

**SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN  
MINYAK SERAI WANGI (*CYMBOPOGON NARDUS L.  
RENDLE*) UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN  
LICHEN PADA BATUAN CANDI**

***SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING  
CITRONELLA OIL (*CYMBOPOGON NARDUS L. RENDLE*) TO  
INHIBIT THE GROWTH OF LICHEN ON TEMPLE STONES***

**TESIS**



**MEIKE MULWANDARI  
NIM: 19923006**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2022**

**SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN  
MINYAK SERAI WANGI (*CYMBOPOGON NARDUS L.  
RENDLE*) UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN  
LICHEN PADA BATUAN CANDI**

***SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING  
CITRONELLA OIL (*CYMBOPOGON NARDUS L. RENDLE*) TO  
INHIBIT THE GROWTH OF LICHEN ON TEMPLE STONES***

**TESIS**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Magister Sains (M.Si)  
Program Studi Magister Kimia, Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta



**Diajukan oleh:**

**MEIKE MULWANDARI  
NIM: 19923006**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2022**

## SURAT PERNYATAAN

Nama : Meike Mulwandari  
Tempat dan tanggal lahir : Pekanbaru, 30 Mei 1997  
Nomor Induk Mahasiswa : 19923006  
Konsentrasi : Material untuk Energi & Lingkungan  
Judul tesis : SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK  
MENGUNAKAN MINYAK SERAI WANGI  
(*CYMBOPOGON NARDUS L. RENDLE*) UNTUK  
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN *LICHEN*  
PADA BATUAN CANDI

Menyatakan bahwa tesis ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa tesis ini adalah hasil plagiasi, maka saya siap untuk dicabut gelar magister yang dianugerahkan dan mendapatkan sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, 14 Februari 2022



Meike Mulwandari

**HALAMAN PENGESAHAN TESIS**

**Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Minyak Serai Wangi  
(*Cymbopogon Nardus L. Rendle*) Untuk Menghambat Pertumbuhan *Lichen*  
Pada Batuan Candi**

**TESIS**

**Diajukan oleh:**

**MEIKE MULWANDARI**

**NIM: 19923006**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Tesis

Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 2 Februari 2022

Dewan Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Riyanto S.Pd., M.Si., Ph.D.**



2. **Nahar Cahyandaru, S.Si., M.A.**



3. **Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.**



4. **Dr. Dwiwarso Rubiyanto, S.Si., M.Si.**



**Mengetahui**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Islam Indonesia**



**Prof. Riyanto S.Pd., M.Si., Ph.D**

## ABSTRAK

### **Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Minyak Serai Wangi (*Cymbopogon Nardus L. Rendle*) Untuk Menghambat Pertumbuhan *Lichen* Pada Batuan Candi**

Meike Mulwandari

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel perak menggunakan minyak atsiri serai wangi (*Cymbopogon nardus L. Rendle*) sebagai biopestisida untuk menghambat pertumbuhan *lichen* pada batuan candi. Pembuatan nanopartikel dilakukan dengan menambahkan padatan AgNO<sub>3</sub> langsung ke minyak serai wangi. Penelitian EO-AgNPs yang dilakukan yaitu pengaruh variasi waktu penyimpanan terhadap stabilitas bahan, konsentrasi AgNO<sub>3</sub>, pengaruh penambahan surfaktan dan polimer serta variasi konsentrasi minyak serai wangi yang digunakan. Bahan hasil sintesis dikarakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis, FTIR, PSA dan SEM-EDX. Bahan yang disintesis diuji efektivitasnya secara langsung pada batu dan diukur daya hambatnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa EO-AgNPs telah berhasil disintesis, ditunjukkan dengan larutan berwarna coklat tua pada rentang panjang gelombang 416-430 nm. Hasil analisis konsentrasi AgNO<sub>3</sub> menggunakan PSA dan SEM-EDX menunjukkan bahwa EO-AgNPs memiliki ukuran partikel 332 nm dan berbentuk bulat dengan kandungan unsur Ag, C, O masing-masing 75,94;17,97 dan 6,09%. Hasil analisis penambahan surfaktan Tween 80 dan PEG 400 menggunakan PSA dan SEM-EDX menunjukkan bahwa EO-AgNPs memiliki ukuran partikel 196,2 dan 245 nm dengan bentuk tidak teratur dan bulat dengan kandungan Ag, O, N, C masing-masing 46,03;40,81;10,81;2,28% dan 46,03;40,81;11,50;1,65%. Hasil analisis variasi konsentrasi minyak serai wangi 10 mM, 5 mM, 3,3 mM, 2,5 mM, 2,0 mM dan 1,6 mM menggunakan PSA dan SEM-EDX menunjukkan bahwa EO-AgNPs memiliki ukuran partikel 196,2;101,4;72,5;51,5;71,7;78,9 nm dengan morfologi tidak beraturan dan bulat. Hasil pengamatan EO-AgNPs dapat membunuh *lichen* pada permukaan batu. Selain itu, EO-AgNPs juga memiliki daya hambat yang lebih baik terhadap *lichen* daripada EO.

**Kata kunci:** minyak serai wangi, nanopartikel perak, biopestisida, lumut (*lichen*)

## ABSTRACT

### *Synthesis Of Silver Nanoparticles Using Citronella Oil (Cymbopogon Nardus L. Rendle) To Inhibit The Growth Of Lichen On Temple Stones*

Meike Mulwandari

This study aims to synthesize silver nanoparticles using citronella (*Cymbopogon nardus L. Rendle*) essential oil as a biopesticide to inhibit the growth of lichens on temple stones. The manufacture of EO-AgNPs nanoparticles was carried out by adding solid AgNO<sub>3</sub> directly to citronella oil. The research EO-AgNPs was carried out, namely the effect of variations in storage time on the stability of the material, the concentration of AgNO<sub>3</sub>, the effect of adding surfactants and polymers as well as variations concentration of citronella oil used. The synthesized materials were characterized by UV-Vis Spectrophotometer, FTIR, PSA and SEM-EDX. The synthesized materials were tested for their effectiveness directly on the stone and their resistance was measured. The results showed that EO-AgNPs had been successfully synthesized, indicated by a dark brown solution in the wavelength range of 416-430 nm. The results of the analysis of the heavy concentration of AgNO<sub>3</sub> using PSA and SEM-EDX showed that the EO-AgNPs had a particle size of 332 nm and were spherical in shape with Ag, C, O content of 75,94; 17,97 and 6,09%, respectively. The results of the analysis of the addition of surfactants Tween 80 and PEG 400 using PSA and SEM-EDX showed that EO-AgNPs had particle sizes of 196,2 and 245 nm with irregular and spherical shapes with Ag, O, N, C content of 46,03;40,81;10,81;2,28%, respectively and 46,03;40,81;11,50;1,65%. The results of the analysis variations concentration of citronella oil 10 mM, 5 mM, 3,3 mM, 2,5 mM, 2,0 mM dan 1,6 mM using PSA and SEM-EDX showed that EO-AgNPs had particle sizes of 196,2;101,4;72,5; 51,5;71,7;78,9 nm with irregular and spherical morphology. It was observed that EO-AgNPs can kill lichen on stone surfaces. In addition, EO-AgNPs also had better inhibition against lichen than EO.

**Keywords:** *citronella oil, silver nanoparticles, biopesticide, lichen*

## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Tidak lupa sholawat serta salam penulis haturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW dan sahabat-sahabatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik guna untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Magister Sains (M.Si) Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta dengan judul “Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Minyak Serai Wangi (*Cymbopogon Nardus L. Rendle*) Untuk Menghambat Pertumbuhan *Lichen* Pada Batuan Candi”. Selama penyusunan Tesis ini, penulis menyadari bahwa Tesis ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa saran, kritik, bimbingan maupun masukan lainnya. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT serta Nabi Muhammad SAW dan para pengikutnya yang telah memberikan kemudahan dalam penyusunan laporan penelitian tesis.
2. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia serta Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis selama melakukan perencanaan penelitian dan penulisan tesis.
3. Nahar Cahyandaru, S.Si., M.A., selaku Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis selama melakukan perencanaan penelitian dan penulisan tesis.
4. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua atas do’a, kasih sayang serta kepercayaan dan dukungannya.

6. Semua pihak yang telah membantu sehingga Tesis ini dapat terselesaikan dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kelengkapan dan kesempurnaan Tesis ini. Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Aamiin.

Yogyakarta, 9 Februari 2022

Penulis

MEIKE MULWANDARI



## DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PENGESAHAN TESIS .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1    Latar Belakang .....	1
I.2    Rumusan Masalah .....	4
I.3    Tujuan Penelitian.....	5
I.4    Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN PERUMUSAN HIPOTESIS .....	6
II.1    Kajian Peneliti Terdahulu.....	6
II.1.1    Isolasi Minyak Atsiri.....	6
II.1.2    Sintesis Nanopartikel dengan Ekstrak Tumbuhan .....	9
II.1.3    Sintesis Nanopartikel berbasis Minyak Atsiri.....	12
II.1.4    Nanopartikel sebagai Antimikroba .....	15
II.2    Landasan Teori/Kerangka Teori.....	18
II.2.1    Minyak Serai Wangi .....	18
II.2.2    Nanopartikel.....	22
II.2.3    Perak (Ag).....	25
II.2.4    Tween 80.....	26
II.2.5    PEG-400.....	27
II.2.6    Lichen .....	28
II.2.7    Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS).....	35
II.2.8    Spektrofotometer UV-Vis.....	36
II.2.9    Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FT-IR).....	38

II.2.10	Analisis Ukuran Partikel (PSA).....	39
II.2.11	Pemindaian Mikroskop Elektron-Energi Dispersif Sinar- X (SEM-EDX) .....	42
II.3	Hipotesis .....	44
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>46</b>
III.1	Alat dan Bahan .....	46
III.2	Isolasi Minyak Atsiri Serai Wangi .....	46
III.3	Sintesis Minyak Serai Wangi-Nanopartikel Perak (EO-AgNPs) .	46
III.3.1	Pengaruh Variasi Waktu Penyimpanan terhadap EO- AgNPs .....	47
III.3.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi Berat Perak Nitrat (AgNO <sub>3</sub> ) terhadap EO-AgNPs.....	47
III.3.3	Pengaruh Variasi Konsentrasi Minyak Serai Wangi terhadap EO-AgNPs.....	47
III.4	Karakterisasi Sintesis Nanopartikel Perak.....	47
III.5	Aplikasi Skala Lapangan.....	48
III.6	Aplikasi Skala Laboratorium.....	48
III.6.1	Sterilisasi Peralatan.....	48
III.6.2	Pembuatan Medium Spesifik untuk Jamur .....	48
III.6.3	Sampling Lichen .....	48
III.6.4	Isolasi Lichen .....	48
III.6.5	Uji Efektivitas Bahan terhadap Daya Hambat Lichen...	49
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
IV.1	Karakteristik Minyak Serai Wangi .....	50
IV.2	Sintesis AgNPs Minyak Atsiri Serai Wangi.....	53
IV.2.1	Pengaruh waktu penyimpanan .....	54
IV.2.2	Pengaruh variasi konsentrasi AgNO <sub>3</sub> .....	56
IV.3	Efek Tween 80 terhadap Pembentukan EO-AgNPs.....	64
IV.3.1	Perbandingan surfaktan tween 80 dan PEG 400.....	64
IV.3.2	Pengaruh variasi konsentrasi minyak serai wangi .....	70

IV.4 Aplikasi EO-AgNPs untuk Daya Hambat <i>Lichen</i> Pada Permukaan Batu .....	79
IV.4.1 Aplikasi EO-AgNPs untuk daya hambat <i>lichen</i> .....	79
IV.4.2 Aplikasi langsung EO-AgNPs terhadap <i>lichen</i> pada permukaan batu .....	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	86
V.1 Kesimpulan.....	86
V.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA .....	87
LAMPIRAN.....	107

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Metode isolasi minyak atsiri dari tumbuhan .....	8
Tabel 2. Ekstrak tumbuhan dengan nanopartikel logam .....	10
Tabel 3. Sintesis nanopartikel berbasis minyak atsiri .....	14
Tabel 4. Sifat fisika minyak atsiri serai wangi .....	50
Tabel 5. Senyawa dalam minyak atsiri serai wangi menggunakan GC-MS .....	52
Tabel 6. Puncak serapan maksimum waktu penyimpanan.....	55
Tabel 7. Puncak serapan maksimum [AgNO <sub>3</sub> ] .....	57
Tabel 8. Bilangan gelombang EO-AgNPs dari [AgNO <sub>3</sub> ] .....	60
Tabel 9. Distribusi ukuran partikel [AgNO <sub>3</sub> ] .....	62
Tabel 10. Bilangan gelombang EO-AgNPs menggunakan surfaktan .....	66
Tabel 11. Distribusi ukuran partikel menggunakan surfaktan .....	67
Tabel 12. Pucak serapan maksimum konsentrasi minyak serai wangi .....	71
Tabel 13. Bilangan gelombang konsentrasi minyak serai wangi .....	73
Tabel 14. Distribusi ukuran partikel konsentrasi minyak serai wangi .....	76
Tabel 15. Diameter zona hambat <i>lichen</i> .....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tanaman Serai Wangi .....	19
Gambar 2. Struktur Perak Nitrat .....	25
Gambar 3. Struktur tween 80 .....	26
Gambar 4. Struktur PEG 400 .....	27
Gambar 5. Jenis-jenis lichen (A) Foliose, (B) Fruticose, (C) Squamulose.....	30
Gambar 6. Siklus Hidup Lichen.....	33
Gambar 7. Komponen GC-MS .....	35
Gambar 8. Skema Spektrometer UV-Vis (Jena et al., 2015) .....	37
Gambar 9. Komponen FT-IR (Mohamed et al., 2017) .....	39
Gambar 10. Skema Scanning Electron Microscope (SEM).....	43
Gambar 11. Skema Energy Dispersive X-ray (EDX) (Sudradjat et al., 2014) ....	44
Gambar 12. Kromatogram hasil analisis minyak atsiri serai wangi.....	51
Gambar 13. Struktur senyawa utama dalam minyak atsiri serai wangi .....	53
Gambar 14. Pengamatan visual EO-AgNPs yang disimpan selama (a) minyak serai wangi (b) 1 (c) 3 (d) 5 (e) 7 (f) 9 dan (g) 11 hari.....	54
Gambar 15. Spektrum UV-Vis pengaruh waktu terhadap stabilitas EO-AgNPs..	56
Gambar 16. Visual EO-AgNPs menggunakan konsentarsi AgNO <sub>3</sub> (a) EO (b) 2 mM (c) 4 mM (d) 6 mM (e) 8 mM dan (f) 10 mM .....	56
Gambar 17. Spektrum UV-Vis dari EO-AgNPs menggunakan variasi konsentrasi AgNO <sub>3</sub> .....	58
Gambar 18. Persamaan reaksi pembentukan nanopartikel perak .....	59
Gambar 19. Spektrum FTIR EO-AgNPs menggunakan variasi konsentrasi AgNO <sub>3</sub> .....	60
Gambar 20. Distribusi ukuran partikel EO-AgNPs (a) 6 mM AgNO <sub>3</sub> dan (b) 10 mM AgNO <sub>3</sub> .....	62
Gambar 21. Scanning electron microscope EO-AgNPs dengan perbesaran (a) 2500 (b) 5000 (c) 10000 dan (d) 15000x .....	63
Gambar 22. Spektra EDX dan data unsur dari EO-AgNPs.....	64

Gambar 23. Pengamatan visual EO-AgNPs menggunakan (a) Tween 80 dan (b) PEG 400 .....	65
Gambar 24. Spektra UV-Vis dari pengaruh penambahan tween 80 dan PEG 400 terhadap EO-AgNPs.....	66
Gambar 25. Spektra FTIR menggunakan surfaktan dan polimer .....	67
Gambar 26. Analisis ukuran partikel (a) Tween 80 dan (b) PEG 400 .....	68
Gambar 27. Scanning electron microscope menggunakan (a) Tween-80 perbesaran 5000x (b) Tween-80 perbesaran 15000x (c) PEG-400 perbesaran 5000x dan (d) PEG-400 perbesaran 15000x.....	69
Gambar 28. Spektra EDX dan unsur dari EO-AgNPs menggunakan surfaktan Tween-80.....	69
Gambar 29. Spektra EDX dan unsur dari EO-AgNPs menggunakan surfaktan PEG-400.....	70
Gambar 30. Visual EO-AgNPs dari variasi konsentrasi minyak serai wangi dengan perak nitrat (a) minyak serai (b) 10 mM (c) 5 mM (d) 3,3 mM (e) 2,5 mM (f) 2,0 mM dan (g) 1,6 mM .....	71
Gambar 31. Spektra UV-Vis variasi konsentrasi minyak serai wangi.....	72
Gambar 32. Spektrum FTIR variasi konsentrasi minyak serai wangi .....	73
Gambar 33. Kemungkinan persamaan reaksi antara tween 80 dan Ag <sup>+</sup> .....	75
Gambar 34. Analisis ukuran partikel (a) 10 mM (b) 5 mM (c) 3,3 mM (d) 2,5 mM (e) 2,0 mM dan (f) 1,6 mM .....	76
Gambar 35. Grafik ukuran partikel EO-AgNPs dari variasi konsentrasi minyak serai wangi.....	77
Gambar 36. Scanning electron microscope EO-AgNPs dengan perbesaran 5000x (a) 10 mM (b) 5 mM (c) 3,3 mM (d) 2,5 mM (e) 2,0 mM dan (f) 1,6 mM .....	78
Gambar 37. Spektra EDX dan unsur EO-AgNPs dari variasi konsentrasi minyak serai wangi.....	79
Gambar 38. Aktivitas daya hambat lichen dengan konsentrasi (a) kontrol (b) minyak serai wangi 100% (c) 10 mM (d) 5 mM (e) 3,3 mM (f) 2,5 mM (g) 2,0 mM dan (h) 1,6 mM.....	81

Gambar 39. Grafik diameter zona hambat .....	82
Gambar 40. Hasil pengamatan uji aktivitas EO-AgNPs secara visual (a) sebelum di spray (b) setelah di spray 24 jam (c) 48 jam (d) 72 jam (e)240 jam dan (f) 312 jam .....	84

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Benda-benda arkeologi merupakan bagian penting dari warisan budaya dunia. Benda cagar budaya harus dilindungi dari kepunahan dan kerusakan yang disebabkan oleh proses alam seperti hujan asam, serangga dan mikroba. Salah satu jenis mikroba yang tumbuh di batuan yaitu lumut kerak (*lichen*). Mikroba mudah berkembang pada batuan, batu pasir, batu kapur, granit dan gypsum (Burford et al., 2003). Epifit di batuan dapat memberikan perlindungan pada material batu, tetapi beberapa kasus dalam pendekatan ini tidak berlaku untuk batu warisan (Chen et al., 2000). Telah dikembangkan banyak jenis pembersihan untuk menghilangkan organisme tersebut di permukaan batu, mulai dari metode kering (menggunakan kuas), penggunaan bahan kimia, tekanan air tinggi hingga metode *dry ice blasting* (Riyanto et al., 2016).

Situs candi Borobudur terbuat dari andesit memiliki berbagai masalah yang berkaitan dengan kerusakan seperti degradasi oleh pengaruh bahan kimia serta organisme biologi. Banyak faktor yang menyebabkan kerusakan benda bersejarah yaitu kimia, fisika dan mikrobiologi (Suihko et al., 2020). Petumbuhan mikroba pada batuan tergantung pada faktor-faktor lingkungan seperti ketersediaan air, pH, iklim, kelembapan, sumber nutrisi, komposisi batuan dan parameter petrologi seperti komposisi mineral, jenis semen porositas dan permeabilitas batuan (Gomoiu et al., 2017).

*Lichen* dapat berdampak pada kerusakan mekanik yang disebabkan oleh penetrasi hifa kedalam batu dan penyusutan talus (bagian vegetatif dari jamur) di bawah perubahan kelembapan. Kerusakan kimia dapat terjadi dalam tiga cara yaitu sekresi asam oksalat, pembentukan asam karbonat dan pembentukan asam lain yang mampu membentuk ion seperti kalsium chelate (Doehne, 2014). Secara signifikan, organisme jamur menyebabkan masalah serius dalam pelestarian warisan budaya yaitu biodeteriorasi batu, karena sangat erosif (Fouda et al., 2019). Jamur *dematiaceous* dapat menembus batu untuk membentuk lubang-lubang yang disebut *bio-pitting* (Piñar et al., 2013), ketika iklim lembab, jamur ini



membentuk jaringan hifa di pori-pori batu. Dari udara, spora jamur menetap di atas batu untuk melakukan kolonisasi jamur, seperti *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, dan *Phoma* (Sterflinger & Prillinger, 2001). Jamur dapat membahayakan manusia dan membuat spora jamur di udara sehingga menimbulkan bahaya kesehatan bagi pengunjung (Piñar et al., 2013). Banyak senyawa kimia (zat pengoksidasi, zat organik dan logam) digunakan untuk mengontrol pertumbuhan jamur. Meningkatnya kesadaran akan efek berbahaya yang disebabkan oleh penggunaan fungisida telah mempengaruhi minat pada pembersihan teknologi bebas residu. Banyak fungisida telah digunakan untuk melawan populasi jamur yang mendiami benda arkeologi dalam upaya untuk mengurangi korosi jamur (Gaylarde et al., 2008).

Selama ini balai konservasi banyak menggunakan pestisida, fungisida dan insektisida sintetik seperti organoposfat, DDT, senyawa klorobenzena, CCA (*Chromated Copper Arsenat*) dan AC 322 yang mengandung ammonium bikarbonat. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan berbahaya dan beracun yang menyebabkan bahaya bagi manusia yang melakukan konservasi, pengunjung, dan lingkungan sekitar benda cagar budaya. Bahan-bahan tersebut dapat menyebabkan kanker karena bersifat karsinogenik dan mutagenik. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melindungi bangunan yang bersejarah.

Fungisida sintetik biasanya digunakan untuk mencegah pertumbuhan jamur dan mengontrol pembusukan jamur pada benda arkeologi tetapi tidak menguntungkan bagi lingkungan banyak orang untuk beberapa aplikasi dalam ruangan dan pencarian secara alami, ramah lingkungan dan menunjukkan toksisitas yang dapat diabaikan untuk manusia (Santos, 2019). Minyak atsiri sebagai alternatif alami karena telah berpotensi untuk melindungi benda arkeologi (Veneranda et al., 2018). (Ishkeh et al., 2019) menyatakan bahwa komponen minyak atsiri dapat digunakan dalam pertumbuhan mikroba karena biodegradabilitas, efektivitas biaya, kesesuaian lingkungan, tidak beracun, antimikroba dan antioksidan. Minyak atsiri digunakan sebagai antimikroba, antiinflamasi, analgesik, biopestisida, pengendalian nyamuk, obat nyeri (Nazzaro, 2017).

Salah satu minyak atsiri yang dapat digunakan yaitu minyak serai wangi. Senyawa aktif pada minyak serai wangi mempunyai potensi sangat besar sebagai antijamur diantaranya sitronelal, geraniol, sitronelol, linalool, diikuti oleh  $\alpha$ -pinen,  $\beta$ -pinen dan menthone (Grass et al., 2015). Sitronelal dan linalool termasuk kelompok terpenoid yang tergolong monoterpen yang mampu menekan pertumbuhan jamur patogen. Senyawa-senyawa ini dapat menghambat proses metabolisme jamur sehingga akan mengganggu pertumbuhan jamur (Nurmansyah, 2010). Beberapa penelitian juga melaporkan penggunaan minyak pala (Mousavi et al., 2019), minyak geranium dan bergamot (Werdin González et al., 2017), minyak rosemary (Khalaf et al., 2013) dan minyak cengkeh (Gao et al., 2017).

Meskipun sifatnya menjanjikan, fungisida berbasis minyak atsiri memiliki beberapa kelemahan (misalnya tidak efisien dan efektif karena minyak atsiri mudah menguap atau volatilitas, kelarutan air yang buruk, degradasi lingkungan) yang terkait dengan komposisi kimianya, yang dapat berdampak negatif pada penerapannya.

Sintesis nanopartikel logam sebagai alternatif untuk mengurangi masalah peningkatan efektifitas dan induksi aktivitas sistemik karena ukurannya kecil. Keunggulan nanopartikel logam tersebut memiliki sifat optoelektrik yang unik karena karakteristik resonansi plasmon permukaan terlokalisasi dan memiliki pita serapan yang luas dari spektrum elektromagnetik (Dreaden et al., 2012). Selain itu, pembentukan material nanopartikel bertujuan untuk mengatasi kelarutan zat aktif yang sukar larut, meningkatkan bioavailabilitas, meningkatkan stabilitas zat aktif dari degradasi lingkungan (dekomposisi enzim, oksidasi, hidrolisis), meningkatkan penyerapan senyawa makromolekul (Benelli & Losic, 2017).

Penelitian pembuatan formulasi biopestisida berbasis minyak atsiri serai wangi dengan skala nanopartikel logam perak sebagai bahan konservasi benda cagar budaya. Koloid perak telah lama diketahui memiliki sifat antimikroba. Kemampuan antimikroba perak dapat membunuh semua mikroorganisme patogen. Perak (Ag) menunjukkan toksisitas yang lebih tinggi terhadap berbagai mikroorganisme karena keterikatannya pada permukaan membran sel secara

signifikan mengganggu fungsi yang tepat seperti respirasi dan permeabilitas (Iravani, 2011) sehingga banyak peneliti menggunakan logam perak sebagai prekursor dalam pembuatan nanopartikel (Ajayi & Afolayan, 2017; Agarwal et al., 2018). Selain logam perak, logam emas juga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan nanopartikel (Sheny et al., 2012b; Muniyappan & Nagarajan, 2014).

Minyak atsiri skala nanopartikel lebih efektif dan efisien dalam membunuh jamur atau *lichens*. Nanopartikel biopestisida akan mencegah volatilitas minyak atsiri serai wangi, efisiensi penggunaan dan tidak meninggalkan bekas pada benda cagar budaya. Nanopartikel telah dipelajari secara luas untuk berbagai aplikasi teknologi dalam ilmu material, kimia, fisika, biologi dan penelitian ilmu lingkungan (Werdin González et al., 2017; Huang et al., 2007). Nanopartikel perak telah dibuat dengan beberapa metode dan kondisi yang berbeda seperti metode reduksi kimia, fotokimia, sonokimia, radiasi ultrasonik, dan sintesis solvotermal. Di antara banyak metode yang telah dilakukan, reduksi kimia dipilih sebagai metode yang paling efektif untuk menghasilkan nanopartikel perak. Ini berhubungan dengan langkah kerja yang mudah, cepat, murah, dan menggunakan suhu rendah. Dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi berbagai formula untuk membuat biopestisida nanopartikel menggunakan minyak serai wangi dengan prekursor  $\text{AgNO}_3$  (sintesis langsung) untuk uji efektifitas dalam membunuh *lichens* pada batuan cagar budaya.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang dapat dikaji:

1. Bagaimana hasil karakteristik minyak serai wangi yang dihasilkan?
2. Bagaimana hasil karakterisasi AgNPs minyak serai wangi terhadap waktu pendiaman dan konsentrasi berat perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ )?
3. Bagaimana pengaruh penambahan surfaktan dan polimer terhadap pembentukan sintesis nanopartikel perak (AgNPs)?
4. Bagaimana pengaruh variasi perbandingan volume minyak serai wangi dengan perak nitrat menggunakan tween 80?
5. Bagaimana efektivitas nanopartikel perak dalam menghambat pertumbuhan *lichens* pada batuan candi?

### **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hasil karakteristik minyak serai wangi yang dihasilkan.
2. Mengetahui hasil karakterisasi AgNPs minyak serai wangi terhadap waktu pendiaman dan konsentrasi berat perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).
3. Mengetahui pengaruh penambahan surfaktan dan polimer terhadap pembentukan sintesis nanopartikel (AgNPs).
4. Mengetahui pengaruh variasi perbandingan volume minyak serai wangi dengan perak nitrat menggunakan tween 80.
5. Dapat mengetahui uji efektivitas nanopartikel perak dalam menghambat pertumbuhan *lichens* pada batuan candi.

### **I.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Dapat menambah wawasan dalam memecahkan suatu masalah yang baru, baik bagi para peneliti maupun orang-orang atau instansi yang menerapkan hasil penelitian tersebut.
2. Dapat mengetahui dengan jelas sistem kerja dari objek-objek yang menjadi sample penelitian.
3. Dapat memberikan referensi bagi suatu penelitian dan menambah wawasan serta pengalaman bagi para peneliti sendiri maupun bagi yang lainnya.
4. Mendapatkan formula nanopartikel biopestisida yang telah tervalidasi di laboratorium.
5. Mendapatkan formulasi untuk diterapkan pada batu candi yang sesungguhnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN PERUMUSAN HIPOTESIS

#### II.1 Kajian Peneliti Terdahulu

##### II.1.1 Isolasi Minyak Atsiri

Minyak atsiri merupakan konsentrat yang diisolasi dari berbagai bagian tanaman seperti daun, kulit, bunga, kuncup, biji, mengandung ratusan zat, dan mempunyai ciri khas dari bau atau aromanya. Dalam bidang industri, minyak atsiri sangat diminati karena memiliki banyak aplikasi, diantaranya sebagai wewangian dalam parfum, sebagai bahan aditif dalam produk makanan serta sebagai produk farmasi. Produksi dan konsumsi minyak atsiri dunia meningkat sangat cepat. Teknologi produksi EO merupakan unsur penting untuk meningkatkan hasil dan kualitas secara keseluruhan. Untuk mendapatkan minyak atsiri, dilakukan proses isolasi terlebih dahulu (Silva et al., 2011). Minyak atsiri dapat diisolasi dengan berbagai cara seperti destilasi air, destilasi uap, destilasi uap-air, ekstraksi pelarut, *enfleurage* dan maserasi merupakan metode tradisional yang umum digunakan.

Diantara semua metode, metode destilasi uap telah banyak digunakan terutama untuk produksi skala komersial (Cassel et al., 2006). Proporsi minyak yang diisolasi dengan destilasi uap ialah 93% dan 7% dapat diisolasi lebih lanjut dengan metode lain (Masango, 2005). Sampel ditempatkan di air mendidih atau dipanaskan dengan uap. Panas yang digunakan penyebab utama pecah dan rusaknya struktur sel tumbuhan. Sehingga, senyawa aromatik atau minyak atsiri dari tanaman terlepas (Babu & Kaul, 2005). (Aguiar et al., 2014) telah melakukan isolasi daun sereh wangi menggunakan metode destilasi uap. Sampel minyak atsiri *Corymbia citriodora* dan *Cymbopogon nardus* dianalisis dengan GC-MS serta diuji kualitatif dan komposisi kuantitatif. Hasil yang diperoleh dari komponen utama minyak atsiri yaitu sitronelal dengan 61,78% *C. citriodora* dan 36,6% *C. nardus*.

Berbeda halnya dengan destilasi uap, hidrodestilasi (HD) digunakan untuk mengisolasi produk alami yang tidak larut dalam air dengan titik didih tinggi. Prosesnya melibatkan perendaman bahan tanaman dalam air, diikuti dengan

pendidihan. Sedangkan ekstraksi pelarut digunakan untuk bahan bunga yang rapuh atau halus dan tidak tahan terhadap panas. Pelarut yang biasa digunakan aseton, heksana, petroleum eter, metanol atau etanol (Koşar et al., 2005). Namun, metode ini membutuhkan waktu yang lama, sehingga membuat minyak lebih mahal dari metode lain (Li et al., 2009). Minyak atsiri dengan aktivitas antioksidan dari kulit *Azadirachta indica*, *Acacia nilotica*, *Eugenia jambolana*, *Terminalia arjuna*, daun dan akar *Moringa oleifera*, buah *Ficus religiosa* dan daun *Aloe barbadensis* diisolasi menggunakan metode ekstraksi pelarut (etanol, methanol) dilaporkan oleh (Sultana et al., 2009). Minyak didominasi oleh senyawa fenolik sebagai senyawa utama.

Metode konvensional bukanlah satu-satunya cara untuk isolasi minyak atsiri. Teknik baru misalnya, menggunakan konsep ekstraksi hijau untuk mengekstrak dengan waktu isolasi yang lebih efisien, konsumsi energi, penggunaan pelarut dan emisi CO<sub>2</sub>. Metode isolasi minyak atsiri tradisional telah dibahas dan metode tersebut paling banyak digunakan dalam skala komersial. Namun, dengan kemajuan teknologi, teknik-teknik baru telah dikembangkan yang mungkin belum tentu digunakan secara luas untuk produksi komersial minyak atsiri tetapi dianggap penting dalam situasi tertentu, seperti produksi minyak atsiri yang mahal dalam keadaan alami tanpa setiap perubahan komponen termosensitif atau ekstraksi minyak atsiri untuk analisis mikro.

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan cairan superkritis yang paling umum digunakan karena kondisi kritisnya yang rendah (Señoráns et al., 2000). Kondisi dibawah tekanan tinggi, CO<sub>2</sub> berubah menjadi cair, yang dapat digunakan sebagai inert dan media yang aman untuk mengekstrak molekul aromatik dari bahan baku. Tidak ada residu pelarut yang tersisa dalam produk akhir selama CO<sub>2</sub> cair kembali ke gas dan meguap dibawah tekanan dan suhu atmosfer.

Salah satu contoh tumbuhan yang digunakan yaitu serai wangi (*Cymbopogon nardus* L. Rendle). Minyak atsiri serai wangi memiliki banyak komponen, salah satu komponen terpenting yaitu sitronelal, geraniol dan sitronelol (Silva et al., 2011) telah melakukan proses ekstraksi minyak serai wangi menggunakan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) superkritis karena waktu ekstraksi lebih

singkat, tidak beracun, ramah lingkungan serta selektivitas yang tinggi dari pelarut. Proses ekstraksi dilakukan pada kondisi operasional dengan variasi suhu 313,15 hingga 353,15K dan variasi tekanan 6,2;10,0;15,0 dan 180,0 MPa. Dari proses ekstraksi, jumlah minyak meningkat saat tekanan tinggi pada suhu konstan, sebaliknya suhu meningkat pada saat tekanan konstan. Namun, kerugian utama dari metode ini yaitu komponen polar sangat dibatasi oleh kekuatan pelarut CO<sub>2</sub>. Beberapa metode telah dilaporkan untuk mengisolasi minyak dari tumbuhan:

**Tabel 1. Metode isolasi minyak atsiri dari tumbuhan**

Metode Isolasi	Tumbuhan	Referensi
Destilasi Uap	<i>Cymbopogon nardus</i> dan <i>Corymbia citriodora</i>	(Aguiar et al., 2014)
	<i>Cymbopogon nardus</i>	(Chong et al., 2015)
Destilasi Air	<i>Piper nigrum</i>	(Dao et al., 2020)
	Lavender ( <i>Lavandula L.</i> )	(Filly et al., 2016)
<i>Ohmic heated hydro distillation</i>	<i>Cymbopogon atratus</i> , <i>Cymbopogon nardus</i> , <i>Backhousia Citriodora</i> , <i>Syzygium aromaticum</i>	(Hamzah et al., 2011)
	<i>Cymbopogon nardus</i>	(H et al., 2012)
<i>Electrical element heated hydro distillation</i>	<i>Cymbopogon atratus</i> , <i>Cymbopogon nardus</i> , <i>Backhousia Citriodora</i> , <i>Syzygium aromaticum</i>	(Hamzah et al., 2011)
Ekstraksi pelarut	<i>Merremia borneensis</i>	(Amzad Hossain & Shah, 2015)
Superkritikal CO <sub>2</sub>	<i>Cymbopogon nardus</i>	(Silva et al., 2011)
	Algerian argan ( <i>Argania spinosa L.</i> )	(Haloui & Meniai, 2017)
Subkritikal air	<i>Olive</i>	(Rivas et al., 2001)
	<i>Coriander seeds</i>	(Zeković et al., 2017)
Kombinasi metode		
<i>Hydrodestilasi (HD) + microwave (MAHD)</i>	Rosemary ( <i>Rosmarinus officinalis L.</i> )	(Elyemni et al., 2019)
	<i>Cymbopogon Citratus</i>	(Ranitha et al., 2014)

SFME adalah kombinasi pemanasan *microwave* dan destilasi kering, dilakukan pada tekanan atmosfer tanpa pelarut dan air. Ketika daya *microwave* 662W, waktu proses berkurang hingga 80% jika dibandingkan dengan proses konvensional. Permintaan minyak atsiri di industri saat ini telah meningkat karena senyawa bioaktifnya menunjukkan variasi efek terapeutik. Hidrodestilasi dengan bantuan *microwave* (MAHD) adalah teknik hidrodestilasi lanjutan (HD), dimana oven *microwave* digunakan sebagai sumber pemanas. Pada penelitian (Ranitha et al., 2014) dilakukan ekstraksi minyak atsiri serai (*Cymbopogon citratus*) dengan MAHD. Sehingga diperoleh parameter optimum dari perbandingan air terhadap bahan tanaman 8 : 1, daya gelombang mikro 250W dan waktu ekstraksi 90 menit diperoleh 1,46%.

### **II.1.2 Sintesis Nanopartikel dengan Ekstrak Tumbuhan**

Penelitian nanoteknologi membuka jalan baru yang lebih luas berbagai aplikasi di bidang biomedis, sensor, antimikroba, katalis, elektronik, serat optik, pertanian (Salam et al., 2012). Nanopartikel dapat disintesis dengan tiga metode yaitu metode kimia seperti reduksi (Balantrapu & Goia, 2009), metode elektrokimia (Rodriguez-sanchez & Schaufeli, 2008) dan metode bio-reduksi atau disebut juga sintesis hijau. Namun, metode bio-reduksi paling banyak digunakan karena aman, hemat biaya dan berkelanjutan dibandingkan dengan metode lain (Mohammed, 2015b).

Baru-baru ini telah ditunjukkan bahwa biosintesis nanopartikel yang dimediasi oleh tumbuhan lebih menguntungkan daripada metode kimia dan fisik karena murah dan ramah lingkungan, tidak membutuhkan tekanan tinggi, energi, suhu, atau penggunaan bahan kimia yang sangat beracun. Beberapa tanaman telah berhasil digunakan untuk sintesis nanopartikel perak, tembaga, dan emas yang efisien dan cepat (Dinesh et al., 2015). Sejumlah penelitian telah melaporkan sintesis nanopartikel dari ekstrak tumbuhan:



**Tabel 2. Ekstrak tumbuhan dengan nanopartikel logam**

Ekstrak Tumbuhan	Logam	Metode	Ukuran partikel	Aplikasi	Referensi
<i>Allium cepa</i>	Ag	Bio-reduksi	49-73 nm	Antidiabetes	(Jini & Sharmila, 2020)
Daun <i>Punica granatum</i>			48 nm		(Saratale et al., 2018)
Daun <i>Phyllanthus niruri</i>	Ag	Bio-reduksi	30-60 nm	Pengendalian nyamuk <i>Aedes aegypti</i>	(Suresh et al., 2015)
Daun lemon	Ag	Bio-reduksi	8-15 nm	Antijamur	(Vankar & Shukla, 2012)
Daun Aloe vera	Ag	Bio-reduksi	70 nm	Antijamur	(Medda et al., 2015)
Daun <i>Anacardium occidentale</i>	Au	Bio-reduksi	36 nm	Katalitik	(Sheny et al., 2012a)
Daun <i>Ziziphus zizyphus</i>	Au	Bio-reduksi	30 nm	Antimikroba	(Aljabali et al., 2018)
Origanum vulgare	Au	Bio-reduksi	40 nm	Antimikroba	(Benedec et al., 2018)
Daun <i>Limonia acidissima L.</i>	Zn	Bio-reduksi	12-53 nm	Antimikroba	(Patil & Taranath, 2016)
Daun <i>Pongamia pinata</i>	Zn	Bio-reduksi	21,3 nm	Insektisida	(Malaikozhundan & Vinodhini, 2018)
Daun serai	Zn	Bio-reduksi	7-14 nm	Antijamur	(Kumari et al., 2019)
Asam tanin	Fe	Bio-reduksi	10-3-nm	Antijamur	(Parveen et al., 2018)

Beberapa penelitian terkait sintesis AgNPs, (Theerthavathy et al., 2019) melakukan sintesis dan karakterisasi nanopartikel perak (AgNPs) menggunakan

ekstrak daun minyak *Zanthoxylum ovalifolium*. Sintesis dan karakterisasi nanopartikel perak dianalisis dengan spektroskopi UV-Vis dan TEM. Sintesis nanopartikel yang dianalisis dengan TEM menunjukkan ukuran 8-14 nm dengan  $\lambda_{\max}$  450 nm. Sintesis nanopartikel perak ditandai dengan adanya perubahan warna dari *pare yellow* menjadi *dark brown*.

Penggunaan empat variasi ekstrak daun serai yaitu krishna, neema, pragati dan suvarna telah dilakukan (Gupta & Ganjewala, 2015) untuk sintesis nanopartikel perak dengan metode bio-reduksi sebagai aktivitas antibakteri. Sintesis AgNPs dikonfirmasi dengan observasi visual dari perubahan warna larutan AgNO<sub>3</sub> sebagai hasil bio-reduksi Ag<sup>+</sup> oleh ekstrak tumbuhan. Sintesis nanopartikel perak dikonfirmasi oleh adanya puncak absorbansi pada 430-450 nm dalam spektrum sinar UV. Sintesis nanopartikel perak dianalisis dengan teknik *Dynamic Light Scattering* (DLS) yang menunjukkan ukuran rata-rata  $z$  (nm) 40-100 nm. Nanopartikel perak diuji potensi antibakterinya terhadap bakteri yang resistan terhadap obat menggunakan metode difusi agar dengan zona hambat 24-27 mm (*S. aureus*) dan 17-23 mm (*P. aeruginosa*).

(Ajayi & Afolayan, 2017) telah melakukan sintesis hijau, karakterisasi dan aktivitas biologis nanopartikel perak dari ekstrak daun *Cymbopogon citratus Stapf* yang mengandung alkaloid. Analisis data TEM menunjukkan nanopartikel berbentuk bola dengan ukuran 10-33 nm. FTIR mengidentifikasi gugus etilen sebagai pereduksi dan *capping agent* untuk pembentukan nanopartikel. Pola difraksi sinar-X dikonfirmasi adanya kristalinitas perak serta ukurannya. AgNPs tidak menunjukkan potensi yang sangat baik sebagai radikal bebas jika dibandingkan dengan standar. AgNP yang disintesis dalam suspensi menunjukkan aktivitas terhadap kedua gram positif dan gram negatif bakteri, dengan konsentrasi hambat minimum (MIC) kisaran 31,25–62,5  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .

Sintesis nanopartikel perak dari ekstrak daun *Ocinum sanctum* telah dilakukan oleh (Ramteke et al., 2013) untuk meningkatkan aktivitas antimikroba. AgNPs yang disintesis diketahui berukuran 18 nm yang dikonfirmasi oleh TEM. AgNPs distabilkan oleh eugenol, terpena dan senyawa aromatik lainnya yang ada dalam ekstrak. Penelitian aktivitas antibakteri AgNPs terhadap *E.coli* dan

*Staphylococcus aureus* menunjukkan potensi ekstrak daun Tulsi yang tinggi menstabilkan AgNPs untuk digunakan sebagai agen antimikroba di bidang kesehatan serta industri makanan dan kosmetik.

(Mohammed, 2015b) melaporkan teknik biosintesis ekstraseluler yang ramah lingkungan dari nanopartikel perak (AgNPs) menggunakan ekstrak daun *Eucalyptus camaldulensis* (*E. camaldulensis*) untuk melawan empat jenis bakteri patogen. Nilai puncak serapan ekstrak antara 400-450 nm dan perubahan warna menjadi coklat tua sesuai dengan absorbansi plasmon dari AgNPs. Ekstrak daun efektif melawan mikroorganisme yang menunjukkan zona hambat 9-14 mm. Sedangkan AgNPs yang disintesis secara biologis memiliki kemampuan yang lebih tinggi untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme (12-19 mm).

### **II.1.3 Sintesis Nanopartikel berbasis Minyak Atsiri**

Penggunaan minyak serai wangi sebagai bahan untuk membunuh *lichens* pada batu Candi Borobudur, telah dilakukan oleh (Sastrohamidjojo & Fariyatun, 2016). Minyak esensial *Cymbopogon nardus L* diaplikasikan pada beberapa warisan budaya batu yang memiliki variasi konsentrasi 1, 5, 10, 15, 20 dan 25%. Pengaruh variasi konsentrasi minyak *Cymbopogon nardus L* sangat berperan dalam melawan jamur di permukaan batu. Aktivitas antijamur yang dihasilkan dari proses isolasi lumut juga menunjukkan pencegahan pertumbuhan jamur. Diperoleh hasil zona diametris dari masing-masing konsentrasi 1; 5; 10; 15; 20; 25, yaitu sebanyak 0; 6; 12; 18; 29 dan 33 mm, semakin tinggi konsentrasi minyak serai wangi (*Cymbopogon nardus L*) semakin efektif untuk menghambat pertumbuhan jamur pada lumut.

Tanaman serai wangi banyak mengandung pati, pigmen, resin, lemak, gula, mineral serta senyawa metabolit sekunder yaitu minyak atsiri, saponin, flavonoid, alkaloid dan steroid. Kasiatnya sebagai bahan biopestisida tidak diragukan lagi. Kelemahan penggunaan langsung yaitu tidak efektif dalam membunuh *lichens* karena sifatnya yang mudah menguap dan menimbulkan bercak warna pada batu candi. Oleh karena itu, solusi memuat sediaan nanopartikel untuk meningkatkan efektifitas minyak atsiri serai wangi.

(González-Rivera et al., 2017) melakukan sintesis nanopartikel perak menggunakan minyak atsiri *rosemary* sebagai agen pereduksi terbarukan dengan bantuan metode *microwave* yang cepat dan ramah lingkungan. Proses sintesis dengan MW menggunakan *coaxial dipole antenna* yang terbenam dalam media reaksi. Hidrodistilasi *rosemary* yang dibantu *microwave* koaksial menghasilkan 0,4% (b/b) dalam 30 menit dan mengandung eter (17%), keton (50%) dan alkohol (15%). Ukuran partikel AgNPs dari 7 hingga 18 nm dan morfologi bulat diperoleh dalam waktu reaksi mulai dari 2 hingga 30 menit.

AgNPs mendapat perhatian tinggi secara komersil karena lebih dari 50% dari total produk berbasis nanomaterial yang tersedia di pasaran. Sifat antimikroba yang unik dari AgNPs juga menarik perhatian untuk mengembangkan dibidang biomedis (Esfanddarani et al., 2018). Logam perak (Ag) memiliki toksisitas yang lebih tinggi terhadap mikroorganisme. Selain dengan perak, sintesis nanopartikel juga dapat menggunakan logam lain seperti besi. Dalam penelitian (Mousavi et al., 2019), peneliti memodifikasi nanopartikel  $Fe_3O_4$ -MgO dengan minyak pala untuk pengembangan nanopartikel yang super magnetik. Hasil analisis nanopartikel  $Fe_3O_4$ -MgO menunjukkan bahwa penambahan minyak pala dapat meningkatkan hasil sintesis nanopartikel magnetik dan meningkatkan magnetisasi saturasi dari 31,23 emu/g menjadi 72,29 emu/g dengan peningkatan magnetisasi sebesar 131,47%. Nanopartikel magnetik memiliki morfologi yang bulat dengan ukuran sangat kecil sekitar 10-15 nm.

Selain dengan logam, sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan non logam seperti polimer, yang dilaporkan oleh (Omar et al., 2017). Pada penelitian ini, dua minyak yang berbeda Geranium dan Bergamot diteliti menggunakan polietilen glikol (PEG) dan kitosan sebagai matriks/pelapis polimer. Karakterisasi fisikokimia nanopartikel polimer menunjukkan PEG-PN memiliki ukuran <255 nm dan efisiensi enkapsulasi antara 68 dan 77% sedangkan kitosan-PN memiliki ukuran <535 nm dengan efisiensi enkapsulasi 22-38%. Penggunaan nanopartikel polimer yang mengandung minyak atsiri menjadi sumber ramah lingkungan.

(Campolo et al., 2017) telah membuat beberapa formulasi minyak dari kulit jeruk (lemon, jeruk mandarin dan jeruk manis) untuk mengendalikan hama

pada tanaman tomat. Senyawa aktif yang diturunkan dari tumbuhan seperti minyak atsiri sangat berperan dalam keberlanjutan pengendalian hama. Nanoformulasi secara signifikan meningkatkan stabilitas dan efektivitas insektisida botani menggunakan PEG 6000 dan Tween 80, mampu melepaskan senyawa aktif secara bertahap dan mengurangi efek racun yang ada pada tanaman. Berdasarkan hasil karakterisasi, Lemon EO-NPs menunjukkan efisiensi pemuatan 96% (w/w) dengan ukuran rata-rata  $240 \pm 2.51$  nm. Baik jeruk mandarin dan jeruk manis menunjukkan diameter rata-rata yang lebih kecil sekitar  $212 \pm 0,04$  nm dan  $216 \pm 0,63$  nm dan efisiensi pemuatan sebanding dengan lemon EO-NP yaitu 92% (w/w) dan 88% (w/w). Sehingga, EO-NP jeruk efektif dalam mengendalikan hama, sekaligus mengurangi efek racun pada tanaman.

**Tabel 3. Sintesis nanopartikel berbasis minyak atsiri**

Minyak Atsiri	Prekursor	Metode	Ukuran partikel	Aplikasi	Referensi
Minyak geranium dan bergamot	PEG dan Kitosan	<i>Melt dispersion dan ionic gelation method</i>	<255 nm dan <535 nm	Insektisida (ngontrol larva nyamuk)	(Werdin González et al., 2017)
Minyak oregano dan minyak <i>rosemary</i>	Ag dan Zn	Dispersi	100 nm dan 110 nm	Anti mikroba	(Khalaf et al., 2013)
Minyak piper aduncum L. dan Piper hispidinervum C.	Gelatin	Enkapsulasi	175-220 nm dan 100 nm	Insektisida	(Cooper et al., 2007)
Minyak <i>peppermint</i> dan palmarosaz	PEG	<i>Melt-dispersion</i>	380 dan 191 nm	Insektisida	(Yeguerman et al., 2020)
Minyak pungam	Ag dan Au	Bio-reduksi	72 dan 77 nm	Insektisida	(Sahayara j et al., 2016)

(Szweda et al., 2014) menggunakan minyak atsiri lemon, basil, thyme, geranium, cengkeh dan kulit kayu *cinnamomum cassia*. Aktifitas tertinggi ditunjukkan dari kulit kayu *cinnamomum cassia* memiliki nilai MIC dan MFC kisaran 0,0006-0,0097% (v/v) dan 0,0012-0,019% (v/v). Aktifitas fungisida juga diamati pada propolis dan nanopartikel perak yang menunjukkan nilai MFC berkisar antara 0,156 – 1,25% (v/v) dan sebagian besar isolate *C. krusei* bertahan. Sehingga, minyak atsiri, propolis dan nanopartikel perak ini mampu mengendalikan dan mencegah *Candida*.

(Yeguerman et al., 2020) melakukan aplikasi insektisida dari minyak atsiri peppermint, palmarosa, geranium, lavender dan *rosemary* yang memuat nanopartikel polimer untuk pengendalian kecoa. Desain nanopartikel polimer merupakan teknologi baru untuk bio-insektisida. Penggabungan EO ke dalam matriks polimer akan mencegah degradasi dan penguapan konstituen EO yang cepat, meningkatkan toksisitas dan umur simpan dan meningkatkan penanganan (Benelli & Losic, 2017); (Iavicoli et al., 2017); (Prasad et al., 2017). Nanopartikel polimer dapat diproduksi dengan bahan alami, sintetis dan polimer semisintetik (Fraceto et al., 2014). Dalam penelitian ini, polietilen glikol digunakan sebagai matriks polimer karena range kelarutan yang luas, relatif tidak beracun, dapat terurai secara hayati dan mudah diproduksi (Benelli & Losic, 2017); (Danprasert et al., 2003). Berdasarkan penelitian diperoleh minyak peppermint dan palmarosa yang paling efektif, analisis fisikokimia menunjukkan bahwa postformulasi pada hari 7, nanopartikel peppermint memiliki ukuran 380 nm dengan nilai indeks polidispersitas (PDI) >0,4. Nanopartikel palmarosa memiliki ukuran 191 nm; LE 89,75% dan PDI <0,25 (sampel monodisperse). Nanopartikel peppermint dan palmarosa meningkatkan efek mematikan dan subletal dari EO pada *B. germanica*. Hasil ini menunjukkan bahwa nanoinsektisida yang baru dikembangkan dapat berhasil digunakan untuk mengendalikan kecoa jerman.

#### **II.1.4 Nanopartikel sebagai Antimikroba**

Sejumlah formulasi berbasis nanopartikel logam menggunakan tanaman telah dikemukakan oleh beberapa peneliti karena mempunyai aktivitas terhadap mikroorganisme seperti bakteri, jamur dan virus.

(ElBaghdady et al., 2019) menyelidiki efisiensi antimikroba pada minyak atsiri kayu manis, peppermint, cengkeh, lavender dan pengharum makanan mampu melawan *Streptomyces rochei* dan *Bacillus safensis* yang diisolasi dari kapur arkeologi. Sifat lipofilik pada minyak esensial memungkinkan untuk melewati dinding sel dan membran sitoplasma pada sel mikroba, memecah struktur lapisan fosfolipid yang berbeda, polisakarida dan asam lemak.

Dalam beberapa tahun terakhir, sintesis nanopartikel perak banyak difokuskan untuk aplikasi biomedis menggunakan tanaman. (Alfuraydi et al., 2019) menggunakan *oil cake Sesamum indicum* (minyak wijen) sebagai aktivitas antikanker dan antimikroba. Sintesis diuji menggunakan metode difusi disk. Aktivitas antikanker dari sintesis diuji pada sel kanker payudara (MCF-7). Hasil menunjukkan bentuk bulat dengan diameter mulai dari 6,6 nm hingga 14,8 nm dan konsentrasi hambat minimum (0,5 µg/mL).

(Neveen S. Geweely et al., 2019) telah melakukan penelitian aktivitas antijamur dari 12 minyak esensial (jintan hitam, jarak, kayu manis, cengkeh, jintan, bawang putih, geranium, lavender, serai, mente, zaitun dan *thyme*) yang diuji terhadap 16 spesies jamur untuk tiga objek arkeologi (lukisan batu dinding, patung kayu dan *pottery coffin* (peti tembikar). Identifikasi molekuler dilakukan untuk spesies (*Aspergillus niger*, *A. flavus* dan *Rhizopus oryzae*) dalam tiga sampel arkeologi yang diuji. Aktivitas antijamur dan konsentrasi minimum hambat (MIC) dari EOs diuji dengan konsentrasi yang berbeda (0,125, 0,25, 0,5, 0,75, 1 µl /ml). EOs yang paling efisien yaitu *thyme* (MIC berkisar antara 0,25-0,75 µl/ml).

Penelitian kembali mengenai efek penghambatan dari tiga minyak esensial (*thyme*, cengkeh, dan geranium) pada berat kering, aktivitas enzimatis (amilase, selulase, dan protease), polisakarida, kandungan nitrogen, dan produktivitas asam sitrat dari tiga spesies jamur yang memburuk (*Aspergillus niger* MH557084), *A. flavus* MH557083, dan *Rhizopus oryzae* MH557082). Minyak *thyme* adalah minyak esensial paling efisien, karena dapat menghambat pertumbuhan *Aspergillus niger* pada 0,75 µl/ml sedangkan *A. flavus* dan *Rhizopus oryzae* dihambat pada 0,5 µl/ml (N. S. Geweely et al., 2020).

(Othman et al., 2020) melakukan penentuan aktivitas antijamur dari sembilan jenis ekstrak tanaman dan lima minyak atsiri secara *in vitro* terhadap empat spesies jamur (*Aspergillus flavus*, *A. versicolor*, *Penicillium sp.* dan *P. purpurogenum*), yang diisolasi dari berbagai jenis bahan organik dari artefak arkeologi seperti papirus dan linen. Minyak atsiri menunjukkan keberhasilan yang lebih besar daripada ekstrak tanaman, di mana minyak thyme dan serai adalah yang paling ampuh, karena memiliki konsentrasi minimum menghambat sebesar 75% dan konsentrasi minimum fungisida sebesar 50%.

Aktifitas antimikroba dari lapisan tipis pullulan digabung dengan nanopartikel perak (AgNPs) 100 nm, nanopartikel seng oksida (ZnO-NPs) 110 nm, minyak oregano (OR) 2% dan minyak rosemary (RO) 2% melawan *Listeria monocytogenes* dan *Staphylococcus aureus* (Khalaf et al., 2013). Penelitian ini dievaluasi mulai dari persiapan dan penyimpanan pada suhu 4, 25, 37 dan 55°C hingga 49 hari. Hasil yang diperoleh dari AgNPs dan OR dapat dimakan, membuat lapisan tipis lebih aktif daripada ZnO NPs, OR dan RO sebagai aktivitas antibakteri terhadap patogen. Sehingga, (NPs) dan / atau (EOs) memiliki potensi yang baik untuk dibuat lapisan antimikroba dalam berbagai aplikasi makanan.

(Sharma et al., 2018) melakukan penelitian tentang nanoemulsi non-ionik minyak cengkeh dan serai. Minyak atsiri memiliki peran penting dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman secara berkelanjutan. Dalam penelitian ini, sebuah nanoemulsi air yang mengandung cengkeh (CO) dan minyak serai (LGO) dikembangkan dan dieksplorasi potensinya sebagai agen antijamur terhadap *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* (FOL). Nanoemulsi diformulasikan menggunakan surfaktan non-ionik melalui energi rendah menggunakan metode emulsifikasi. Dari hasil uji konsentrasi hambat minimum (MIC) pada nanoemulsi adalah 4000 mg/l terhadap FOL dengan model kinetik logistik yang menunjukkan fungisida sangat cepat dengan diameter rata-rata 76,73 nm berbentuk bulat. Nanoemulsi juga diterapkan pada bibit dan benih, secara signifikan dapat mengendalikan penyakit layu tanpa menunjukkan tanda-tanda fitotoksisitas.



(Mishra et al., 2018) telah melakukan penelitian terhadap retensi sifat antibakteri dan antioksidan dari minyak serai. Minyak serai (LgEo) menunjukkan sifat antioksidan dan antibakteri yang sangat baik, namun kelarutan dalam air rendah dan ketidakstabilan konstituen utamanya mengurangi retensi untuk waktu yang lebih lama. Oleh karena itu, LgEo berbahan komposit dari nanofiber selulosa (CNF) - polietilen glikol (PEG) dibuat melalui proses peleburan dan pencampuran serta pengujian kembali sifat antioksidan dan antibakteri. Ukuran partikel yang diperoleh  $0,38 \pm 0,02$  dan nilai PI  $1,12 \pm 0,10$ . Sistem komposit mampu mempertahankan senyawa utama minyak atsiri serai (geraniol, nerol dan geranyl acetate) hingga 120 hari dan diikuti difusi molekul. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit dapat digunakan lebih lanjut di berbagai industri aplikasi seperti bahan peningkatan kualitas udara dalam ruangan dan penyimpanan.

## **II.2 Landasan Teori/Kerangka Teori**

### **II.2.1 Minyak Serai Wangi**

Serai wangi adalah tumbuhan dari keluarga rumput-rumputan. Tanaman ini memiliki nama lain *Cymbopogon nardus L. Rendle*, tumbuh dengan tinggi sekitar 50-100 cm. Berdaun tunggal berjumbai seperti pita dengan panjang sampai 1 meter dan lebar 1,5 cm. Batangnya tidak berkayu, berusuk-rusuk, dan berwarna putih. Tanaman serai wangi berkembang biak dengan sistem bonggol akar. Beberapa kandungan yang terdapat pada serai wangi yaitu zat geraniol, metilheptenon, terpen, terpen-alkohol, asam-asam organik, dan terutama sitronela (Kecil et al., 2016).

Sebagian besar masyarakat mengenal serai wangi sebagai bumbu penyedap makanan yang memberi cita rasa dan aroma pada makanan. Hanya sebagian kecil yang mengetahui manfaat serai wangi sebagai bahan baku untuk *citronella oil* yang bernilai tinggi dibanding sekedar menjadi bumbu dapur. *Citronella oil* yang dihasilkan serai wangi mempunyai bermacam kegunaan diantaranya sebagai bahan baku untuk industri kosmetik, *essence*, parfum, bahan pewangi, industri farmasi, obat-obatan tradisional, minyak gosok, insektisida, obat anti nyamuk dan lain lain.



**Gambar 1. Tanaman Serai Wangi**

Tanaman serai wangi di Indonesia memiliki nama daerah yang berbeda - beda, disebut sereh (Jawa, Madura, Sunda, Gayo), sarai (Minang), sorai (Lampung), see (Bali), patahampori (Bima), kedoung witu (Sumba), nou sina (Pulau Roti) dan tenian nalai (Pulau Leti). Tanaman serai wangi di manca Negara dikenal dengan *citronella grass* (Kecil et al., 2016). Menurut Santoso (2007) klasifikasi ilmiah serai wangi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae  
 Subkingdom : Trachebionta  
 Divisi : Spermatophyta  
 Sub Divisi : Angiospermae  
 Kelas : Monocotyledonae  
 Sub Kelas : Commelinidae  
 Ordo : Poales  
 Famili : Graminae/Poaceae  
 Genus : Cymbopogon  
 Species : *Cymbopogon nardus* L. Rendle

Pada umumnya metode produksi minyak serai wangi dapat dilakukan dengan proses distilasi air, distilasi uap-air dan distilasi uap langsung yang dikenal dengan istilah penyulingan selama 3-4 jam. Penggunaan metode dipilih berdasarkan jenis bahan baku karakteristik minyak, proses difusi minyak dengan air panas, dekomposisi minyak akibat pengaruh panas, efisiensi produksi serta efektivitas produksi.

### **a. Distilasi Air**

Pada metode ini, daun dan batang tanaman serai yang akan disuling mengalami kontak langsung dengan air mendidih. Bahan dapat mengapung di atas air atau terendam secara sempurna, bergantung pada berat dan jumlah bahan yang disuling. Sistem ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain prosesnya sederhana dan dapat mengekstrak minyak dari bahan yang berbentuk bubuk dari akar, kulit, kayu dan bunga-bunga yang mudah membentuk gumpalan jika terkena panas (De Billerbeck et al., 2001). Bahan baku dimasukkan ke dalam ketel penyuling yang telah berisi air kemudian dipanaskan. Uap yang keluar dari ketel dialirkan dengan pipa yang dihubungkan dengan kondensor. Uap yang merupakan campuran uap air dan minyak akan terkondensasi menjadi cair dan ditampung dalam tempat pemisah minyak dan air. Cairan minyak dan air kemudian dipisahkan dengan pemisah minyak. Rendemen yang diperoleh dari metode penyulingan air sangat ditentukan oleh ukuran bahan, rasio bahan dan air yang digunakan dan waktu proses.

Beberapa kelemahan metode ini yaitu membutuhkan waktu yang lama dan jumlah minyak yang dihasilkan relatif sedikit. Metode ini kurang baik digunakan untuk bahan fraksi sabun dan bahan yang larut dalam air. Jika tidak diawasi, bahan yang akan disuling dapat hangus karena suhu pemanasan yang tinggi.

### **b. Distilasi Uap dan Air**

Penyulingan uap dan air dikenal dengan sistem kukus. Cara ini mirip dengan sistem rebus, tetapi bahan baku dan air tidak bersinggungan langsung karena dibatasi dengan saringan di atas air. Sistem ini banyak dilakukan pada dunia industri minyak serai karena hanya memerlukan sedikit air sehingga dapat menghemat waktu proses produksi. Metode ini dilengkapi dengan sistem kohobasi, yaitu air kondensat yang keluar dari separator masuk kembali secara otomatis ke dalam ketel agar kehilangan air diminimalisasi sehingga dapat menekan biaya produksi. Sistem ini lebih menguntungkan karena terbebas dari proses hidrolisa terhadap komponen minyak serai dan proses difusi minyak dengan air panas.

Sistem penyulingan uap dan air lebih efisien daripada metode penyulingan air karena jumlah bahan yang diperlukan lebih sedikit, waktu yang lebih singkat dan rendemen minyak yang dihasilkan lebih besar (Feriyanto et al., 2013).

### c. Distilasi Uap

Pada metode ini bahan baku tidak kontak langsung, baik dengan air maupun pemanas, tetapi hanya uap bertekanan tinggi yang difungsikan untuk menyuling. Prinsip kerja metode ini yaitu membuat uap bertekanan tinggi di dalam *boiler* yang kemudian dialirkan melalui pipa dan masuk ke dalam ketel yang berisi bahan baku. Uap yang keluar dari ketel dihubungkan dengan kondensator. Cairan kondensat yang berisi campuran minyak dan air dipisahkan dengan separator sesuai berat jenis minyak. Prinsip ini sama dengan distilasi uap-air, hanya saja air penghasil uap tidak diisikan bersama dalam ketel penyulingan. Proses ini baik digunakan untuk bahan tanaman seperti kayum kulit batang maupun biji-bijian yang relatif keras.

Serai wangi (*Cymbopogon nardus L. Rendle*) memiliki sifat aktif biologis sebagai antijamur dan antibakteri sehingga dapat dipergunakan sebagai antimikroba alami. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan metode cawan tebar, diketahui bahwa minyak serai wangi (*Cymbopogon nardus L. Rendle*) memiliki aktivitas antijamur dan antibakteri. Senyawa aktif pada minyak serai yang berfungsi sebagai antijamur pada penelitian tersebut adalah sitronellal dan linalool. Minyak serai wangi mengandung Sitronellal (32 – 45 %), Geraniol (12 – 18%), Sitronellol (12 – 15 %), Geraniol Asetat (3 – 8 %), Sitronellol Asetat (2 – 4 %), L-Limonene (2 – 5 %), Elenol dan Seskwiterpene lain (2 – 5 %) dan Elemen dan Cadinene (2 – 5 %) (Grass et al., 2015).

(Bota et al., 2015) menyebutkan bahwa komponen kimia dalam minyak serai wangi cukup kompleks, namun komponen yang terpenting adalah sitronellal, sitronellol, dan geraniol. Ketiga komponen tersebut menentukan intensitas bau harum, dan kualitas yang berdampak pada nilai dan harga minyak serai wangi. Kualitas minyak atsiri pada umumnya dan minyak serai wangi pada khususnya ditentukan oleh faktor kemurnian. Kualitas minyak serai wangi ditentukan pula oleh komponen utama di dalamnya yaitu kandungan sitronellal dan geraniol yang

biasa dinyatakan dengan jumlah kandungan geraniol. Biasanya jika kadar geraniol tinggi, maka kadar sitronellal juga tinggi.

Sitronellal (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O) dan geraniol (C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O) merupakan senyawa yang bersifat antijamur dan termasuk kelompok terpenoid yang tergolong monoterpen yang mampu menekan pertumbuhan jamur patogen. Mekanisme senyawa minyak atsiri serai wangi sebagai antifungi yaitu menghambat sintesis ergosterol (sterol utama pembentuk membran sel jamur) sehingga struktur protein membran menjadi rusak dan permeabilitas membran meningkat yang akan menyebabkan kematian sel jamur (Nurmansyah, 2010). Konsentrasi minyak serai wangi (*Cymbopogon nardus* L. Rendle) yang digunakan sangat menentukan keefektifan minyak serai wangi (*Cymbopogon nardus* L. Rendle) dalam menghambat pertumbuhan jamur yang akan diuji. Menurut penelitian (Ayuningtyas, 2008), minyak atsiri daun serai (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) mempunyai aktivitas antijamur terhadap *Mallasezia furfur* pada konsentrasi 100%, 50%, 25%, 12,5% dan 6,25%.

## II.2.2 Nanopartikel

Saat ini, sedang berkembang teknologi berbasis nano atau disebut nanoteknologi. Nanoteknologi secara umum dapat didefinisikan sebagai teknologi perancangan (desain), pembuatan dan aplikasi struktur/material dalam skala nanometer. Nanoteknologi tidak hanya sebatas tentang cara menghasilkan material atau partikel yang berukuran nanometer, melainkan memiliki pengertian yang lebih luas termasuk cara memproduksi serta mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang telah dibuat. Salah satu perkembangan nanoteknologi yang sedang berkembang yaitu nanopartikel. Nanopartikel telah banyak dikaji untuk berbagai aplikasi teknologi dan dalam penelitian ilmu material, kimia, fisika, biologi, dan ilmu lingkungan (Huang et al., 2007).

Nanopartikel adalah partikel berukuran 1-100 nanometer dan kebanyakan metode menyarankan sebaiknya ukuran diameter partikel antara 200 dan 400 nm. Nanopartikel bertujuan untuk mengatasi kelarutan zat aktif yang sukar larut, memperbaiki bioavailabilitas yang buruk, meningkatkan stabilitas zat aktif dari degradasi lingkungan (penguraian enzimatis, oksidasi, hidrolisis), memperbaiki

absorpsi suatu senyawa makromolekul, dan mengurangi efek iritasi zat aktif pada saluran cerna (Mohanraj & Chen, 2006).

Material atau struktur yang mempunyai ukuran nano akan mempunyai sifat-sifat yang berbeda dari material asalnya. Karakteristik spesifik dari nanopartikel tersebut bergantung pada ukuran, distribusi, morfologi, dan fasanya (Willems, 2005). Bentuk dan ukuran nanopartikel perak sangat menentukan sifat optik, listrik, magnet, katalis dan antibakterinya. Semakin kecil ukuran partikel semakin besar efek antimikroba. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ukuran partikel dalam sintesis yaitu temperatur larutan, konsentrasi garam, agen pereduksi dan waktu reaksi (Šileikaitė et al., 2006).

Beberapa kelebihan nanopartikel memiliki kemampuan untuk menembus ruang-ruang antar sel yang dapat ditembus oleh partikel koloidal. Selain itu, nanopartikel fleksibel untuk dikombinasikan dengan berbagai teknologi lain. Kemampuan ini membuka potensi luas untuk dikembangkan pada berbagai keperluan dan target. Kelebihan lain adalah adanya peningkatan afinitas dari sistem karena peningkatan luas permukaan kontak pada jumlah yang sama (Buzea et al., 2007).

Secara garis besar, sintesis nanopartikel dapat dilakukan melalui tiga metode yaitu metode kimia (*bottom-up*) seperti reduksi (Balantrapu & Goia, 2009), metode fisika (*top-down*) dan pendekatan biologi (*green chemistry*). Pendekatan biologi merupakan solusi alternative dari metode lain karena lebih aman, hemat biaya dan ramah lingkungan (Purnomo et al., 2017). Metode kimia merupakan salah satu cara mudah untuk mensintesis AgNP dalam larutan, biasanya menggunakan pelarut air maupun pelarut organik (Shenava, 2013). Kelebihan metode ini yaitu nanopartikel yang dihasilkan akan lebih seragam dan presisi. Namun, dampak dari metode ini ialah menghasilkan sejumlah residu yang beracun (Strambeanu et al., 2015).

Metode fisika merupakan suatu metode pembuatan nanopartikel dengan cara memecah padatan logam menjadi partikel-partikel kecil berukuran nanometer (Purnomo et al., 2017). Metode ini biasanya menggunakan laser atau litografi untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Kelebihan metode ini adalah

kemampuan laser yang dapat membentuk permukaan nanopartikel dengan sangat presisi dan jelas. Sedangkan kekurangannya yaitu membutuhkan biaya produksi yang sangat mahal dan tidak dapat digunakan untuk produksi dengan skala besar (Strambeanu et al., 2015).

Baru-baru ini, pendekatan biologi untuk mensintesis nanopartikel sedang dikembangkan. Kelebihan metode ini ialah ramah lingkungan, mudah dilakukan, tidak perlu menggunakan tekanan, energi dan suhu yang tinggi, serta mudah ditingkatkan untuk skala besar (Ahmed et al., 2016). Dalam pendekatan biologi, zat pereduksi dan stabilisator diganti menggunakan molekul yang diperoleh dari organisme hidup seperti tanaman, bakteri, jamur, ragi, dan ganggang. Sintesis menggunakan jamur yang dimediasi, bakteri, dan organisme lain sulit dilakukan karena melibatkan isolasi dan pertumbuhan strain yang memerlukan beberapa langkah rumit serta harus menjaga kestabilan media kultur. Sebagai alternatif, tumbuhan mulai dimanfaatkan dalam sintesis nanopartikel karena mudah dilakukan dan ketersediaannya yang melimpah (Nikmatin et al., 2017).

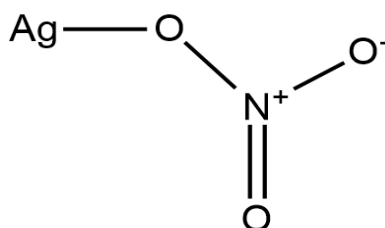
Salah satu material yang disintesis sebagai nanopartikel adalah perak. Perak (Ag) umumnya digunakan karena memiliki sifat toksisitas yang rendah serta stabilitas yang sangat baik terhadap panas dan cahaya (Dwistika et al., 2018). Nanopartikel perak memiliki kenampakan *Surface Plasmon Resonance* (SPR) dalam respon optis yang ditandai dengan puncak serapan pada panjang gelombang 400-500 nm yang dapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Maryani & Firdaus, 2017). Koloid perak telah lama diketahui memiliki sifat antimikroba. Kemampuan antimikroba perak dapat membunuh semua mikroorganisme patogenik. Aktivitas antibakteri nanopartikel perak dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti konsentrasi nanopartikel perak, bentuk nanopartikel perak, ukuran nanopartikel perak, jenis bakteri, jumlah koloni bakteri dan waktu kontak nanopartikel perak dengan bakteri (Sondi & Salopek-Sondi, 2004).

Nanopartikel perak telah banyak dibuat dengan beberapa metode dan kondisi yang berbeda seperti metode reduksi kimia, foto kimia, sonokimia, radiasi ultrasonik, sintesis solvothermal, dll. Diantara banyak metode yang dapat dilakukan, metode reduksi kimia dipilih sebagai metode yang paling efektif untuk

menghasilkan nanopartikel perak. Hal ini disebabkan oleh langkah kerja yang mudah, cepat, murah, dan menggunakan temperatur rendah.

### II.2.3 Perak (Ag)

Perak merupakan logam transisi lunak, putih dan berkilau dengan nomor atom 47 dan massa atom sebesar 107,87 g/mol yang mampu melakukan proses oksidasi dan mengoksidasi zat lain. Logam ini sering digunakan karena memiliki sifat toksisitas yang rendah, stabilitas perak sangat baik terhadap panas dan cahaya, konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan reflektivitas tertinggi di antara logam lain (Dwistika et al., 2018). Padatan kristal perak bersifat netral dalam air, tahan terhadap asam, garam dan basa lemah. Selain itu, penggunaan perak (logam mulia) juga karena kelimpahannya di dunia yang harganya lebih terjangkau dibandingkan logam mulia lain seperti Emas (Au) dan Platina (Pt).



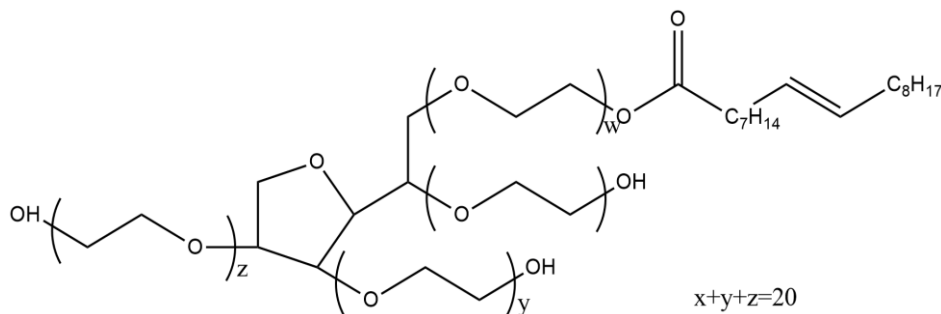
**Gambar 2. Struktur Perak Nitrat**

Logam perak digunakan sebagai titik awal untuk sintesis senyawa perak lainnya sebagai antiseptik, antimikroba dan sebagainya. Semakin berkembangnya zaman pengembangan pemanfaatan perak terus dilakukan. Tujuannya yaitu memberikan manfaat lebih bagi manusia untuk memenuhi kebutuhannya. Salah satu penelitian yang sedang berkembang saat ini adalah nanopartikel perak. Logam perak yang berukuran nanometer mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu tergantung ukuran dan bentuknya. Serapan dari nanopartikel perak kisaran panjang gelombang 400-500 nm selain melibatkan resonansi awan elektron yang terjadi pada permukaan nanopartikel, juga terjadi akibat transisi antarpita pada sistem (4d-5sp) dalam energi yang lebih tinggi setelah disinari oleh sinar UV-Vis (Feldheim, 2002).



#### II.2.4 Tween 80

Tween 80 (*polysorbate 80*) merupakan *polyethylene glycol* turunan dari sorbitan ester. Tween 80 ialah ester oleat dari sorbitol di mana tiap molekul sorbitolnya berkopolimerisasi dengan 20 molekul etilenoksida (anhidrida sorbitol : etilenoksida = 1:20). Tween 80 merupakan cairan kental berwarna kuning, bersifat netral, tidak mudah menguap dan stabil terhadap suhu. Tween 80 sangat larut dalam air, larut dalam etanol (95%) karena memberi ikatan hydrogen dan akseptor hydrogen, tidak larut dalam paraffin cair (*mineral oil*), tidak larut dalam alkohol polihidrik dan *vegetable oil*. Tween 80 mempunyai titik lebur pada suhu 5-6°C, nilai pH 6-8 dan stabil dalam larutan dengan pH 2-12 serta viskositas sebesar 425 mPas (Rowe et al., 2006). Tween 80 merupakan surfaktan nonionik yang memiliki keseimbangan lipofilik dan hidrofilik karena memiliki etilen oksida dan rantai hidrokarbon yang panjang, relatif aman karena toksisitas sifat iritasinya rendah serta memiliki potensi yang rendah untuk menyebabkan reaksi hipersensitivitas dan stabil terhadap asam lemah dan basa lemah.



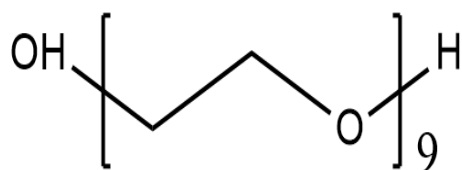
**Gambar 3. Struktur tween 80**

Polysorbate digunakan sebagai *emulsifying agent* pada emulsi minyak dalam air (M/A) dengan tekstur yang halus, stabil terhadap konsentrasi elektrolit yang tinggi dan perubahan pH. Umumnya, tween dimodifikasi dengan sorbitan ester dalam penggunaannya untuk pembuatan emulsi A/M atau M/A. Tween 80 digunakan secara luas pada kosmetik sebagai *emulsifying agent* (Smolinske, 2018). Selain itu, tween 80 juga digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan kelarutan minyak esensial dan vitamin yang larut dalam minyak. Kadar yang digunakan sebagai agen pengemulsi jika dikombinasikan dengan pengemulsi

hidrofilik lain dalam emulsi minyak dalam air (M/A) ialah 1-10% (Rowe et al., 2006).

### II.2.5 PEG-400

Polietilen glikol (PEG) dikenal dengan nama lain *Carbowax*, *Carbowax sentry*, *Lipoxol*, *Lutrol E*, *Pluriol E* (Rowe et al., 2006). Polietilen (PEG) 400 merupakan salah satu polimer cair dari polietilen glikol dengan struktur  $\text{HO}-(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-\text{OH}$ , dengan jumlah  $n$  sekitar 8 atau 9 yang memiliki kelarutan baik dalam air karena adanya gugus hidroksil primer pada ujung rantai polieter yang mengandung oksietilen. Struktur khas dari PEG menyebabkan misibel dengan air melalui ikatan hydrogen. Bagian hidrokarbon yang bersifat hidrofobik dari struktur polietilen glikol (PEG) 400 membantu memutuskan ikatan hydrogen diantara molekul air sehingga mengurangi interaksi intermolekul air yang dapat menyebabkan momen dipol (kepolaran) air menjadi menurun dan komponen hidrofobik dapat masuk ke dalam rongga antar molekul air.



**Gambar 4. Struktur PEG 400**

Polietilen glikol (PEG) 400 stabil dalam udara dan larutan, walaupun dengan berat molekul kurang dari 2000 berbentuk higroskopis, memiliki sifat toksisitas yang relatif rendah, non-korosif, cairan kental, tidak berbau dan tidak berwarna. Kelarutan PEG 400 ialah larut dalam air, etanol (95%), aseton, glikol lain dan hidrokarbon aromatik (Nandi et al., 2003). PEG 400 tidak larut dalam eter dan hidrokarbon alifatik. Polietilen glikol memiliki sifat bakterisida yang dalam masa penyimpanannya lebih aman dari serangan bakteri dan juga berfungsi sebagai *absorption enhancer* (Allen, 2020).

PEG tidak mengiritasi kulit, tidak melakukan penetrasi pada kulit walaupun dapat larut dalam air, dan mudah dibersihkan pada kulit dengan pencucian. PEG juga dapat digunakan untuk basis salep. PEG biasanya digunakan

pada formulasi farmasetikal diantaranya pada sediaan parental, topikal, optalmik, oral, dan preparat rektal (Rowe et al., 2006).

### II.2.6 Lichen

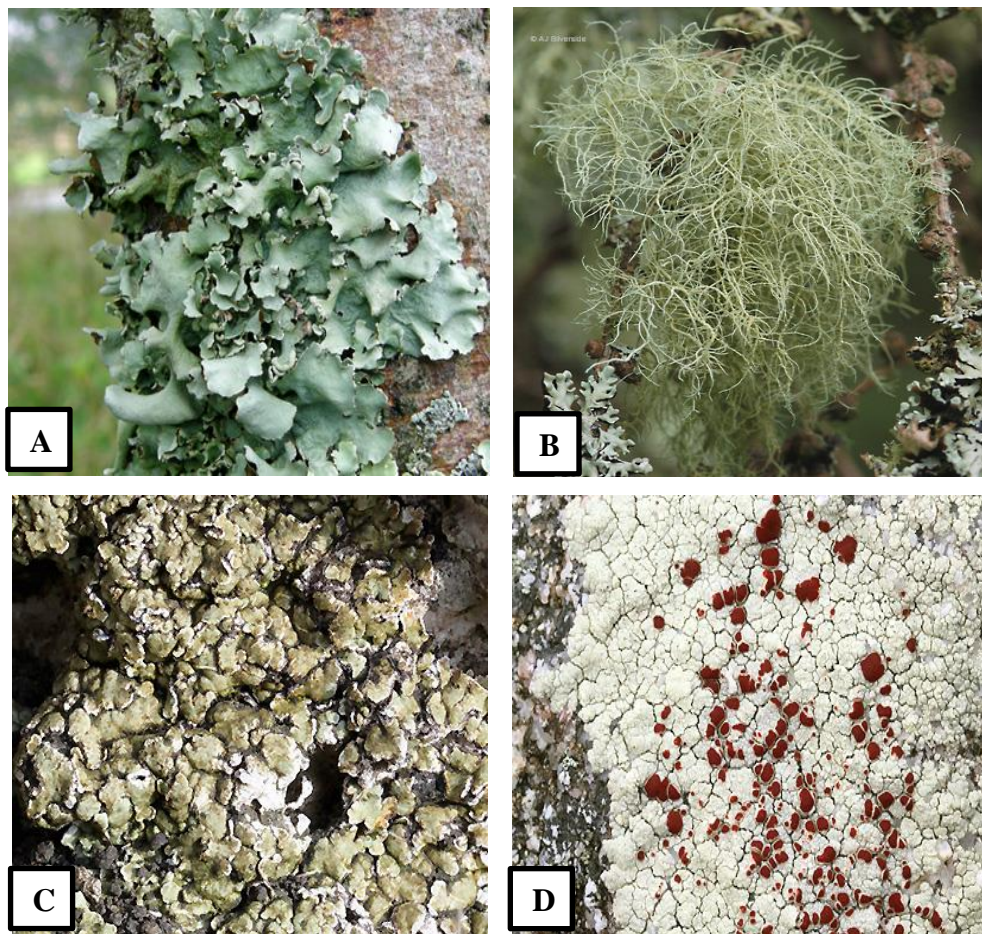
Berdasarkan data Herbarium Bogoriensis Bogor yang diacu dalam Suwarso (1995) *lichens* di Indonesia berjumlah 40.000 spesies. Di Indonesia eksplorasi tentang *lichens* belum banyak yang melakukannya, sehingga peluang untuk meneliti *lichens* masih terbuka luas dan berpotensi.

Menurut (Lingkungan et al., 2015) *lichen* (lumut kerak) merupakan simbiosis mutualisme antara fungi dan alga sehingga secara morfologi dan fisiologi merupakan satu kesatuan yang memiliki fungsi untuk memperoleh makanan dari hasil fotosintesis ganggang, karena ganggang bersifat autotrof, sementara itu, jamur bersifat heterotrof yang menyediakan air, mineral, serta melakukan pertukaran gas dan melindungi ganggang. Jamur yang bersimbiosis disebut *mikobion*, biasanya dari jenis *Ascomycota* dan *Basidiomycota*, sedangkan alga yang bersimbiosis *fikobion* biasanya dari jenis *Cyanobacteria* (alga hijau biru) yang uniseluler dan *Chlorophyta* (alga hijau) yang multiseluler. *Lichen* merupakan tumbuhan indikator yang peka terhadap pencemaran udara, hasil simbiosis antara fungi dan alga. Simbiosis tersebut menghasilkan keadaan fisiologi dan morfologi yang berbeda keadaan semula sesuai dengan keadaan masing masing komponen pembentuknya (Handoko, 2013). *Lichen* bersifat endolitik karena dapat tumbuh pada permukaan batu, batang kayu yang membusuk, pepohonan, dan atap dalam berbagai bentuk, namun tidak semua tempat dapat dijumpai karena habitat *lichen* pada tempat yang tingkat polusinya rendah, sehingga keberadaan *lichens* dapat menjadi bioindikator keadaan lingkungan sekitar. Salah satu faktor yang mempengaruhi bentuk thallus adalah substrat tumbuhnya. Jenis *thallus crutose* merupakan jenis paling sering dijumpai karena mampu melekat pada berbagai substrat. Dalam hidupnya *lichens* tidak memerlukan syarat hidup yang tinggi dan tahan terhadap kekurangan air dalam jangka waktu yang lama (Mulyadi, 2018).

*Lichens* dimasukkan ke dalam kelompok yang tidak terpisah dari jamur, tapi kebanyakan ahli berpendapat bahwa *lichens* perlu dipisahkan dari fungi atau

menjadi golongan tersendiri. Alasan dari pendapat yang kedua ini adalah karena jamur yang membangun tubuh *lichens* tidak akan membentuk tubuh *lichens* tanpa alga. Hal lain didukung oleh karena adanya zat-zat hasil metabolisme yang tidak ditemui pada alga dan jamur yang hidup terpisah (Keilany, 1978). *Lichens* banyak memiliki manfaat yang berguna bagi masyarakat diantaranya yaitu untuk pewarna, pemantauan polusi, parfum, dekorasi dan untuk tujuan obat. Pemanfaatan *lichens* dalam bidang kesehatan khususnya bahan obat berhubungan dengan substansi yang terkandung di dalamnya. Dan substansi tersebut dimanfaatkan untuk antibiotik, antijamur, antivirus, antiinflamasi, analgesik, antipiretik, antiproliferatif dan efek sitotoksik. Dengan demikian *lichens* memiliki manfaat baik bagi masyarakat (Xv & Lichen, 2002).

Tubuh *lichen* dinamakan dengan thallus, ini sangat penting untuk identifikasi. Berdasarkan bentuk talusnya, lumut kerak (*lichen*) dibedakan menjadi empat tipe yaitu berbentuk *foliose*, *fruticose* dan *crustose* serta *squamulose* (Roziaty, 2016). *Lichen foliose* memiliki karakteristik daunnya seperti lobus. Dapat melebur dengan *lichen* lainnya, menutupi substrat yang ditinggali. Menurut (Rasyidah, 2018), morfologi talus *Crustose* adalah ukurannya bermacam-macam dengan bentuk thallus rata, tipis, berbentuk lembaran, menyerupai kerak melekat pada substratnya. Sedangkan morfologi *thallus Foliose* adalah bagian atas dan bagian bawah berbeda, pada permukaan bawah berwarna lebih terang dan pada bagian tepi thallusnya biasanya menggulung ke atas. *Fruticose* bentuk talusnya berupa semak dengan banyak cabang seperti pita. Talus *fruticose* tumbuh tegak atau menggantung pada batu, dedaunan atau cabang pohon. Dan lichen jenis *squamulose* memiliki lobus-lobus seperti sisik yang disebut *squamulus* dengan ukuran yang lebih kecil dan saling bertindih serta memiliki struktur tubuh yang disebut dengan podetia.



**Gambar 5. Jenis-jenis lichen (A) Foliose, (B) Fruticose, (C) Squamulose dan (D) Crustose**

Sumber: <http://www.lichens.lastrapdragon.org/faq/lichenthallustypes.html>

Ciri-ciri fungi yang membentuk *lichen* yaitu kebanyakan tidak berhubungan dan memiliki bentuk yang berbeda *lichen*, termasuk di dalamnya adalah jamur, khususnya jamur piala. Sekitar 98% fungi *lichen* adalah jamur piala atau *Ascomycetes*. Sekitar setengah hingga seluruh keluarga *Ascomycetes* membentuk *lichen*. Pembentukan *lichen* ini merupakan strategi ekologi, atau cara pengambilan nutrisi diantara fungi-fungi yang tidak memiliki hubungan (Roziaty, 2016).

### II.2.6.1 Anatomi Lichen

Tubuh *lichen* yang disebut dengan thallus berwarna mulai dari putih, keabuan, coklat bahkan hitam. Bagian tubuh *lichen* yang memanjang disebut hifa. Hifa merupakan organ vegetatif dari thallus atau miselium yang biasanya tidak di

dapatkan pada fungi yang bukan *lichen*. Secara garis besar susunan anatomi lumut kerak dibedakan menjadi tiga lapisan, antara lain: 1). Lapisan Luar (korteks): lapisan yang tersusun atas sel-sel jamur yang rapat dan kuat, menjaga agar lumut kerak tetap tumbuh; 2). Lapisan Gonidium: merupakan lapisan yang mengandung ganggang dan menghasilkan makanan dengan berfotosintesis; dan 3) Lapisan Empulur: lapisan yang tersusun atas sel-sel jamur yang tidak rapat berfungsi untuk menyimpan cadangan air dan tempat terjadinya perkembangbiakan (Yurnaliza, 2002).

### II.2.6.2 Klasifikasi Lichen

*Lichen* memiliki klasifikasi yang bervariasi dan dasar-dasar klasifikasinya secara umum diantaranya:

#### 1. Berdasarkan komponen cendawan yang menyusunnya

##### A. Ascolichens

- Cendawan penyusunnya tergolong Pyrenomycetales, maka tubuh buah yang dihasilkan berupa peritesium. Contoh: *Dermatocarpon* dan *Verrucaria*.
- Cendawan penyusunnya tergolong Discomycetes. *Lichen* membentuk tubuh buah berupa apothecium yang berumur panjang. Contoh: *Usnea* dan *Parmelia*. Dalam kelas Ascolichens ini dibangun juga oleh komponen alga dari famili: Mycophyceae dan Chlorophyceae yang bentuknya berupa gelatin. Genus dari Mycophyceae adalah: *Scytonema*, *Nostoc*, *Rivularia*, *Gleocapsa* dan lain-lain. Dari Cholophyceae adalah: *Protococcus*, *Trentopohlia*, *Cladophora* dll.

##### B. Basidiolichenes

Berasal dari jamur Basidiomycetes dan alga Mycophyceae. Basidiomycetes yaitu dari famili: Thelephoraceae, dengan tiga genus *Cora*, *Corella* dan *Dyctionema*. Mycophyceae berupa filament yaitu: *Scytonema* dan tidak berbentuk filamen yaitu *Chrococcus*.

##### C. *Lichen* Imperfect

Deutromycetes fungi, steril. Contoh: *Cystocoleus*, *Lepraria*, *Leprocantlon*, *Normandia*, dll.

## 2. Berdasarkan alga yang menyusun thallus

### A. Homoimerus

Sel alga dan hifa jamur tersebar merata pada thallus. Komponen alga mendominasi dengan bentuk seperti gelatin, termasuk dalam Mycophyceae. Contoh: *Ephebe*, *Collema*.

### B. Heteromerous

Sel alga terbentuk terbatas pada bagian atas thallus dan komponen jamur menyebabkan terbentuknya thallus, alga tidak berupa gelati Chlorophyceae. Contoh: *Parmelia*.

## 3. Berdasarkan tipe thallus dan kejadiannya

### A. Crustose atau Crustaceous

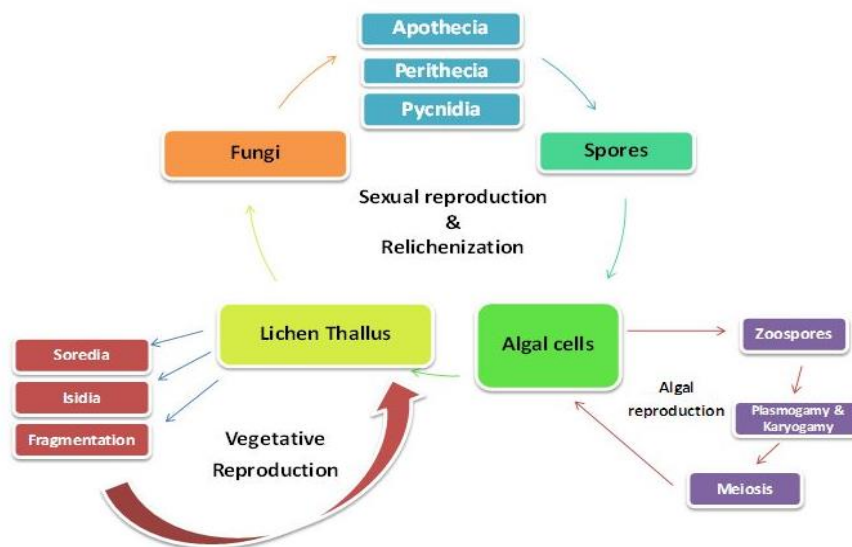
Merupakan lapisan kerak atau kulit yang tipis di atas batu, tanah atau kulit pohon. Seperti *Rhizocarpon* pada batu, *Lecanora* dan *Graphis* pada kulit kayu. Mereka terlihat sedikit berbeda antara bagian permukaan atas dan bawah.

### B. Fruticose atau filamentous

*Lichen* semak, seperti silinder rata atau seperti pita dengan beberapa bagian menempel pada bagian dasar atau permukaan. Thallus bervariasi, ada yang pendek dan panjang, rata, silindris atau seperti janggut atau benang yang menggantung atau berdiri tegak. Bentuk yang seperti telinga tipis yaitu *Ramalina*. Yang panjang menggantung seperti *Usnea* dan *Alectoria*. *Cladonia* adalah tipe antara kedua bentuk itu.

### II.2.6.3 Siklus Hidup Lichen

Siklus hidup *lichen* terdiri dari dua fase yaitu fase seksual dan aseksual. Bagian fungi pada *lichen* menyebabkan terjadinya siklus seksual secara normal. Ini akan membawa pada proses pembentukan tubuh buah seperti *apothecia*, *perithecia*, *pycnidia* yang menghasilkan spora. Spora ini akan berkecambah dan menghasilkan mycelium baru, jika berkombinasi dengan alga yang cocok akan menghasilkan thallus *lichen* yang baru. Alga *lichen* melakukan proses reproduksi melalui pembelahan sel. Kebanyakan *lichen* bereproduksi secara aseksual.



**Gambar 6. Siklus Hidup Lichen**

Sumber:

[http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/sahyadri\\_enevs/newsletter/issue34/sahyadri\\_shilapushpa/index.htm](http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/sahyadri_enevs/newsletter/issue34/sahyadri_shilapushpa/index.htm)

Fase aseksual (perbanyakkan secara vegetatif) dengan bantuan propagula khusus *lichen*. Mereka menghasilkan propagula vegetatif seperti soredia, isidia, lobula dan fragmen-fragmen. Setelah tumbuh, badan ini meninggalkan tubuh *lichen* dan berkembang menjadi thallus baru (Roziaty, 2016).

#### II.2.6.4 Penentuan Aktivitas Antimikroba

##### 1. Metode Difusi

###### a. Metode difusi cakram agar

Piringan agar diinokulasi dengan inokulum standar mikroorganisme uji. Kemudian kertas saring diberi bahan uji pada konsentrasi yang diinginkan dan ditempatkan pada permukaan agar. Cawan petri diinkubasi pada kondisi yang sesuai. Agen antimikroba berdifusi ke dalam media agar dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Daerah bening disekitar cakram menunjukkan adanya daya hambat pertumbuhan mikroorganisme oleh agen antimikroba (Pratiwi, 2008). Kelebihan metode ini ialah sederhana, biaya rendah, kemampuan untuk menguji sejumlah besar mikroorganisme dan agen antimikroba serta kemudahan untuk menginterpretasikan hasil yang diberikan.



### **b. Metode gradient antimikroba (E-test)**

Pada metode E-test menggabungkan prinsip metode dilusi dan metode difusi untuk menentukan nilai MIC yaitu konsentrasi minimal suatu agen antimikroba, antibiotic, antijamur dan antimikrobakteri. Namun, metode ini relatif mahal. Metode ini menggunakan strip plastik dengan meningkatkan konsentrasi gradient agen antimikroba dari satu ke yang lainnya dan diendapkan pada permukaan agar, yang sebelumnya diinokulasi dengan mikroorganisme yang diuji.

### **c. Metode Ditch-plate**

Sampel uji berupa agen antimikroba diletakkan pada parit yang dibuat dengan memotong media agar dalam cawan petri pada bagian tengah secara membujur dan mikroba uji (maksimum 6 macam) digoreskan ke arah parit yang berisi agen antimikroba.

### **d. Teknik Cup-plate**

Metode ini hampir sama dengan difusi cakram, dimana dibuat sumur pada media agar yang ditanami dengan mikroorganisme dan pada sumur diberi agen antimikroba yang akan di uji.

## **2. Metode Dilusi**

### **a. Metode dilusi cair (broth)**

Salah satu metode dasar untuk uji antimikroba, yang memerlukan persiapan dua kali dilusi dari agen antimikroba (misal 1, 2, 4, 8, 16 dan 32 µg/mL) dalam media cair yang dibagi pada tabung yang berisi minimal 2 mL (makrodilusi) atau volume yang lebih kecil menggunakan piringan mikrotitrasi sumur-96 (mikrodilusi). Setiap tabung atau sumur diinokulasi dengan inoculum mikroba dalam media yang sama dan disesuaikan dengan standart 0,5 McFarland. Penggunaan metode mikrodilusi lebih memiliki keuntungan utama yaitu reproduktifitas dan ekonomi reagen serta ruang yang terjadi karena uji miniaturisasi dibandingkan dengan makrodilusi yang membutuhkan jumlah reagen yang relatif besar dan pekerjaan yang manual (Jorgensen & Ferraro, 2009).

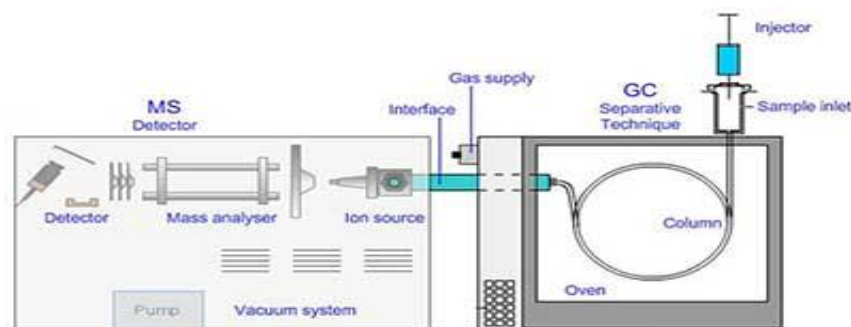
### **b. Metode dilusi agar**

Penggabungan variasi konsentrasi yang diinginkan dari agen antimikroba ke dalam medium agar (media agar cair), menggunakan dua kali lipat dilusi, dan

diinokulasi mikroorganisme tertentu ke permukaan agar. Teknik ini cocok untuk uji antibakteri dan antijamur. Metode ini menyajikan korelasi yang baik dengan E-test untuk uji antibakteri terhadap bakteri Gram positif dan Gram negative (Baker et al., 1991).

### II.2.7 Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS)

GC merupakan salah satu teknik kromatografi yang hanya dapat digunakan untuk mendeteksi senyawa-senyawa yang mudah menguap tetapi tidak selalu selektif dalam mendeteksi. Kriteria menguap adalah dapat menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah serta dapat dipanaskan. Dasar pemisahan menggunakan kromatografi gas adalah penyebaran cuplikan pada fase diam sedangkan gas sebagai fase gerak mengelusi fase diam. Cara kerja dari GC adalah suatu fase gerak yang berbentuk gas mengalir di bawah tekanan melewati pipa yang dipanaskan dan disalut dengan fase diam cair atau dikemas dengan fase diam cair yang disalut pada suatu penyangga padat. Analit tersebut dimuatkan ke bagian atas kolom melalui suatu portal injeksi yang dipanaskan. Suhu oven dijaga atau diprogram agar meningkat secara bertahap. Ketika sudah berada dalam kolom, terjadi proses pemisahan antar komponen. Pemisahan ini akan bergantung pada lamanya waktu relatif yang dibutuhkan oleh komponen-komponen tersebut di fase diam (Ari et al., 2016).



**Gambar 7. Komponen GC-MS**

Sumber: <https://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/berita/gcms-terpasang-penelitian-harus-lebih-maju/>

Seiring dengan perkembangan teknologi maka instrument GC digunakan secara bersama-sama dengan instrumen lain seperti *Mass-Spectrometer* (MS).

Spektrometer massa diperlukan untuk identifikasi senyawa sebagai penentu bobot molekul dan penentuan rumus molekul. MS dapat selektif mendeteksi banyak senyawa tetapi tidak selalu memisahkan. Prinsip dari MS adalah pengionan senyawa-senyawa kimia untuk menghasilkan molekul bermuatan atau fragmen molekul dan mengukur rasio massa/muatan. Molekul yang telah terionisasi akibat penembakan elektron berenergi tinggi tersebut akan menghasilkan ion dengan muatan positif, kemudian ion tersebut diarahkan menuju medan magnet dengan kecepatan tinggi. Medan magnet atau medan listrik akan membelokkan ion tersebut agar dapat menentukan bobot molekulnya dan bobot molekul semua fragmen yang dihasilkan (Ari et al., 2016). Kemudian detektor akan menghitung muatan yang terinduksi atau arus yang dihasilkan ketika ion dilewatkan atau mengenai permukaan, scanning massa dan menghitung ion sebagai *mass to charge ratio* ( $m/z$ ). Terdapat 4 (empat) proses dalam spektrometri massa yakni ionisasi, percepatan, pembelokkan dan pendeteksian.

Syarat suatu senyawa dapat dianalisis menggunakan GC-MS adalah memiliki sifat yang volatile (mudah menguap), jika suatu senyawa sulit menguap sebelum dianalisis menggunakan GC-MS maka dilakukan derivatisasi terlebih dahulu. GC-MS sangat diperlukan pada laboratorium analisis kimia untuk menentukan obat dan metabolit dalam bidang farmasi, berat molekul dan komposisi unsur dalam campuran kompleks serta penentuan senyawa organik yang mudah menguap dan semi-volatil dalam campuran kompleks seperti air, tanah dan contoh lingkungan lainnya.

### **II.2.8 Spektrofotometer UV-Vis**

Spektrofotometer UV-Vis adalah alat yang terdiri dari spektrometer dan fotometer. Kelebihan spektrofotometer adalah panjang gelombang dari sinar polikromatis lebih terseleksi karena spektrofotometer dilengkapi dengan monokromator seperti prisma, grating, atau celah optis. Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat untuk mengukur transmitansi dan absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Absorbansi dan transmitansi dalam spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif suatu zat kimia. Spektrofotometer UV-Vis banyak digunakan dalam praktek analisis makanan,

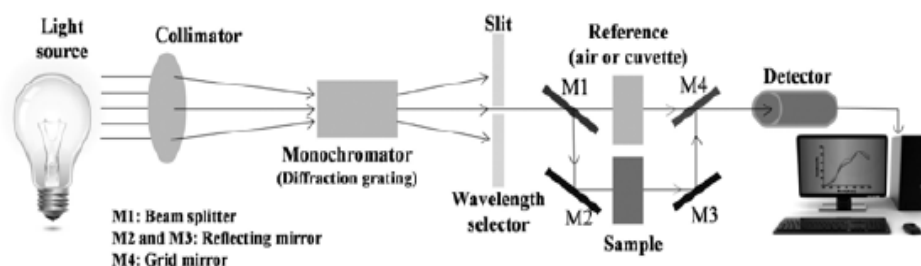
obat-obatan, penelitian lingkungan, industri farmasi dan institusi biokimia (Purwaningsih & Supriyanto, 2017).

Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi dapat ditentukan hukum Lambert-Beer, dengan syarat bahwa sinar yang digunakan harus monokromatik. Bila suatu cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang transparan, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan sebanding dengan tebal dan kepekaan media larutan yang digunakan. Pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis akan menghasilkan spektrum, sehingga dapat diketahui absorbansi (serapan) dari sampel. Hubungan antara absorbansi dan konsentrasi ini kemudian dimasukkan ke dalam persamaan hukum Lambert-Beer seperti persamaan:

$$A = \varepsilon b C$$

dengan A adalah absorbansi,  $\varepsilon$  adalah absorptivitas molar ( $M^{-1}cm^{-1}$ ), b adalah tebal kuvet (cm) dan C adalah konsentrasi larutan (M).

Spektrofotometer UV-Vis mempunyai kelebihan yaitu memiliki batas deteksi yang rendah serta memiliki tingkat akurasi, presisi yang tinggi menggunakan pelarut yang sedikit dan memberikan cara sederhana untuk menetapkan kuantitas zat yang sangat kecil serta angka yang terbaca langsung oleh detector. Spektrofotometer UV-Vis memiliki panjang gelombang UV 200 – 400 nm dan panjang gelombang Visible 400 – 700 nm. Pemilihan kedua panjang gelombang tersebut didasarkan pada keterbacaan absorbansi suatu analit (Pratama et al., 2018).



**Gambar 8. Skema Spektrometer UV-Vis (Jena et al., 2015)**

Prinsip kerja Spektrofotometer UV-Vis yaitu apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap ( $I$ ), sebagian dipantulkan ( $I_r$ ), dan sebagian lagi dipancarkan ( $I_t$ ). Aplikasi rumus tersebut dalam pengukuran kuantitatif dilaksanakan dengan cara

komparatif menggunakan kurva kalibrasi dari hubungan konsentrasi deret larutan alat untuk analisa suatu unsur yang berkadar rendah baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif, pada penentuan secara kualitatif berdasarkan puncak-puncak yang dihasilkan spektrum dari suatu unsur tertentu pada panjang gelombang tertentu, sedangkan penentuan secara kuantitatif berdasarkan nilai absorbansi yang dihasilkan dari spektrum dengan adanya senyawa pengompleks sesuai unsur yang dianalisisnya.

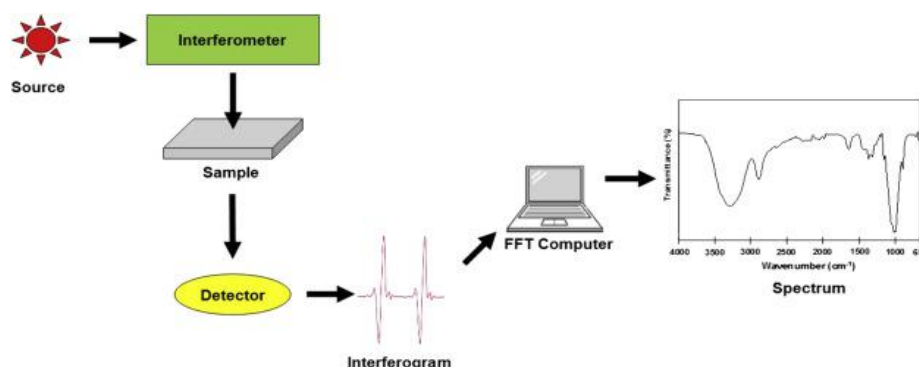
### **II.2.9 Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FT-IR)**

FT-IR merupakan salah satu instrument yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya (Andriawan, 1980). Teknik spektrometri IR dapat digunakan dalam dua varian: transmisi dan reflektansi. Transmisi digunakan untuk menguji efek dari penyerapan radiasi IR dalam volume sampel. Hal ini dimungkinkan untuk menguji sampel dalam bentuk padat, cair dan gas dengan menggunakan prosedur yang tepat. Gas dan cairan ditempatkan dalam cuvettes khusus dengan jendela, terbuat dari bahan transparan untuk radiasi IR (misalnya kristal ionik: KBr, NaCl). Spektrum padatan dapat diukur dengan menggunakan spesimen dalam tablet dari KBr, NaCl, sampel cairan/suspensi dalam parafin cair. Jika objek yang diuji cukup tipis dan transparan, spektrum yang diukur langsung pada sampel. Teknik transmisi tidak dapat digunakan untuk bahan yang kuat menyerap radiasi IR (Sulistiyani & Huda, 2018).

Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Inti spektroskopi FT-IR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Prinsip kerja FT-IR adalah mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan (Sankari et al., 2010).

Spektrofotometer FT-IR merupakan salah satu instrumen yang banyak digunakan untuk mengetahui spektrum vibrasi molekul yang dapat digunakan untuk memprediksi struktur senyawa kimia. Terdapat tiga teknik pengukuran sampel yang umum digunakan dalam pengukuran spektrum menggunakan FT-IR yaitu *Photo Acoustic Spectroscopy* (PAS), *Attenuated Total Reflectance* (ATR), dan *Difuse Reflectance Infrared Fourier Transform* (DRIFT). Setiap teknik memiliki karakteristik spektrum vibrasi molekul tertentu (Beasley et al., 2014).

Spektrum vibrasi yang akan diinterpretasikan harus memenuhi beberapa syarat, diantaranya resolusi dan intensitas spektrum harus memadai, spektrum harus berasal dari zat murni, spektrofotometer harus dikalibrasi, serta teknik penyiapan sampel harus dijelaskan. Ketepatan kuat tekan, dan waktu penekanan dalam proses pengukuran sampel menggunakan FT-IR metode reflektansi sangat menentukan hasil spektrum vibrasi sampel yang dihasilkan.



**Gambar 9. Komponen FT-IR (Mohamed et al., 2017)**

Instrument pada spektrometer FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) secara umum sama dengan spektrometer inframerah dispersif hanya yang membedakan adalah pada spektrometer jenis ini tidak menggunakan monokromator melainkan menggunakan inferferometer. Keuntungan dari teknik ini adalah praktis, memiliki sensitivitas yang tinggi dalam identifikasi sampel serta hasil spektrum didapat dalam waktu yang sangat cepat (Muyonga et al., 2004).

### II.2.10 Analisis Ukuran Partikel (PSA)

Pengukuran diameter dan ukuran partikel menggunakan alat *particle size analyzer* (PSA) dengan teknik *dynamic light scattering* (DLS). Alat PSA banyak digunakan untuk menguji sampel-sampel dalam ukuran nanometer dan submicron

(Nuraeni et al., 2013). Hasil analisis yang diperoleh berupa luas area rata-rata partikel. Luas area rata-rata yang dihasilkan dapat dihitung diameter partikelnya dengan menggunakan persamaan:

$$d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

keterangan: luas area rata-rata (A), diameter partikel (d), konstanta ( $\pi$ )

Biasanya material atau sampel memiliki kecenderungan menggumpal yang tinggi. Pada pengecekan menggunakan PSA ini, sampel serbuk didispersikan ke dalam media cair, sehingga partikel tidak saling beraglomerasi (menggumpal). Hal ini dapat menghasilkan ukuran partikel yang terbaca adalah ukuran dari partikel tunggal (*single particle*). Bentuk dari hasil pengukuran adalah berupa distribusi, sehingga kondisi hasil pengukuran sampel yang diambil dapat diasumsikan sudah menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Hoten et al., 2020). Kebenaran dan keabsahan hasil pengujian sangat tergantung pada kebenaran dan ketelitian alat ukur dan alat uji yang memenuhi sistem mutu sesuai dengan standar internasional ISO/IEC 17025 : 2008 (Nuraeni et al., 2013).

*Dynamic Light Scattering* (DLS), disebut juga dengan *Quasi Elastic Light Scattering* (QELS) atau *Photon Correlation Spectroscopy* (PCS) adalah teknik pengukuran yang non-invasif dan dapat dengan baik mengukur distribusi molekul dan partikel di wilayah submikron - dengan teknologi terbaru bisa lebih rendah dari 1 nm (Akurat & Ilsaotom, 2020). Saat suatu berkas cahaya mengenai suatu partikel, berkas cahaya tersebut terhambur ke berbagai sudut sehingga intensitas cahaya yang diteruskan berkurang. Peristiwa ini diistilahkan sebagai hamburan cahaya atau light scattering (Anindya, 2018). DLS juga menjadi alat yang sangat kuat untuk mempelajari difusi makromolekul dalam larutan. Aplikasi DLS meliputi kategorisasi partikel, emulsi atau molekul yang telah didistribusikan atau didispersikan dalam cairan. Sinar laser tersebar pada intensitas yang berbeda karena gerakan acak partikel atau molekul dalam suspensi. Perbedaan intensitas ini dianalisis untuk mendapatkan kecepatan Gerak Brown dan menentukan ukuran partikel menggunakan hubungan Stokes-Einstein (Akurat & Ilsaotom, 2020).

Partikel yang terdispersi dalam suatu cairan akan mengikuti suatu pola pergerakan acak tertentu yang disebut Gerak Brown. Persamaan Stokes-Einstein yang digunakan pada teknik *dynamic light scattering* memodelkan hubungan antara mobilitas partikel Brownian dengan ukuran partikel, sehingga pada pengukuran *dynamic light scattering*, sampel yang ingin diukur harus dalam bentuk terdispersi (Metcalf et al., 2012).

Adapun persamaan Stokes-Einstein sebagai berikut:

$$\frac{\chi}{2t} = D = \frac{RT}{6\pi\eta rN}$$

Dimana D adalah koefisien difusi atau mobilitas partikel terdispersi, yang terukur dari kecepatan perpindahan suatu partikel pada jarak x dalam waktu t.  $\eta$  merupakan viskositas cairan sampel, N merupakan bilangan Avogadro, dan r adalah ukuran partikel (Murdock et al., 2008).

Data ukuran partikel yang didapatkan berupa tiga distribusi yaitu *intensity*, *number*, dan *volume distribution*, sehingga dapat diasumsikan menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Nikmatin et al., 2010). Indek polidispersitas merupakan ukuran lebarnya distribusi ukuran partikel. Nilai sumbu y pada grafik menunjukkan banyaknya partikel yang terukur pada alat PSA dan sumbu x menunjukkan rentang ukuran dari sampel yang diuji (Husni et al., 2017).

Terdapat beberapa keuntungan menggunakan DLS, yaitu pengukuran ukuran partikel dapat dicapai dalam waktu satu atau dua menit dengan pengukuran yang akurat, jumlah sampel yang sangat sedikit (<3 $\mu$ L), pengukuran konsentrasi partikel dapat diperoleh dengan tanpa melakukan kalibrasi dan pengukuran ukuran rata-rata hanya memerlukan pengetahuan viskositas cairan, sampel yang memiliki konsentrasi berbeda seperti sampel yang memerlukan persiapan sederhana atau tidak, konsentrasi tinggi, dan sampel yang keruh dapat dianalisis secara langsung menggunakan DLS, dapat digunakan untuk penentuan berat molekul < 1000 Da dan pengukuran ukuran molekul dalam kisaran 10 $\mu$ m hingga < 1 nm (Akurat & Ilsaotom, 2020).

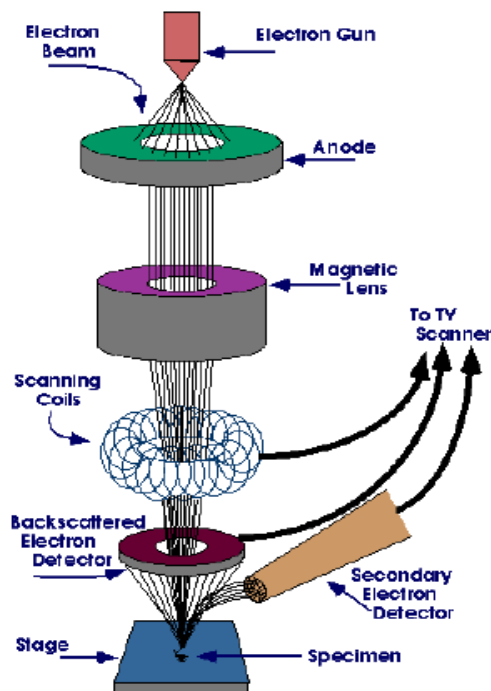


### **II.2.11 Pemindaian Mikroskop Elektron-Energi Dispersif Sinar-X (SEM-EDX)**

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik.

SEM dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi. Proses pengambilan gambar dan analisis kimia dengan SEM sangatlah dipengaruhi oleh jenis sampel serta teknik preparasinya disamping kemampuan operasional dari operator nya (Sujatno et al., 2015).

Komponen utama yang terdapat pada mikroskop elektron atau SEM diantaranya yaitu pistol elektron, lensa untuk elektron dan sistem vakum. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel, kemudian sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (Kekerasan, 2014). Berikut skema SEM:



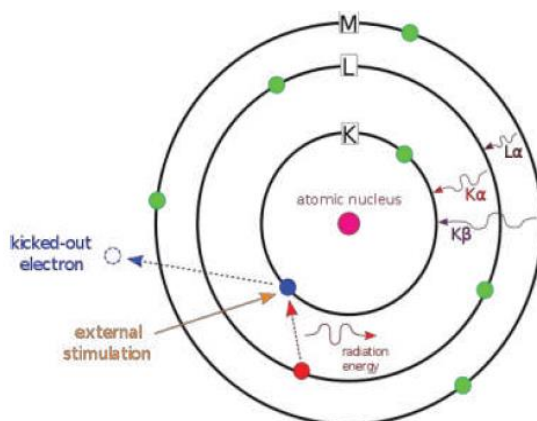
**Gambar 10. Skema Scanning Electron Microscope (SEM)**

Sumber: <https://materialcerdas.wordpress.com/teori-dasar/scanning-electron-microscopy/>

Ada beberapa sinyal penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastik didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar-X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron* (Kekerasan, 2014).

*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar-X dengan spesimen (Sudradjat et al., 2014). Untuk merangsang emisi karakteristik sinar-X dari sebuah spesimen, sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton, atau berkas sinar-X, difokuskan ke spesimen yang akan diteliti. Selanjutnya sebuah atom dalam spesimen yang mengandung elektron dasar di masing-masing tingkat energi atau kulit elektron terikat pada inti. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam dan mengeluarkannya dari kulit, sehingga terdapat lubang elektron di mana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi kemudian mengisi lubang, dan perbedaan energi antara kulit yang berenergi lebih tinggi

dengan kulit yang berenergi lebih rendah dapat dirilis dalam bentuk sinar-X. Jumlah dan energi dari sinar-X yang dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi-dispersif. Energi dari sinar-X yang dihasilkan merupakan karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit, dan juga karakteristik struktur atom dari unsur yang terpancar, sehingga memungkinkan komposisi unsur dari spesimen dapat diukur (Kekerasan, 2014). Skema pengujian EDX dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11. Skema Energy Dispersive X-ray (EDX) (Sudradjat et al., 2014)**

Perangkat EDX yang terintegrasi dengan SEM memungkinkan dilakukannya mikroanalisis secara kualitatif dan semi kuantitatif untuk unsur-unsur mulai dari Litium (Li) sampai Uranium (U). EDX dihasilkan dari Sinar-X karakteristik, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Perangkat lunak (*software*) akan secara otomatis mengidentifikasi jenis unsur/elemen yang terkandung pada sampel yang dikenal dengan *element identification*. EDX bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase kandungan masing-masing elemen (Cahyana et al., 2014).

### II.3 Hipotesis

Berdasarkan penjelasan dalam latar belakang dan tinjauan pustaka, maka diperoleh hipotesis sebagai berikut:

1. Sintesis nanopartikel perak (EO-AgNPs) dapat dilakukan secara langsung tanpa ada penambahan air.

2. Penambahan surfaktan tween 80 dapat memberikan stabilitas terhadap pembentukan sintesis nanopartikel perak (EO-AgNPs).
3. Sintesis nanopartikel perak (EO-AgNPs) mampu memberikan efektivitas terhadap pertumbuhan *lichen*.
4. Sintesis nanopartikel perak (EO-AgNPs) dihipotesiskan dapat memberikan daya hambat yang lebih baik dibandingkan tanpa nanopartikel logam.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1 Alat dan Bahan**

Alat-alat yang diperlukan antara lain seperangkat gelas kimia, sendok sungsu, spatula, neraca analitik, scaffel, cawan petri, pinset, tabung reaksi, kawat ose, alat destilasi uap, refraktometer, autoklaf, oven, sentrifuse, *laminar air flow* (LAF), inkubator dan SCAN 500, GC-MS (*gas chromatography-mass spectrometry*), UV-Vis (*ultraviolet-visible spectroscopy*), FT-IR (*fourier-transform infrared spectroscopy*), PSA (*particle size analyzer*), SEM-EDX (*scanning electron microscope-energy dispersive x-ray*).

Bahan-bahan yang diperlukan antara lain minyak serai wangi, perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ), natrium sulfat anhidrat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), *polysorbate 80* (tween 80), polietilen glikol 400 (PEG-400), *fresh* sampel *lichens*, *Potato Dextrose Agar* (PDA), alkohol 70%, plastik wrap, aluminium foil, kapas, kertas saring dan akuades.

#### **III.2 Isolasi Minyak Atsiri Serai Wangi**

Sampel minyak atsiri serai wangi diperoleh dari proses penyulingan menggunakan destilasi uap-air (kukus). Alat destilasi terbuat dari bahan *stainless steel* dengan kapasitas 2-3 kg. Sampel daun serai wangi yang akan digunakan di rajang terlebih dahulu sebelum dimasukkan kedalam ketel. Proses destilasi dilakukan selama 3 jam. Minyak yang diperoleh dikumpulkan pada separator dan dipisahkan dari air menggunakan corong. Minyak atsiri dimurnikan dengan penambahan natrium sulfat anhidrat dan minyak atsiri dianalisis untuk mengetahui kandungan kimia menggunakan GC-MS Shimadzu QP2010 SE.

#### **III.3 Sintesis Minyak Serai Wangi-Nanopartikel Perak (EO-AgNPs)**

Sintesis EO-AgNPs dilakukan dengan mencampurkan 0,017 gram padatan  $\text{AgNO}_3$  langsung ke 10 mL minyak serai wangi dalam gelas beaker 100 mL. Campuran diaduk hingga homogen dan disimpan selama 24 jam pada suhu ruang. Stabilitas EO-AgNPs diamati sesuai dengan parameter penelitian dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

### **III.3.1 Pengaruh Variasi Waktu Penyimpanan terhadap EO-AgNPs**

Sintesis EO-AgNPs dilakukan dengan mencampurkan 0,017 gram  $\text{AgNO}_3$  langsung ke 10 mL minyak serai wangi dalam gelas beaker 100 mL. Campuran diaduk hingga homogen dan disimpan selama 24 jam pada suhu ruang. Stabilitas EO-AgNPs diamati selama 1, 3, 5, 7, 9 dan 11 hari. Secara berkala, campuran reaksi diamati perubahan warnanya dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

### **III.3.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Berat Perak Nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) terhadap EO-AgNPs**

Sintesis EO-AgNPs juga dilakukan pada variasi konsentrasi berat perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) 2, 4, 6, 8 dan 10 mM  $\text{AgNO}_3$  dalam minyak serai wangi dan disimpan selama 24 jam pada suhu ruang untuk menentukan konsentrasi berat optimum. Stabilitas EO-AgNPs diamati dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

### **III.3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Minyak Serai Wangi terhadap EO-AgNPs**

Sintesis EO-AgNPs dilakukan dengan membuat beberapa variasi konsentrasi minyak serai wangi 10 mM, 5 mM, 3,3 mM, 2,5 mM, 2,0 mM dan 1,6 mM. Masing-masing konsentrasi dilakukan dengan mencampurkan  $\text{AgNO}_3$  langsung ke minyak atsiri serai wangi dalam gelas beker 100 mL. Kemudian ditambahkan surfaktan Tween-80 dan diaduk hingga homogen. Larutan yang sudah homogen disimpan selama 24 jam pada suhu ruang. Stabilitas terbentuknya EO-AgNPs dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

## **III.4 Karakterisasi Sintesis Nanopartikel Perak**

Bahan EO-AgNPs yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan beberapa alat analisis. Analisis nilai serapan maksimum dan absorbansi diukur pada panjang gelombang 300-800 nm menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Hitachi UH 5300. Analisis menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) Perkin Elmer Spectrum Versi 10.5.1 untuk mengetahui gugus fungsi yang dapat mengindikasikan nanopartikel perak. Kemudian penentuan distribusi ukuran partikel, polidispersi index dianalisis menggunakan *Pore Size Analyzer* (PSA)

Horiba SZ-100, Japan serta analisis morfologi permukaan dan kandungan unsur bahan dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) (Phenom World).

### **III.5 Aplikasi Skala Lapangan**

Sebelum aplikasi, dilakukan observasi lapangan terlebih dahulu untuk menentukan batu yang digunakan sebagai objek penelitian, kemudian diamati objek sebelum penyemprotan bahan. EO-AgNPs dimasukkan ke dalam botol semprot, kemudian disemprotkan pada lumut kerak (*lichen*) yang tumbuh di batuan. Setelah penyemprotan, dilanjutkan dengan pengamatan visual dan difoto dengan waktu pengamatan 24, 48, 72, 240, 312 jam. Efektivitas EO-AgNPs dalam membunuh lumut dibandingkan dengan bahan kontrol (EO).

### **III.6 Aplikasi Skala Laboratorium**

#### **III.6.1 Sterilisasi Peralatan**

Semua peralatan yang dibutuhkan dicuci dengan bersih dan dibilas dengan alkohol 70%, kemudian di bungkus dengan kertas dan distrerilisasi menggunakan oven pada 180°C selama 1 jam.

#### **III.6.2 Pembuatan Medium Spesifik untuk Jamur**

Medium yang digunakan untuk spesifik *lichen* pada penelitian ini yaitu *Potato Dextrose Agar* (PDA). PDA dilarutkan menggunakan akuadest dan dipanaskan dalam Erlenmeyer. Setelah agar larut, di sterilisasi menggunakan *autoclave* selama 1,5-2 jam (121°C). Media yang telah steril dipindahkan ke cawan petri steril dan disimpan pada suhu ruang hingga media padat serta dipastikan media tidak terkontaminasi.

#### **III.6.3 Sampling Lichen**

Sampel *lichen* dikerok menggunakan *scaffel* dan dimasukkan dalam *microtube*. Sampel dicuci dengan larutan garam (NaCl) 0,9% dan disentrifugasi pada 1000 rpm 10 menit untuk memisahkan *lichen* dan pengotornya.

#### **III.6.4 Isolasi Lichen**

Isolasi *lichen* menggunakan media yang telah steril. Kawat ose dibakar terlebih dahulu, kemudian sampel *lichen* diambil menggunakan ujung ose dan di tanam dalam media agar. Setelah ditanam, cawan petri di tutup menggunakan

plastik wrap dan di inkubasi selama 3-5 hari. Setelah masa inkubasi, dipilih jamur sebagai *lichen* dan dipisahkan menggunakan metode geser untuk memisahkan sel-sel jamur. *Lichen* yang telah diperoleh, di inokulasi (ditanam pada media baru yang steril) dan memperbanyak *lichen* untuk stok serta pengujian menggunakan nanopartikel perak.

### **III.6.5 Uji Efektivitas Bahan terhadap Daya Hambat Lichen**

Media agar steril dan jamur yang telah diperoleh dari proses isolasi kemudian dilakukan uji efektifitas terhadap daya hambat dengan memberi kertas saring berukuran kecil yang telah direndam dengan bahan EO-AgNPs dan diletakkan pada media agar yang telah ditanam lichen. Kemudian cawan petri disimpan pada inkubator selama 3-5 hari dan diamati diameter zona hambatnya.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Karakteristik Minyak Serai Wangi

Analisis senyawa kimia dalam minyak atsiri serai wangi (*Cymbopogon nardus L. Rendle*) dilakukan dengan GC-MS Shimadzu QP untuk mengetahui komposisi minyak atsiri serai dan menganalisis kualitasnya. Senyawa diidentifikasi dengan mencocokkan pola fragmentasi spektra massa dengan database spektrometer, menggunakan database *National Institute of Standards and Technology Mass Spectral*. Minyak atsiri serai wangi juga dilakukan pemeriksaan karakteristik sifat fisika meliputi: warna, bau, berat jenis dan indeks bias. Keempat parameter tersebut mempunyai nilai yang distandarkan sebagai syarat mutu yang tercantum dalam SNI 06-3953-1995 BSN.

**Tabel 4. Sifat fisika minyak atsiri serai wangi**

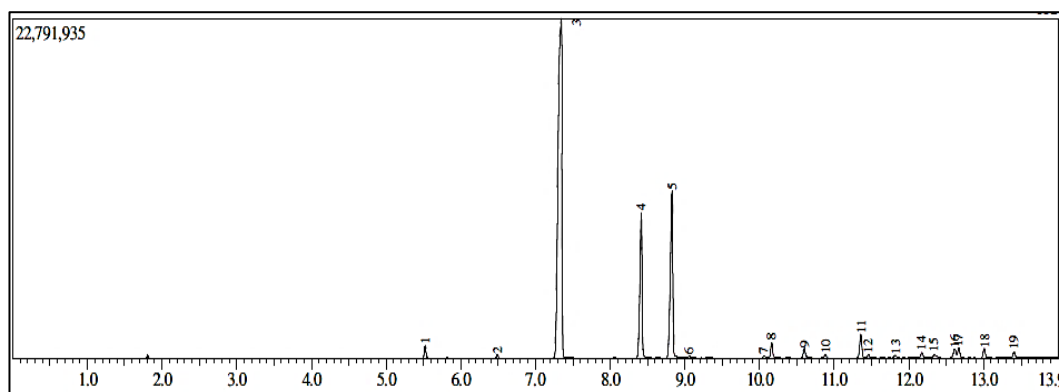
No.	Jenis uji	Hasil uji	Standar	Keterangan
1	Warna	Kuning jernih	Kuning pucat sampai kuning kecokelatan	Memenuhi standar
2	Bobot jenis	0,875	0,870-0,922	Memenuhi standar
3	Indeks bias	1,4623	1,466-1,475	Memenuhi standar
4	Bau	Segar, khas minyak serai	Segar, khas minyak serai	Memenuhi standar

Sumber: BSN (1995)

Minyak atsiri serai wangi berwarna kuning jernih serta mempunyai bau yang khas seperti serai wangi. Indeks bias (28,3°C) minyak yang diperoleh adalah 1,4623. Nilai indeks bias menunjukkan bahwa komponen-komponen seperti monoterpen, sesquiterpen dan turunannya. Indeks bias merupakan perbandingan dari sinus sudut jatuh dan sinus sudut pantul dari cahaya. Penentuan indeks bias menggunakan alat Refraktometer. Nilai indeks bias bergantung pada jumlah nilai karbon dan jumlah ikatan rangkap (indeks bias dipengaruhi komponen penyusun

minyak atsiri). Semakin panjang rantai karbon dan semakin banyak ikatan rangkap dalam minyak atsiri maka semakin besar nilai indeks bias. Berat jenis merupakan salah satu kriteria penting dalam menentukan kualitas mutu minyak atsiri. Berat jenis ialah perbandingan bobot zat di udara pada suhu 25°C terhadap bobot air dengan volume dan suhu yang sama. Penentuan berat jenis menggunakan alat piknometer. Berdasarkan hasil analisis nilai berat jenis minyak berkisar antara 0.875 g/cm<sup>3</sup>. Hasil yang diperoleh dari penelitian dapat dikatakan memenuhi standar karena masih berada dikisaran berat jenis yang tercantum dalam standar SNI 06-3953-1995 BSN.

Prinsip kerja GC yaitu memisahkan komponen berdasarkan perbedaan titik didihnya. Masing-masing senyawa dalam minyak atsiri serai wangi memiliki titik didih dan kepolaran yang berbeda-beda sehingga berpengaruh terhadap kromatogram ion total yang dihasilkan. Senyawa dengan titik didih rendah akan mudah menguap dan memiliki waktu retensi yang lebih cepat dibandingkan dengan senyawa yang memiliki titik didih lebih tinggi. Kromatogram analisis minyak serai wangi dengan GC ditunjukkan pada Gambar 12 dan komposisi kimia minyak serai wangi ditunjukkan pada Tabel 5.

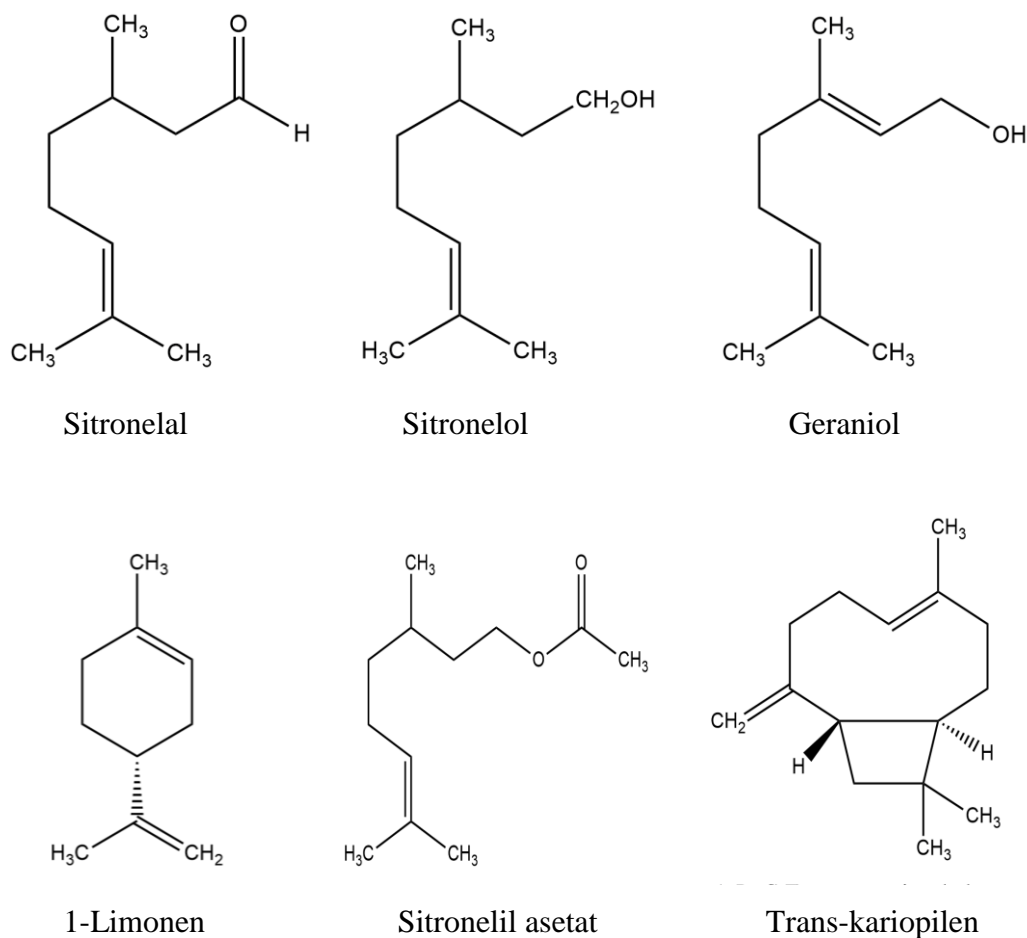


**Gambar 12. Kromatogram hasil analisis minyak atsiri serai wangi**

**Tabel 5. Senyawa dalam minyak atsiri serai wangi menggunakan GC-MS**

No.	RT	Senyawa	% Area
1	5.523	1-Limonen	0.97
2	6.492	Linalool	0.28
3	7.343	Sitronelal	56.96
4	8.417	Sitronelol	13.72
5	8.828	Geraniol	17.81
6	9.059	Sitral	0.16
7	10.062	Sikloheksanol	0.27
8	10.163	Sitronelil asetat	1.32
9	10.594	Neril asetat	0.93
10	10.881	Sikloheksana	0.35
11	11.356	Trans Kariopilen	2.25
12	11.452	Alpha-Bergamot	0.36
13	11.818	Alpha-Humulen	0.27
14	12.173	Germakren D	0.51
15	12.339	1,6-Siklodekadien	0.49
16	12.611	Torreyol	0.96
17	12.662	Delta-Kadinen	0.89
18	13.008	Elemol	0.92
19	13.409	Germakren D-4-OL	0.58

Tabel 5 menunjukkan persentase senyawa dalam minyak atsiri serai wangi (*Cymbopogon nardus L. Rendle*) yang diidentifikasi dan dibandingkan dengan pola fragmentasi menggunakan database spektra massa dari komputer kromatografi gas. Adapun beberapa struktur molekul senyawa kimia ditunjukkan pada Gambar 13.



**Gambar 13. Struktur senyawa utama dalam minyak atsiri serai wangi**

Hasil analisis GC-MS minyak atsiri *Cymbopogon nardus L. Rendle* pada penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi senyawa utama adalah sitronelal dengan persentase tertinggi (56,96%), sitronelol (13,72%), geraniol (17,81%), sitronelil asetat (1,32%) dan trans-kariopilen (2,25%). Hal ini sesuai dengan artikel (Yulvianti et al., 2014) minyak serai wangi mengandung komponen sitronelal 32-45%, geraniol 12-18% dan sitronelol 11-15%.

#### IV.2 Sintesis AgNPs Minyak Atsiri Serai Wangi

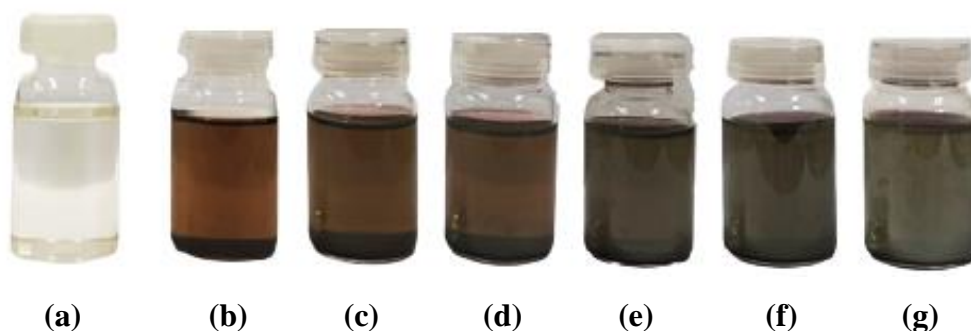
Pembuatan nanopartikel perak (AgNP) dalam penelitian menggunakan metode *green synthesis*. Metode *green synthesis* digunakan dalam penelitian ini karena ramah lingkungan dibandingkan metode reduksi kimia biasa. Prinsip sintesis EO-AgNPs secara *green synthesis* yaitu menggunakan bahan biologis seperti tumbuhan yang dimanfaatkan sebagai bioreduktor dan prekursor, salah satunya serai wangi (*Cymbopogon nardus L. Rendle*). Nanopartikel perak (EO-

AgNPs) disintesis dari minyak atsiri serai (*Cymbopogon nardus L. Rendle*) dengan metode bio-reduksi. Sintesis AgNPs dikonfirmasi dengan observasi secara visual dari perubahan warna larutan  $\text{AgNO}_3$  sebagai hasil bioreduksi  $\text{Ag}^+$  dengan minyak. Perubahan warna dari kuning pucat menjadi coklat tua mengindikasikan bioreduksi  $\text{Ag}^+$  dalam EO-AgNPs telah terjadi. Larutan koloid coklat dari EO-AgNPs dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan adanya puncak antara 400-450 nm pada spektra serapan.

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa parameter yaitu pengaruh waktu penyimpanan, pengaruh variasi konsentrasi perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ), efek penggunaan surfaktan tween 80 dan polimer polietilen glikol 400 serta pengaruh perbandingan variasi volume minyak atsiri serai wangi dengan perak nitrat yang digunakan terhadap pembentukan dan stabilitas nanopartikel perak (EO-AgNPs). Hasil sintesis nanopartikel perak yang dihasilkan dari masing-masing parameter dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, FTIR, PSA dan SEM-EDX.

#### IV.2.1 Pengaruh waktu penyimpanan terhadap stabilitas EO-AgNPs

Pengamatan parameter pengaruh waktu penyimpanan diamati setiap 24 jam selama 11 hari. Secara visual, pengaruh variasi waktu penyimpanan terhadap sintesis EO-AgNPs ditunjukkan oleh warna koloid yang berbeda-beda, mulai dari kuning kecokelatan menjadi coklat tua, dapat dilihat pada Gambar 14.



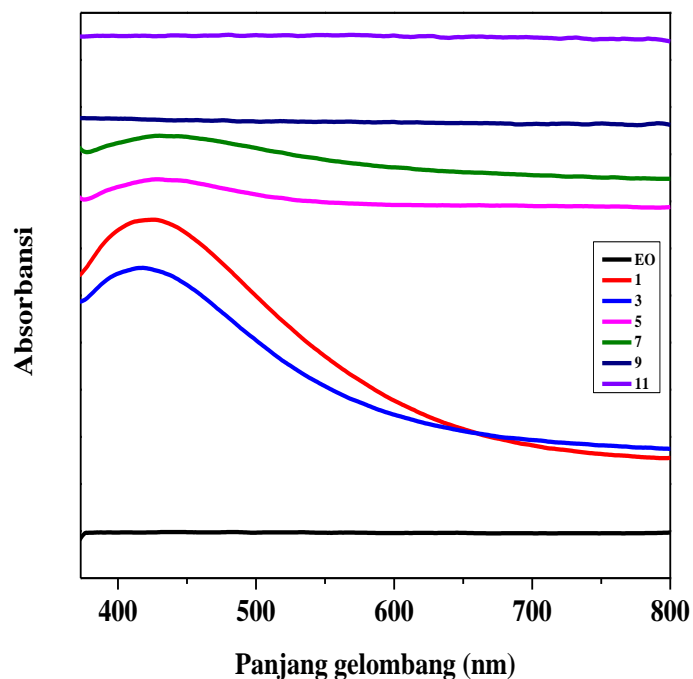
**Gambar 14. Pengamatan visual EO-AgNPs yang disimpan selama (a) minyak serai wangi (b) 1 (c) 3 (d) 5 (e) 7 (f) 9 dan (g) 11 hari**

Stabilitas EO-AgNPs pada variasi waktu penyimpanan ditunjukkan oleh panjang gelombang maksimum. Tabel 6 menunjukkan puncak serapan maksimum waktu penyimpanan selama 11 hari.

**Tabel 6. Puncak serapan maksimum waktu penyimpanan**

Waktu penyimpanan (hari)	$\lambda_{\text{maks}}$ (nm)	Abs
1	424	0.662
3	416	0.560
5	430	0.748
7	430	0.840
9	430	0.921
11	361	1.153

EO-AgNPs memiliki panjang gelombang maksimum kisaran 361-430 nm dan absorbansi dalam kisaran 0,560-1,153. Nilai absorbansi yang kecil menunjukkan nanopartikel yang terbentuk sedikit. Spektrum analisis EO-AgNPs menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada Gambar 15. EO-AgNPs yang terbentuk pada panjang gelombang 400-450 nm merupakan karakteristik dari nanopartikel perak ( $\text{Ag}^0$ ), sedangkan pada panjang gelombang 370–400 nm merupakan serapan ion perak ( $\text{Ag}^+$ ) menunjukkan proses reduksi kimia belum berjalan secara sempurna (Tine, 2017 dan Mohammed, 2015a). Berdasarkan hasil analisis, panjang gelombang maksimum dari pengaruh waktu penyimpanan sintesis mulai dari 1 hingga 9 hari sudah lebih dari 400 nm, dapat diartikan terbentuknya nanopartikel perak ( $\text{Ag}^0$ ). Panjang gelombang maksimum kisaran 416-430 nm mengindikasikan bahwa proses reduksi  $\text{Ag}^+$  menjadi  $\text{Ag}^0$  telah terjadi. Berdasarkan panjang gelombang maksimum yang diperoleh, EO-AgNPs terbentuk dari hari pertama (24 jam).

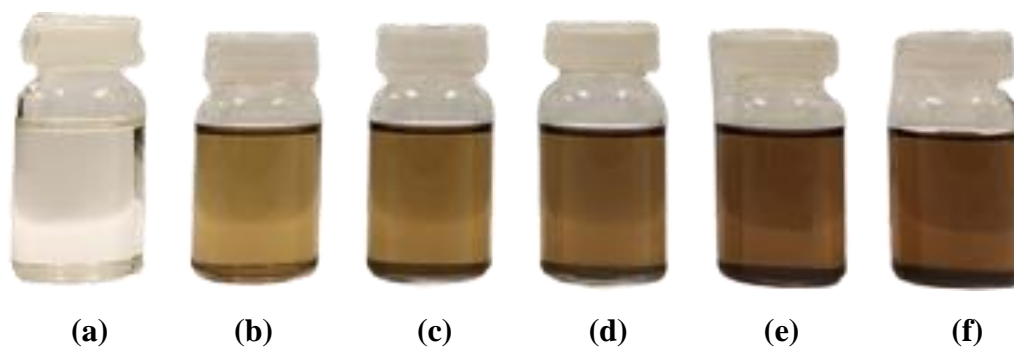


**Gambar 15. Spektrum UV-Vis pengaruh waktu terhadap stabilitas EO-AgNPs**

Stabilitas larutan EO-AgNPs diketahui melalui pengukuran menggunakan spektrofotometer. Kestabilan larutan EO-AgNPs diketahui dari terbentuknya perubahan puncak serapan. Jika terjadi pergeseran puncak serapan ke panjang gelombang yang lebih besar menunjukkan bahwa kestabilan koloid nanopartikel perak masih rendah karena proses aglomerasi (Wahyudi et al., 2011).

#### IV.2.2 Pengaruh variasi konsentrasi $\text{AgNO}_3$ terhadap sintesis EO-AgNPs

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi ukuran partikel dalam sintesis yaitu konsentrasi garam (prekursor) yang digunakan. Prekursor yang digunakan yaitu perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).



**Gambar 16. Visual EO-AgNPs menggunakan konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  (a) EO (b) 2 mM (c) 4 mM (d) 6 mM (e) 8 mM dan (f) 10 mM**

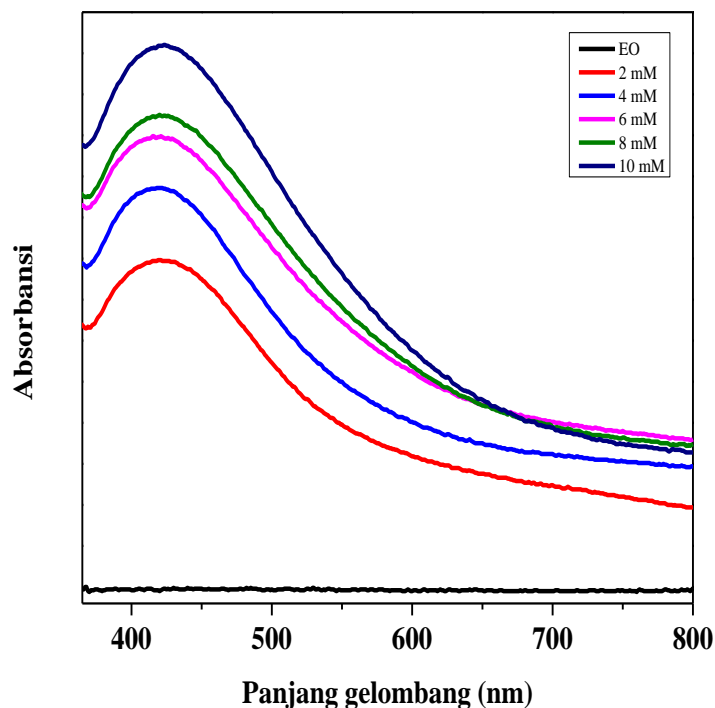
Konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  sangat berpengaruh terhadap keberhasilan sintesis EO-AgNPs. Sintesis EO-AgNPs menggunakan variasi konsentrasi perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) yaitu 2, 4, 6, 8 dan 10 mM. Larutan dengan konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  2 mM memiliki warna larutan yang lebih terang dibandingkan dengan larutan yang konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  10 mM. Gambar 16 menunjukkan hasil visual dari efek konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  pada sintesis EO-AgNPs. Semakin tinggi konsentrasi perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) warna larutan semakin gelap. Tabel 7 menunjukkan hasil serapan variasi konsentrasi perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

**Tabel 7. Puncak serapan maksimum [ $\text{AgNO}_3$ ]**

[ $\text{AgNO}_3$ ]	$\lambda_{\text{max}}$	Abs
2	420	0,398
4	419	0,486
6	415	0,549
8	420	0,575
10	424	0,660

Tabel 7 menunjukkan hasil analisis panjang gelombang dan absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pada konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 mM adanya serapan puncak pada panjang gelombang maksimum 420, 419, 415, 420 dan 424 nm dan absorbansi masing masing 0,398;0,486;0,549;0,575 dan 0,660. Hasil penentuan kestabilan nanopartikel perak ditunjukkan pada Gambar 16. Analisis EO-AgNPs dengan variasi konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  2, 4, 6, 8, 10 mM dilakukan setelah 24 jam dari sintesis awal. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi perak nitrat maka semakin tinggi nilai absorbansinya. Dapat diartikan bahwa variasi konsentrasi perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) berpengaruh terhadap pembentukan nanopartikel perak.

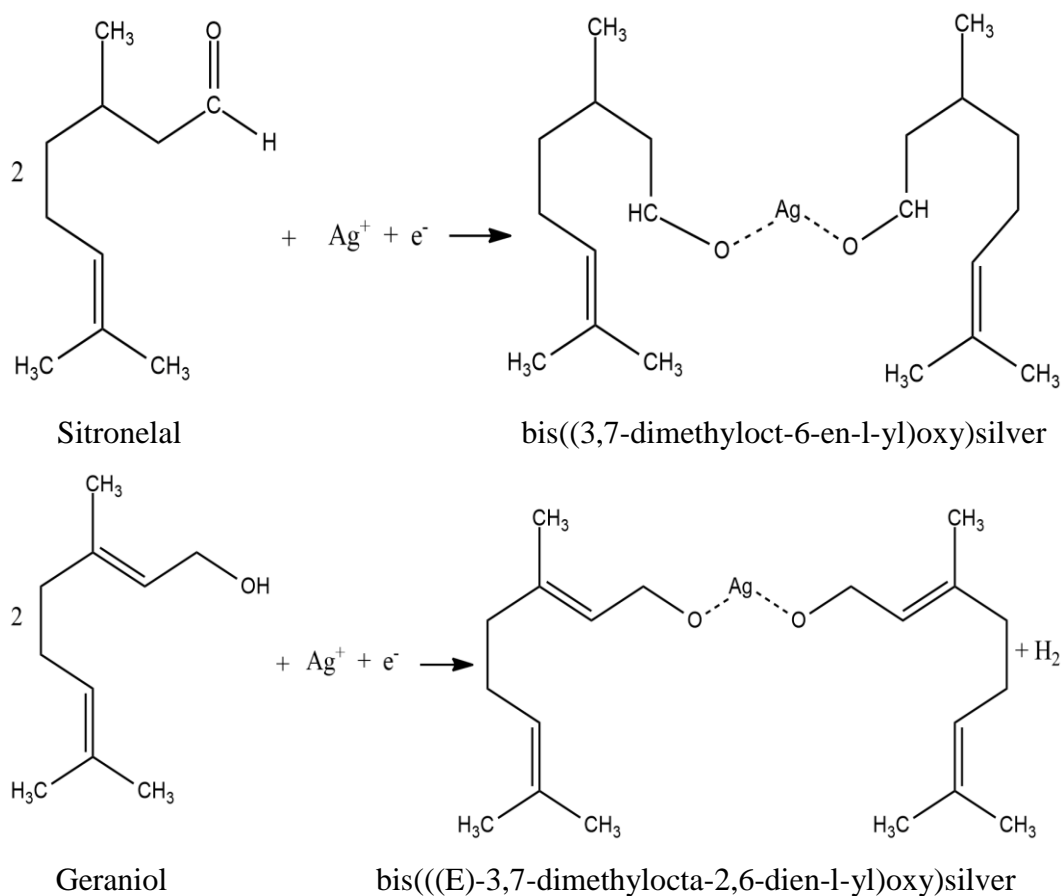




**Gambar 17. Spektrum UV-Vis dari EO-AgNPs menggunakan variasi konsentrasi  $\text{AgNO}_3$**

Pembentukan nanopartikel perak dapat dilihat secara visual dari perubahan warna dan munculnya puncak pada panjang gelombang di kisaran 400-450 nm yang merupakan panjang gelombang nanopartikel perak (Vinicius et al., 2019 dan Thanighairassu et al., 2018). Pada reduktor yang sama, dengan konsentrasi prekursor lebih besar menyebabkan proses reduksi perak membutuhkan waktu yang lebih cepat dilihat dari perubahan warna mejadi coklat tua dan meningkatkan intensitas absorbansi.

Hasil analisis dengan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan nanopartikel dari konsentrasi perak nitrat 2, 4, 6, 8, dan 10 mM terlihat stabil, karena jumlah  $\text{Ag}^+$  yang tereduksi lebih sedikit sehingga minyak menjadi berlebih dan meyebabkan nanopartikel perak yang terbentuk lebih stabil. Secara kualitatif semakin tinggi nilai absorbansi dapat diasumsikan nanopartikel yang terbentuk semakin banyak atau konsentrasi nanopartikel dalam larutan semakin tinggi. Pembentukan mekanisme reaksi antara minyak serai dan prekursor  $\text{AgNO}_3$  dapat dilihat pada Gambar 18.

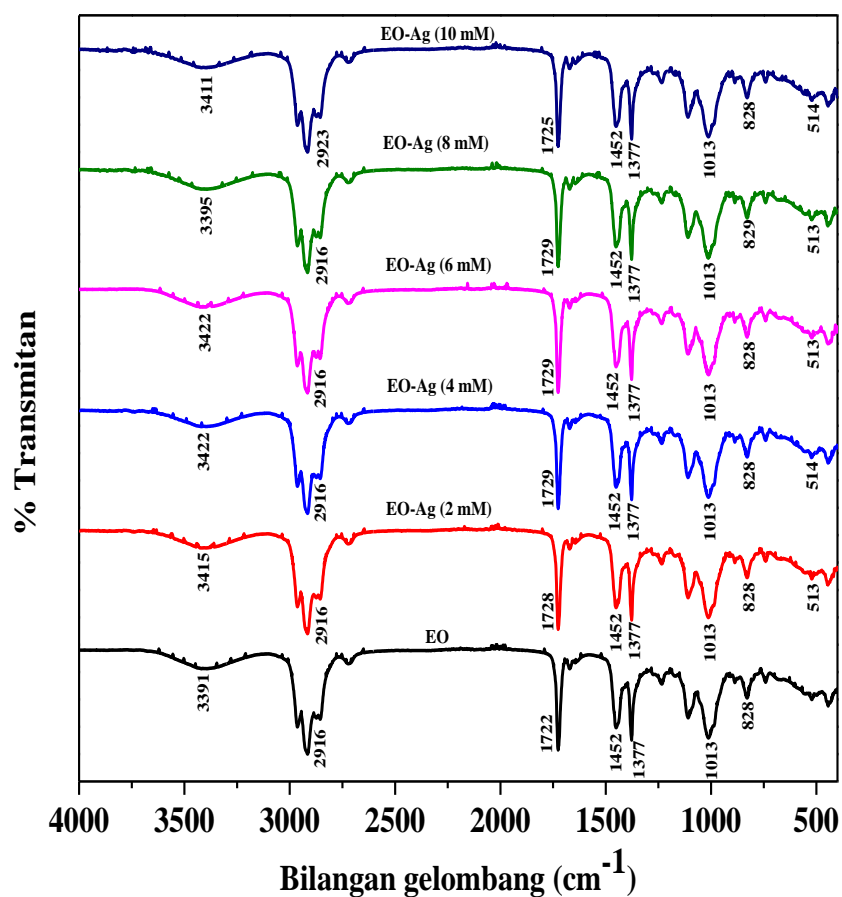


**Gambar 18. Persamaan reaksi pembentukan nanopartikel perak**

Minyak atsiri memiliki berbagai jenis gugus fungsi dalam struktur molekulnya. Gugus fungsi dalam minyak atsiri seperti alkohol, keton, aldehida, dan lakton dari terpenoid. Gugus fungsi dalam minyak atsiri seperti C=C, -CH<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub>, -OH, CH, C=O, COC, CH<sub>3</sub>-C-CH<sub>3</sub>, CO, dan -CN. Gugus fungsi menempati berbagai posisi sesuai dengan reduksi dan kemampuan stabilisasinya. Gugus fungsi menunjukkan keterlibatannya dalam sintesis bahan nanopartikel. Terpenoid dalam minyak atsiri dapat diadsorpsi pada permukaan nanopartikel logam, diprediksi melalui interaksi melalui pi(p)-elektron atau gugus karbonil dalam agen pengkelat kuat lainnya (Sheny et al., 2012b). Gugus fungsi dalam minyak atsiri digunakan untuk reduksi ion perak Ag<sup>+</sup> menjadi perak Ag<sup>0</sup> (Sana et al., 2021).

Tabel 8. Bilangan gelombang EO-AgNPs dari [AgNO<sub>3</sub>]

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )					
	Minyak serai wangi	Nanopartikel Perak (EO-AgNPs)				
		2 mM	4 mM	6 mM	8 mM	10 mM
O-H	3391	3415	3422	3422	3395	3411
C <sub>sp3</sub> -H	2916	2916	2916	2916	2916	2923
C=C aromatik	1772	1728	1729	1729	1729	1729
-CH <sub>3</sub>	1452 dan 1377	1452 dan 1377	1452 dan 1377	1452 dan 1377	1452 dan 1377	1452 dan 1377
C-O	1013	1013	1013	1013	1013	1013
Ag-O	-	513	514	513	513	514

Gambar 19. Spektrum FTIR EO-AgNPs menggunakan variasi konsentrasi AgNO<sub>3</sub>

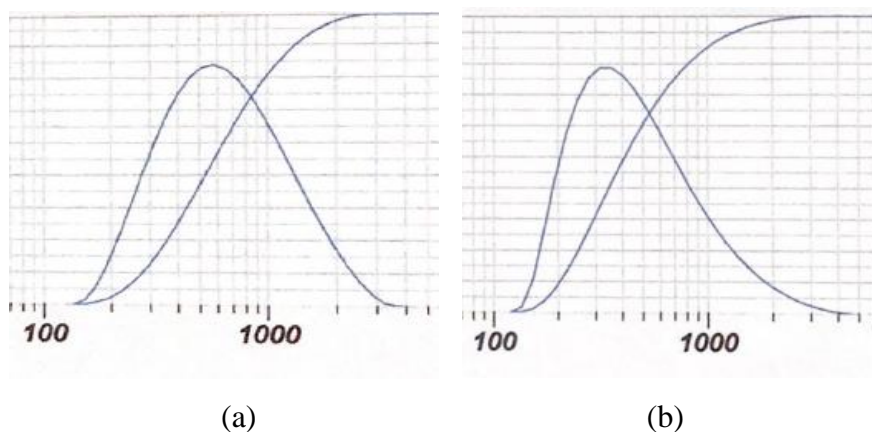
Selain dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, larutan juga dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra-Red* untuk mengetahui gugus fungsi yang dapat mengindikasikan nanopartikel perak. Spektrum FTIR pengaruh variasi konsentrasi terhadap sintesis EO-AgNPs ditunjukkan pada Gambar 19. Bilangan gelombang pada 3391-3422  $\text{cm}^{-1}$  adanya penyerapan gugus fungsi OH, 2916-2923  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan serapan  $\text{Csp}_3\text{-H}$ , 1452 dan 1377  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan serapan  $\text{-CH}_3$  dan 1013  $\text{cm}^{-1}$  penyerapan gugus alkohol CO (Thompson et al., 2009). Spektrum FTIR EO-AgNPs menunjukkan adanya gugus fungsi yang berbeda. Pita serapan dari minyak serai wangi 3391-3422  $\text{cm}^{-1}$  yaitu karakteristik dari vibrasi *stretching* ikatan O-H yang berasal dari kelompok yang terkandung dalam senyawa terpenoid, saponin dan polifenol. Hal ini diperkuat oleh serapan dengan intensitas kuat pada bilangan gelombang 1013  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi *stretching* dari ikatan alkohol C-O dan serapan 1722-1729  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ikatan C=C aromatik. Dan di daerah sidik jari, telah diamati puncak 513-514  $\text{cm}^{-1}$  mewakili getaran oksida logam Ag-O (Z. Zhang & Li, 2012). Sifat penyerapan oksida logam dipengaruhi oleh jenis logam dan komposisi senyawa organik di dalamnya (Mehrotra & Dutta, 2011).

Meskipun perubahan intensitas serapan pada daerah bilangan gelombang nanopartikel perak (AgNPs) tidak begitu mengalami perubahan dari sebelum disintesis, tetapi masih menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang menunjukkan bahwa adanya interaksi antara gugus fungsi OH dan Ag 3391-3422  $\text{cm}^{-1}$  untuk membentuk EO-AgNPs.

*Particle Size Analyzer* (PSA) merupakan alat yang menggunakan prinsip hamburan cahaya dinamis untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari larutan nanopartikel perak (EO-AgNPs) dengan metode uji *dynamic light scattering* yang mengalami gerak Brown. Metode ini dianggap lebih akurat dibandingkan metode analisis gambar seperti SEM dan TEM karena menggunakan sinar laser sebagai media untuk mengukur informasi objek (partikel). Selain itu, waktu pengukuran lebih cepat karena cahaya memiliki kecepatan rambat yang sangat besar, sehingga dapat mengirimkan informasi dalam waktu yang sangat singkat.

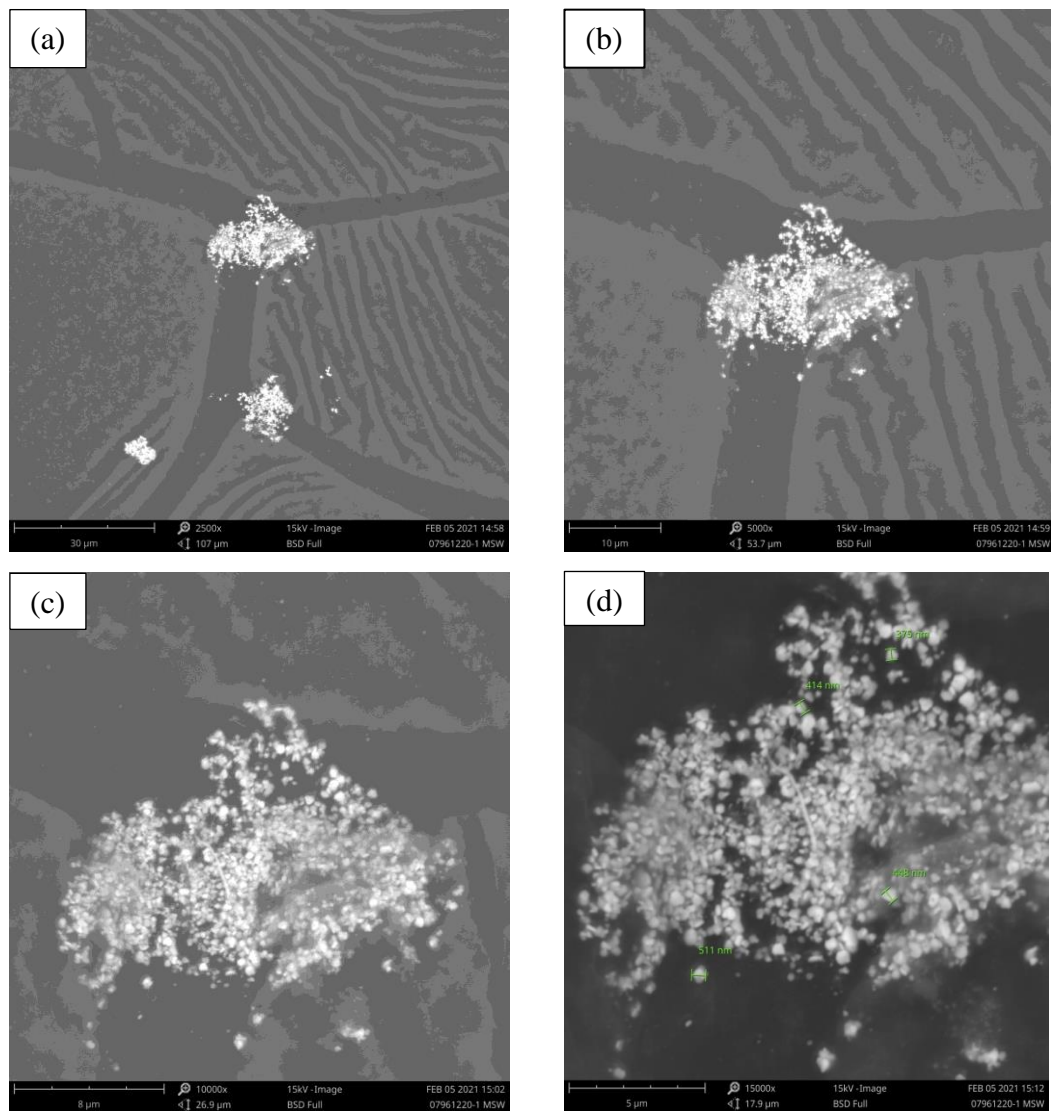
**Tabel 9. Distribusi ukuran partikel [AgNO<sub>3</sub>]**

[AgNO <sub>3</sub> ] (mM)	Ukuran partikel (nm)	PI
6	413	0.601
10	332	0.379

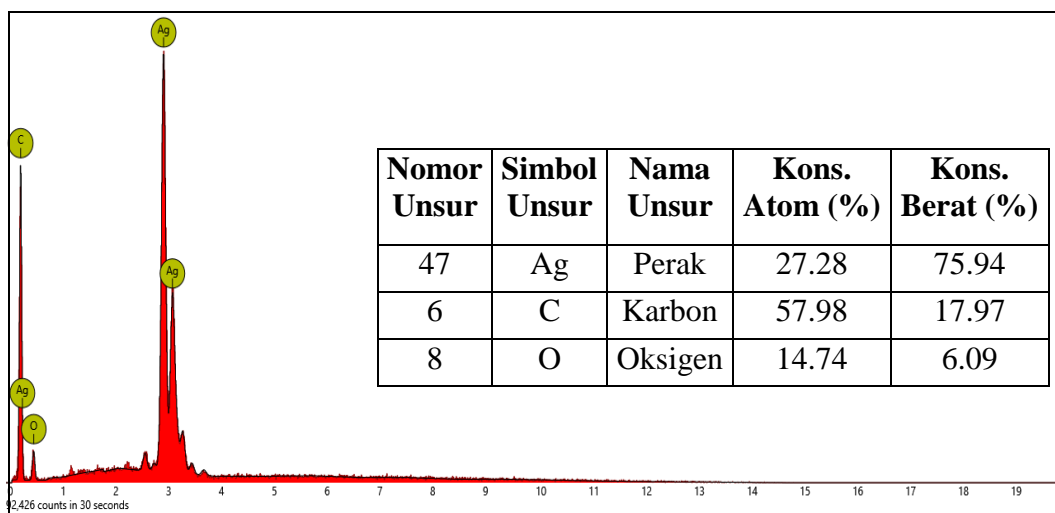


**Gambar 20. Distribusi ukuran partikel EO-AgNPs (a) 6 mM AgNO<sub>3</sub> dan (b) 10 mM AgNO<sub>3</sub>**

Berdasarkan hasil analisis, EO-AgNPs 6 dan 10 mM memiliki ukuran partikel 413 dan 332 nm. Ukuran partikel yang dihasilkan akan mempengaruhi kinerja bahan. Ukuran partikel yang kecil akan memiliki luas permukaan yang lebih besar yang akan mempercepat proses penyerapan. Peningkatan jumlah minyak yang digunakan dalam formulasi akan meningkatkan ukuran partikel karena penurunan jumlah surfaktan dan co-surfaktan yang digunakan (Lijuan Wang et al., 2009). Formula optimal distribusi ukuran partikel menghasilkan satu puncak seperti pada Gambar 20. Puncak kurva mewakili area distribusi ukuran partikel, hal ini mengindikasikan bahwa keseragaman ukuran partikel sudah baik. Keseragaman ukuran partikel juga didukung oleh data SEM-EDX yang ditunjukkan pada Gambar 21.



**Gambar 21. Scanning electron microscope EO-AgNPs dengan perbesaran (a) 2500 (b) 5000 (c) 10000 dan (d) 15000x**



**Gambar 22. Spektra EDX dan data unsur dari EO-AgNPs**

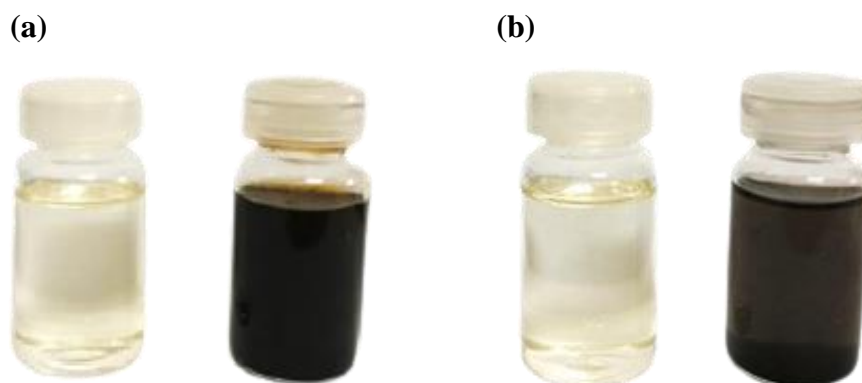
Analisis SEM bertujuan untuk melihat morfologi partikel. Perbesaran gambar nanopartikel perak (EO-AgNPs) dilakukan pada skala 2500, 5000, 10000 dan 15000x. Hasil analisis morfologi partikel memiliki bentuk bulat dan ukuran yang beragam (375-500 nm). Ukuran yang beragam diakibatkan oleh efek agregasi nanopartikel dan memiliki partikel yang tidak seragam. Ukuran yang bervariasi karena efek agregasi nanopartikel. Berdasarkan hasil morfologi EO-AgNPs yang disintesis terlihat bentuk bulat karena pembentukan agregat, yang dapat dilihat pada Gambar 21. Data SEM menunjukkan nanopartikel perak telah teraglomerasi. Proses aglomerasi partikel dalam larutan dapat menyebabkan stabilitas yang baik dalam pembentukan sintesis nanopartikel perak (EO-AgNPs) (Vinicius et al., 2019). Bahan EO-AgNPs yang disintesis telah terbentuk karena minyak atsiri serai wangi dapat bertindak sebagai bio-reduktor yang baik untuk biosintesis. Spektrum EDX dari bahan EO-AgNPs ditunjukkan pada Gambar 22, komposisi unsur dalam EO-AgNPs terdiri dari Ag, C, O dengan persentase masing-masing 75,94; 17,97 dan 6,09%.

### **IV.3 Efek Tween 80 terhadap Pembentukan EO-AgNPs**

#### **IV.3.1 Perbandingan surfaktan tween 80 dan polietilen glikol 400**

Parameter penambahan surfaktan dilakukan karena pada variasi konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  ukuran partikel larutan nanopartikel perak (AgNPs) masih cukup tinggi, sehingga dengan penambahan surfaktan diharapkan mampu menjaga

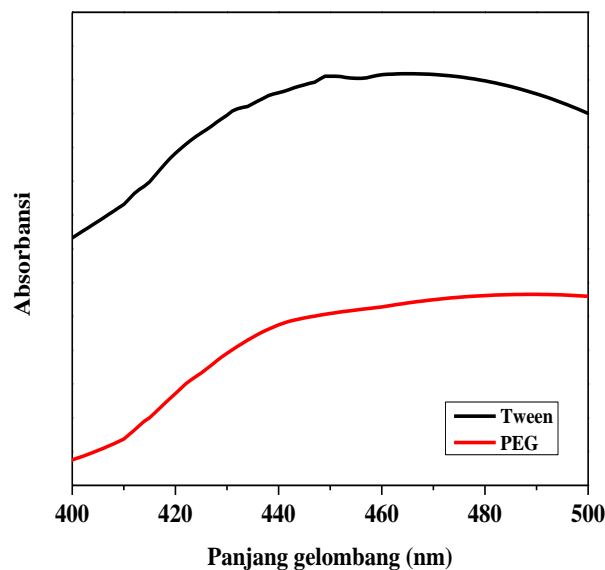
kestabilan, mengemulsi larutan dengan lebih baik dan mendapatkan ukuran partikel yang lebih kecil. Surfaktan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu polisorbat 80 (Tween 80) dan polietilen glikol (PEG 400). Penggunaan Tween 80 dan PEG 400 dikarenakan surfaktan dan polimer memiliki toksisitas yang rendah.



**Gambar 23. Pengamatan visual EO-AgNPs menggunakan (a) Tween 80 dan (b) PEG 400**

Pengamatan visual parameter penambahan surfaktan dilakukan selama 24 jam. Secara visual, pengaruh penambahan surfaktan Tween 80 terhadap pembentukan nanopartikel perak ditunjukkan oleh warna koloid yang berubah dari kuning pucat menjadi coklat tua. Larutan koloid coklat dari nanopartikel perak dianalisis menggunakan spektroskopi UV-Vis, sehingga diperoleh panjang gelombang maksimum pada 469 nm dengan nilai absorbansi 10, sedangkan pengamatan visual dengan penambahan polietilen glikol (PEG) 400 juga mengalami perubahan warna koloid dari kuning pucat menjadi abu tua yang ditunjukkan pada Gambar 24 dengan panjang gelombang maksimum 394 nm dan nilai absorbansi -2,092.





**Gambar 24. Spektra UV-Vis dari pengaruh penambahan tween 80 dan PEG 400 terhadap EO-AgNPs**

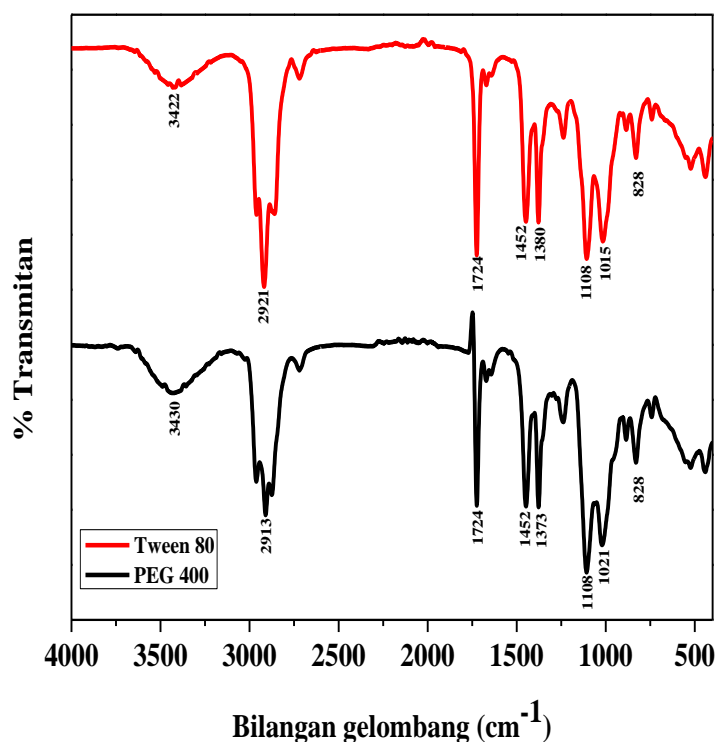
Selain dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, larutan juga dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra-Red* untuk mengetahui gugus fungsi yang dapat mengindikasikan nanopartikel perak. Spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsional yang berbeda. Gambar 25 menunjukkan spektrum FTIR menggunakan surfaktan Tween 80 dan PEG 400. Perbandingan keduanya mengkonfirmasi bahwa Tween 80 dan PEG 400 diserap pada permukaan nanopartikel Ag, karena penyerapan *fingerprint* hampir identik di kedua spektrum.

**Tabel 10. Bilangan gelombang EO-AgNPs menggunakan surfaktan**

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	
	Tween 80	PEG 400
OH	3422	3430
C=O	1724	1724
-CH <sub>3</sub>	1452 dan 1380	1452 dan 1373
C-O-C	1108	1108

Pita serapan dari Tween 80 dan PEG 400 pada 3422 dan 3430 cm<sup>-1</sup> menunjukkan karakteristik dari *vibrasi stretching (asymmetrical stretch)* ikatan O-H, bilangan gelombang 2913 dan 2921 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya serapan gugus -CH<sub>2</sub> yang berasal dari kelompok yang terkandung dalam senyawa terpenoid, saponin dan polifenol (H. Xu & Zeng, 2004; (Guo et al., 2010); (Guo et al., 2010).

Serapan pada 1452 dan 1380  $\text{cm}^{-1}$  dapat dianggap vibrasi *bending* simetris dan asimteris dari  $-\text{CH}_3$ . Karakteristik pita serapan yang tajam dan simetris pada 1724  $\text{cm}^{-1}$  karena adanya vibrasi regangan C=O pada gugus ester karbonil (Xu & Zeng, 2004). Puncak serapan pada 1108  $\text{cm}^{-1}$  yaitu variasi peregangan C-O-C.

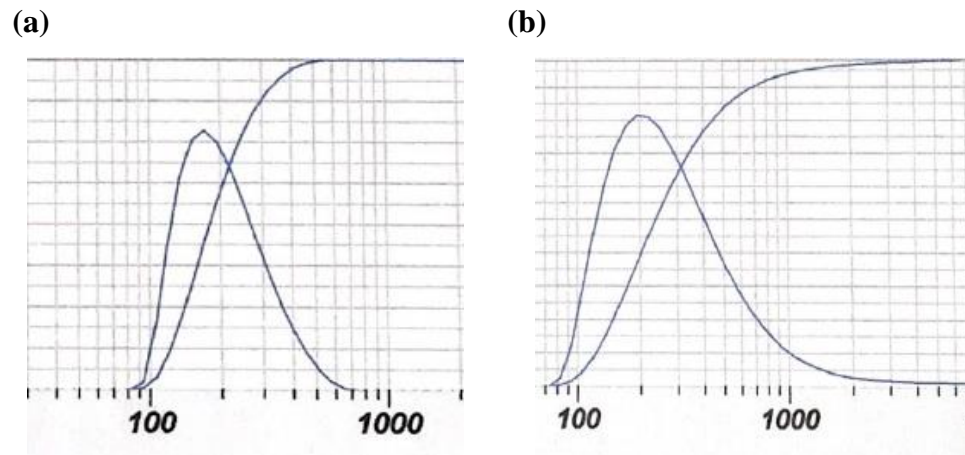


**Gambar 25. Spektra FTIR menggunakan surfaktan dan polimer**

Hasil penentuan distribusi ukuran partikel perak menggunakan PSA dapat dilihat pada Gambar 26. Analisis dengan *Particle Size Analyzer* (PSA) bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari larutan nanopartikel perak (AgNPs) dengan metode uji *dynamic light scattering*.

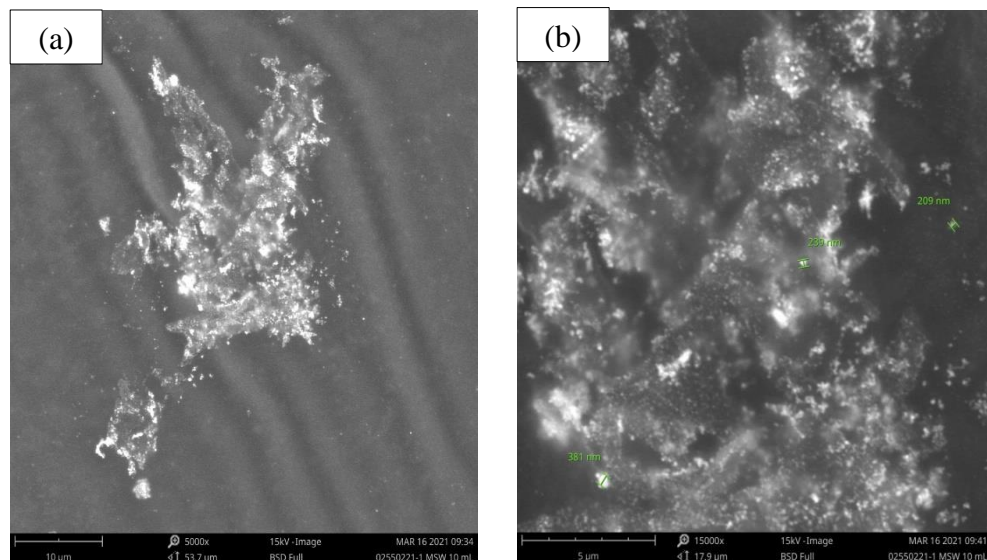
**Tabel 11. Distribusi ukuran partikel menggunakan surfaktan**

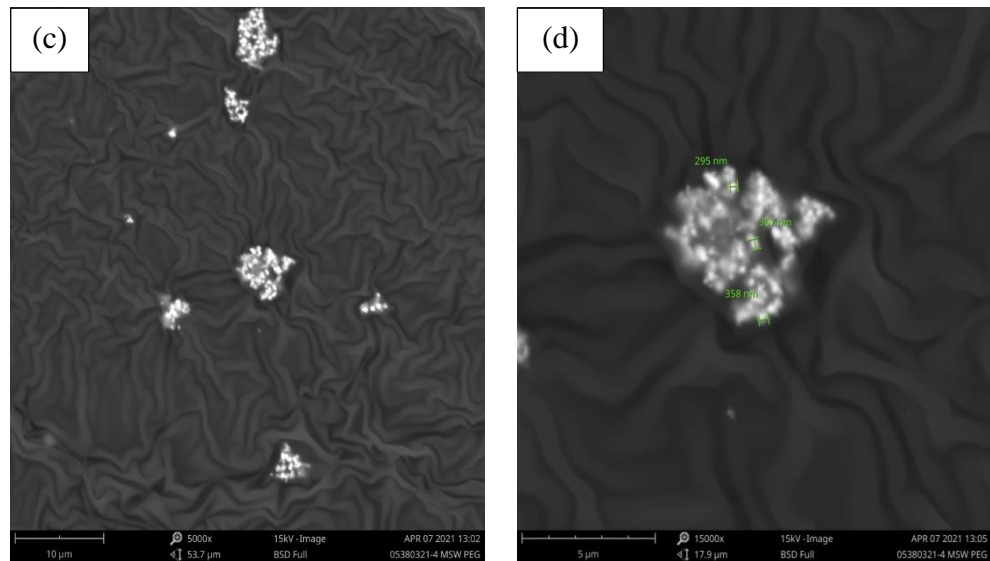
Surfaktan	Ukuran partikel (nm)	PI
Tween 80	196,2	0.491
PEG 400	245	0.481



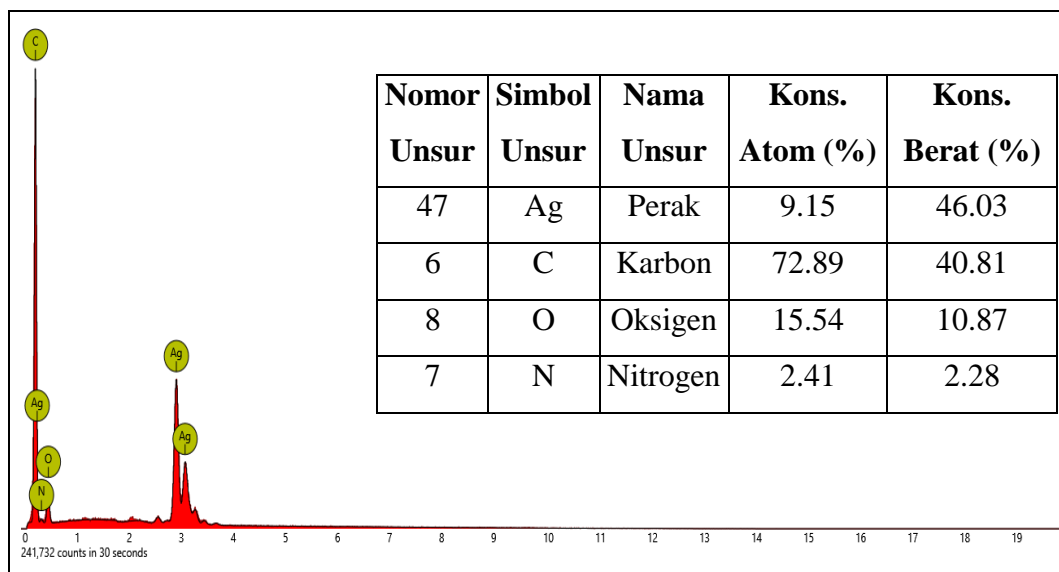
**Gambar 26. Analisis ukuran partikel (a) Tween 80 dan (b) PEG 400**

Berdasarkan hasil analisis, larutan AgNPs menggunakan surfaktan Tween-80 memiliki ukuran nanopartikel 196,2 nm dengan nilai *Polydispersity Index* (PI) yang diperoleh yaitu 0,491. Sedangkan larutan AgNPs menggunakan surfaktan PEG-400 memiliki ukuran partikel 245 nm dengan nilai *polydispersity index* (PI) 0,481. Semakin nilai *polydispersity index* (PI) mendekati 0 (nol), distribusinya semakin baik dan menunjukkan kestabilan fisik yang baik (Kasim et al., 2020). Setelah dilakukan analisis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan surfaktan Tween-80 menghasilkan ukuran partikel perak yang lebih kecil dan stabil dibandingkan dengan PEG-400. Oleh karena itu, surfaktan tween 80 digunakan sebagai agen penstabil untuk parameter perbandingan variasi volume minyak serai wangi dengan perak nitrat.





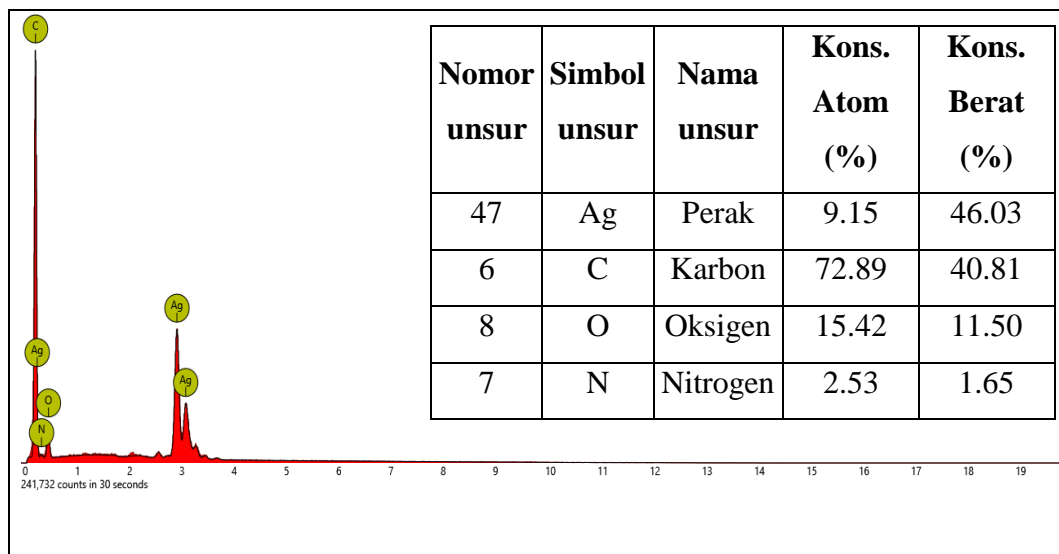
**Gambar 27. Scanning electron microscope menggunakan (a) Tween-80 perbesaran 5000x (b) Tween-80 perbesaran 15000x (c) PEG-400 perbesaran 5000x dan (d) PEG-400 perbesaran 15000x**



**Gambar 28. Spektra EDX dan unsur dari EO-AgNPs menggunakan surfaktan Tween-80**

Gambar 27 merupakan hasil analisis SEM terhadap larutan nanopartikel perak (AgNPs). Analisis SEM bertujuan untuk melihat morfologi partikel. Perbesaran gambar nanopartikel perak menggunakan tween 80 dilakukan pada skala 5000x dan 15000x sedangkan PEG-400 pada skala 5000x dan 15000x. Hasil

analisis morfologi partikel memiliki bentuk bulat dengan ukuran 209-300 nm menggunakan tween 80 dan 295-360 nm menggunakan PEG 400. (Masakke et al., 2015) dan (Taba et al., 2019) menjelaskan bahwa ukuran yang beragam diakibatkan oleh efek agragasi nanopartikel dan memiliki partikel yang tidak seragam.



**Gambar 29. Spektra EDX dan unsur dari EO-AgNPs meenggunakan surfaktan PEG-400**

EDX dihasilkan dari sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Setelah ditembakkan akan dihasilkan puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung serta mengetahui persentase masing-masing unsur. Gambar 28 dan 29 merupakan hasil EDX dari penambahan surfaktan tween 80 dan polietilen glikol 400. Dari hasil analisis Gambar 28 dapat diketahui unsur-unsur yang terkandung Ag, C, O dan N yang masing-masing mempunyai nilai persentase unsur sebesar 46,03%, 40,81%, 10,81% dan 2,28%. Sedangkan unsur-unsur yang terkandung pada Gambar 29 yaitu Ag, C, O dan N dengan nilai persentase unsur sebesar 46,03%, 40,81%, 11,50% dan 1,65%.

#### **IV.3.2 Pengaruh variasi konsentrasi minyak serai wangi**

Berdasarkan parameter yang telah dilakukan, ukuran partikel yang diperoleh masih cukup besar, sehingga peneliti melakukan variasi konsentrasi minyak serai wangi untuk menurunkan ukuran partikel EO-AgNPs.



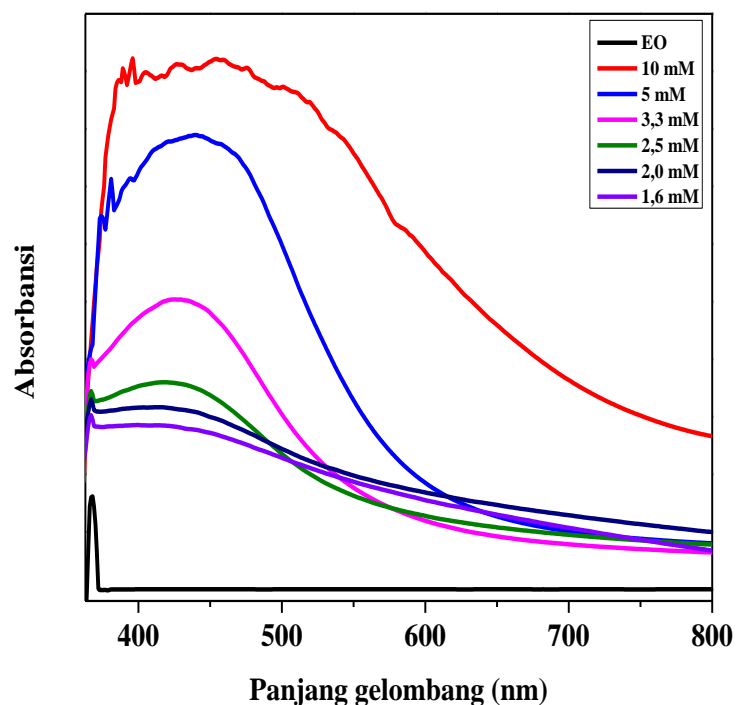
**Gambar 30. Visual EO-AgNPs dari variasi konsentrasi minyak serai wangi (a) minyak serai (b) 10 mM (c) 5 mM (d) 3,3 mM (e) 2,5 mM (f) 2,0 mM dan (g) 1,6 mM**

Pada penelitian ini, volume minyak serai dengan perak nitrat dibuat enam perbandingan yang berbeda yaitu 10 mM, 5 mM, 3,3 mM, 2,5 mM, 2,0 mM dan 1,6 mM. Pengamatan pengaruh konsentrasi minyak serai wangi dilakukan selama 24 jam pada masing-masing larutan. Secara visual, pengaruh konsentrasi minyak serai wangi terhadap pembentukan nanopartikel perak ditunjukkan oleh warna koloid yang berbeda-beda, mulai dari cokelat tua hingga cokelat muda. Larutan dengan konsentrasi minyak serai wangi yang lebih besar memiliki warna larutan yang lebih gelap dibandingkan dengan larutan dengan konsentrasi minyak serai wangi yang lebih kecil.

**Tabel 12. Pucak serapan maksimum konsentrasi minyak serai wangi**

Konsentrasi (mM)	$\lambda_{maks}$	Abs
10	431	4.989
5	431	4.238
3,3	425	2.529
2,5	415	1.801
2,0	413	1.586
1,6	401	1.529

Larutan koloid cokelat dari nanopartikel perak dianalisis menggunakan spektroskopi UV-Vis, sehingga diperoleh panjang gelombang maksimum dan absorbansi dari masing-masing perbandingan 10 mM, 5 mM, 3,3 mM, 2,5 mM, 2,0 mM dan 1,6 mM yaitu 431, 431, 425, 415, 413 dan 401 nm dengan nilai absorbansi 4,989; 4,238; 2,529; 1,801; 1,586 dan 1,529.



**Gambar 31. Spektra UV-Vis variasi konsentrasi minyak serai wangi**

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi minyak serai wangi maka semakin tinggi nilai absorbansinya dan sebaliknya semakin kecil konsentrasi minyak yang digunakan, maka nilai absorbansi semakin rendah. Dapat diartikan bahwa variasi konsentrasi minyak serai wangi berpengaruh terhadap pembentukan nanopartikel perak.

Selain dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, larutan juga dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra-Red* untuk mengetahui gugus fungsi yang dapat mengindikasikan nanopartikel perak. Spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsional yang berbeda. Gambar 32 menunjukkan spektrum FTIR dengan konsentrasi minyak serai wangi.



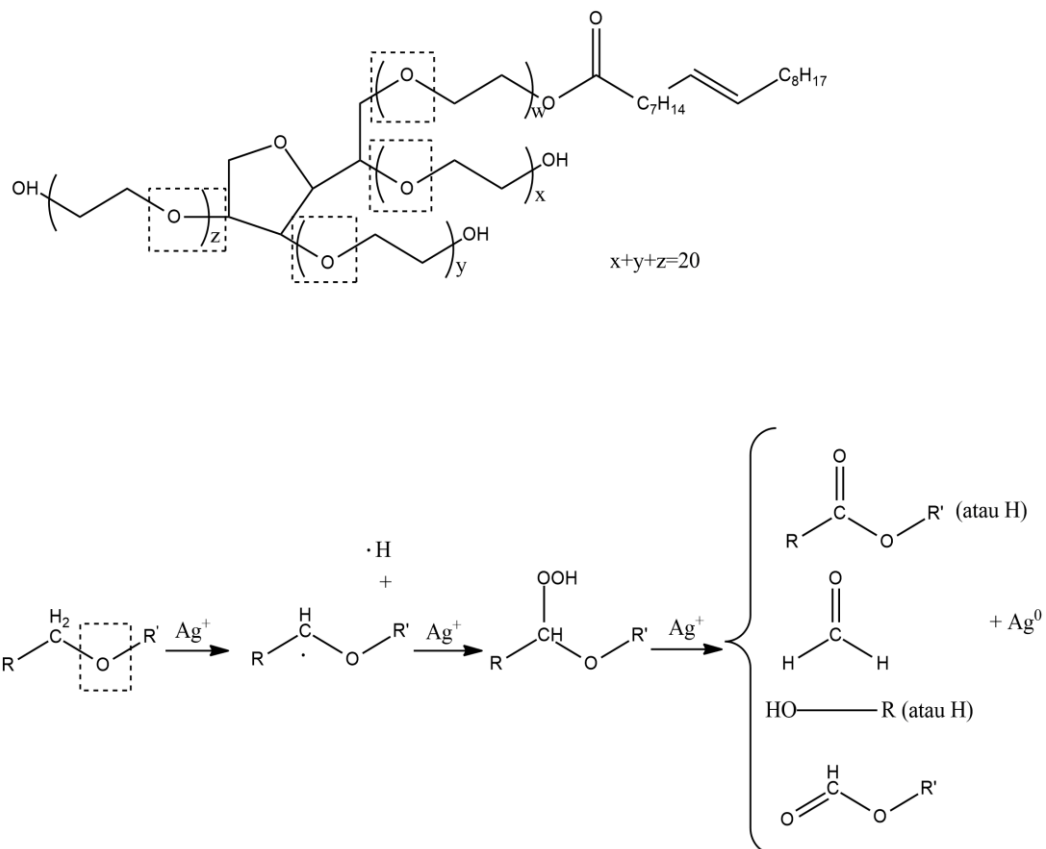


Dari Gambar 32 pita serapan Tween 80 masing-masing perbandingan berkisar pada 3414-3428  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik dari *vibrasi stretching* (*asymmetrical stretch*) ikatan O-H, puncak serapan 2916  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus  $-\text{CH}_2$  yang berasal dari kelompok yang terkandung dalam senyawa terpenoid, saponin dan polifenol. Serapan pada 1446-1453  $\text{cm}^{-1}$  dan 1376  $\text{cm}^{-1}$  dapat dianggap vibrasi *bending* simetris dan asimetris dari  $-\text{CH}_3$ . Karakteristik pita serapan yang tajam dan simetris pada 1721-1725  $\text{cm}^{-1}$  karena adanya vibrasi regangan C=O pada gugus ester karbonil (Xu & Zeng, 2004). Puncak serapan pada 1105  $\text{cm}^{-1}$  yaitu variasi peregangan C-O-C. Dan di daerah sidik jari, telah diamati puncak 513-516  $\text{cm}^{-1}$  mewakili getaran oksida logam Ag-O (Z. Zhang & Li, 2012). Sifat penyerapan oksida logam dipengaruhi oleh jenis logam dan komposisi senyawa organik di dalamnya (Mehrotra & Dutta, 2011).

Intensitas relatif dari puncak (setelah koreksi dan normalisasi relatif terhadap nilai terendah sekitar 1105  $\text{cm}^{-1}$ ) memberikan C=O dalam sampel menurun secara signifikan, kemungkinan oksigen dalam gugus karbonil disepanjang rantai Tween 80 yang panjang dapat memberikan saturasi koordinatif dari ikatan yang menggantung dipermukaan nanopartikel perak, membantu stabilitas nanopartikel Ag. Hasil yang sama telah dilaporkan untuk Tween 80 berinteraksi dengan jenis nanopartikel dimana penurunan intensitas pita dan hilangnya puncak serapan C=O sekitar 1725  $\text{cm}^{-1}$  (Guo et al., 2010); (Khan et al., 2010). Berdasarkan hasil analisis serta tambahan literatur (Liz-Marzán & Lado-Touriño, 1996; Premkumar et al., 2007 dan Currie et al., 2004), kemungkinan mekanisme reduksi terkait dengan oksidasi  $\text{Ag}^+$  dari Tween 80. Tween 80 sejenis surfaktan non-ionik yang berasal dari sorbitan polietoksilasi dan asam oleat yang sering digunakan sebagai pengemulsi dalam makanan dan aplikasi farmakologi. Gugus hidrofilik polieter dikenal sebagai rantai polioksietilen ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-$ ), yang mampu mereduksi ion logam menjadi unsur logam (Currie et al., 2004; Taylor, 1980).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa surfaktan dengan gugus fungsi tertentu dapat mereduksi ion logam menjadi logam melalui reaksi redoks (Zhang & Sui, 2015; Kvi et al., 2008; Nourafkan & Alamdari, 2014; Sadjadi et al.,

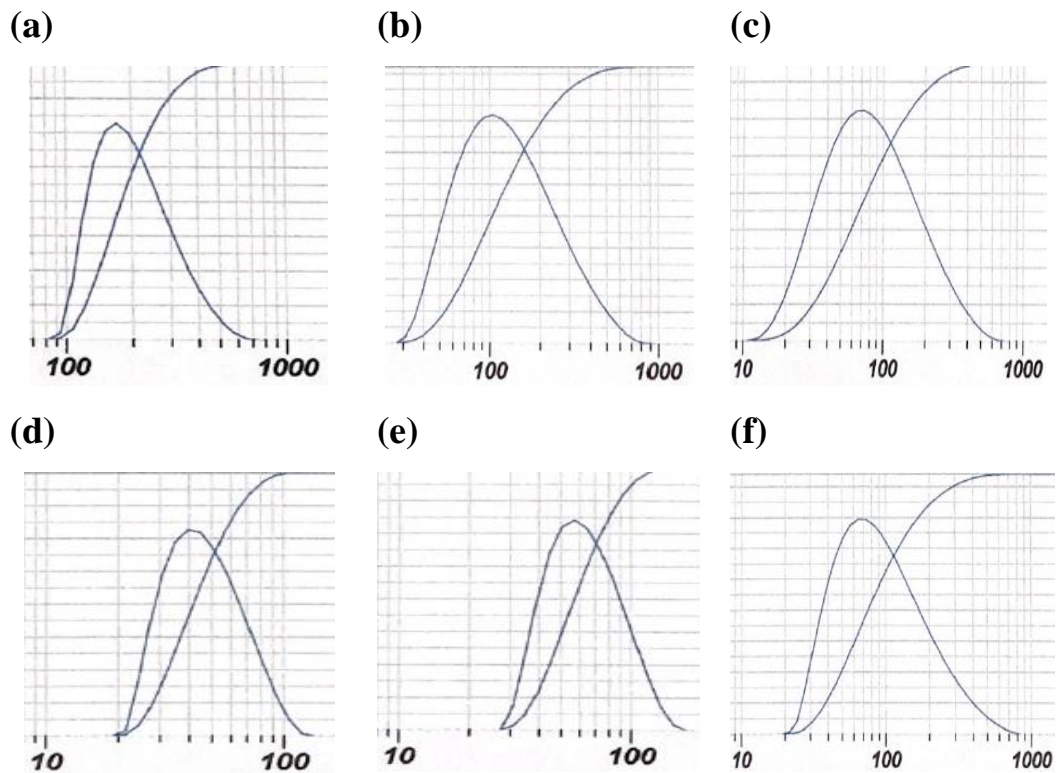
2008). Misalnya, radikal bebas dari  $\alpha$ -karbon oksigen eter dalam surfaktan polioksietilen non-ionik mampu mereduksi  $\text{Ag}^+$  menjadi  $\text{Ag}^0$  yang ditunjukkan pada Gambar 33.



**Gambar 33. Kemungkinan persamaan reaksi antara tween 80 dan  $\text{Ag}^+$**

Dapat dilihat pada struktur kimia tween 80 terdapat empat set tanda kurung yang ditandai dengan simbol w, x, y dan z dan ada beberapa gugus  $-\text{R}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{R}'$ . Tween 80 dianggap mengalami reaksi redoks, dimana radikal bebas terbentuk dari  $\alpha$ -karbon oksigen eter melalui pemisahan hidrogen pada tahap awal. Setelah itu, radikal dapat dioksidasi lebih lanjut menjadi ester atau didegradasi menjadi bentuk aldehyd (Pal et al., 2012).

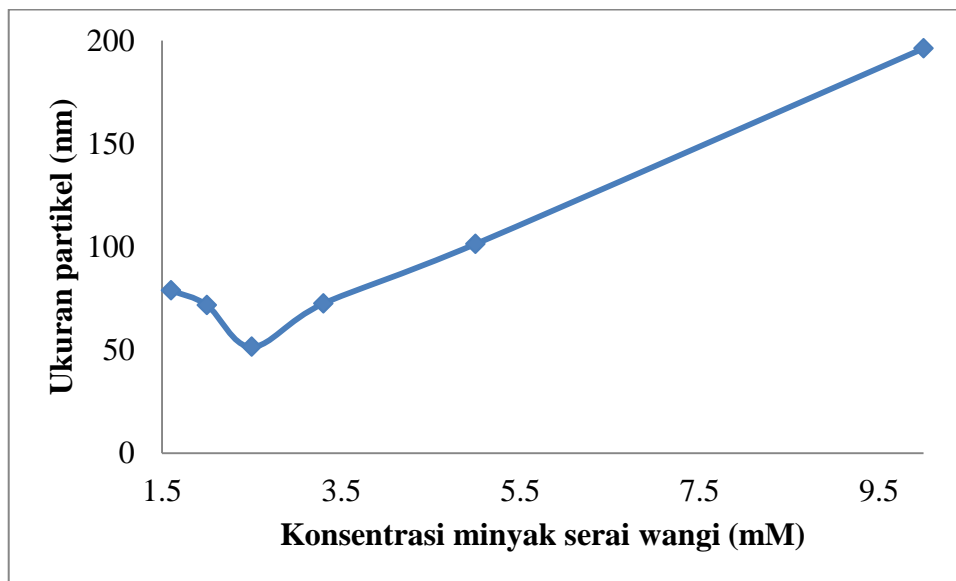
Hasil penentuan distribusi ukuran partikel perak menggunakan PSA dapat dilihat pada Gambar 34. Analisis dengan *Particle Size Analyzer* (PSA) bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari larutan nanopartikel perak (AgNPs) dengan metode uji *dynamic light scattering*.



**Gambar 34.** Analisis ukuran partikel (a) 10 mM (b) 5 mM (c) 3,3 mM (d) 2,5 mM (e) 2,0 mM dan (f) 1,6 mM

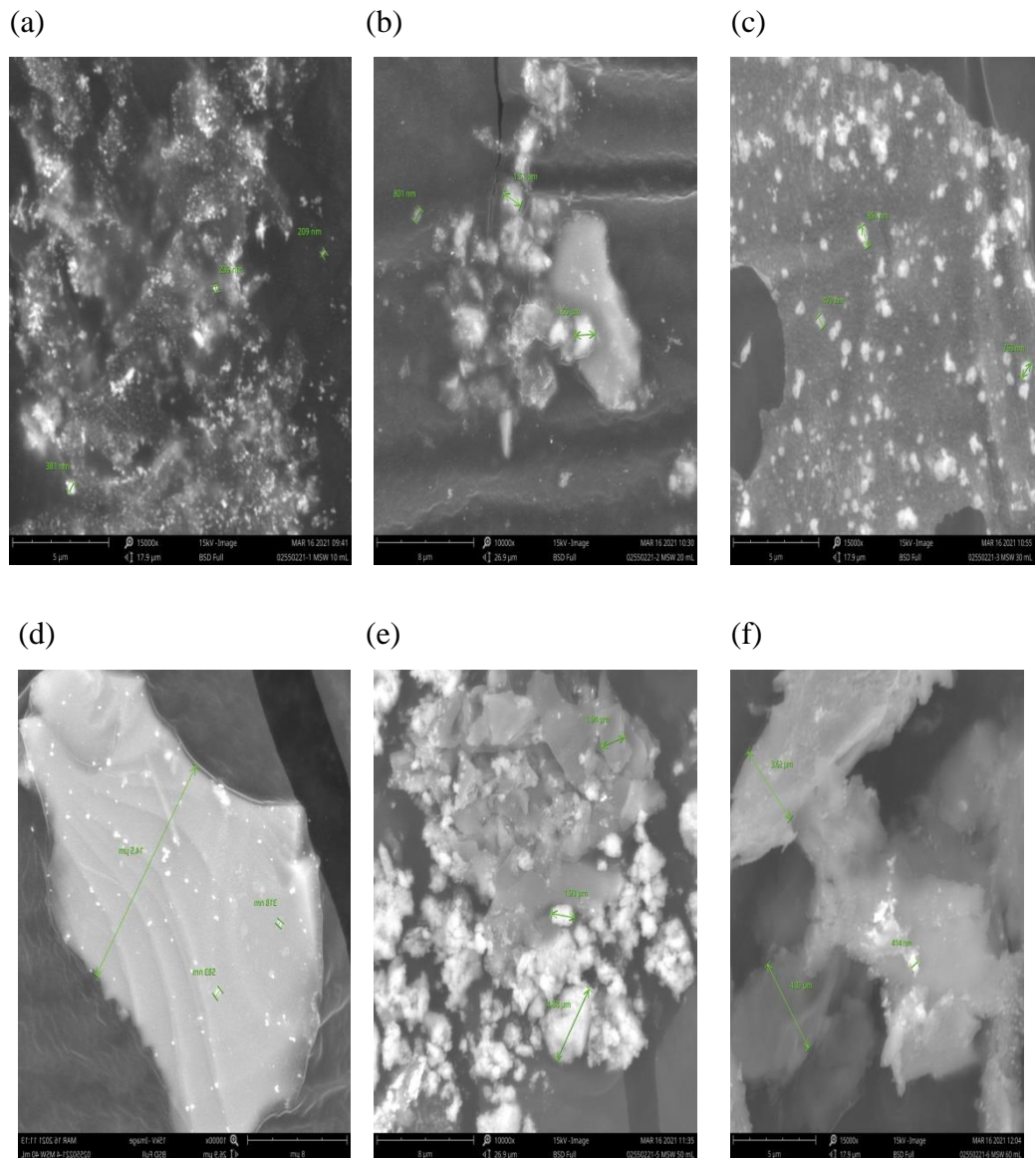
**Tabel 14.** Distribusi ukuran partikel konsentrasi minyak serai wangi

Konsentrasi minyak serai wangi (mM)	Ukuran partikel (nm)	PI
10	196,2	0.491
5	101,4	0.277
3,3	72,5	0.192
2,5	51,5	0.305
2,0	71,7	0.268
1,6	78,9	0.507



**Gambar 35. Grafik ukuran partikel EO-AgNPs dari variasi konsentrasi minyak serai wangi**

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 35, ukuran partikel EO-AgNPs dengan variasi konsentrasi minyak serai wangi 10 mM, 5 mM, 3,3 mM, 2,5 mM, 2,0 mM dan 1,6 mM memiliki ukuran partikel 196,2; 101,4; 72,5; 51,5; 71,7 dan 78,9 nm dengan nilai *Polydispersity Index* (PI) masing masing 0,491; 0,277; 0,192; 0,305; 0,268 dan 0,507. Semakin nilai *polydispersity index* (PI) mendekati 0 (nol), distribusinya semakin baik dan menunjukkan kestabilan fisik yang baik (Kasim et al., 2020). Nilai PI di bawah 0,05 biasanya dimiliki oleh sistem monodispersi. Untuk partikel berukuran 100-300 nm, nilai PI umumnya di bawah 0,3 maka dapat dikatakan baik. Partikel dengan ukuran di atas 500 nm dan memiliki nilai PI di atas 0,5 dikatakan besar dan teraglomerasi. Saat nilai PI di atas 0,3 maka ukuran rata-rata partikel tidak dapat digunakan (Iego, 2012).

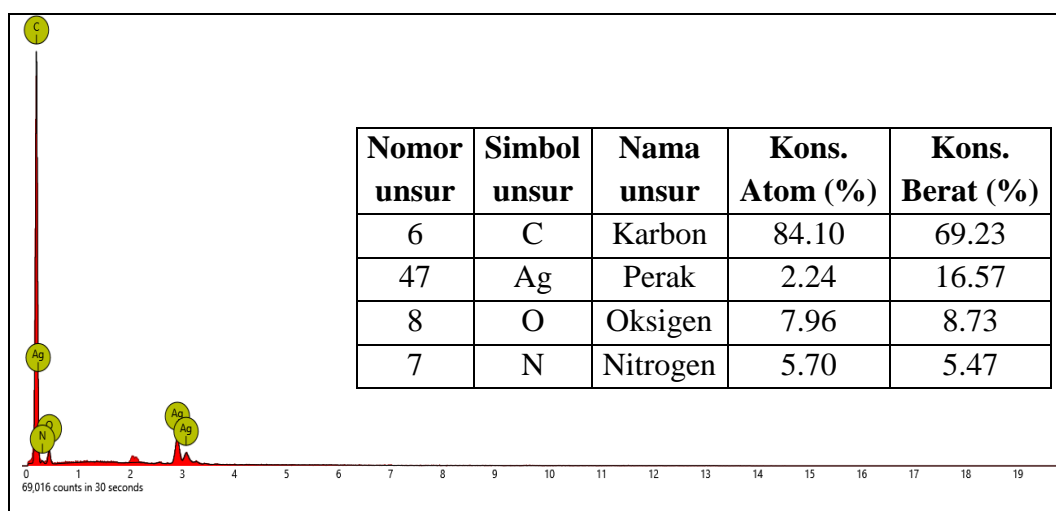


**Gambar 36. Scanning electron microscope EO-AgNPs dengan perbesaran 5000x (a) 10 mM (b) 5 mM (c) 3,3 mM (d) 2,5 mM (e) 2,0 mM dan (f) 1,6 mM**

Gambar 36 merupakan hasil analisis SEM terhadap larutan nanopartikel perak (AgNPs). Analisis SEM bertujuan untuk melihat morfologi partikel. Perbesaran gambar nanopartikel perak dilakukan pada skala 5000x. Hasil analisis morfologi partikel memiliki bentuk bulat, tidak beraturan dan ukuran yang beragam. (Masakke et al., 2015) dan (Taba et al., 2019) menjelaskan bahwa

ukuran yang beragam diakibatkan oleh efek agragasi nanopartikel dan memiliki partikel yang tidak seragam.

EDX dihasilkan dari sinar X, yaitu dengan menembakkan sinar X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Setelah ditembakkan akan dihasilkan puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung serta mengetahui persentase masing-masing unsur.



**Gambar 37. Spektra EDX dan unsur EO-AgNPs dari variasi konsentrasi minyak serai wangi**

Dari hasil analisis Gambar 37 dapat diketahui unsur-unsur yang terkandung pada masing-masing perbandingan variasi volume minyak dengan perak nitrat yaitu unsur C, Ag, O dan N dengan nilai persentase unsur sebesar 69,23%, 16,57%, 8,73% dan 5,47%. Tingginya persentase unsur karbon (C) kemungkinan disebabkan oleh kontaminasi dari penggunaan *carbontape* dalam preparasi analisis.

#### IV.4 Aplikasi EO-AgNPs untuk Daya Hambat *Lichen* Pada Permukaan Batu

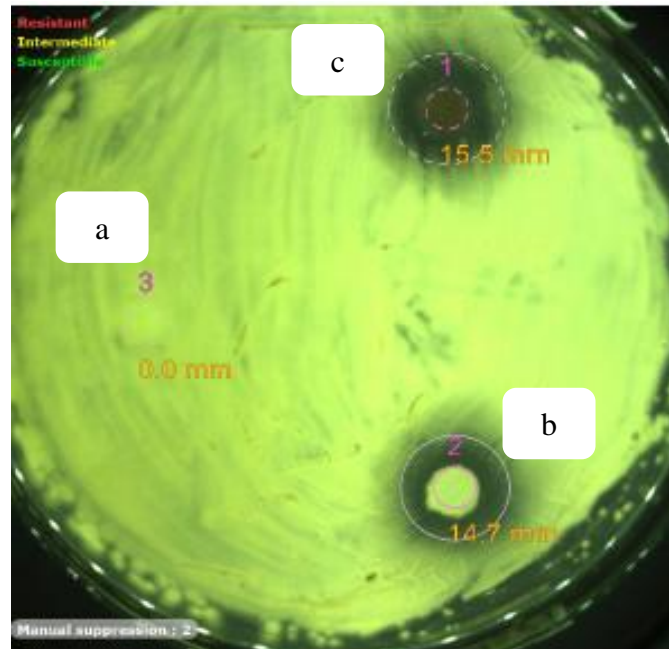
##### IV.4.1 Aplikasi EO-AgNPs untuk daya hambat *lichen*

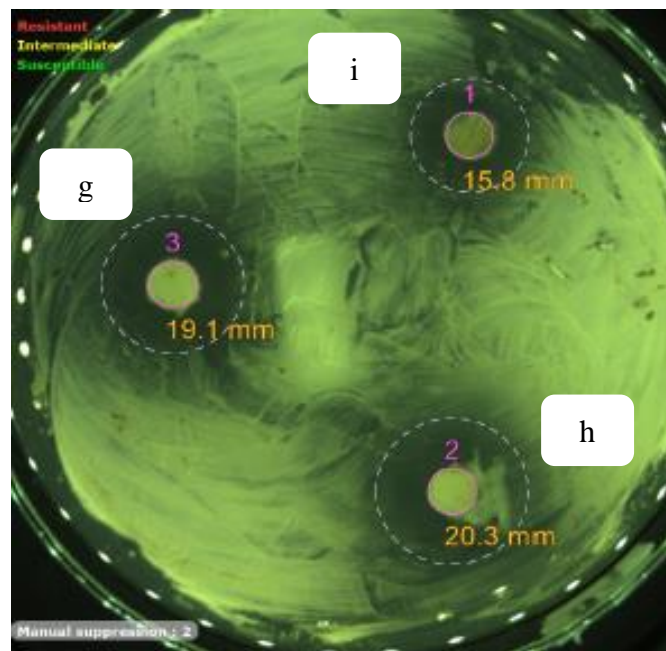
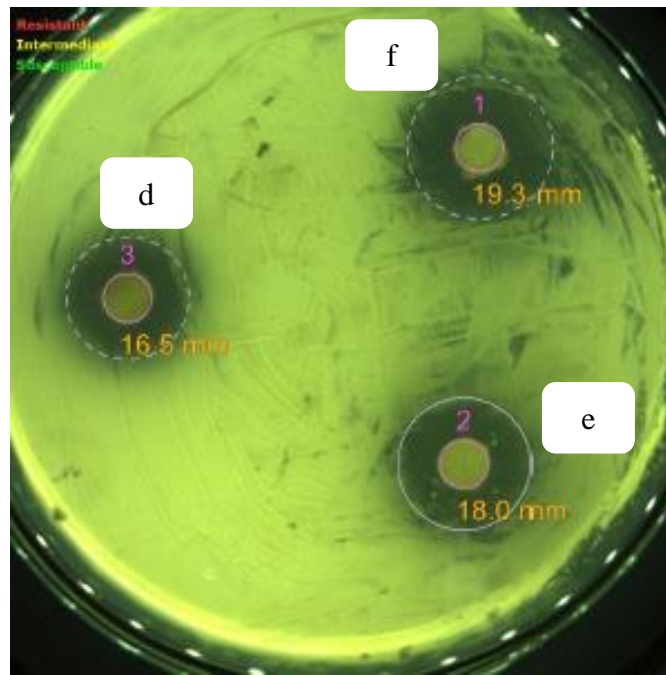
Hasil uji aktivitas daya hambat terhadap *lichen* dari EO-AgNPs dengan variasi konsentrasi minyak serai wangi ditunjukkan pada Gambar 38. Hasil uji daya hambat diperoleh diameter zona hambat dari masing-masing perbandingan (A) Kontrol (0 mm) (B) Minyak serai 100% (14,7 mm) (C) 10 mM (15,5 mm) (D) 5 mM (16,5 mm) (E) 3,3 mM (18 mm) (F) 2,5 mM (19,3 mm) (G) 2,0 mM (19,1

mm) (H) 1,6 mM (20,3 mm). Daya hambat terhadap *lichen* ditandai dengan adanya zona bening disekitar kertas. Aktivitas tertinggi dari konsentrasi minyak serai wangi yang mampu menghambat pertumbuhan *lichen* yaitu dengan luas zona hambat 20,3 mm (1,6 mM). Berdasarkan hasil pengamatan, minyak atsiri serai wangi dalam bentuk nanopartikel mampu menghambat pertumbuhan *lichen* lebih besar dibandingkan dengan minyak serai murni.

**Tabel 15. Diameter zona hambat *lichen***

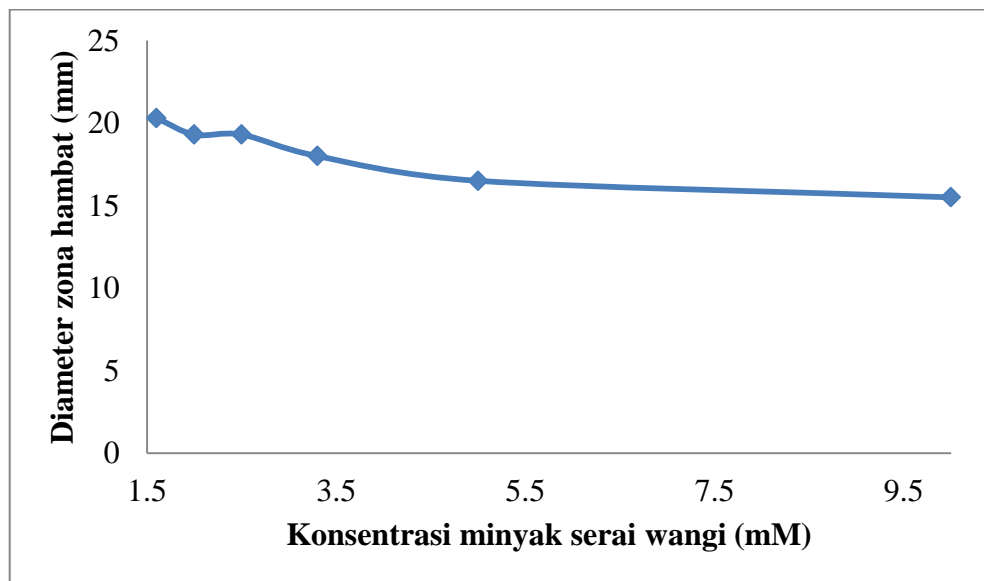
Konsentrasi minyak serai wangi (mM)	Diameter zona hambat (mm)
Kontrol	0
Minyak serai wangi	14,7
10	15,5
5	16,5
3,3	18,0
2,5	19,3
2,0	19,3
1,6	20,3





**Gambar 38. Aktivitas daya hambat lichen dengan konsentrasi (a) kontrol (b) minyak serai wangi 100% (c) 10 mM (d) 5 mM (e) 3,3 mM (f) 2,5 mM (g) 2,0 mM dan (h) 1,6 mM**





**Gambar 39. Grafik diameter zona hambat**

Hasil uji aktivitas EO-AgNPs terhadap *lichen* menggunakan zona hambat ditunjukkan pada Gambar 38. Uji minyak atsiri dari penelitian ini menggunakan metode difusi cakram. Prinsip metode ini yaitu bahan uji dijenuhkan/direndam ke dalam kertas saring (*paper disk*). Kertas cakram yang telah direndam pada bahan tertentu ditanam pada media agar padat yang telah dicampur dengan *lichen*, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 3-5 hari. Setelah itu, diamati zona bening disekitar kertas cakram yang menunjukkan tidak adanya pertumbuhan mikroba. Selama inkubasi, bahan uji berdifusi dari kertas saring ke dalam agar, sehingga zona hambat akan terbentuk (Gambar 38). Senyawa kimia yang terkandung dalam minyak serai wangi akan berdifusi ke dalam media agar, menyebabkan penghambatan pembentukan dinding sel. Sel hanya dibatasi oleh membran tipis dan dapat pecah atau rusak. Penghambatan juga bisa terjadi melalui proses sintesis protein. Bahan EO-AgNPs menunjukkan zona hambat yang lebih besar dari EO. EO dan logam Ag memiliki efek sinergis sebagai antijamur (Cunha et al., 2018). Sitronelal dan geraniol sebagai senyawa utama dalam EO memiliki efek antijamur yang sangat baik (Riyanto et al., 2016) dan didukung oleh logam Ag (Thanighaiarassu et al., 2018).

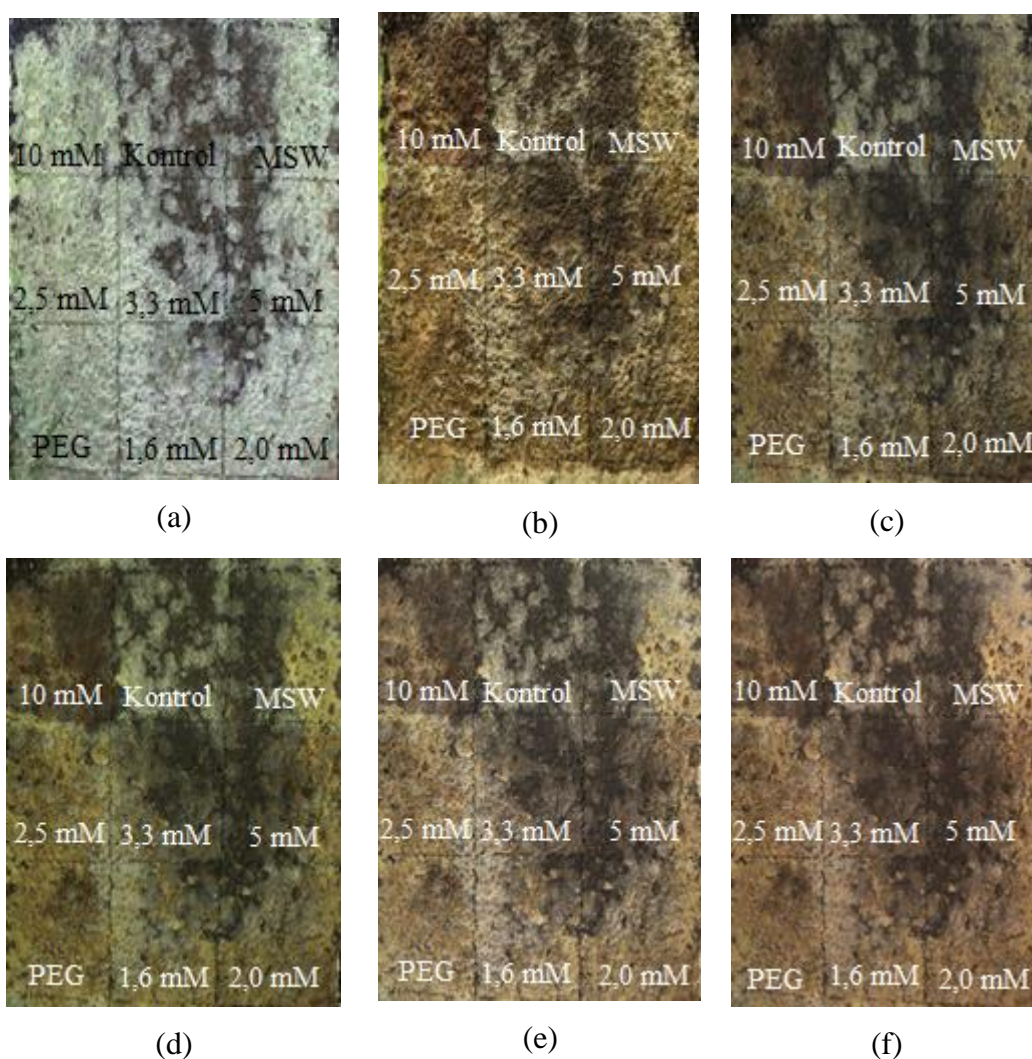
Mekanisme pasti perak pada mikroba masih belum diketahui tetapi kemungkinan mekanisme dari logam perak, ion perak dan nanopartikel perak

telah disarankan menurut morfologi dan perubahan struktur yang ditemukan pada sel mikroba. Mekanisme perak berhubungan dengan interaksinya senyawa gugus thiol yang ditemukan dalam enzim pernapasan sel mikroba. Perak mengikat dinding sel, membran sel dan menghambat proses respirasi (Klasen, 2000). Mekanisme antimikroba dari ion perak dapat dilihat dari perubahan struktur dan morfologinya. Ion perak menembus didalam sel mikroba, membuat molekul DNA menjadi kental dan kehilangan kemampuan replikasi yang menyebabkan kematian sel. Beberapa literature juga melaporkan bahwa logam berat bereaksi dengan protein yang terikat dengan gugus thiol dan protein menjadi tidak aktif (Liau et al., 1997). Sedangkan nanopartikel menempel pada membran sel dan juga menembus didalam mikroba. Membran mengandung protein yang mengandung sulfur dan AgNPs berinteraksi dengan protein di dalam sel dan juga dengan senyawa yang mengandung fosfor seperti DNA. AgNPs lebih disukai menyerang rantai pernapasan, pembelahan sel yg menyebabkan kematian sel. Nanopartikel melepaskan ion perak di sel, yang meningkatkan aktivitas antimikroba. Efek antimikroba dari nanopartikel perak tergantung ukuran dan bentuk, menurut (Pal et al, 2007) nanopartikel *truncated triangular* (segitiga terpotong) menunjukkan penghambatan dengan kandungan perak 1µg. Pada bentuk bulat kandungan perak total 12,5 µg, sedangkan berbentuk batang membutuhkan kandungan perak 50-100 µg.

#### **IV.4.2 Aplikasi langsung EO-AgNPs terhadap *lichen* pada permukaan batu**

Dalam pengamatan skala lapangan dilakukan secara visual. Pengamatan secara visual diamati sebelum dan sesudah pengaplikasian. Lumut kerak (*lichen*) merupakan simbiosis mutualisme antara sel alga dan miselium jamur yang hidup di batuan, batang pohon dan dinding bangunan. Jenis jamur yang bersimbiosis biasanya berasal dari kelompok *Ascomycota* dan *Basidiomycota*, sedangkan simbiosis alga biasanya bersel satu atau berbentuk benang dari *Chlorophyta* atau *Cyanophyta*. Lumut yang tumbuh dipermukaan batu ada beberapa yaitu hijau, putih dan coklat. Uji aktivitas pada permukaan batu menunjukkan pertumbuhan *lichen* terhambat yang ditandai dengan perubahan warna hijau menjadi coklat yang mengindikasikan *lichen* telah mati. Hasil pengamatan menunjukkan larutan

nanopartikel perak efektif melawan *lichen* pada batuan dengan perubahan dalam 24 jam. Perubahan kemerahan terjadi pada konsentrasi 10 mM, berwarna coklat pada konsentrasi minyak serai murni, 5 mM, 3,3 mM, 2,5 mM, 2,0 mM dan 1,6 mM dan tidak menunjukkan perubahan warna pada kontrol. Hal ini dapat disimpulkan bahwa larutan nanopartikel perak efektif menghambat pertumbuhan *lichen* (Gambar 40).



**Gambar 40. Hasil pengamatan uji aktivitas EO-AgNPs secara visual (a) sebelum di spray (b) setelah di spray 24 jam (c) 48 jam (d) 72 jam (e) 240 jam dan (f) 312 jam**

Mekanisme aktivitas antimikroba dari nanopartikel karena ukuran yang kecil dan luas permukaan lebih besar untuk volume rasio yang secara efektif melindungi mikroorganisme dan mereduksi *supply oksigen* untuk respirasi.

Aktivitas penghambatan nanopartikel juga disebabkan oleh tekanan induksi oksidatif, pelepasan ion logam dan mekanisme non-oksidatif (Linlin Wang et al., 2017). Tekanan oksidatif disebabkan oleh jenis variasi produksi oksigen reaktif seperti hidrogen peroksida ( $O_2^{\cdot-}$ ), hidroksil radikal ( $\cdot OH$ ), singlet oksigen ( $^1O_2$ ) dan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) (Rai et al., 2009). Ion logam dibebaskan oleh beberapa nanopartikel oksida logam, diserap melalui membran sel diikuti oleh interaksi dengan protein dan asam nukleat yang merusak aktivitas enzim (Zakharova et al., 2015 dan Eng, n.d.). Sehingga dapat dilihat pada Gambar 40 hasil pengamatan yang diperoleh berwarna kecokelatan mengindikasikan bahwa *lichen* telah mati.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil karakteristik minyak serai wangi yang dihasilkan yaitu minyak berwarna kuning jernih, bau khas serai wangi, nilai indeks bias 1,4623 dan berat jenis minyak 0,875 g/cm<sup>3</sup> dengan komponen utama sitronelal (56,96%), sitronelal (13,72%), geraniol (17,81%), sitronelil asetat (1,32%) dan trans-kariopillen (2,25%).
- Formulasi pembuatan sintesis nanopartikel perak dilakukan secara langsung, yaitu mencampurkan serbuk AgNO<sub>3</sub> dengan minyak atsiri serai wangi yang ditandai adanya perubahan warna coklat sebagai karakteristik pembentukan nanopartikel (EO-AgNPs).
- Waktu penyimpanan optimum EO-AgNPs selama 9 hari pada puncak serapan 430 nm dan konsentrasi optimum AgNO<sub>3</sub> yaitu 10 mM pada puncak serapan 424 nm dengan nilai absorbansi 0,660.
- Konsentrasi optimum minyak serai wangi diperoleh pada 2,5 mM dengan distribusi ukuran partikel 51,5 nm dan nilai PI sebesar 0.305.
- Pengujian langsung EO-AgNPs untuk membunuh lumut kerak (*lichen*) menunjukkan hasil yang sangat efektif setelah 24 jam dari pengamatan.
- Uji aktivitas EO-AgNPs sebagai anti-*lichen* pada batu memiliki daya hambat yang sangat baik jika dibandingkan dengan EO saja. Semakin kecil konsentrasi minyak serai wangi, semakin besar daya hambat yang diperoleh.

#### V.2 Saran

- Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengaruh pengadukan dan pemanasan terhadap ukuran partikel EO-AgNPs.
- Penelitian selanjutnya dapat dipelajari mekanisme reaksi bahan aktif dalam minyak atsiri dengan perak dan perlu mempelajari studi tentang aplikasi anti-*lichen* lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, H., Venkat Kumar, S., & Rajeshkumar, S. (2018). Antidiabetic effect of silver nanoparticles synthesized using lemongrass (*Cymbopogon citratus*) through conventional heating and microwave irradiation approach. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(4), 371–376. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2018.7.4.371-376>
- Aguiar, R. W. D. S., Ootani, M. A., Ascencio, S. D., Ferreira, T. P. S., Santos, M. M. D., & Santos, G. R. D. (2014). Fumigant antifungal activity of *Corymbia citriodora* and *Cymbopogon nardus* essential oils and citronellal against three fungal species. *The Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/492138>
- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016). *Review A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications : A green expertise.* 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.02.007>
- Ajayi, E., & Afolayan, A. (2017). Green synthesis, characterization and biological activities of silver nanoparticles from alkalized *Cymbopogon citratus* Stapf. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 8(1), aa5cf7. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aa5cf7>
- Akurat, C., & Ilsatoham, M. I. (2020). *Pengukuran Partikel Menggunakan Dynamic Light Scattering ( DLS ) Secara Pengukuran Partikel Menggunakan Dynamic Light Scattering ( DLS ) Secara Cepat dan Akurat. June.*
- Alfuraydi, A. A., Devanesan, S., Al-ansari, M., Alsalhi, M. S., & Ranjitsingh, A. J. (2019). Journal of Photochemistry & Photobiology , B : Biology Eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles from the sesame oil cake and its potential anticancer and antimicrobial activities. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 192(January), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.01.011>
- Aljabali, A. A. A., Akkam, Y., Al Zoubi, M. S., Al-Batayneh, K. M., Al-Trad, B., Alrob, O. A., Alkilany, A. M., Benamara, M., & Evans, D. J. (2018). Synthesis of gold nanoparticles using leaf extract of *Ziziphus zizyphus* and their antimicrobial activity. *Nanomaterials*, 8(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/nano8030174>

- Allen, L. V. (2020). The Art, Science, and Technology of Pharmaceutical Compounding, 6th Edition. In *The Art, Science, and Technology of Pharmaceutical Compounding, 6th Edition*.  
<https://doi.org/10.21019/9781582123578>
- Amzad Hossain, M., & Shah, M. D. (2015). A study on the total phenols content and antioxidant activity of essential oil and different solvent extracts of endemic plant *Merremia borneensis*. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.01.007>
- Andriawan, A. H. (1980). *Penggunaan Metode FT-IR*. 0274, 1–9.
- Anindya, L. (2018). *Particle size analyser : beberapa penggunaan instrumen hamburan cahaya*. 1, 10–11.
- Ari, K., Darmapatni, G., Studi, P., Ilmu, M., & Pascasarjana, S. (2016). *Pengembangan Metode Gc-Ms*. 18(3).
- Ayuningtyas, D. (2008). *Aktivitas minyak atsiri rimpang bengle*. 1–35.
- Babu, K. G. D., & Kaul, V. K. (2005). Variation in essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) distilled by different distillation techniques. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(2), 222–231. <https://doi.org/10.1002/ffj.1414>
- Baker, C. N., Stocker, S. A., Culver, D. H., & Thornsberry, C. (1991). Comparison of the E test to agar dilution, broth microdilution, and agar diffusion susceptibility testing techniques by using a special challenge set of bacteria. *Journal of Clinical Microbiology*, 29(3), 533–538. <https://doi.org/10.1128/jcm.29.3.533-538.1991>
- Balantrapu, K., & Goia, D. V. (2009). Silver nanoparticles for printable electronics and biological applications. *Journal of Materials Research*, 24(9), 2828–2836. <https://doi.org/10.1557/jmr.2009.0336>
- Beasley, M. M., Bartelink, E. J., Taylor, L., & Miller, R. M. (2014). *Comparison of transmission FTIR , ATR , and DRIFT spectra : implications for assessment of bone bioapatite diagenesis*. 46, 16–22.
- Benedec, D., Cuibus, F., Sevastre, B., Duma, M., Hanganu, D., & Stiufiuc, R. (2018). *Origanum vulgare mediated green synthesis of biocompatible gold*

*nanoparticles simultaneously possessing plasmonic , antioxidant and antimicrobial properties.* 1041–1058.

- Benelli, C. G. A. N. G. K. G., & Losic, D. (2017). *Nanoparticles for pest control : current status and future perspectives.* <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0898-0>
- Bota, W., Martosupono, M., & Rondonuwu, F. S. (2015). Karakterisasi produk-produk minyak sereh wangi (Citronella oil) menggunakan spektroskopi inframerah dekat (NIRs). *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, November*, 1–7.
- Burford, E. P., Kierans, M., & Gadd, G. M. (2003). *Geomycology : fungi in mineral substrata.* 17(August). <https://doi.org/10.1017/S0269915X03003112>
- Buzea, C., Pacheco, I. I., & Robbie, K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4), MR17–MR71. <https://doi.org/10.1116/1.2815690>
- Cahyana, A., Marzuki, A., Ilmu, J., Pasca, F., Universitas, S., & Maret, S. (2014). *Analisa sem.*
- Campolo, O., Cherif, A., Ricupero, M., Siscaro, G., Grissa-lebdi, K., Russo, A., Cucci, L. M., Pietro, P. Di, Satriano, C., Desneux, N., Biondi, A., Zappalà, L., & Palmeri, V. (2017). *Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer , Tuta absoluta : chemical properties and biological activity.* July, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13413-0>
- Cassel, E., Vargas, R. M. F., & Joseph, P. (2006). Experiments and Modeling of the Cymbopogon winterianus Essential Oil Extraction by Steam Distillation. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 50(3), 126–129.
- Chen, J., Blume, H., & Beyer, L. (2000). *Weathering of rocks induced by lichen colonization — a review.*
- Chong, D. J. W., Latip, J., Hasbullah, S. A., & Sastrohamidjojo, H. (2015). Optimal extraction and evaluation on the oil content of citronella oil extracted from Cymbopogon nardus. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 19(1), 71–76.



- Cooper, D., Doucet, L., & Pratt, M. (2007). Understanding in multinational organizations. *Journal of Organizational Behavior*, 28(3), 303–325. <https://doi.org/10.1002/j>
- Cunha, F. A., Lima, M. C. N., Martins, R. T., Cunha, M. C. S. O., Bandeira, M. A. A. B., Menezes, E. A., & Fehine, P. B. A. (2018). Synergistic effect between silver nanoparticles produced by green synthesis and lemongrass essential oil (*Cymbopogon citratus* (dc.) stapf) against candida albicans. *Latin American Journal of Pharmacy*.
- Currie, F., Andersson, M., & Holmberg, K. (2004). Oxidation of self-organized nonionic surfactants. *Langmuir*, 20(10), 3835–3837. <https://doi.org/10.1021/la0499665>
- Danprasert, K., Kumar, R., H-cheng, M., Gupta, P., Samuelson, L. A., & Watterson, A. C. (2003). *Synthesis of novel poly ( ethylene glycol ) based amphiphilic polymers*. 39, 1983–1990. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(03\)00111-3](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(03)00111-3)
- Dao, T. P., Tran, T. H., Nhan, N. P. T., Quyen, N. T. C., Tien, L. X., Anh, T. T., Quan, P. M., Nguyen, N. H., Anh, L. L. T., & Linh, H. T. K. (2020). Optimization of essential oil yield from Vietnamese green pepper (*Piper nigrum*) using hydro-distillation method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 736(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/2/022039>
- De Billerbeck, V. G., Roques, C. G., Bessière, J. M., Fonvieille, J. L., & Dargent, R. (2001). Effects of *Cymbopogon nardus* (L.) W. Watson essential oil on the growth and morphogenesis of *Aspergillus niger*. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(1), 9–17. <https://doi.org/10.1139/cjm-47-1-9>
- Dinesh, D., Murugan, K., Madhiyazhagan, P., Panneerselvam, C., Mahesh Kumar, P., Nicoletti, M., Jiang, W., Benelli, G., Chandramohan, B., & Suresh, U. (2015). Mosquitocidal and antibacterial activity of green-synthesized silver nanoparticles from *Aloe vera* extracts: towards an effective tool against the malaria vector *Anopheles stephensi*? *Parasitology Research*, 114(4), 1519–1529. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4336-z>
- Doehne, E. (2014). *Stone Conservation : An Overview of Current Research* (Issue May). <https://doi.org/10.2307/3179804>

- Dreaden, E. C., Alkilany, A. M., Huang, X., Murphy, C. J., & El-Sayed, M. A. (2012). The golden age: Gold nanoparticles for biomedicine. *Chemical Society Reviews*, *41*(7), 2740–2779. <https://doi.org/10.1039/c1cs15237h>
- Dwistika, R. (2018). Karakteristik Nanopartikel Perak Hasil Produksi Dengan Teknik Elektrolisis Berdasarkan Uji Spektrofotometer Uv-Vis Dan Particle Size Analyzer (Psa), *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA UNY, Yogyakarta.
- ElBaghdady, K. Z., Tolba, S. T., & Houssien, S. S. (2019). Biogenic deterioration of Egyptian limestone monuments: treatment and conservation. *Journal of Cultural Heritage*, *38*(2), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.02.005>
- Elyemni, M., Louaste, B., Nechad, I., Elkamli, T., Bouia, A., Taleb, M., Chaouch, M., & Eloutassi, N. (2019). *Extraction of Essential Oils of Rosmarinus officinalis L . by Two Different Methods : Hydrodistillation and Microwave Assisted Hydrodistillation. 2019.*
- Esfanddarani, H. M., Kajani, A. A., & Bordbar, A. K. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles using flower extract of Malva sylvestris and investigation of their antibacterial activity. *IET Nanobiotechnology*, *12*(4), 412–416. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2017.0166>
- Feldheim. 2002, *Metal Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications*, Marcel Dekker, New York.
- Feriyanto, Y. E., Sipahutar, P. J., Mahfud, & Prihatini, P. (2013). Menggunakan Metode Distilasi Uap dan Air dengan Pemanasan Microwave. *Jurnal Teknik POMITS*, *2*(1), 93–97.
- Filly, A., Fabiano-Tixier, A. S., Louis, C., Fernandez, X., & Chemat, F. (2016). Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers. *Comptes Rendus Chimie*, *19*(6), 707–717. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2016.01.018>
- Fouda, A., Abdel-maksoud, G., Abdel-rahman, M. A., Salem, S. S., Hassan, S. E., & El-sadany, M. A. (2019). International Biodeterioration & Biodegradation Eco-friendly approach utilizing green synthesized nanoparticles for paper conservation against microbes involved in biodeterioration of archaeological manuscript. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *142*(March), 160–169.

<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.05.012>

- Fraceto, L. F., Seabra, A. B., & Oliveira, H. C. (2014). *State of the art of polymeric nanoparticles as carrier systems with agricultural applications : a minireview.*
- Handoko. (2013). Keanekaragaman Lumut Kerak (Lichens) Sebagai Bioindikator Kualitas Udara Di Kawasan Asrama Internasional Ipb, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Gaylarde, P. M., & Beech, I. B. (2008). *Deterioration of limestone structures associated with copper staining.* 62, 179–185.  
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.01.007>
- Gao, H., Yang, H., & Wang, C. (2017). Controllable preparation and mechanism of nano-silver mediated by the microemulsion system of the clove oil. *Results in Physics*, 7, 3130–3136.  
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.08.032>
- Geweely, N. S., Afifi, H. A., Ibrahim, D. M., & Soliman, M. M. (2020). Inhibitory Effect of Essential Oils on Growth and Physiological Activity of Deteriorated Fungal Species Isolated from Three Archeological Objects, Saqqara excavation, Egypt. *Geomicrobiology Journal*, 37(6), 520–533.  
<https://doi.org/10.1080/01490451.2020.1731021>
- Geweely, Neveen S., Afifi, H. A., Ibrahim, D. M., & Soliman, M. M. (2019). Efficacy of Essential Oils on Fungi Isolated from Archaeological Objects in Saqqara Excavation, Egypt. *Geomicrobiology Journal*, 36(2), 148–168.  
<https://doi.org/10.1080/01490451.2018.1520938>
- Gomoiu, I., Mohanu, D., Radvan, R., Dumbravician, M., Neagu, S. E., & Cojoc, L. R. (2017). *Environmental Impact on Biopigmentation of Mural Painting.* 131(1), 48–51. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.131.48>
- González-Rivera, J., Duce, C., Ierardi, V., Longo, I., Spepi, A., Tiné, M. R., & Ferrari, C. (2017). Fast and eco-friendly microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles using rosemary essential oil as renewable reducing agent. *ChemistrySelect*, 2(6), 2131–2138.  
<https://doi.org/10.1002/slct.201700244>
- Grass, C., Nakahara, K., Alzoreky, N. S., & Yoshihashi, T. (2015). *Chemical Composition and Antifungal Activity of Essential Oil from Chemical*

*Composition and Antifungal Activity of Essential Oil from Cymbopogon nardus ( Citronella Grass ). January 2013, 1–5.*  
<https://doi.org/10.6090/jarq.37.249>

Guo, Z., Xiong, J., Yang, M., Xiong, S., Chen, J., Wu, Y., Fan, H., Sun, L., Wang, J., & Wang, H. (2010). Dispersion of nano-TiN powder in aqueous media. *Journal of Alloys and Compounds*, 493(1–2), 362–367.  
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.12.103>

Gupta, A. K., & Ganjewala, D. (2015). Synthesis of Silver Nanoparticles from Cymbopogon flexuosus Leaves Extract and Their Antibacterial Properties. *International Journal of Plant Science and Ecology*, 1(5), 225–230.  
<http://www.aiscience.org/journal/ijpsehttp://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

H, M. H., Hasfalina, C. M., Hishamuddin, J., & Zurina, Z. A. (2012). *Optimization and Kinetics of Essential Oil Extraction from Citronella Grass by Ohmic Heated Hydro Distillation*. 3(3).

Haloui, I., & Meniai, A. H. (2017). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of essential oil from Algerian Argan (*Argania spinosa* L.) seeds and yield optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(17), 12912–12919.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.12.012>

Hamzah, M. H., Sudin, S. S., Ab, T. N. A. T., Malek, N. F. H. A., Yusof, N., Jamaludin, H., Jamaludin, N. F., & Man, H. C. (2011). *Preliminary Study of Ohmic Heated Hydro Distillation for Essential Oil ' s Plant Extraction*. 211–214.

Hoten, H. Van, Program, P., Teknik, S., Fakultas, M., Universitas, T., Jl, B., & Bengkulu, W. R. S. (2020). *DARI CANGKANG TELUR AYAM BROILER The research is about a nalysis of Nano Sized Bioceramic Characterization Using Particle Size Analyzer ( PSA ). In the previous research , optimization of the parameters of making nano powders on Ball Mill machines using t. 13(April), 3–7.*

Huang, J., Li, Q., Sun, D., Lu, Y., Su, Y., Yang, X., Wang, H., Wang, Y., Shao, W., He, N., Hong, J., & Chen, C. (2007). Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried Cinnamomum camphora leaf. *Nanotechnology*, 18(10). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/18/10/105104>

Husni, P & Puspitaningrum, K. (2017). *Pengembangan Formula Nano-Fitosom*

*Serbuk Liofilisasi Seduhan Teh Hitam (Camellia Sinensis L. Kuntze), IJPST., 4(3), 100-111.*

- Iavicoli, I., Leso, V., Beezhold, D. H., & Shvedova, A. A. (2017). Nanotechnology in agriculture : Opportunities , toxicological implications , and occupational risks. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 329, 96–111. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2017.05.025>
- Iego, S. A. N. D. (2012). *Nano Composix's Guide To Dynamic Lights Cattering Measurement And Analysis*. 1–7.
- Iravani, S. (2011). *Green Chemistry Green synthesis of metal nanoparticles using plants*. 2638–2650. <https://doi.org/10.1039/c1gc15386b>
- Ishkeh, S. R., Asghari, M., Shirzad, H., & Alirezalu, A. (2019). Scientia Horticulturae Lemon verbena ( Lippia citrodora ) essential oil e ffects on antioxidant capacity and phytochemical content of raspberry ( Rubus ulmifolius subsp . sanctus ). *Scientia Horticulturae*, 248(January), 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.040>
- Jena, S., Tokas, R. B., Thakur, S., & Sahoo, N. K. (2015). Characterization of Optical Thin Films by Spectrophotometry and Atomic Force Microscopy. *SMC Bulletin*, 6(1), 1–9.
- Jini, D., & Sharmila, S. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles from Allium cepa and its in vitro antidiabetic activity. *Materials Today: Proceedings*, 22(xxxx), 432–438. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.672>
- Jorgensen, J. H., & Ferraro, M. J. (2009). Antimicrobial susceptibility testing: A review of general principles and contemporary practices. *Clinical Infectious Diseases*, 49(11), 1749–1755. <https://doi.org/10.1086/647952>
- Kasim, S., Taba, P., Ruslan, & Anto, R. (2020). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (Eichornia crassipes) Sebagai Bioreduktor. *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 6(2), 126–133. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i2.15137>
- Kecil, S., Menengah, D. A. N., & Jawa, D. I. (2016). Teknologi Penyulingan Minyak Sereh Wangi Skala Kecil Dan Menengah Di Jawa Barat. *Teknoin*, 22(9), 664–672. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss9.art4>

- Keilany, Z. (1978). Book Reviews: Book Reviews. *Review of Social Economy*, 36(2), 228–229. <https://doi.org/10.1080/00346767800000037>
- Kekerasan, M. D. A. N. (2014). *Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian* : 2(1), 33–39.
- Khalaf, H., Sharoba, A., El-Tanahi, H., & Morsy, M. (2013). Stability of Antimicrobial Activity of Pullulan Edible Films Incorporated With Nanoparticles and Essential Oils and Their Impact on Turkey Deli Meat Quality. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 4(11), 557–573. <https://doi.org/10.21608/jfds.2013.72104>
- Khan, Y., Durrani, S. K., Mehmood, M., Ahmad, J., Khan, M. R., & Firdous, S. (2010). Low temperature synthesis of fluorescent ZnO nanoparticles. *Applied Surface Science*, 257(5), 1756–1761. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.09.011>
- Klasen, H. J. (2000). A historical review of the use of silver in the treatment of burns. II. Renewed interest for silver. *Burns*, 26(2), 131–138. [https://doi.org/10.1016/S0305-4179\(99\)00116-3](https://doi.org/10.1016/S0305-4179(99)00116-3)
- Koşar, M., Dorman, H. J. D., & Hiltunen, R. (2005). Effect of an acid treatment on the phytochemical and antioxidant characteristics of extracts from selected Lamiaceae species. *Food Chemistry*, 91(3), 525–533. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.029>
- Kumari, P., Kumar, H., Kumar, J., Sohail, M., & Singh, K. P. (2019). *Biosynthesized Zinc Oxide nanoparticles control the growth of Aspergillus flavus and its aflatoxin production*. 10(4), 320–329.
- Kvi, L., Soukupova, J., Vec, R., Pucek, R., Holecova, M., & Zbor, R. (2008). *Effect of Surfactants and Polymers on Stability and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles ( NPs )*. 5825–5834.
- Li, X. M., Tian, S. L., Pang, Z. C., Shi, J. Y., Feng, Z. S., & Zhang, Y. M. (2009). Extraction of Cuminum cyminum essential oil by combination technology of organic solvent with low boiling point and steam distillation. *Food Chemistry*, 115(3), 1114–1119. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.091>

- Liau, S. Y., Read, D. C., Pugh, W. J., Furr, J. R., & Russell, A. D. (1997). Interaction of silver nitrate with readily identifiable groups: Relationship to the antibacterial action of silver ions. *Letters in Applied Microbiology*, 25(4), 279–283. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.1997.00219.x>
- Lingkungan, J. B., Chandra, R. H., Biologi, D., & Utara, U. S. (2015). *Biolink Akumulasi Timbal ( Pb ) Dan Keanekaragaman Jenis Lichenes Di Taman Kota Medan The Accumulation And Diversity Of Lichenes In The City Park Medan*. 2(1), 23–37.
- Liz-Marzán, L. M., & Lado-Touriño, I. (1996). Reduction and stabilization of silver nanoparticles in ethanol by nonionic surfactants. *Langmuir*, 12(15), 3585–3589. <https://doi.org/10.1021/la951501e>
- Malaikozhundan, B., & Vinodhini, J. (2018). *Nanopesticidal effects of Pongamia pinnata leaf extract coated zinc oxide nanoparticle against the Pulse beetle , Callosobruchus maculatus*. 14(November 2017), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.015>
- Maryani, D., & Firdaus, M. L. (2017). *Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Buah Passiflora Flavicarva ( Markisa ) Untuk Mendeteksi Logam Berat Abstrak*. 1(1), 49–54.
- Masakke, Y., Sulfikar, & Rasyid, M. (2015). Biosintesis Partikel-nano Perak Menggunakan Ekstrak Metanol Daun Manggis ( *Garcinia mangostana* L . ) Biosynthesis of Silver Nanoparticles using Methanol Extract of Mangosteen Leaves ( *Garcinia mangostana* L . ). *Jurnal Sainsmat*, IV(1), 28–41.
- Masango, P. (2005). Cleaner production of essential oils by steam distillation. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 833–839. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.039>
- Medda, S., Hajra, A., Dey, U., Bose, P., & Mondal, N. K. (2015). Biosynthesis of silver nanoparticles from Aloe vera leaf extract and antifungal activity against *Rhizopus* sp. and *Aspergillus* sp. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 5(7), 875–880. <https://doi.org/10.1007/s13204-014-0387-1>
- Mehrotra, G. K., & Dutta, P. K. (2011). *Chitosan – silver oxide nanocomposite film : Preparation and antimicrobial activity Chitosan – silver oxide nanocomposite film : Preparation and antimicrobial activity*. February. <https://doi.org/10.1007/s12034-011-0032-5>

- Metcalf, G., Speetjens, M. F. M., & Lester, D. R. (2012). Beyond Passive : Chaotic Transport in Stirred Fluids. In *Advances in Applied Mechanics* (Vol. 45). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380876-9.00004-5>
- Mishra, D., Khare, P., Singh, D. K., Luqman, S., Kumar, P. V. A., Yadav, A., Das, T., & Saikia, B. K. (2018). Industrial Crops & Products Retention of antibacterial and antioxidant properties of lemongrass oil loaded on cellulose nano fibre-poly ethylene glycol composite. *Industrial Crops & Products*, 114(December 2017), 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.077>
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>
- Mohammed, A. E. (2015a). Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(5), 382–386. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(15\)30373-7](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30373-7)
- Mohammed, A. E. (2015b). Green synthesis, antimicrobial and cytotoxic effects of silver nanoparticles mediated by Eucalyptus camaldulensis leaf extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(5), 382–386. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(15\)30373-7](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30373-7)
- Mohanraj, V. J., & Chen, Y. (2006). *Nanoparticles – A Review*. 5(June), 561–573.
- Mousavi, S. M., Hashemi, S. A., Ramakrishna, S., Esmaeili, H., Bahrani, S., Koosha, M., & Babapoor, A. (2019). Green synthesis of supermagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>–MgO nanoparticles via Nutmeg essential oil toward superior anti-bacterial and anti-fungal performance. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 54(August), 101352. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101352>
- Mulyadi, M. (2018). Jenis Lichenes Di Kawasan Gugop Pulo Breuh Kecamatan Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Biotik: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan*, 5(2), 83. <https://doi.org/10.22373/biotik.v5i2.3014>
- Muniyappan, N., & Nagarajan, N. S. (2014). Green synthesis of gold nanoparticles using Curcuma pseudomontana essential oil, its biological activity and cytotoxicity against human ductal breast carcinoma cells



- T47D. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(4), 2037–2044. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.004>
- Murdock, R. C., Braydich-stolle, L., Schrand, A. M., Schlager, J. J., Hussain, S. M., & Al, M. E. T. (2008). *Characterization of Nanomaterial Dispersion in Solution Prior to In Vitro Exposure Using Dynamic Light Scattering Technique*. 101(2), 239–253. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfm240>
- Muyonga, J. H., Cole, C. G. B., & Duodu, K. G. (2004). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*). *Food Chemistry*, 86(3), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.038>
- Nandi, I., Bateson, M., Bari, M., & Joshi, H. N. (2003). Synergistic effect of PEG-400 and cyclodextrin to enhance solubility of progesterone. *AAPS PharmSciTech*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.1208/pt040101>
- Nazzaro, F. (2017). *Essential Oils and Antifungal Activity*. 1–20. <https://doi.org/10.3390/ph10040086>
- Nikmatin, S., Purwanto, S., Maddu, A., Mandang, T., Teknik, D., Kampus, J., Darmaga, I. P. B., & S, B. G. W. (2010). *Sebagai Filler Bionanokomposit Dengan Difraksi Sinar-X*. 97–102.
- Nikmatin, S., Syafiuddin, A., Hong, A., & Maddu, A. (2017). *Physical, thermal, and mechanical properties of polypropylene composites filled with rattan nanoparticles*. 15, 386–395.
- Nourafkan, E., & Alamdari, A. (2014). Journal of Industrial and Engineering Chemistry Study of effective parameters in silver nanoparticle synthesis through method of reverse microemulsion. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.12.059>
- Nuraeni, W., Daruwati, I., W, E. M., Sriyani, E., Distribusi, P., & Nanopartikel, U. (2013). *Verifikasi Kinerja Alat Particle Size Analyzer (Psa) Horiba Lb-550 Untuk Penentuan Distribusi Ukuran*. 266–271.
- Nurmansyah. (2010). *Efektivitas Minyak Seraiwangi Dan Fraksi Sitronellal Terhadap Pertumbuhan Jamur, Phytophthora palmivora*. 21(1), 43–52.

- Omar, J., González, W., Jesser, E. N., & Alan, C. (2017). *Polymer nanoparticles containing essential oils: new options for mosquito control*. July. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9327-4>
- Othman, M., Saada, H., & Matsuda, Y. (2020). Antifungal activity of some plant extracts and essential oils against fungi-infested organic archaeological artefacts. *Archaeometry*, 62(1), 187–199. <https://doi.org/10.1111/arcm.12500>
- Pal, M., Pal, U., Miguel, J., Jiménez, G. Y., & Pérez-rodríguez, F. (2012). *Effects of crystallization and dopant concentration on the emission behavior of TiO<sub>2</sub>:Eu nanophosphors*. 1–12.
- Parveen, S., Hamid, A., Ashraf, M., Sylvia, H., Yaqub, M., & Abdullah, J. (2018). Microbial Pathogenesis Preparation , characterization and antifungal activity of iron oxide nanoparticles. *Microbial Pthogenesis*, 115(January), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.12.068>
- Patil, B. N., & Taranath, T. C. (2016). Limonia acidissima L. leaf mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles: A potent tool against Mycobacterium tuberculosis. *International Journal of Mycobacteriology*, 5(2), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.ijmyco.2016.03.004>
- Piñar, G., Garcia-valles, M., Gimeno-torrente, D., Fernandez-turiel, J. L., Ettenauer, J., & Ster, K. (2013). *International Biodeterioration & Biodegradation Microscopic , chemical , and molecular-biological investigation of the decayed medieval stained window glasses of two Catalanian churches*. 84, 388–400. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.02.008>
- Prasad, R., Bhattacharyya, A., & Nguyen, Q. D. (2017). *Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments , Challenges , and Perspectives*. 8(June), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>
- Pratama, M. R. F., Suratno, S., & Mulyani, E. (2018). Profile of Thin-Layer Chromatography and UV-Vis Spectrophotometry of Akar Kuning Stem Extract (*Arcangelisia flava*). *Borneo Journal of Pharmacy*, 1(2), 72–76. <https://doi.org/10.33084/bjop.v1i2.367>
- Pratiwi. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Erlangga, Yogyakarta

- Premkumar, T., Kim, D., Lee, K., & Geckeler, K. E. (2007). Polysorbate 80 as a tool: Synthesis of gold nanoparticles. *Macromolecular Rapid Communications*, 28(7), 888–893. <https://doi.org/10.1002/marc.200600858>
- Purnomo, S. R., Nyoman, N., & Sumadiyasa, M. (n.d.). *Studi Sintesis Nanopartikel Perak Dengan Metode Biologi Menggunakan Tanaman Sambiloto ( Andrographis paniculata Ness )*.
- Purwaningsih, I., & Supriyanto. (2017). *Jurnal Laboratorium. Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, 1(1), 89–83.
- Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.002>
- Ramteke, C., Chakrabarti, T., Sarangi, B. K., & Pandey, R. (2013). *Synthesis of Silver Nanoparticles from the Aqueous Extract of Leaves of Ocimum sanctum for Enhanced Antibacterial Activity*. 2013.
- Ranitha, M., Nour, A. H., Sulaiman, Z. A., Nour, A. H., & S, T. R. (2014). A Comparative Study of Lemongrass ( *Cymbopogon Citratus* ) Essential Oil Extracted by Microwave-Assisted Hydrodistillation ( MAHD ) and Conventional Hydrodistillation ( HD ) Method. 5(2). <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2014.V5.360>
- Rasyidah. (2018). Kelimpahan Lumut Kerak ( Lichens ) Sebagai Bioindikator Kualitas Udara Di Kawasan Perkotaan Kota Medan. *Klorofil*, 1(2), 88–92.
- Rivas, F. J., Gimeno, O., Portela, J. R., de la Ossa, E. M., & Beltrán, F. J. (2001). Supercritical water oxidation of olive oil mill wastewater. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40(16), 3670–3674. <https://doi.org/10.1021/ie000995u>
- Riyanto, R., Untari, D. T., & Cahyandaru, N. (2016). Isolation and Application of the Lemongrass Essential Oil of *Cymbopogon Nardus* L.as a Growth Inhibitor of Lichens on Stone Cultural Heritage. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 09(09), 109–117. <https://doi.org/10.9790/5736-090902109117>
- Rodriguez-sanchez, A. M., & Schaufeli, W. B. (2008). *Communication Technology Users “.”* 29–39.

- Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Owen, S. C. (2006). *Handbook of Pharmaceutical Excipients*, Fifth Edition, American Pharmacists Association.
- Roziaty, E. (2016). Lichen : Karakteristik Anatomis Dan Reproduksi Vegetatifnya. *Jurnal Pena Sains*, 3(1), 44–53. <http://www.archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/micr>
- Sadjadi, M. A. S., Sadeghi, B., Meskinfam, M., Zare, K., & Azizian, J. (2008). *Synthesis and characterization of Ag / PVA nanorods by chemical reduction method*. 40, 3183–3186. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2008.05.010>
- Sahayaraj, K., Madasamy, M., & Radhika, S. A. (2016). *Pericallia ricini*. 9(1), 63–72.
- Salam, H. A., Rajiv, P., Kamaraj, M., Jagadeeswaran, P., Gunalan, S., & Sivaraj, R. (2012). *Plants : Green Route for Nanoparticle Synthesis*. 1(5), 85–90.
- Sana, S. S., Li, H., Zhang, Z., Sharma, M., Usmani, Z., Hou, T., Netala, V. R., Wang, X., & Gupta, V. K. (2021). Recent advances in essential oils-based metal nanoparticles: A review on recent developments and biopharmaceutical applications. *Journal of Molecular Liquids*, 333, 115951. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115951>
- Sankari, G., Krishnamoorthy, E., Jayakumaran, S., Gunasekaran, S., & Priya, V. V. (2010). *Analysis of serum immunoglobulins using Fourier transform infr. December 2016*.
- Santos, V. R. (2019). *We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists*. May. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80076>
- Saratale, R. G., Shin, H. S., Kumar, G., Benelli, G., Kim, D. S., & Saratale, G. D. (2018). Exploiting antidiabetic activity of silver nanoparticles synthesized using punica granatum leaves and anticancer potential against human liver cancer cells (HepG2). *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 46(1), 211–222. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1337031>
- Sastrohamidjojo, H., & Fariyatun, E. (2016). *Synthesis of Methyl Eugenol from Crude Cloves Leaf Oil Using Acid and Based Chemicals Reactions*. 9(10), 105–112. <https://doi.org/10.9790/5736-091002105112>

- Señoráns, F. J., Ibañez, E., Cavero, S., Tabera, J., & Reglero, G. (2000). Liquid chromatographic-mass spectrometric analysis of supercritical-fluid extracts of rosemary plants. *Journal of Chromatography A*, *870*(1–2), 491–499. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(99\)00941-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(99)00941-3)
- Sharma, A., Kumar, N., Srivastava, A., Kataria, A., Dubey, S., Sharma, S., & Kundu, B. (2018). Industrial Crops & Products Clove and lemongrass oil based non-ionic nanoemulsion for suppressing the growth of plant pathogenic *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Industrial Crops & Products*, *123*(February), 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.077>
- Shenava, A. (2013). Synthesis of Silver Nanoparticles By Chemical Reduction Method and Their Antifungal Activity. *International Research Journal of Pharmacy*, *4*(10), 111–113. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.041024>
- Sheny, D. S., Mathew, J., & Philip, D. (2012a). Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy Synthesis characterization and catalytic action of hexagonal gold nanoparticles using essential oils extracted from *Anacardium occidentale*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *97*, 306–310. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.06.009>
- Sheny, D. S., Mathew, J., & Philip, D. (2012b). Synthesis characterization and catalytic action of hexagonal gold nanoparticles using essential oils extracted from *Anacardium occidentale*. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *97*, 306–310. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.06.009>
- Šileikaitė, A., Prosyčėvas, I., Puišo, J., Juraitis, A., & Guobienė, A. (2006). Analysis of Silver Nanoparticles Produced by Chemical Reduction of Silver Salt Solution. *Materials Science (Medžiagotyra)*, *12*(4), 1392–1320.
- Silva, C. F., Moura, F. C., Mendes, M. F., & Pessoa, F. L. P. (2011). Extraction of citronella (*Cymbopogon nardus*) essential oil using supercritical CO<sub>2</sub>: Experimental data and mathematical modeling. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *28*(2), 343–350. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000200019>
- Smolinske, S. C. (2018). CRC Handbook of Food, Drug, and Cosmetic Excipients. In *CRC Handbook of Food, Drug, and Cosmetic Excipients*. <https://doi.org/10.1201/9781315140513>

- Sondi, I., & Salopek-Sondi, B. (2004). Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.012>
- Sterflinger, K., & Prillinger, H. (2001). *Molecular taxonomy and biodiversity of rock fungal communities in an urban environment ( Vienna , Austria )*. 1998, 275–286.
- Strambeanu, N., Demetrovici, L., & Dragos, D. (2015). *Natural Sources of Nanoparticles*. 9–19. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11728-7>
- Sudradjat, A., Bayuseno, A. P., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2014). *Analisis Korosi Dan Kerak Pipa Nickel Alloy N06025*. 2(1), 40–45.
- Suihko, M., Alakomi, H., Gorbushina, A., & Fortune, I. (2020). *Characterization of aerobic bacterial and fungal microbiota on surfaces of historic Scottish monuments* \$. 30(2007), 494–508. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2007.05.001>
- Sujatno, A., Salam, R., Dimiyati, A., Sains, P., & Maju, B. (2015). *Studi Scanning Electron Microscopy ( Sem ) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium*. 9(November), 44–50.
- Sulistiyani, M., & Huda, N. (2018). *Indonesian Journal of Chemical Science Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared*. 7(2).
- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules*, 14(6), 2167–2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>
- Suresh, U., Murugan, K., Benelli, G., Nicoletti, M., Barnard, D. R., Panneerselvam, C., Kumar, P. M., Subramaniam, J., Dinesh, D., & Chandramohan, B. (2015). Tackling the growing threat of dengue: *Phyllanthus niruri*-mediated synthesis of silver nanoparticles and their mosquitocidal properties against the dengue vector *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 114(4), 1551–1562. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4339-9>

- Szweda, P., Gucwa, K., Kurzyk, E., & Romanowska, E. (2014). *Essential Oils , Silver Nanoparticles and Propolis as Alternative Agents Against Fluconazole Resistant Candida albicans , Candida glabrata and Candida krusei Clinical Isolates*. <https://doi.org/10.1007/s12088-014-0508-2>
- Taba, P., Parmitha, N. Y., & Kasim, S. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Sebagai Bioreduktor Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antioksidan. *Indo. J. Chem. Res.*, 7(1), 51–60. <https://doi.org/10.30598//ijcr.2019.7-ptb>
- Taylor, P. (1980). *Molecular Physics: An International Journal at the Interface Between Chemistry and Physics*. January 2014, 37–41.
- Thanighaiarassu, R. R., Nambikkairaj, B., & Ramya, D. R. (2018). *Green synthesis of silver nanoparticles and characterization using plant leaf essential oil compound citral and their antifungal activity against human pathogenic fungi*. 7(6), 902–907.
- Theerthavathy, B. S., Arakhanum, S., Ravi Kumar, B. S., & Ravi Kiran, S. (2019). Anti-oxidant and Anti-microbial Activities of Silver Nanoparticles of Essential Oil Extracts from Leaves of *Zanthoxylum ovalifolium*. *European Journal of Medicinal Plants*, 29(July 2017), 1–11. <https://doi.org/10.9734/ejmp/2019/v29i330157>
- Thompson, T. J. U., Gauthier, M., & Islam, M. (2009). The application of a new method of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to the analysis of burned bone. *Journal of Archaeological Science*, 36(3), 910–914. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.11.013>
- Tine, M. R. (2017). *Fast and Eco – friendly Microwave-Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles using Rosemary Essential Oil as Renewable Reducing Agent* . 2131–2138. <https://doi.org/10.1002/slct.201700244>
- Vankar, P. S., & Shukla, D. (2012). Biosynthesis of silver nanoparticles using lemon leaves extract and its application for antimicrobial finish on fabric. *Applied Nanoscience (Switzerland)*. <https://doi.org/10.1007/s13204-011-0051-y>
- Veneranda, M., Blanco-zubiaguirre, L., Roselli, G., Di, G., Castro, K., & Manuel, J. (2018). Evaluating the exploitability of several essential oils constituents as a novel biological treatment against cultural heritage biocolonization. *Microchemical Journal*, 138, 1–6.

<https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.12.019>

- Vinicius, M., Brisola, D. O., Almeida, R., Machado, M. H., Paula, A., Melo, Z. De, Gonçalves, C., Freitas, D. Z. De, Noronha, C. M., Teixeira, G. L., Armas, R. D. De, Luiz, P., & Barreto, M. (2019). *Syzygium aromaticum L . ( Clove ) Essential Oil as a Reducing Agent for the Green Synthesis of Silver Nanoparticles*. 45–54. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2019.92005>
- Wahyudi, T., Sugiyana, D., & Helmy, Q. (2011). Sintesis Nanopartikel Perak Dan Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri E. Coli Dan S. Aureus. *Arena Tekstil*, 26(1). <https://doi.org/10.31266/at.v26i1.1442>
- Wang, Lijuan, Dong, J., Chen, J., Eastoe, J., & Li, X. (2009). Journal of Colloid and Interface Science Design and optimization of a new self-nanoemulsifying drug delivery system. *Journal of Colloid and Interface Science*, 330(2), 443–448. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.10.077>
- Wang, Linlin, Hu, C., & Shao, L. (2017). The antimicrobial activity of nanoparticles: Present situation and prospects for the future. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 1227–1249. <https://doi.org/10.2147/IJN.S121956>
- Werdin González, J. O., Jesser, E. N., Yeguerman, C. A., Ferrero, A. A., & Fernández Band, B. (2017). Polymer nanoparticles containing essential oils: new options for mosquito control. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(20), 17006–17015. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9327-4>
- Willems. (2005). Roadmap Report on Nanoparticles. *Methodology*, November, 1–57.
- Xu, H., & Zeng, H. C. (2004). Self-generation of tiered surfactant superstructures for one-pot synthesis of Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocubes and their close-and non-close-packed organizations. *Langmuir*, 20(22), 9780–9790. <https://doi.org/10.1021/la049164>
- Xv, J. B., & Lichen, I. (2002). *Potensi Lichen Sebagai Sumber Bahan Obat : Suatu Kajian Pustaka Prospect of Lichen As a Medicinal Resource : a Literature Review. 1*, 1–5.
- Yeguerman, C., Jesser, E., Massiris, M., Delrieux, C., Murray, A. P., & González, J. O. W. (2020). Ecotoxicology and Environmental Safety Insecticidal



application of essential oils loaded polymeric nanoparticles to control German cockroach : Design , characterization and lethal / sublethal effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189(December 2019), 110047. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110047>

Yulvianti, M., Sari, R. M., & Amaliah, E. R. (2014). Pengaruh Perbandingan Campuran Pelarut N-Heksana- Etanol, T. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(1), 8–14.

Yurnaliza. (2002). Lichenes (Karakteristik, Klasifikasi Dan Kegunaan) Biologi FMIPA Universitas Sumatera Utara, Medan 1–12.

Zakharova, O. V., Godymchuk, A. Y., Gusev, A. A., Gulchenko, S. I., Vasyukova, I. A., & Kuznetsov, D. V. (2015). Considerable Variation of Antibacterial Activity of Cu Nanoparticles Suspensions Depending on the Storage Time, Dispersive Medium, and Particle Sizes. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/412530>

Zeković, Z., Bera, O., Đurović, S., & Pavlić, B. (2017). Supercritical fluid extraction of coriander seeds: Kinetics modelling and ANN optimization. *Journal of Supercritical Fluids*, 125, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.02.006>

Zhang, H. L. A., & Sui, L. (2015). *Hyaluronan / Tween 80-assisted synthesis of silver nanoparticles for biological application*. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-2905-9>

Zhang, Z., & Li, J. (2012). Synthesis and characterization of silver nanoparticles by a sonochemical method. *Xiyou Jinshu Cailiao Yu Gongcheng/Rare Metal Materials and Engineering*, 41(10), 1700–1705. [https://doi.org/10.1016/s1875-5372\(13\)60008-9](https://doi.org/10.1016/s1875-5372(13)60008-9)

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Perhitungan massa jenis minyak atsiri serai wangi

Percobaan	I Bermasalah	II Normal	III Normal	IV Normal	V Bermasalah	VI Normal
Berat bahan	2 kg	2 kg	2 kg	3 kg	2,5 kg	3 kg
Api nyala	10:46	14:20	18:00	21:10	09:00	20:42
Mulai netes	11:12	14:35	18:10	21:20	09:25	21:10
Durasi	3 jam	3 jam	3 jam	3 jam	3 jam	3 jam
Hasil minyak	7,2 mL	16,8 mL	18 mL	28 mL	8 mL	31 mL
Total minyak						109 mL

Pikno kosong I : 6,768 gram

Pikno + akuades : 8,319 gram

Pikno kosong II : 6,777 gram

Pikno + minyak : 8,115 gram

#### Massa jenis minyak

$$\begin{aligned} \rho_{\text{minyak}} &= \frac{(\text{pikno} + \text{minyak}) - (\text{pikno kosong I})}{(\text{pikno} + \text{akuades}) - (\text{pikno kosong II})} \times \rho_{\text{air}} \\ &= \frac{8,115 \text{ gram} - 6,768 \text{ gram}}{8,319 \text{ gram} - 6,777 \text{ gram}} \times 1 \text{ g/cm}^3 \\ &= \frac{1,347 \text{ gram}}{1,542 \text{ gram}} \times 1 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 0,875 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

#### Massa minyak

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \rho_{\text{minyak}} \times \text{volume minyak} \\ &= 0,875 \text{ g/cm}^3 \times 109 \text{ mL} \\ &= 95,375 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### % rendemen

$$\begin{aligned} \% \text{ rendemen} &= \frac{\text{massa minyak serai}}{\text{massa daun serai}} \times 100\% \\ &= \frac{95,375 \text{ gram}}{14.500 \text{ gram}} \times 100\% \\ &= 0,6577\% \end{aligned}$$

### Analisis indeks bias (Refraktometer)

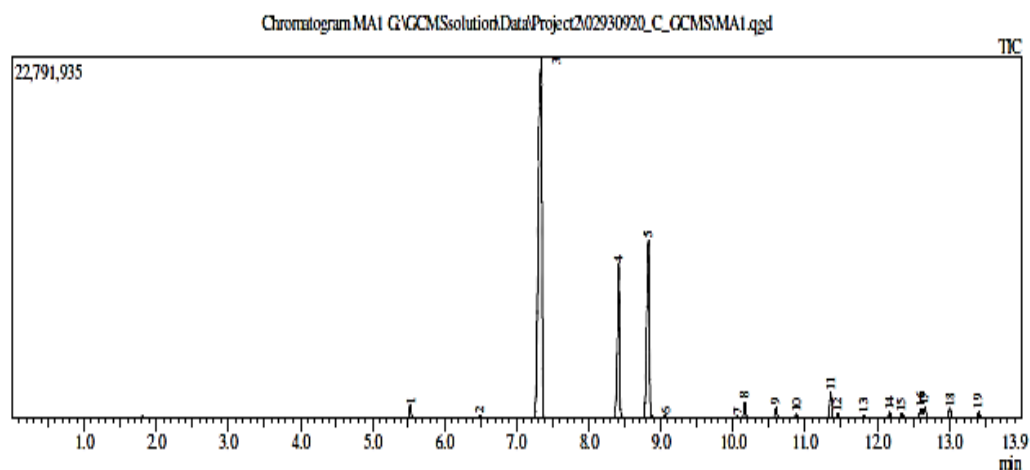
Temperature : 29,5

Indeks bias : 1,6685

### Lampiran 2. Kromatogram GC minyak atsiri serai wangi

#### Sample Information

Analyzed by : Admin  
 Analyzed : 9/18/2020 2:55:07 PM  
 Sample Name : MA1  
 Sample ID : 1  
 Injection Volume : 0.10  
 Data File : C:\GCMSsolution\Data\Project202930920\_C\_GCMSMA1.qgd  
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune\1 Agus 2019.qgt



Peak#	R.Time	L.Time	F.Time	Area	Area%	Height
1	5.523	5.480	5.585	1413676	0.97	834858
2	6.492	6.450	6.540	411272	0.28	224335
3	7.343	7.230	7.430	83427992	56.96	22772085
4	8.417	8.340	8.515	20096408	13.72	9760015
5	8.828	8.740	8.950	26080177	17.81	11213768
6	9.059	9.020	9.120	235028	0.16	103799
7	10.062	10.020	10.120	398844	0.27	163548
8	10.163	10.120	10.230	1937621	1.32	1042453
9	10.594	10.550	10.665	1358031	0.93	643189
10	10.881	10.825	10.930	518327	0.35	231736
11	11.356	11.290	11.405	3292416	2.25	1623463
12	11.452	11.405	11.500	520739	0.36	253620
13	11.818	11.775	11.870	396436	0.27	185798
14	12.173	12.125	12.225	746964	0.51	367243
15	12.339	12.290	12.415	720565	0.49	233521
16	12.611	12.545	12.635	1411517	0.96	605712
17	12.662	12.635	12.715	1308627	0.89	638315
18	13.008	12.960	13.070	1340375	0.92	631751
19	13.409	13.360	13.460	845642	0.58	387696
				14646057	100.00	51916905

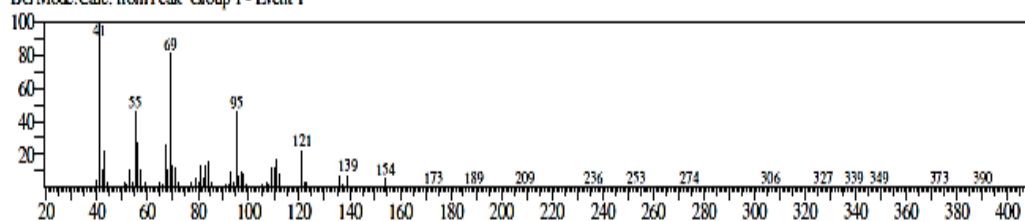
### Lampiran 3. Kromatogram MS minyak atsiri serai wangi

Beberapa komponen utama minyak atsiri serai wangi:

#### 1. Sitronelal

<< Target >>

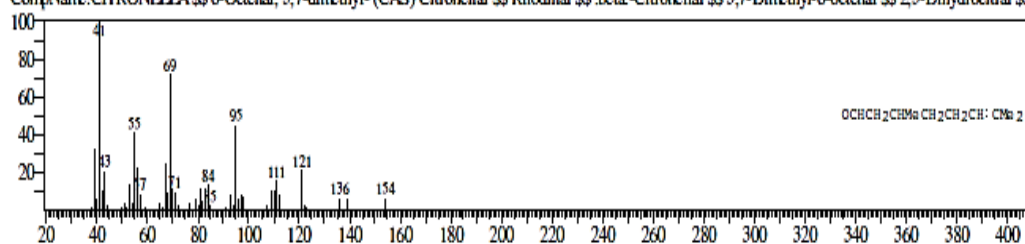
Line#:3 R.Time:7.345(Scan#:1470) MassPeaks:263  
RawMode:Averaged 7.340-7.350(1469-1471) BasePeak:41.05(3440031)  
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#:1 Entry:43606 Library:WILEY7.LIB

SE:97 Formula:C10 H18 O CAS:106-23-0 MolWeight:154 RetIndex:0

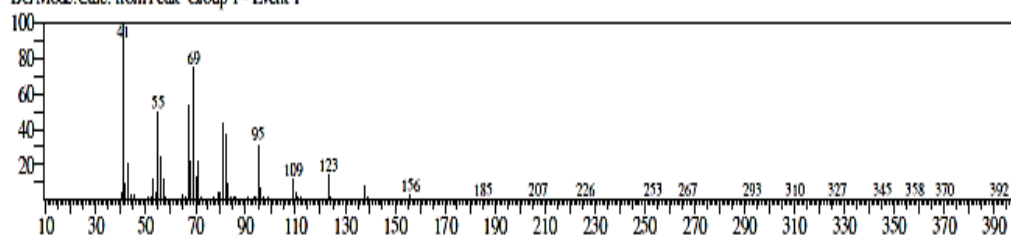
CompName:CITRONELLA \$\$ 6-Octenal, 3,7-dimethyl- (CAS) Citronellal \$\$ Rhodinal \$\$ beta-Citronellal \$\$ 3,7-Dimethyl-6-octenal \$\$ 2,3-Dihydrocitra



#### 2. Beta-sitronellol

<< Target >>

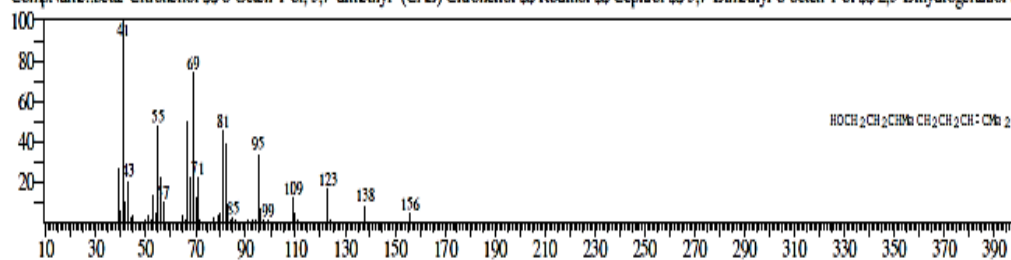
Line#:4 R.Time:8.415(Scan#:1684) MassPeaks:249  
RawMode:Averaged 8.410-8.420(1683-1685) BasePeak:41.05(1466758)  
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#:1 Entry:46136 Library:WILEY7.LIB

SE:99 Formula:C10 H20 O CAS:106-22-9 MolWeight:156 RetIndex:0

CompName:beta-Citronellol \$\$ 6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl- (CAS) Citronellol \$\$ Rodinol \$\$ Cephrol \$\$ 3,7-Dimethyl-6-octen-1-ol \$\$ 2,3-Dihydrogeraniol \$



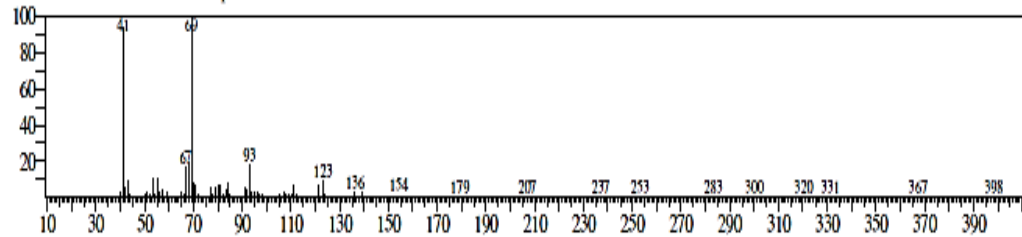
### 3. Geraniol

<< Target >>

Line#: 5 R.Time: 8.830(Scan#: 1767) MassPeaks: 256

RawMode: Averaged 8.825-8.835(1766-1768) BasePeak: 69.10(2511899)

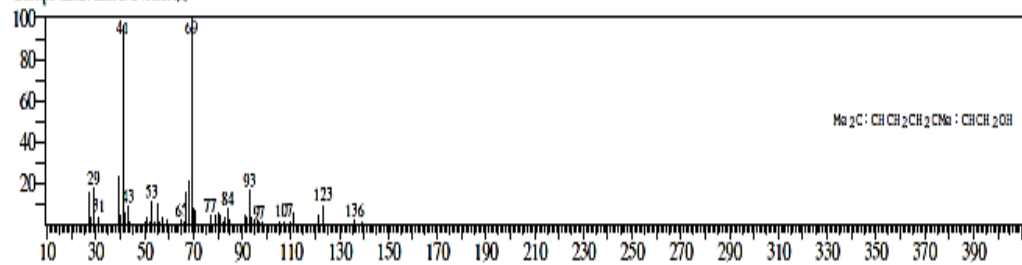
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#: 1 Entry: 42946 Library: WILEY7.LIB

SI: 98 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O CAS: 106-24-1 MolWeight: 154 RetIndex: 0

CompName: GERANIOL.\$S



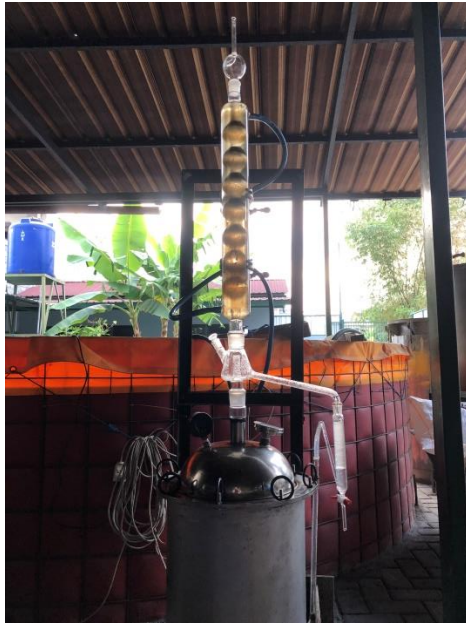
#### Lampiran 4. Dokumentasi proses destilasi minyak atsiri serai wangi



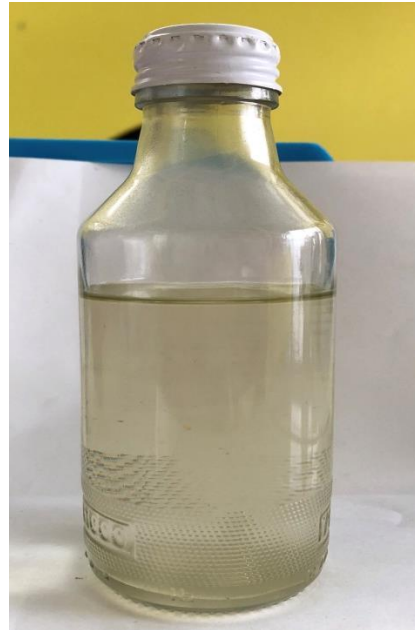
Daun serai wangi



Rajang daun serai wangi

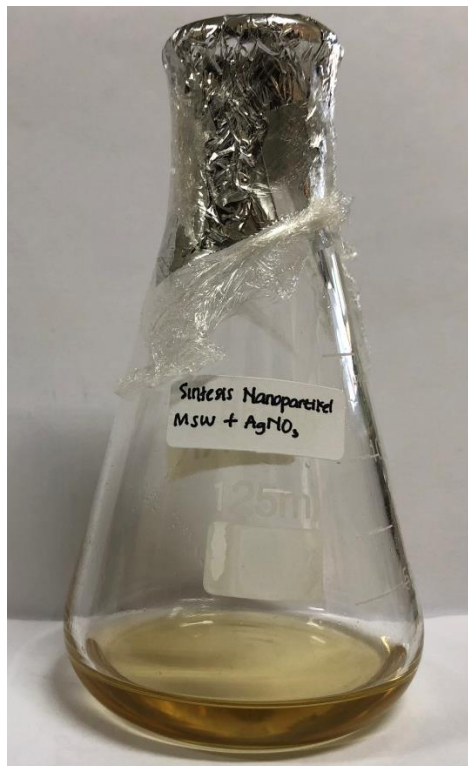


Proses destilasi uap

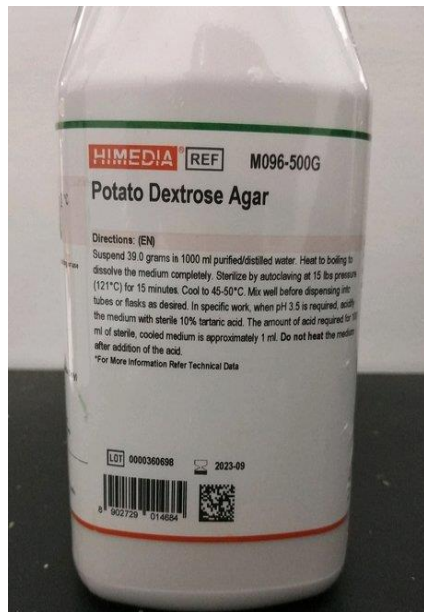


Minyak serai wangi

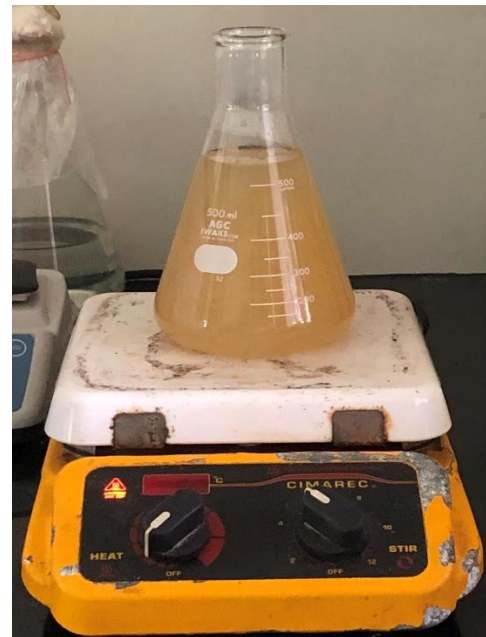
#### Lampiran 5. Dokumentasi proses pembuatan nanopartikel perak



EO-AgNPs



Media PDA



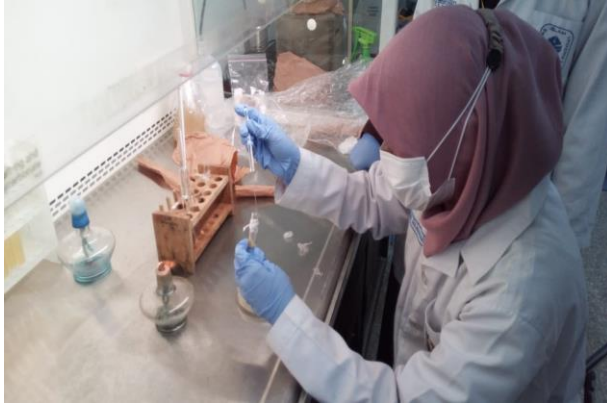
Pembuatan medium



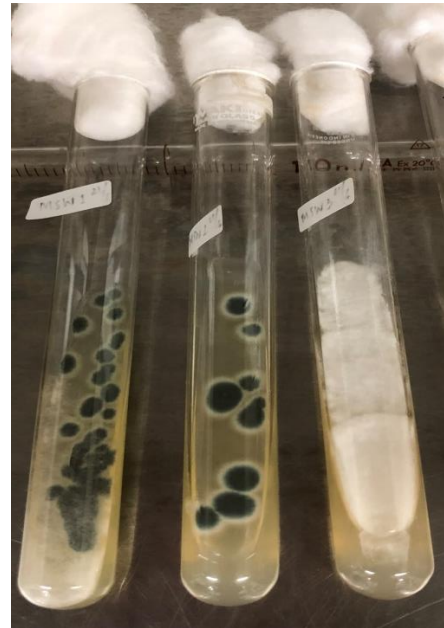
Autoklaf (sterilisasi media agar)



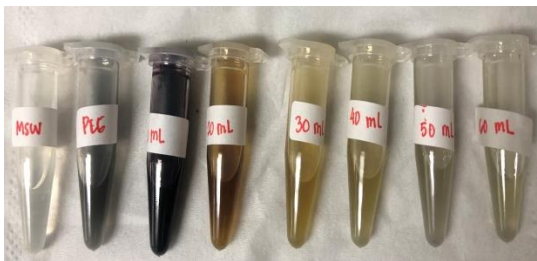
Sentrifugasi



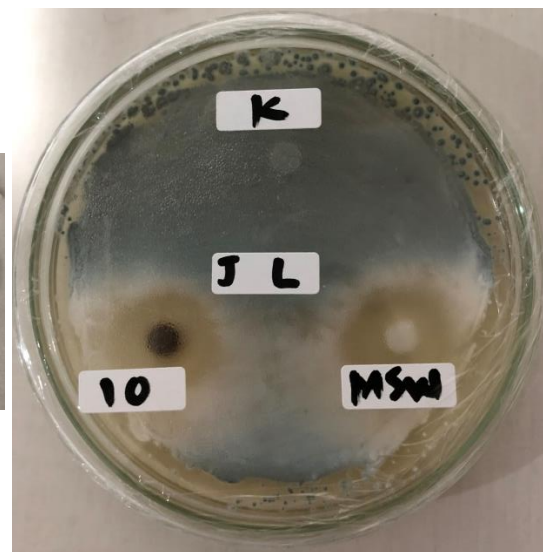
Penanaman lichen



Stok lichen

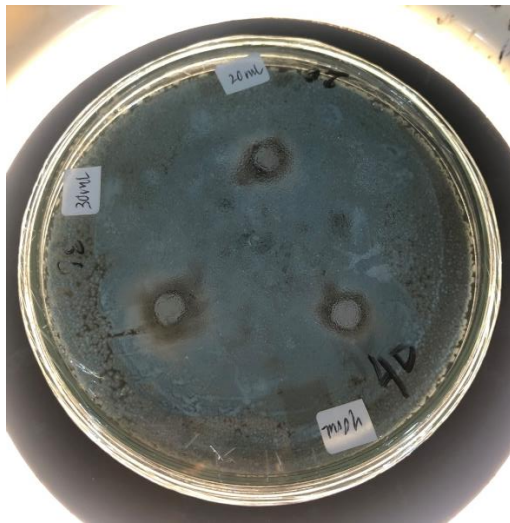


Variasi larutan EO-AgNPs

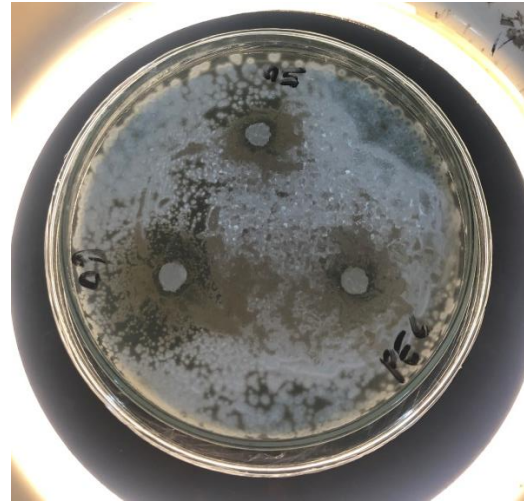


Daya hambat EO-AgNPs





Daya hambat EO-AgNPs



Daya hambat EO-AgNPs