 Ganjil	Sudah Dikoreksi
2	2021-11-23	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Konsultasi proposal skripsi bab 1-3	2021/2022 Ganjil	Sudah Dikoreksi
3	2021-12-02	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Konsultasi proposal skripsi bab 1-3 (revisi 1)	2021/2022 Ganjil	Sudah Dikoreksi
4	2021-12-06	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I	Konsultasi integrasi Sains dan Islam. Acc	2021/2022 Ganjil	Sudah Dikoreksi
5	2021-12-08	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Konsultasi proposal skripsi bab 1-3 (revisi 2) dan ACC untuk sempro	2021/2022 Ganjil	Sudah Dikoreksi
6	2022-04-11	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Konsultasi hasil uji PSA dan SEM	2021/2022 Genap	Sudah Dikoreksi
7	2022-05-17	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Konsultasi hasil analisis data aktivitas antioksidan dan penghambatan enzim kolagenase	2021/2022 Genap	Sudah Dikoreksi
8	2022-05-30	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I	Konsultasi integrasi sains dan Islam bab 4 serta ACC ujian skripsi	2021/2022 Genap	Sudah Dikoreksi
9	2022-05-31	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Konsultasi naskah skripsi bab 4	2021/2022 Genap	Sudah Dikoreksi
10	2022-06-03	Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Konsultasi revisi bab 4 dan ACC untuk ujian skripsi	2021/2022 Genap	Sudah Dikoreksi

https://siakad.uin-malang.ac.id/jurusan/print_jurnal_bimbingan_tugas_akhir.php?397f9cd22f4d5d5749a5ac4703cea0056

1/2

6/6/22, 7:43 AM

https://siakad.uin-malang.ac.id/jurusan/print_jurnal_bimbingan_tugas_akhir.php?397f9cd22fd5d5749a5ac4703cea0056

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Malang : 06 Juni 2022
Dosen Pembimbing 1

Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I

Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.



Dikur Y Kaprodi,

Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.

Lampiran 10. Bukti Cek Plagiasi



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: biologi@uinmalang.ac.id

Form Checklist Plagiasi

Nama : Hafidah Nazlatul Auliyah

NIM : 18620062

Judul : Karakterisasi Morfologi dan Biokimia Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah *Palmaria palmata*

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si	256	
4	Dr. Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD. Med. Sc		

Mengerahui,
Ketua Program Studi Biologi

Dr. Erika Sandi Savitri, M. P
NIP. 19741018 200312 2 002