

**SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI
NANOPARTIKEL PERAK DENGAN MINYAK ATSIRI DAUN
CENGKEH (*Syzygium aromaticum*) SEBAGAI MATERIAL ANTI
LICHEN PADA BATUAN**

***SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND APLICATION OF
SILVER NANOPARTICLES WITH CLOVE LEAF ESSENTIAL OIL
(*Syzygium aromaticum L.*) AS AN ANTI-LICHEN MATERIAL IN
STONES***



TESIS

**LUTHFIAH ASYSYAFIYAH
(19923005)**

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

**SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI NANOPARTIKEL PERAK
DENGAN MINYAK ATSIRI DAUN CENGKEH (*Syzygium aromaticum L.*)
SEBAGAI MATERIAL ANTI LICHEN PADA BATUAN**

***SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND APLICATION OF SILVER
NANOPARTICLES WITH CLOVE LEAF ESSENTIAL OIL (*Syzygium
aromaticum L.*) AS AN ANTI-LICHEN MATERIAL IN STONES***

TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Magister Sains (M.Si)



**LUTHFIAH ASYSYAFIYAH
(19923005)**

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

SURAT PERNYATAAN

Nama : Luthfiah Asyasyafiyah
Tempat dan Tanggal Lahir : Tarakan, 14 Juni 1997
NIM : 19923005
Konsentrasi : Material Untuk Energi dan Lingkungan
Judul Tesis : SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI NANOPARTIKEL PERAK DENGAN MENYAK DAUN CENGKEH (*SYZIGIUM AROMATICUM L.*) SEBAGAI MATERIAL ANTI LICHEN PADA BATUAN

Menyatakan bahwa secara keseluruhan tesis ini benar merupakan hasil penelitian yang telah saya lakukan, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk berdasarkan sumbernya. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka saya siap gelar magister yang diberikan kepada saya dicabut dan mendapat sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, April 2022



METER
TAMPEK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
Luthfiah Asyasyafiyah

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasi Nanopartikel Perak dengan Minyak Atsiri Daun Cengkeh (*Syzygium Aromaticum L.*) Sebagai Material Anti Lichen Pada Batuan

TESIS

Diajukan oleh:
LUTHFIAH ASYSYAFIYAH
NIM: 19923005

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Tesis
Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 22 Februari 2022

Dewan Penguji

1. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D
2. Nahar Cahyandaru, S.Si., MA
3. Prof. Dr. Is Fatimah, S.Si., M.Si
4. Dr. Noor Fitri, S.Si., M.Si

Tanda Tangan



Mengetahui

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



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

INTISARI

SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI NANOPARTIKEL PERAK DENGAN MINYAK ATSIRI DAUN CENGKEH (*Syzigium Aromaticum L.*) SEBAGAI MATERIAL ANTI LICHEN PADA BATUAN

Luthfiah Asyafiyah

No. Mhs : 19923005

Tujuan dari penelitian ini adalah sintesis, karakterisasi nanopartikel perak dengan minyak atsiri daun cengkeh melalui metode reduksi kimia serta aplikasinya untuk menghambat pertumbuhan *lichen* pada batuan Candi Borobudur. Senyawa eugenol yang terkandung dalam minyak atsiri daun cengkeh memiliki aktivitas biologi yang baik dalam menghambat pertumbuhan *lichen*. Namun, penggunaan minyak atsiri daun cengkeh secara langsung memiliki beberapa kekurangan diantaranya yaitu tidak ekonomis, efektivitas kurang maksimal, serta memiliki volatilitas yang tinggi. Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan menambahkan serbuk AgNO_3 ke dalam minyak atsiri daun cengkeh. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa variasi diantaranya yaitu, variasi waktu penyimpanan, konsentrasi AgNO_3 , variasi terhadap konsentrasi AgNO_3 dengan adanya penambahan Tween 80 dan PEG 400. Dari hasil sintesis kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan beberapa instrumen seperti Spektrofotometer UV-Vis, FTIR, PSA, dan SEM EDX. Setelah melalui beberapa tahap karakterisasi, dilakukan uji efektivitas nanopartikel untuk menghambat pertumbuhan *lichen* secara langsung (skala lapangan) dan uji daya hambat pertumbuhan *lichen* (skala lab). Dari hasil penelitian terhadap sintesis nanopartikel perak menunjukkan bahwa rentang panjang gelombang yang dihasilkan dari penelitian ini adalah 429-475 nm untuk semua variasi. Ukuran partikel yang dihasilkan dari hasil sintesis AgNPs sebesar 217 nm dengan nilai PI berada di bawah 0,5. Penambahan tween 80 dan PEG 400 dalam proses sintesis, menunjukkan bahwa ukuran partikel yang dimiliki dari AgNPs dengan penambahan tween 80 berada pada rentang 111,8-172,2 nm dengan bentuk morfologi permukaan partikel bulat dan tidak beraturan. Berdasarkan dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa AgNPs-minyak atsiri daun cengkeh memiliki efektivitas yang baik dalam aplikasinya secara langsung dan mampu menghambat pertumbuhan *lichen* dengan kemampuan daya hambat yang sangat kuat pada rentang 33-37 nm.

Kata Kunci: *sintesis, nanopartikel perak, minyak atsiri daun cengkeh, lichen*

ABSTRACT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND APPLICATION OF SILVER NANOPARTICLES WITH CLOVE LEAF ESSENTIAL OIL (*Syzygium aromaticum* L.) AS AN ANTI-LICHEN MATERIAL IN STONES

Luthfiah Asyafiyah

No. Mhs: 19923005

The purpose of this study was to synthesize and characterize of silver nanoparticle using clove leaf essential oil (*Syzygium aromaticum*. L) through reduction methods and application to inhibit the growth of lichens on Borobudur temple stones. Eugenol compounds in clove leaf essential oil have a good biological activity to inhibit the growth of lichen. Silver nanoparticles were synthesized by adding AgNO₃ powder directly to clove leaf essential oil. In this research was carried out with several variation, namely the effect of storage time on the stability of the material, the concentration of AgNO₃, the effect of concentration AgNO₃ with adding surfactants and polymers. The synthesized material silver nanoparticles were characterized by UV-Vis Spectrophotometer, FTIR, PSA, and SEM-EDX. The synthesized silver nanoparticles were tested for their effectiveness directly on the surface of stones and resistance test in growth of lichen. The result showed that the wavelength range of 429-475 nm for the all variations. The results of the analysis AgNPs using PSA showed that had a particle size of 217 nm with a PI value is below 0,5. The addition of surfactants tween 80 in the AgNPs showed that the had particle sizes in the range 111,8-172,2 nm with spherical and irregular particle surface morfology. Based on the results of this study, it was showed that manufacture AgNPs with a clove leaf essential oil had a good effectiveness in direct application and ability on inhibiting growth of lichen very strong in the range 33-37 nm.

Keywords: synthesis, silver nanoparticles, clove leaf essential oil, lichen

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Shsalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi kita Muhammad SAW semoga kita termasuk golongan umatnya yang diberi syafa'at serta selalu dalam barisan orang-orang shalih-shalihah. Aamiin.

Berkat rahmat dan atas izin Allah SWT., Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan thesis yang berjudul Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasi Nanopartikel Perak dengan Minyak Atsiri Daun Cengkeh (*Syzigium aromaticum*) Sebagai Material Anti Lichen Pada Batuan dengan lancer. Namun, penulis pun menyadari bahwa penyusunan thesis ini tidak lepas dari bantuan, dorongan serta motivasi dari berbagai pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu. Oleh karena itu, penulis secara khusus ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Fathul Wahid, ST., M.Sc., Ph.D, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D, selaku Ketua Prodi Magister Kimia, Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa membimbing dengan tulus, memberikan motivasi, ilmu serta do'anya, sehingga penulis dapat menyelesaikan thesis ini.
4. Bapak Nahar Cahyandaru, S.Si., MA, Selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan motivasi, ilmu serta do'anya sehingga penulis dapat menyelesaikan thesis ini dengan baik.
5. Kepada pahlawan-pahlawan kami, selaku dosen program studi Magister Kimia. Semoga Allah selalu memberikan kebarokahan umur kepada beliau-beliau dan terimakasih atas ilmu yang telah diberikan kepada kami.

6. Kepada kedua orang tua penulis, khususnya Alm. Bapak Drs. H. Syafiuddin Arif dan Ibu Hj. Hasniah, yang selalu memberikan dukungan moril, materil, dan spiritual serta selalu memberikan do'a yang tulus dan terbaik untuk kesuksesan anak-anaknya.
7. Kepada saudara-saudara penulis, Abdul Jabbar Asyasyafiiyah, S.HI, Miftahul Jannah, S.PdI, Asyrofiyah, dan Mohamad Rijal Sanusi, S.PdI, yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.
8. Dan seluruh teman-teman yang terlibat dalam penulisan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Jazakumullah khairan, semoga Allah SWT, senantiasa memberikan keridhoan, kasih sayang serta petunjuk-Nya kepada kita semua. Penulis menyadari bahwa sepenuhnya dalam penyusunan tesis ini masih banyak sekali ditemukan kekurangan. Terlepas dari itu semua, besar harapan penulis agar tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, khususnya bagi diri penulis.

Aamiin Allahumma Aamiin

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN	
SURAT PERNYATAAN	i
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	ii
INTISARI	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang Masalah.....	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I. 3 Tujuan Penelitian	5
I. 4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA TEORI.....	7
II. 1 Tinjauan Pustaka.....	7
II. 2 Kerangka Teori	11
II. 2.1 Minyak Atsiri Daun Cengkeh (MADC).....	11
II.2.2 Perak Nitrat (AgNO ₃).....	13
II.2.3 Nanopartikel Perak (AgNPs)	14
II.2.3 Tween 80 / Polysorbate 80	15
II.2.5 Kerusakan dan Pelapukan Benda Cagar Budaya	17
II.2.6 <i>Lichens</i> (Lumut Kerak)	18
II.2.7 <i>Gass Cromatography – Mass Spectroscopy</i> (GC- MS).....	21

II.2.8 Spektrofotometri UV-VIS.....	22
II.2.9 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	23
II.2. 10 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	24
II.2.11 <i>Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X RAY</i> (EDX).....	25
II.3 Hipotesis	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
III. 1 Alat dan Bahan	29
III.1.1 Alat	29
III.1.2 Bahan	29
III. 2 Bagan Alir Penelitian	30
III.3 Sintesis AgNPs dengan Minyak Atsiri Daun Cengkeh (MADC).....	31
III.3.1 Pengaruh Variasi Waktu Penyimpanan terhadap Sintesis AgNPs-MADC	31
III.3.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Berat AgNO ₃ terhadap Sintesis AgNPs-MADC	31
III.3.3 Pengaruh Konsentasi Berat AgNO ₃ dengan Penambahan Surfaktan Tween 80 / <i>Polysorbate</i> 80 (C ₆₄ H ₁₂₄ O ₂₆) terhadap Pembentukan AgNPs-MADC.....	32
III.4 Karakterisasi AgNPs-MADC	32
III.5 Uji Aktivitas dan Efektivitas AgNPs-MADC.....	33
III.5.1 Uji Skala Lapangan.....	33
III.5.2 Uji Skala Lab	33
III.5.2.1 Sterilisasi Peralatan.....	33
III.5.2.2 Pembuatan Medium Spesifik untuk Jamur	33
III.5.2.3 Sampling <i>Lichen</i>	34
III.5.2.4 Isolasi <i>Lichen</i>	34
III.5.2.5 Uji Efektivitas AgNPs terhadap Daya Hambat Pertumbuhan <i>Lichen</i> ...	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
IV. 1 Karakteristik Minyak Atsiri Daun Cengkeh (MADC).....	35

IV. 2 Sintesis AgNPs Minyak Atsiri Daun Cengkeh (AgNPs-MADC).....	39
IV.2.1 Pengaruh Variasi Waktu Penyimpanan	41
IV. 3 Variasi Konsentrasi AgNO ₃ dengan Penambahan Surfaktan Tween 80 dan Polimer PEG 400.....	52
IV.3.1 Variasi Konsentrasi AgNO ₃ dengan Penambahan Surfaktan Tween 80.	53
4.3.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi AgNO ₃ Terhadap Penambahan PEG 400 .	60
IV. 4 Uji Aktivitas dan Efektivitas AgNPs dengan Minyak Atsiri Daun Cengkeh	65
IV.4.1 Uji aktivitas untuk menghambat pertumbuhan <i>Lichen</i> (Skala Lab).....	65
V.4.2 Uji aktivitas AgNPs terhadap <i>lichen</i> pada permukaan batu	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
V. 1 Kesimpulan.....	78
V.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Standar Mutu Minyak Cengkeh SNI 06-2387-2006.....	12
Tabel 2. Karakteristik Minyak Atsiri Daun Cengkeh	35
Tabel 3. Senyawa Hasil Identifikasi GC MS dari Minyak Atsiri Daun Cengkeh	36
Tabel 4. Puncak serapan pembentukan AgNPs berdasarkan waktu penyimpanan.....	43
Tabel 5. Puncak serapan maksimum pembentukan AgNPs-MADC	46
Tabel 6. Bilangan gelombang AgNPs-MAD variasi konsentrasi AgNO ₃	49
Tabel 7. Puncak serapan maksimum pembentukan AgNPs-MADC dengan Tween 80	55
Tabel 8. Bilangan gelombang AgNPs-MADC dengan penambahan tween 80	55
Tabel 9. Distribusi ukuran partikel AgNPs menggunakan tween 80.....	57
Tabel 10. Puncak serapan maksimum pembentukan AgNPs dengan penambahan PEG 400.....	62
Tabel 11. Bilangan gelombang AgNPs dengan penambahan PEG 400	63
Tabel 12. Distribusi ukuran partikel AgNPs dengan penambahan PEG 400.....	63
Tabel 13. Diameter Zona Hambat <i>Lichen</i>	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur Molekul Eugenol.....	12
Gambar 2. Struktur tween 80 / Polysorbate 80.....	16
Gambar 3. Struktur PEG 400.....	17
Gambar 4. Bentuk Morfologi <i>Lichen</i> (Lumut Kerak).....	19
Gambar 5. Siklus Hidup Lichen (Roziaty, 2016)	20
Gambar 6. Diagram skematik spektrofotometri UV-Vis Double Beam (Braga et al., 2019). 22	
Gambar 7. Karakterisasi MADC dengan GC	36
Gambar 8. Spektrum Massa Senyawa Puncak 1 (a) Spektrum Massa Senyawa Eugenol (b) 38	
Gambar 9. Struktur senyawa Eugenol	38
Gambar 10. Spektrum Massa Senyawa Puncak 3 (a); Spektrum Massa Senyawa <i>trans-carryophyllene</i> (b).....	39
Gambar 11. Struktur senyawa <i>Trans-Carryophyllene</i>	39
Gambar 12 Mekanisme Sintesis AgNPs-MADC Metode Reduksi	40
Gambar 13. Pengamatan visual AgNPs-MADC berdasarkan variasi waktu penyimpanan; 1 hari (a); 3 hari (b); 5 hari (c); 7 hari (d) dan 9 hari (e).....	42
Gambar 14. Spektra UV-Vis pengaruh waktu penyimpanan terhadap stabilitas pembentukan AgNPs-MADC.....	42
Gambar 15. Variasi pembentukan AgNPs berdasarkan variasi konsentrasi AgNO ₃ ; MADC (a); 1 mM (b); 3 mM (c); 5 mM 9(d); 7 mM (e); 9 mM (f) dan 10 mM (g)	44
Gambar 16. Spektra UV-Vis AgNPs-MADC berdasarkan variasi konsentrasi AgNO ₃	45
Gambar 17. Mekanisme Reduksi Ion Perak pada Senyawa Eugenol	47
Gambar 18. Spektra FTIR AgNPs-MADC berdasarkan variasi konsentrasi AgNO ₃	49
Gambar 19. Distribusi ukuran partikel AgNPs-MADC.....	50
Gambar 20. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) AgNPs-MADC dengan skala pembacaan; 5 μm (a) dan 8 μm (b).....	51

Gambar 21. Spektrum EDX dan data unsur dari AgNPs-MADC.....	52
Gambar 22. Variasi Konsentrasi AgNO ₃ dengan Penambahan Tween 80; MADC (a); 10 mM (b); 12 mM (c); 14 mM (d)	53
Gambar 23. Spektra UV Vis Pembentukan AgNPs-MADC + Tween 80	54
Gambar 24. Spektra FTIR variasi konsentrasi AgNO ₃ + Tween 80.....	56
Gambar 25. Distribusi Ukuran Partikel AgNPs-MADC + Tween 80, 10 mM (a); 12 mM (b); 14 mM (c)	57
Gambar 26. Morfologi AgNPs -MADC+Tween 80 dengan skala pembacaan 5 μm (a) 10 mM dan 8 μm (b) 12 m; (c) 14 mM	58
Gambar 27. Spektrum EDX dan data unsur dari AgNPs-MADC + Tween 80.....	59
Gambar 28. Variasi Konsentrasi AgNPs-MADC + PEG 400, MADC (a); 10 mM (b); 12 mM (c); 14 mM (d).....	60
Gambar 29. Spektra UV-Vis AgNPs-MADC + PEG 400	61
Gambar 30. Spektra FTIR AgNPs dengan penambahan PEG 400.....	63
Gambar 31. Morfologi AgNPs dengan penambahan PEG 400 dengan skala pembacaan 8 μm; 10 mM (a); 12 mM (b) dan 14 mM (c)	64
Gambar 32. Spektrum EDX dan data unsur dari AgNPs dengan penambahan PEG 400.....	65
Gambar 33. Uji Aktivitas Daya Hambat <i>Lichen</i> ; Kontrol (a) dan MADC (b).....	67
Gambar 34. Uji Aktivitas Daya Hambat <i>Lichen</i> pada AgNPs-MADC Tween 80; 10 mM (a); 12 mM (b); 14 mM (c).....	71
Gambar 35. Uji Aktivitas Daya Hambat <i>Lichen</i> pada AgNPs-MADC + PEG 400, 10 mM (a); 12 mM (b); 14 mM (c).....	72
Gambar 36. Hasil pengamatan uji aktivitas AgNPs secara visual; sebelum (a); 1 hari (b); 3 hari (c); 6 hari (d); 8 hari (e); dan 10 hari (f)	75
Gambar 37. Visualisasi <i>Lichen</i> yang diamati dengan <i>Handy Microscope</i> ; sebelum (a); hari ke 1 (b); hari ke 3 (c); hari ke 6 (d); hari ke 8 (e); an hari ke 10 (f)	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Konsentrasi Sintesis AgNPs-MADC	89
Lampiran 2. Perhitungan Variasi Konsentrasi Sintesis AgNPs-MADC.....	89
Lampiran 3. Perhitungsn Variasi Konsentrasi AgNps-MADC dengan Penambahan Tween/PEG 1 mL	92
Lampiran 4 Kromatogram GC Minyak Atsiri Daun Cengkeh.....	93
Lampiran 5. Kromatogram MS, pada senyawa utama minyak atsiri daun cengkeh...	94
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	95

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Pengamatan jenis-jenis mikrobiologi yang berkaitan dengan benda-benda arkeologi yang difokuskan pada cagar budaya khususnya di Candi Borobudur saat ini memiliki banyak resiko kerusakan serta pelapukan. Seperti yang kita ketahui, bahwasanya benda-benda cagar budaya perlu diberikan perlindungan dan dijaga kelestariannya dari resiko kerusakan serta pelapukan yang terjadi akibat faktor internal dan eksternal. Selama ini, kerusakan yang terjadi pada batuan Candi Borobudur disebabkan oleh bahan-bahan organik akibat aktivitas makhluk hidup baik hewan maupun tumbuhan sehingga mengakibatkan terjadinya pelapukan pada batuan. Secara umum, beberapa mikroorganisme penyebab pelapukan yaitu disebabkan oleh adanya pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur, alga, lumut, *lichen* (lumut kerak) dan bakteri.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Balai Konservasi Borobudur, mikroorganisme jenis bakteri dan jamur dapat mempercepat terjadinya proses pelapukan. Hal ini disebabkan karena banyaknya kandungan mineral essential yang terkandung pada batuan Candi. Sehingga oleh mikroorganisme tersebut menjadikan batuan sebagai tempat yang tepat untuk mereka bertahan hidup. Mineral utama yang terkandung dalam batuan candi yaitu senyawa asam oksalat. Pertumbuhan *lichen* yang semakin aktif akan menyebabkan terjadinya pelepasan asam oksalat berlebih sehingga dapat menyebabkan terjadinya pelapukan pada batuan. Proses pelapukan pada batuan terjadi ketika organisme saprofit dan bahan-bahan organik bereaksi dengan mineral-mineral batuan.

Akibat faktor kerusakan dan pelapukan yang terjadi, maka dalam hal ini pendekatan yang dibutuhkan serta perlu diterapkan untuk mencegah terjadinya kerusakan serta pelapukan pada batuan tersebut yaitu dengan membuat suatu formulasi bahan uji tanpa memberikan efek samping terhadap lingkungan maupun

batuan itu sendiri. Saat ini, pemanfaatan minyak atsiri dalam upaya perlindungan batuan dari faktor kerusakan dan pelapukan yang terjadi telah banyak dimanfaatkan dan juga telah diterapkan pada Balai Konservasi Borobudur. Namun, pengaplikasian minyak atsiri secara langsung memberikan efek samping pada batuan tersebut, yaitu adanya bercak putih yang ditinggalkan setelah proses pengaplikasiannya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan membuat nanopartikel perak dengan memanfaatkan minyak atsiri sebagai bioreduktor. Penggunaan minyak atsiri dalam proses sintesis nanopartikel memiliki beberapa aktivitas biologi seperti antibakteri, antijamur, insektisida hingga umum digunakan sebagai sumber aroma dan sebagai bahan antimikroba dalam makanan (Pratiwi et al., 2016).

Dewasa ini, peran nanoteknologi menjadi trend menarik serta banyak diperbincangkan dalam dunia penelitian. Pasalnya, trend nanoteknologi merupakan bagian dari revolusi di abad ke 21 dan memiliki prospek ekonomi yang sangat memungkinkan. Dengan adanya nanoteknologi ini, dapat dibuat suatu material yang berukuran nano yang disebut dengan nanopartikel yang memiliki sifat-sifat yang unik baik dari segi elektronik, optik, mekanik maupun magnetik. Aplikasi dari nanopartikel ini pun sudah banyak dikembangkan diberbagai bidang seperti kesehatan, makanan, sensor, dan aplikasi dibidang lainnya yang tentu masih sangat luas.

Keuntungan dari penggunaan nanopartikel logam memiliki sifat optoelektrik dan adanya karakteristik pada permukaan plasmon penyerapan pada wilayah UV-VIS. Adanya SPR (*Surface Plasmon Area*) ini menyebabkan nanopartikel dapat menyerap lebih banyak sinar yang kemudian membentuk radikal superoksida dan radikal hidroksil yang dapat membantu menguraikan polutan organik menjadi suatu zat yang aman bagi lingkungan (Bere et al., 2019). Selain itu, nanopartikel perak terbukti lebih efisien dalam aktivitasnya sebagai antimikroba terhadap bakteri, virus, jamur dan organisme eukariotik lainnya, serta mampu membunuh sekitar 650 jenis mikroorganisme penyebab penyakit (Tekin et al., 2019) serta memiliki sifat toksik

pada jamur dan bakteri sehingga dapat diaplikasikan sebagai antifungi dan antibakteri (Fabiani et al., 2019).

Dalam proses sintesis nanopartikel, seringkali masih ditemukannya penggunaan bahan kimia berbahaya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, peneliti memanfaatkan minyak atsiri daun cengkeh sebagai bioreduktor dalam proses sintesis nanopartikel perak (AgNPs) karena diketahui memiliki senyawa utama berupa eugenol dengan kadar sekitar 80-90%. Eugenol yang terdapat dalam minyak atsiri daun cengkeh memiliki aktivitas antibakteri dan antijamur, sehingga mampu menghambat serta menekan pertumbuhan bakteri/mikroba (Mbatu et al., 2018).

Analisis kualitatif terhadap pembentukan AgNPs dapat ditentukan berdasarkan karakteristik spesifik yang ditunjukkan pada *Surface Plasmon Resonance* (SPR). SPR pada AgNPs merupakan kumpulan dari osilasi elektron yang terjadi pada permukaan suatu material. Adanya gelombang elektromagnetik yang dikasilkan menyebabkan terjadinya eksitasi kumpulan osilasi elektron pada AgNPs yang dikenal dengan *localized surface plasmon resonance*. Selain itu adanya perubahan warna dari kuning menjadi kuning kecoklatan mengindikasikan terbentuknya AgNPs dan terjadinya reduksi kimia dari Ag^+ menjadi Ag^0 berdasarkan fenomena SPR (Zakir & Budi, 2016).

Ukuran perak (Ag) dalam skala nanopartikel menjadi suatu trend yang dapat meningkatkan reaktivitas pada permukaan Ag. Besarnya luas permukaan suatu material menjadikan AgNPs dimanfaatkan sebagai antibakteri, antijamur, dan lain sebagainya (Chuchita et al., 2018). Sintesis AgNPs sebagai alternatif untuk mengurangi masalah dalam peningkatan efektivitas serta induksi aktivitas sistemik karena ukurannya yang kecil. Pembentukan material AgNPs bertujuan untuk mengatasi kelarutan dari zat aktif yang sukar larut, serta mampu meningkatkan stabilitas dan mengurangi degradasi lingkungan (Dreaden et al., 2012).

Dalam era penelitian dan perkembangannya saat ini, diketahui daun cengkeh belum banyak dimanfaatkan dibandingkan bagian cengkeh lainnya seperti bunga

atupun tangkai cengkeh. Komponen utama dari minyak daun cengkeh terdiri dari 80-90% eugenol dan kariofilena dengan kandungan minyak yang dihasilkan sekitar 1-4%, baik daun yang masih segar maupun daun yang telah kering. Karakteristik minyak atsiri daun cengkeh ditinjau dari beberapa sifat fisik yang meliputi warna, bau, indeks bias, bobot jenis, serta komponen utama yang terkandung dalam minyak cengkeh tersebut yang telah disesuaikan berdasarkan standar SNI 06-2387-2006 (Nirwana & Zamrudy, 2021).

Umumnya, daun cengkeh cenderung dibuang dan kurang dimanfaatkan karena dianggap sebagai sampah, padahal daun cengkeh ini dapat menghasilkan minyak dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi (Tuganitya et al., 2019). Pemanfaatan minyak atsiri daun cengkeh sebagai bioreduktor yang memiliki senyawa metabolit sekunder memiliki peran dalam aktivitas biologis mampu mengurangi penggunaan bahan kimia, sehingga dapat meminimalisir serta mencegah kerusakan lingkungan yang terjadi akibat penggunaan reduktor kimia. Selain itu, penggunaan minyak atsiri daun cengkeh mampu menghambat serta menekan pertumbuhan dari mikroba (Mbatu et al., 2018).

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan metode fisika (*top down*) maupun kimia (*bottom up*). Namun dalam penerapannya, kedua proses ini memerlukan biaya yang cukup besar dan dapat menimbulkan resiko kerusakan pada lingkungan (Kasim et al., 2020). Adanya metode *green synthesis* dengan memanfaatkan minyak atsiri daun cengkeh sebagai bioreduktor diharapkan mampu menjadi produk alternatif yang ramah lingkungan serta mampu menghambat pertumbuhan *lichen* secara efektif dan efisien.

I.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka diperoleh beberapa rumusan masalah, diantaranya yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dari minyak atsiri daun cengkeh?
2. Bagaimana karakteristik dari AgNPs-Minyak Atsiri Daun Cengkeh?

3. Bagaimana pengaruh konsentrasi berat AgNO_3 serta waktu penyimpanan terhadap karakteristik dari AgNPs?
4. Bagaimana pengaruh konsentrasi berat AgNO_3 dengan penambahan surfaktan Tween 80 dan Kosurfaktan PEG 400 terhadap sintesis dan karakteristik AgNPs-Minyak Atsiri Daun Cengkeh?
5. Bagaimana efektivitas serta uji aktivitas dari AgNPs-Minyak Atsiri Daun Cengkeh dalam menghambat pertumbuhan *lichen*?

I. 3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik dari minyak atsiri daun cengkeh
2. Untuk mengetahui karakteristik dari AgNPs-Minyak Atsiri Daun Cengkeh
3. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi berat dari AgNO_3 serta waktu penyimpanan terhadap hasil dari pembentukan AgNPs
4. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi berat AgNO_3 dengan penambahan surfaktan Tween 80 dan Kosurfaktan PEG 400 terhadap hasil dari sintesis dan karakteristik AgNPs-Minyak Atsiri Daun Cengkeh
5. Untuk mengetahui efektivitas serta uji aktivitas dari formulasi AgNPs-Minyak Atsiri Daun Cengkeh dalam menghambat pertumbuhan *lichen*.

I. 4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik dari minyak atsiri daun cengkeh dan AgNPs-Minyak Atsiri Daun Cengkeh sebagai anti *lichen* pada batuan Candi di Balai Konservasi Borobudur
2. Memberikan informasi terkait uji aktivitas serta efektivitas AgNPs-MADC dalam menghambat pertumbuhan lichen pada batuan Candi di Balai Konservasi Borobudur

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA TEORI

II. 1 Tinjauan Pustaka

Hingga saat ini, banyaknya penggunaan tanaman baik ekstrak maupun minyak atsiri yang dimanfaatkan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel, diantaranya yaitu cengkeh (*Syzigium aromaticum*) (Vijayaraghavan et al., 2012) (Maciel et al., 2019) (Hadidi et al., 2020), ekstrak daun alpukat (*Persea americana*) (Rahmayani et al., 2019), ekstrak lemongrass (Gupta & Ganjewala, 2015), ekstrak daun pucuk idat (*Cratogeomom glaucum*) (Fabiani et al., 2019), arum dalu (*Cestrum nocturnum*) (Keshari et al., 2020), ekstrak daun *Zanchoxylum ovalifolium* (Theerthavathy et al., 2019), *jasmine bud* (Sampath et al., 2014), daun rumput macan (*Lantana Camara* L) (Margaretha et al., 2018), ekstrak air daun kemangi (*Ocimum Sntum Linn.*) (Bere et al., 2019), minyak atsiri kayu manis (Marfina et al., 2019), ekstrak daun eceng gondok (*Eichornia crassipes*) (Kasim et al., 2020) dan senyawa alam lainnya seperti glukosa, eugenol, dan thymol (Abed et al., 2019) serta masih banyak tanaman-tanaman lainnya dan senyawa alam yang dimanfaatkan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel.

Beberapa penelitian terakhir, seperti yang telah dilakukan oleh Wahyuni, dkk. (2017), melaporkan bahwa minyak atsiri seperti cengkeh, temulawak, dan pala diketahui mampu menghambat pertumbuhan dari mikroalga dan lumut kerak. Tingkat keefektifan dari bahan uji pada pengamatan mikroskopis didasarkan pada peluruhan warna kloroplas selama 15 hari percobaan dengan dilakukan skoring pada skala warna (Wahyuni, dkk, 2017).

Penelitian yang berkaitan dengan sintesis nanopartikel perak (AgNPs) dengan metode *green synthesis* memiliki keunggulan dibandingkan metode konvensional yang melibatkan reduktor berbahan kimia sehingga dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Metode *green synthesis* dengan menggunakan bioreduktor dari bahan alam seperti *Syzigium aromaticum* memiliki hasil yang menjanjikan dan

cepat dalam produksi AgNPs dengan resonansi permukaan plasmon pada 430 nm. Nanopartikel yang terbentuk berkisar pada ukuran antara 20 hingga 149 nm, (Vijayaraghavan et al., 2012) 20 hingga 25 nm (Tekin et al., 2019), dan 18,6 nm untuk AgNPs eugenol serta 22,4 nm untuk AgNPs *clove oil* (Vinicius et al., 2020). EDX mengkonfirmasi bentuk dari nanopartikel perak sebagai puncak penyerapan optik yang diamati kira-kira pada 3 keV yang khas untuk tipe penyerapan logam silver (Vijayaraghavan et al., 2012).

Rahmayani et al., (2019) melaporkan bahwa sintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor dari ekstrak daun alpukat (*Persea americana*) menunjukkan hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis diperoleh pada panjang gelombang 445-446 nm yang merupakan puncak khas terbentuknya nanopartikel, karena adanya *Surface Plasmon Resonance* (SPR). Sedangkan untuk nanopartikel emas hasil analisis UV menunjukkan puncak serapan nanopartikel pada rentang 535-560 nm (Marfina et al., 2019). Perubahan warna yang terjadi pada larutan nanopartikel disebabkan adanya absorbansi dari permukaan plasmon pada permukaan logam. Warna tersebut juga menunjukkan adanya pengaruh dari zat pereduksi organik yang digunakan. Sehingga semakin lama warna larutan akan terlihat semakin pekat.

Sintesis nanopartikel menggunakan ekstrak *lemongrass* memiliki absorbansi puncak pada rentang 430-450 nm dengan ukuran partikel rata-rata 40-100 nm. Aktivitas antibakteri pada nanopartikel ini terhadap bakteri *S. aureus* dan *P. aeruginosa* dengan zona hambat masing-masing berada pada rentang 24-27 mm dan 17-23 mm. sementara efektivitas pada bakteri *A. bamunni* menurun, yaitu dengan zona hambat berada pada rentang 13-14 mm (Gupta & Ganjewala, 2015).

Sintesis nanopartikel dengan menggunakan precursor chitosan dengan memanfaatkan *clove essential oil* (CEO) sebagai bioreduktor, menunjukkan ukuran partikel yang dihasilkan dari analisis SEM berada pada rentang 223-444 nm.

Nanopartikel kitosan dengan menggunakan CEO memiliki diameter daya hambat sebesar 4,80-4,78 cm terhadap bakteri *S. aureus* (Hadidi et al., 2020).

Pemilihan senyawa eugenol yang banyak terkandung pada cengkeh, banyak dipilih karena memiliki aktivitas antimikroba dan memiliki prosedur reaksi kimia yang sederhana namun dapat diterapkan sebagai ioreduktor dalam proses sintesis AgNPs. Eugenol merupakan senyawa bioaktif utama yang terkandung dalam tanaman cengkeh dengan konsentrasi eugenol diperoleh pada rentang 9381,70 hingga 14650,00 mg per 100 g dari tanaman yang segar (Neveu et al., 2010).

Dari beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sejumlah minyak atsiri diketahui memiliki senyawa aktif yang dapat berperan sebagai antijamur. Aktivitas antijamur pada senyawa aktif dalam minyak atsiri berhubungan dengan senyawa monoterpen fenol seperti timol karvakrol dan eugenol (Isman, 2000). Selain itu, senyawa aktif pada minyak atsiri memiliki aktivitas terhadap bakteri patogen yang bersifat gram positif dan negatif dengan nilai MIC (*Minimum Inhibitory Concentration*) yang bervariasi (Hartati et al., 2014).

Balai konservasi Borobudur bekerjasama dengan Universitas Islam Indonesia dalam penanganan *lichen* yang seringkali ditemui pada batuan candi. Dalam penelitian tersebut ada tiga jenis minyak atsiri yang digunakan yaitu minyak atsiri cengkeh, biji pala, dan sereh wangi. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketiga minyak atsiri ini diketahui mampu menghambat pertumbuhan dari jamur *Penicillium sp* yang terdapat pada *lichen* (Wahyuni,dkk, 2017). Semakin tinggi konsentrasi dari minyak atsiri yang digunakan, maka semakin tinggi pula zona hambat yang terbentuk (Riyanto et al., 2016).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Wahyuni,dkk, 2017, bahwa metode pengamatan yang dilakukan terhadap pengujian minyak atsiri dalam menghambat pertumbuhan sel mikroalga dilakukan dengan melihat perubahan morfologi dari warna kloroplas secara mikroskopis dalam rentang waktu 0-15 hari. Hasil pengujian terhadap efektifitas penggunaan empat jenis minyak atsiri (nilam, pala, temulawak,

cengkeh) dapat menghambat pertumbuhan sel mikroalga dengan tingkat keektifan dari minyak tersebut mulai dari temulawak, pala, nilam dan cengkeh. Pada minyak atsiri temulawak dengan konsentrasi 20% mampu menghambat sel sebesar 63,31% (Wahyuni,dkk, 2017).

Uji aktivitas dari minyak atsiri daun cengkeh terhadap pertumbuhan jamur *Candida albicans*, menghasilkan zona daya hambat sebesar 15 mm, dan adanya perbedaan yang signifikan yang dihasilkan dari konsentrasi 0,5% hingga 10%. Konsentrasi terendah dari minyak atsiri daun cengkeh (0,5%) diketahui mampu menghambat pertumbuhan dari jamur *Candida albicans* sebesar 5,67 mm (Mbatu et al., 2018). Pada konsentrasi 100%, 75%, 50% dan 25%, zona hambat yang dihasilkan masing-masing sebesar 14,2 mm; 12,2 mm; 10,8 mm; dan 10,4 mm dengan konsentrasi terendah dapat menghambat pertumbuhan jamur sebesar 17,86% (Musta & Nurliana, 2019). Aktivitas antibakteri yang dihasilkan dari AgNPs eugenol pada ketiga jamur *S.aureus*, *E.coli* dan *Candida albicans* memiliki zona hambat masing-masing 2,6 cm; 2,4 cm dan 1,5 cm (Tekin et al., 2019).

Menurut Wahyudi et al., (2011), dalam penelitiannya melaporkan bahwa sintesis nanopartikel perak dengan menggunakan natrium borohidrida terhadap bakteri *E. coli* dan *S.aureus* menghasilkan diameter rata-rata ukuran partikel mencapai 71,8 nm dengan nilai PI sebesar 0,293. Hasil sintesis tersebut menunjukkan kemampuannya dalam menghambat bakteri dengan kekuatan daya hambatnya lebih kuat 30% pada bakteri *S.aureus* dibandingkan pada bakteri *E.coli*. Secara kuantitatif, uji aktivitas antimikroba mencapai hingga lebih dari 90%.

Penelitian yang dilakukan oleh Kushwaha et al., (2021), mengenai aktivitas antibakteri dari nanopartikel perak menggunakan tiga ekstrak tanaman yaitu *Syzigium aromaticum*, *Cinnamomum tamala*, dan *Cinnamomum cassia* menunjukkan bahwa zona hambat meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Zona hambat maksimum diamati pada konsentrasi 20 mg/mL untuk kedua bakteri patogen *E. coli* dan *Bacillus subtilis*. Pada konsentrasi yang lebih besar, AgNps dengan *Syzigium*

aromaticum, *Cinnamonum tamala*, dan *Cinnamonum cassia* dapat menghambat bakteri *E. coli* masing-masing sebesar $2,25 \pm 0,05$; $1,7 \pm 0,1$; dan $1,85 \pm 0,05$ cm.

XING et al., (2012), melaporkan bahwa aktivitas anti jamur dari minyak atsiri cengkeh yang memiliki kandungan utama eugenol sebesar 83,02% menunjukkan konsentrasi penghambatan minimum pada beberapa jamur seperti *Aspergillus flavus*, *Penicillium citrinum*, dan *Rhizopus nigricans*, masing-masing sebesar 25 $\mu\text{L}/\text{mL}$, 25 $\mu\text{L}/\text{mL}$, dan 50 $\mu\text{L}/\text{mL}$. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa cengkeh memiliki potensi yang baik dalam menghambat dan menekan pertumbuhan jamur.

II. 2 Kerangka Teori

II. 2.1 Minyak Atsiri Daun Cengkeh (MADC)

Minyak atsiri merupakan cairan hidrofobik pekat yang dapat diperoleh dari berbagai bagian tanaman, seperti bunga, tunas, biji, daun, ranting, kulit kayu, hingga akar dari tanaman tersebut (Mbatu et al., 2018). Minyak astiri juga merupakan hasil sisa dari proses metabolisme dalam tanaman yang terbentuk karena reaksi dari berbagai senyawa kimia dengan adanya air dan minyak. Kandungan senyawa aktif yang terdapat dalam minyak atsiri sering dimanfaatkan dalam berbagai industri seperti kosmetik, obat-obatan, makanan, minuman, dan aroma terapi (Jayanudin, 2018) bahkan dimanfaatkan dalam aktivitas biologi sebagai antibakteri, antijamur, hingga sebagai zat antioksidan (Pratiwi et al., 2016). Sifat kimia dari produk minyak atsiri berbeda-beda, tidak hanya pada bilangan dan tipe dari molekul tapi juga pada struktur stereokimia, hal ini tergantung pada pemilihan metode ekstraksi yang tepat.

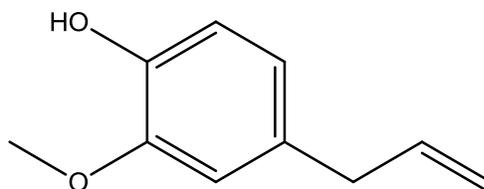
Ada tiga macam metode ekstraksi atau penyulingan untuk menghasilkan minyak atsiri yaitu proses penyulingan dengan air, uap dan air, serta dengan uap secara langsung. Ekstraksi merupakan suatu metode pemisahan untuk memisahkan komponen dari campurannya dengan menggunakan pelarut sebagai agen pemisahannya. Ekstraksi dengan menggunakan lemak padat umumnya digunakan untuk mengekstraksi bunga-bunga sehingga diperoleh rendemen minyak yang tinggi.

Minyak cengkeh dapat diperoleh dari daun cengkeh (*Clove Leaf Oil*) dengan kandungan minyak atsiri mencapai 2-3% dengan kadar eugenol antara 80-85%. Selain daun cengkeh, minyak cengkeh juga dapat diperoleh dari bunga cengkeh (*Clove Oil*) dan tangkai atau gagang bunga cengkeh (*Clove Steam Oil*) dengan kandungan minyak atsiri masing masing mencapai 21,3% dan 6%, sedangkan untuk kadar eugenol dari masing-masing bagian tersebut mencapai 78-95% dan 89-95% (Minyak & Bunga, 2013). Standar mutu dari minyak cengkeh berdasarkan SNI dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Mutu Minyak Cengkeh SNI 06-2387-2006

Karakteristik	Persyaratan
Warna	Kuning - Coklat Tua
Bau	Khas Minyak Cengkeh
Bobot Jenis 20 °C / 20 °C	1,025 - 1,049
Indeks Bias	1,528 - 1,535
Kelarutan dalam etanol 70%	1 : 2 Jernih
Eugenol total, % v/v	Min. 78
β -caryophyllene, % v/v	Maks. 17

Tingginya kandungan eugenol pada minyak atsiri cengkeh yang seringkali dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan vanili, eugenil metil eter, eugenil asetat, sebagai agen antibakteri, antijamur, dan lain sebagainya. Struktur molekul dari eugenol dapat diamati pada Gambar 1, berikut ini.



Gambar 1 Struktur Molekul Eugenol

Eugenol merupakan komponen utama yang ditemukan dalam minyak cengkeh. Rumus molekul dari eugenol yaitu $C_{10}H_{12}O_2$ dengan nama IUPAC *4-allyl-2-metoksifenol*. Sifat fisik dari eugenol berbentuk cairan yang tiak berwarna atau berwarna kuning pucat, dengan bau aroma khas cengkeh yang kuat serta mudah

teroksidasi bila terpapar oleh udara. Titik didih dari eugenol berada pada 256°C dengan titik leleh -9°C , tekanan uap yang dimiliki mencapai 10 mmHg pada 123°C . Eugenol dikenal memiliki aktivitas biologi yang baik, sehingga sering dimanfaatkan sebagai untuk menekan dan menghambat pertumbuhan dalam beberapa jenis bakteri maupun jamur.

Pada dasarnya, proses pengambilan minyak atsiri cengkeh dilakukan dengan beberapa proses destilasi, seperti destilasi kukus, air ataupun dengan uap. Kelebihan dari metode-metode destilasi tersebut, diantaranya yaitu rendahnya biaya produksi, namun dengan penggunaan suhu yang tinggi dan adanya air dapat menyebabkan kerusakan pada minyak atsiri cengkeh akibat adanya panas yang terlalu tinggi sehingga terjadinya reaksi hidrolisis dengan air dan hal tersebut mengakibatkan menurunnya kualitas minyak cengkeh yang dihasilkan. Salah satu cara untuk mengatasi kekurangan dari destilasi tersebut ialah dengan melakukan ekstraksi menggunakan pelarut dengan suhu ekstraksi dapat disesuaikan dengan suhu ruang dan tidak melibatkan air dalam proses pengambilan minyaknya (Pratiwi et al., 2016).

II.2.2 Perak Nitrat (AgNO_3)

Perak atau yang dikenal dengan Ag merupakan unsur logam dengan nomor atom 47 dengan massa atom sebesar $107,87 \text{ g/mol}$. Logam ini umum digunakan karena memiliki toksisitas yang rendah serta mampu melakukan proses oksidasi dan dapat mengoksidasi zat lain. Stabilitas yang dimiliki oleh logam ini sangat baik terhadap panas ataupun cahaya (Margaretha et al., 2018).

Perak nitrat merupakan senyawa anorganik tidak berwarna, tidak berbau, memiliki bentuk kristal transparan dengan rumus kimia AgNO_3 dan mudah larut dalam alkohol, aseton dan air. Perak nitrat dapat dibuat dengan mencampurkan Ag dengan asam nitrat (HNO_3), namun perak merupakan logam yang reaktif yang sukar larut dalam asam yang memiliki konsentrasi rendah. Oleh karena itu, oksidator diperlukan untuk mengoksidasi perak (Ag) menjadi ion-ion perak. Pada suhu ruangan, asam nitrat tidak dapat melarutkan perak karena energi yang dibutuhkan untuk melarutkan perak

sangat besar sehingga perlu dilakukan pemanasan hingga suhu 90 °C (Boenigk et al., 2014).

II.2.3 Nanopartikel Perak (AgNPs)

Nanopartikel merupakan suatu partikel yang berukuran nano yang berkisar antara 1-100 nm (Fabiani et al., 2019). Namun dalam penelitian lain menyebutkan bahwa nanopartikel memiliki ukuran yang berkisar pada 1-1000 nm (Singh et al., 2016). Dengan ukuran partikel yang kecil, nanopartikel ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang kesehatan, lingkungan, pertanian, energi bahkan telah merambah pada aplikasinya sebagai sensor. Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu metode fisika (*top down*), kimia (*bottom up*) (Fabiani et al., 2019), dan metode reduksi. Metode reduksi ini merupakan salah satu metode yang relatif mudah dan prosesnya yang sederhana.

Saat ini, nanopartikel senyawa logam mendapatkan perhatian yang sangat besar, pasalnya aplikasi dari penggunaan nanopartikel logam ini sangat luas dan mencakup pada berbagai bidang (Fabiani et al., 2019). Salah satu nanopartikel logam yang paling sering digunakan dan dimanfaatkan yaitu nanopartikel perak, karena memiliki sifat antimikroba yang baik dan dapat berfungsi untuk menghambat aktivitas antibakteri. Aktivitas antibakteri pada AgNPs, umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsentrasi, bentuk serta ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel, maka aktivitas antibakteri akan semakin besar. Oleh karena itu, ukuran partikel merupakan salah satu peranan penting dalam proses sintesis nanopartikel. Beberapa parameter yang dapat menentukan ukuran partikel diantaranya yaitu konsentrasi dari garam perak, jenis reduktor yang digunakan, temperatur serta waktu reaksi. (Fabiani et al., 2019).

Sumber sintesis nanopartikel secara biologi adalah memanfaatkan mikroorganisme dan tanaman. Namun, dalam prakteknya penggunaan tanaman untuk sintesis nanopartikel lebih banyak diminati jika dibandingkan dengan menggunakan bahan mikroorganisme. Hampir semua komponen senyawa yang terkandung dalam

tanaman seperti protein, asam amino, asam organik, vitamin, dan metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, polifenol, terpenoid, komponen heterosiklik dan polisakarida mempunyai fungsi yang signifikan dalam mereduksi garam logam dan dapat bertindak sebagai *capping* dan *stabilizing agent* dalam sintesis nanopartikel (Singh et al., 2016).

Karakteristik dari nanopartikel perak yaitu memiliki *Surface Plasmon Resonance* (SPR) dengan puncak serapan pada panjang gelombang 400-500 nm yang dapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Almasoud et al., 2021). Nanopartikel perak memiliki sifat yang stabil dan memiliki luas permukaan yang relatif besar, sehingga meningkatkan kontak dengan bakteri atau jamur serta mampu meningkatkan efektivitas bakterisida dan fungisida (Montazer et al., 2012).

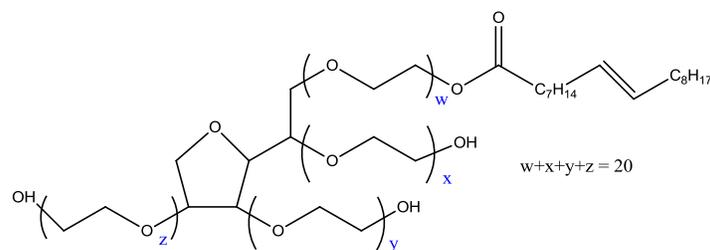
Kemampuan antibakteri yang dimiliki oleh nanopartikel perak dipengaruhi oleh karakteristik fisik dari suatu nanopartikel seperti ukuran, bentuk dan sifat permukaan. Selain itu rasio luas permukaan terhadap volume akan semakin meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel, sehingga nanopartikel memiliki kemampuan sebagai antibakteri yang lebih kuat (Haryono et al., 2008). Semakin kecil ukuran nanopartikel, maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga, aktivitasnya sebagai antibakteri akan semakin besar pula (Montazer et al., 2012).

II.2.3 Tween 80 / Polysorbate 80

Surfaktan merupakan senyawa aktif permukaan yang termasuk dalam bahan kimia organik dan umumnya digunakan sebagai penurun tegangan permukaan yang diproduksi melalui sintesis kimiawi maupun biokimia. Karakteristik utama dari surfaktan ialah memiliki gugus polar (hidrofilik) dan non polar (lipofilik) pada molekul yang sama (Hendra et al., 2016). Gugus hidrofilik yang ada pada surfaktan dapat bermuatan positif, negative atau netral sehingga surfaktan dapat diadsorpsi membentuk lapisan tunggal. Gugus non polar pada surfaktan, umumnya merupakan

rantai alkil yang panjang, sementara again yang polar mengandung gugus hidroksil (Jatmika, 1998).

Surfaktan diklasifikasikan dalam empat kelompok berdasarkan gugus hidrofiliknya yaitu surfaktan anionic, nonionic, kationik, dan zwitterionik. Tween 80 termasuk ke dalam golongan surfaktan nonionic yang dapat meningkatkan absorpsi karena memiliki keseimbangan lipofilik dan hidrofilik yang bersifat non toksik, tidak iritatif, memiliki potensi yang rendah dalam proses reaksi hipersensitif terhadap asam dan basa lemah. Tween 80 dengan rumus molekul $C_{64}H_{124}O_{26}$ memiliki berat molekul 1310 (De Oliveira et al., 2019) dengan struktur seperti yang tertera pada Gambar 2 berikut.



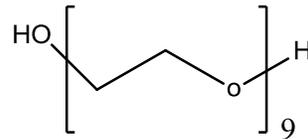
Gambar 2. Struktur tween 80 / Polysorbate 80

Saat penambahan surfaktan, tegangan permukaan akan mengalami penurunan hingga mencapai titik tertentu, sehingga tegangan tersebut tidak berkurang lagi, titik inilah yang dikenal sebagai titik kritis (Flores et al., 2013).

II.2.4 PEG 400

Kosurfaktan berperan dalam membantu proses kelarutan pada zat terlarut dalam media dispers dengan meningkatkan fleksibilitas dari lapisan dan dapat menurunkan energi bebas sehingga stabilitas lebih dapat dipertahankan. Kosurfaktan ini dapat berupa molekul amfifilik dengan rantai pendek yang mampu menurunkan tegangan permukaan (Azeem et al., 2009). PEG 400 (*Polyoxyethylene glycol 400*) merupakan kosurfaktan jenis polimer dari polietilen glikol yang sering digunakan

sebagai bahan tambahan dalam pembuatan formulasi. Rumus kimia dari PEG yaitu $C_{2n+2}H_{4n+6}O_{n+2}$ dengan rumus molekul sebagai berikut.



Gambar 3. Struktur PEG 400

Beberapa sifat utama dari PEG yaitu stabil, tersebar secara merata dan bersifat mudah menguap. Selain itu, PEG 400 memiliki toksisitas yang rendah, non-korosif, tidak berwarna dan tidak berbau.

II.2.5 Kerusakan dan Pelapukan Benda Cagar Budaya

Kerusakan serta pelapukan yang terjadi pada benda-benda cagar budaya, khususnya pada batuan Candi memerlukan strategi penanganan yang tepat, karena dilihat dari usia batu yang terbilang sudah cukup tua dan struktur susunan dari batuan candi tersebut. Oleh karenanya, diperlukan strategi guna untuk mengurangi pelapukan yang terjadi pada batuan tersebut (Cahyandari, 2013).

Candi Borobudur merupakan bangunan yang letaknya berada di lapangan terbuka dan terbuat dari bahan berpori sehingga sangat rentan terjadi pelapukan dan kerusakan yang disebabkan oleh faktor biotik dan abiotik. Kedua faktor tersebut disebabkan oleh pengaruh kondisi lingkungan sehingga dapat menyebabkan terjadinya degradasi terhadap batuan candi tersebut. Faktor biotik disebabkan oleh adanya pertumbuhan mikroorganisme seperti *algae*, lumut, lumut kerak (*lichen*), bakteri, fungi, dan jenis-jenis mikroorganisme lainnya yang dapat menyebabkan terjadinya pelapukan (Yanuardi, 2009). Bakteri yang dapat tumbuh pada Candi Borobudur biasanya bakteri fotoautotrof seperti *Amonifiri sp*, *Aceutobacteur* dan *Fictobacteur fixing* yang dapat mensintesis senyawa organik dengan bantuan energi cahaya matahari secara tidak langsung. Bakteri tersebut akan menghasilkan berbagai senyawa asam yang dapat bereaksi dengan oksida batuan (Riyanto, 2014). Sedangkan

faktor abiotik disebabkan oleh pengaruh lingkungan seperti suhu udara, kelembapan udara, penyinaran, gempa bumi, polusi udara, air hujan dan faktor lingkungan lainnya (Yanuardi, 2009).

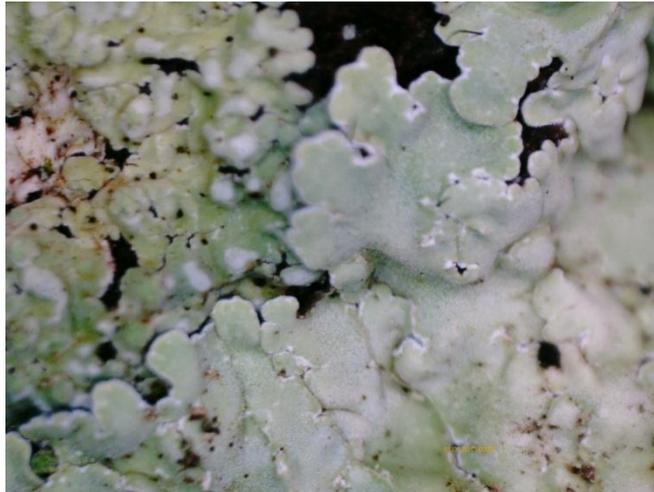
Selain itu faktor kerusakan dan pelapukan pada batuan Candi juga disebabkan oleh hasil erupsi merapi yang berupa senyawa-senyawa asam. Semakin besar konsentrasi asam, maka semakin cepat pula proses hidrolisis yang berlangsung. Sehingga, efek dari reaksi hidrolisis yang terjadi pada batuan candi dan asam sulfat dari abu vulkanik yaitu timbulnya endapan garam pada permukaan batu yang dapat mempercepat terjadinya proses pelapukan (Wahyuni,dkk, 2017).

Organisme kecil yang hidup pada batuan candi memiliki kepekaan yang tinggi terhadap perubahan lingkungan, namun sebagian organisme tersebut mampu beradaptasi dalam menghadapi perubahan lingkungan dengan kadar keasaman yang dapat berubah dengan cepat, kondisi batuan yang kering hingga kurangnya kadar oksigen (Yanuardi, 2009). Organisme renik seperti *algae* merupakan jenis tumbuhan yang dapat hidup pada kondisi daerah yang lembab, baik di laut maupun di udara terbuka. Selain *algae*, organisme lainnya yang juga dapat tumbuh pada batuan candi yaitu fungi dan biasanya ditemukan disepanjang filament sel. Selain beberapa organisme tersebut, *lichen* yang merupakan hasil simbiosis mutualisme antara fungi dan *algae* yang tumbuh dalam bentuk koloni-koloni dapat bertahan cukup lama pada lingkungan kering maupun basah.

II.2.6 Lichens (Lumut Kerak)

Dalam suatu ekosistem, *lichen* dapat berperan sebagai dekomposer yang mampu mempertahankan persediaan nutrien organik yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman (Yusuf, 2019). *Lichen* merupakan dua organisme berbeda antara *algae* dan *fungi* yang bersimbiosis mutualisme. Simbiosis ini dapat terjadi karena *algae* memproduksi gula atau karbohidrat melalui proses fotosintesis, sedangkan *fungi* berperan dala penyedia air dan mineral yang dibutuhkan untuk kehidupan bersama. *Lichen* yang berbentuk seperti thallus umumnya sulit dibedakan

antara akar, batang, dan daunnya (Rajan et al., 2016). Bentuk morfologi *lichen* dapat dilihat pada Gambar 4.

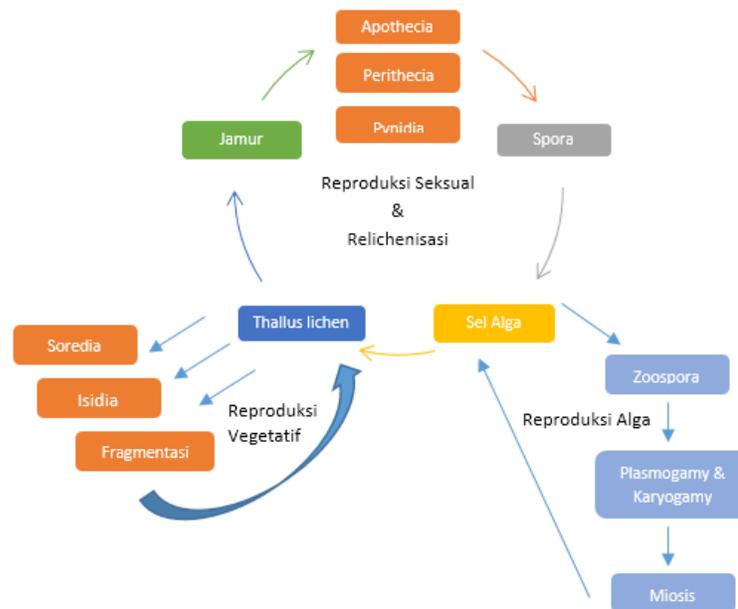


Gambar 4. Bentuk Morfologi *Lichen* (Lumut Kerak)

Penyusun komponen *fungi* disebut sebagai *mycobiont* yang berasal dari kelas *Ascomycetes* dan dua atau tiga genus termasuk dalam kelas *Basidiomycetes*, sedangkan untuk penyusun komponen *algae* disebut sebagai *Phycobiont* yang berasal dari *algae* biru-hijau (*Chyanophyceae*) atau *algae* hijau (*Chorophyceae*). Salah satu karakteristik dari *lichen* yaitu bahwa mereka memiliki pertumbuhan dan perkembangan yang lambat. Sebagian besar bentuk tumbuh hanya beberapa millimeter per tahun.

Lichen yang ditemukan di beberapa tempat memiliki berbagai jenis dengan karakteristik dan morfologi yang beragam seperti *foliose*, *fruticose*, *crustose*, serta *squamulose*. *Lichen* dengan jenis *fruticose* memiliki struktur seperti thallus yang tumbuh seperti semak dan memiliki banyak cabang seperti pita. *Lichen* dengan jenis *crustose* memiliki karakteristik seperti thallus yang berukuran kecil, datar tipis seperti lapisan kulit yang menempel pada kulit pohon maupun batu. Pada umumnya, *lichen* dengan jenis *crustose* ini tumbuh pada permukaan batu dengan membentuk beberapa koloni yang berwarna kehijauan dan putih bahkan keabuan (Roziaty, 2016). Thallus yang dimiliki pada lichen jenis ini berwarna pucat dan seringkali berwarna coklat pucat. Thallus memiliki lobus yang memusat dengan ukuran kecil yang disebut

dengan *crustaceous*. *Lichen* dengan tipe *squamulose* memiliki karkteristik lobus-lobus yang seperti sisik, dan biasanya berukuran kecil dan saling tumpang tindih satu



sama lain dengan struktur tubuh seperti tubuh buah yang disebut podetia (Marlina et al., 2017). Siklus hidup dari *lichen* terdiri dari dua fase, yaitu aseksual dan seksual (Gambar 5).

Gambar 5. Siklus Hidup Lichen (Roziaty, 2016)

Bagian *fungi* pada *lichen* menyebabkan terjadinya siklus seksual secara normal. Hal ini akan membawa pada proses pembentukan tubuh buah seperti *apothecia*, *perithecia*, dan *pycnidia* yang menghasilkan spora. Spora ini akan berkecambah dan menghasilkan *mycelium* baru, jika berkombinasi dengan *algae* yang cocok akan menghasilkan thallus *lichen* yang baru. *Algae lichen* melakukan proses reproduksi melalui pembelahan sel. Kebanyakan *lichen* bereproduksi secara aseksual dengan bantuan propagula vegetative seperti *soredia*, *isidia*, lobula, serta fragmen-fragmen. Setelah tumbuh, bagian tubuh tersebut akan meninggalkan tubuh *lichen* dan menjadi bentuk thallus yang baru (Roziaty, 2016)

II.2.7 *Gass Cromatoghrapy – Mass Spectroscopy (GC- MS)*

Penentuan komponen dari suatu senyawa yang terdapat dalam minyak atsiri dapat diidentifikasi menggunakan *Gass Cromatoghrapy – Mass Spectroscopy (GC- MS)* atau Kromatografi Gas Spektrofotometri Massa (KG SM). Kromatografi gas merupakan metode yang dinamis untuk proses pemisahan serta mendeteksi komponen dari senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam suatu campuran dan dapat digunakan sebagai analisis kualitatif maupun kuantitatif. Spektrofotometri massa merupakan instrument yang digunakan untuk mendeteksi molekul-molekul gas yang bermuatan berdasarkan massanya dan digunakan sebagai analisis kuantitatif (Sipahelut, 2019).

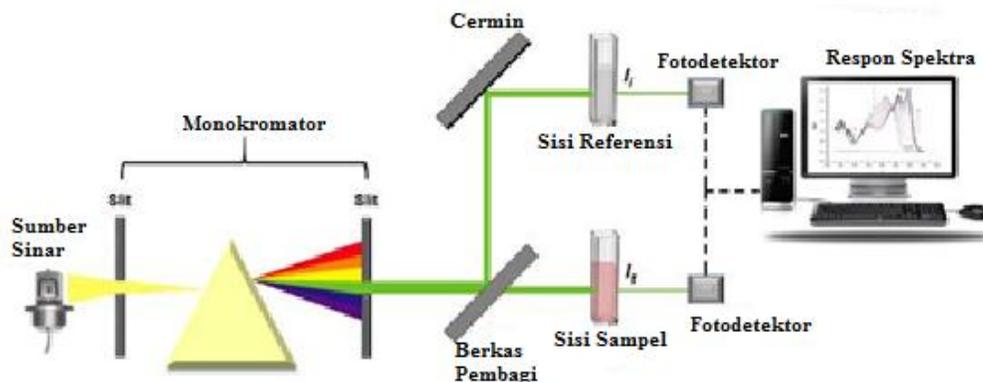
Pemisahan komponen senyawa dengan kromatografi gas didasarkan pada penyebaran cuplikan yang terjadi di fasa diam, sedangkan gas berperan sebagai fasa gerak yang mengemulsi fasa diam. Prinsip kerja dari GC ialah suatu fasa gerak yang berupa gas mengalir di bawah tekanan melewati pipa yang dipanaskan dan dengan fasa diam cair pada suatu penyangga padat. Analit tersebut dimuatkan ke bagian atas kolom melalui suatu injeksi yang dipanaskan. Suhu oven kemudian dijaga agar meningkat secara bertahap dan ketika berada dalam kolom, terjadi proses pemisahan antar komponen. Proses pemisahan ini yang kemudian bergantung pada lamanya waktu relative yang dibutuhkan untuk memisahkan komponen-komponen tersebut yang berada pada fasa diam (Sparkman *et al.*, 2011).

Spektrofotometer massa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa sebagai penentu bobot molekul dan penentuan rumus molekul. Prinsip kerja dari MS ini ialah pengionan senyawa-senyawa kimia untuk menghasilkan molekul yang bermuatan atau fragmen molekul dan mengukur rasio massa/muatan. Molekul yang telah terionisasi akibat adanya penembakan elektron dengan energi tinggi akan menghasilkan ion dengan muatan positif, yang kemudian ion tersebut akan diarahkan menuju medan magnet dengan kecepatan yang tinggi. Medan listrik ini akan membelokkan ion agar dapat menentukan bobot molekulnya dan semua bobot

molekul dari molekul fragmen yang dihasilkan (David, 2005). Selanjutnya detektor akan menghitung muatan yang terinduksi atau arus yang dihasilkan ketika ion dilewatkan atau mengenai permukaan.

II.2.8 Spektrofotometri UV-VIS

Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu teknik analisis yang memakai sumber radiasi elektromagnetik berupa sinar ultraviolet dan sinar tampak (*visible*) dengan rentang panjang gelombang masing-masing berada pada rentang 190-380 nm dan 380-780 nm. Spektrofotometri UV-Vis biasa digunakan sebagai analisis kuantitatif karena melibatkan energi elektromagnetik yang cukup besar pada



molekul yang dianalisis (Khasanah et al., n.d.).

Gambar 6. Diagram skematik spektrofotometri UV-Vis Double Beam (Braga et al., 2019).

Prinsip kerja dari spektrofotometer UV-VIS yaitu apabila cahaya monokromatik melalui suatu larutan maka sebagian cahaya tersebut akan diserap, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi dipancarkan. Pengukuran absorbansi didasarkan pada tingkat penyerapan cahaya ketika berkas sumber cahaya dipisahkan menjadi panjang gelombang oleh kisi difraksi. Pada spektro UV-Vis double beam, cahaya monokromatik dibagi ke dalam dua berkas dengan intensitas yang sama, yaitu pada kuvet yang berisi blanko dan paa sampel yang akan dianalisis. Kedua sinar

cahaya kemudian akan diteruskan ke detektor yang akan membandingkan intensitas cahaya melalui media referensi dan sampel (Braga et al., 2019).

Setiap warna memiliki panjang gelombang yang spesifik, contohnya pada cahaya merah yang mempunyai panjang gelombang 660 nm, sementara cahaya yang berwarna hijau berada dipanjang gelombang 520 nm. Perbedaan komponen cahaya dapat dikarakterisasi berdasarkan panjang gelombang yang spesifik. Energi dari gelombang elektromagnetik memiliki keterkaitan dengan panjang gelombang, semakin besar energi yang dihasilkan, maka panjang gelombang akan lebih pendek. Sebagai contoh, sinar UV memiliki panjang gelombang yang lebih pendek dari sinar IR (*infrared*) tapi memiliki energi yang lebih besar dibandingkan dengan sinar IR (A. De Caro, 2015)

II.2.9 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

FTIR merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam suatu material baik yang berbentuk padat, cair ataupun gas dengan menggunakan berkas radiasi infra merah. Spektroskopi IR ini diukur dengan absorpsi dari radiasi sinar IR dengan setiap ikatan dalam molekul dan menghasilkan spektrum yang umumnya ditetapkan sebagai %transmitansi vs bilangan gelombang (Sharma et al., 2018).

Teknik spektrometri IR ini, dapat digunakan dalam dua varian yaitu transmisi dan reflektansi. Transmisi biasanya digunakan untuk menguji efek dari analisis sampel dalam bentuk padat, cair, dan gas sesuai dengan prosedur yang sesuai. Gas dan cairan ditempatkan dalam cuvettes khusus yang 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 dari 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 (Mantilaka et al., 2018).

II.2. 10 Particle Size Analyzer (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) merupakan instrumen yang digunakan untuk pengujian distribusi ukuran partikel dengan skala nanometer. Keabsahan dari hasil pengujian PSA sangat tergantung pada kebenaran serta ketelitian alat ukur dan alat uji yang memenuhi sistem mutu sesuai dengan standar ISO/IEC 17025:2008. Data yang dihasilkan berasal dari pengujian dengan metode yang telah divalidasi atau diverifikasi dari metode standar (Nuraeni et al., 2013).

Saat suatu berkas cahaya mengenai suatu partikel, berkas cahaya akan terhambat ke berbagai sudut sehingga intensitas cahaya yang diteruskan akan berkurang. Peristiwa inilah yang diistilahkan sebagai hamburan cahaya atau yang dikenal sebagai *light scattering*. Hamburan cahaya pada rentang cahaya tampak dapat memberikan beberapa informasi mengenai suatu partikel seperti ukuran, potensial zeta, serta bobot molekul (Øgandal, 2019). Karakteristik dari suatu material dapat berbeda setelah ukuran partikelnya berubah dalam skala ukuran nano, hal ini dikarenakan nanomaterial memiliki *surface area* yang besar daripada material awalnya sehingga dapat meningkatkan kekuatan dari sifat elektronik. Selain itu, pengaruh dari efek kuantum yang mendominasi dari suatu bahan dengan skala nano terutama pada pengaruh optik dan sifat magnetik material (Nuraeni et al., 2013).

Prinsip pengukuran instrument PSA berdasarkan pada hamburan cahaya laser oleh partikel-partikel dalam sampel. Cahaya yang berasal dari laser akan dipancarkan melalui jarum kecil yang kemudian dikirim ke partikel dalam sampel.

Kemudian partikel-partikel tersebut akan menghamburkan kembali cahayanya melalui jarum kecil dan masuk ke detektor. Sinyal analog yang terdeteksi akan diubah menjadi sinyal digital yang kemudian akan diolah menjadi deret hitung (Nuraeni et al., 2013).

Teknik pengukuran *Dynamic Light Scattering* (DLS) meliputi pengukuran intensitas hamburan cahaya pada sudut tertentu saat mengenai partikel. Ukuran partikel diperoleh dengan memasukkan data fluktuasi intensitas hamburan cahaya berdasarkan pada persamaan Stokes-Einstein sebagai berikut: (Anindya, 2018).

$$\frac{\overline{x^2}}{2t} = D = \frac{RT}{6\pi\eta r N} \quad \dots (1)$$

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

Partikel yang terdispersi dalam suatu cairan akan mengikuti suatu pola pergerakan acak tertentu yang disebut dengan gerak Brown. Persamaan dari Stokes-Einstein yang digunakan pada teknik DLS ini memodelkan hubungan antara mobilitas partikel Brownian dengan ukuran partikel, sehingga pada pengukuran DLS, sampel yang ingin diukur harus dalam bentuk yang terdispersi (Anindya, 2018).

II.2.11 Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X RAY (EDX)

Secara umum, ada dua tipe mikroskop yang sering digunakan yaitu mikroskop cahaya/optic dan mikroskop elektron. Namun, mikroskop yang sering digunakan adalah mikroskop cahaya yang memanfaatkan berkas cahaya tampak dan lensa optik. Batas resolusi yang digunakan dari mikroskop cahaya yang dibatasi oleh panjang gelombang *visible* yaitu setengah dari panjang gelombang sesuai dengan teori Abbe berdasarkan pada persamaan 2, dimana λ adalah panjang gelombang dan NA merupakan *numerical aperture*. Untuk meningkatkan batas resolusi tersebut, maka

dikembangkan mikroskop dengan menggunakan elektron dan panjang gelombang berkas elektron dapat diatur dengan mengubah nilai tegangan akselerasi yang diberikan ketika membangkitkan berkas elektron sesuai dengan bentuk persamaan 3, dengan nilai E merupakan energi akselerasi (Salzer et al., 2009).

$$d = \frac{\lambda}{2 (NA)} \quad \dots (2)$$

$$\lambda = \frac{1,22}{E^{1/2}} \quad \dots (3)$$

Prinsip dasar dari *Scanning Electron Microscope* (SEM) lebih memfokuskan pada berkas dari energi elektron daripada foton untuk memperbesar sebuah obyek (Choudhary & ka, 2017). SEM atau mikroskop elektron banyak dimanfaatkan untuk mengamati bentuk morfologi dari permukaan sampel dalam perbesaran yang tinggi dengan memanfaatkan berkas elektron dan energi yang tinggi.

Keuntungan dari SEM ini, mencakup dalam beragam aplikasinya seperti detail tiga dimensi dan pencitraan topografi serta informasi yang dikumpulkan dari detektor yang berbeda. SEM juga mudah dioperasikan karena telah dibantu dengan kemajuan teknologi komputer dan perangkat lunak. Selain itu, kemajuan teknologi dalam SEM modern memungkinkan pembuatan data dalam bentuk digital. Selain beberapa kelebihan di atas, kekurangan yang terdapat pada instrument ini yaitu ukuran dan biaya yang mahal dan memakan ruang yang cukup besar serta harus ditempatkan pada area yang bebas dari kemungkinan listrik, magnet, atau gangguan getaran. Perawatan instrument ini pun melibatkan tegangan yang tetap, arus ke kumparan elektromagnetik dan sirkulasi air dingin (Choudhary & ka, 2017).

Sinar X dihasilkan ketika berkas elektron yang dipancarkan dari pistol menembus dan berinteraksi dengan volume di bawah permukaan sampel. Prinsip dari penggunaan sinar x didefinisikan dengan cara fisika, dimana elektron antar medan dari spesimen akan melambat dan kehilangan energi elektron dan memancarkannya sebagai foton (Azad & Avin, 2019). Sampel yang dianalisis diiradiasi dengan berkas elektron yang bergerak secara statis melintasi permukaan sampel. Sinyal yang dihasilkan saat pancaran berinteraksi dengan permukaan spesimen termasuk dari

elektron sekunder, hamburan electron, elektron Auger, sinar X dan foton dengan energi yang berbeda. Interaksi dari berkas elektron dengan sampel menghasilkan emisi sinar x. Karakteristik dari sinar x yang spesifik pada elemen dipisahkan menjadi spektrum energi oleh detektor EDX yang menganalisis kelimpahan elemen tertentu dalam sampel dengan batas deteksi sekitar 1000 ppm atau 0,1% (Ellingham et al., 2018).

Alat SEM EDX memiliki dua monitor, dimana sistem kerja dari alat ini adalah dengan sistem vakum. Sebelum proses analisis berlangsung, penghilangan molekul udara di dalam alat dilakukan dengan menutup gas. Penghilangan molekul udara menjadi sangat penting karena jika ada molekul udara yang lain, elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran tersebut. Hal ini disebabkan karena elektron sangat kecil dan ringan. Di dalam alat ini terdapat sebuah pistol elektron yang memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda, kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel dan sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Pada monitor SEM, diatur spot size dan dikumpulkan. Sedangkan pada monitor EDX, ketika sinar elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan akan terbaca ke monitor. Hasil akan diperoleh dalam bentuk gambar permukaan sampel pada SEM dan bentuk grafik serta data unsur dari sampel yang dianalisis pada EDX (Keat et al., 2015).

II.3 Hipotesis

Beberapa hipotesis dalam penelitian ini, berdasarkan penjelasan dari latar belakang serta tinjauan pustaka diantaranya yaitu:

1. Sintesis AgNPs-MADC dapat dilakukan secara langsung melalui metode reduksi
2. Penambahan surfaktan tween 80 memberikan stabilitas yang baik dibandingkan dengan PEG 400

3. AgNPs-MADC memiliki efektivitas yang baik dalam menghambat pertumbuhan *lichen*, baik aplikasinya secara langsung (skala lapangan) maupun skala lab.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III. 1 Alat dan Bahan

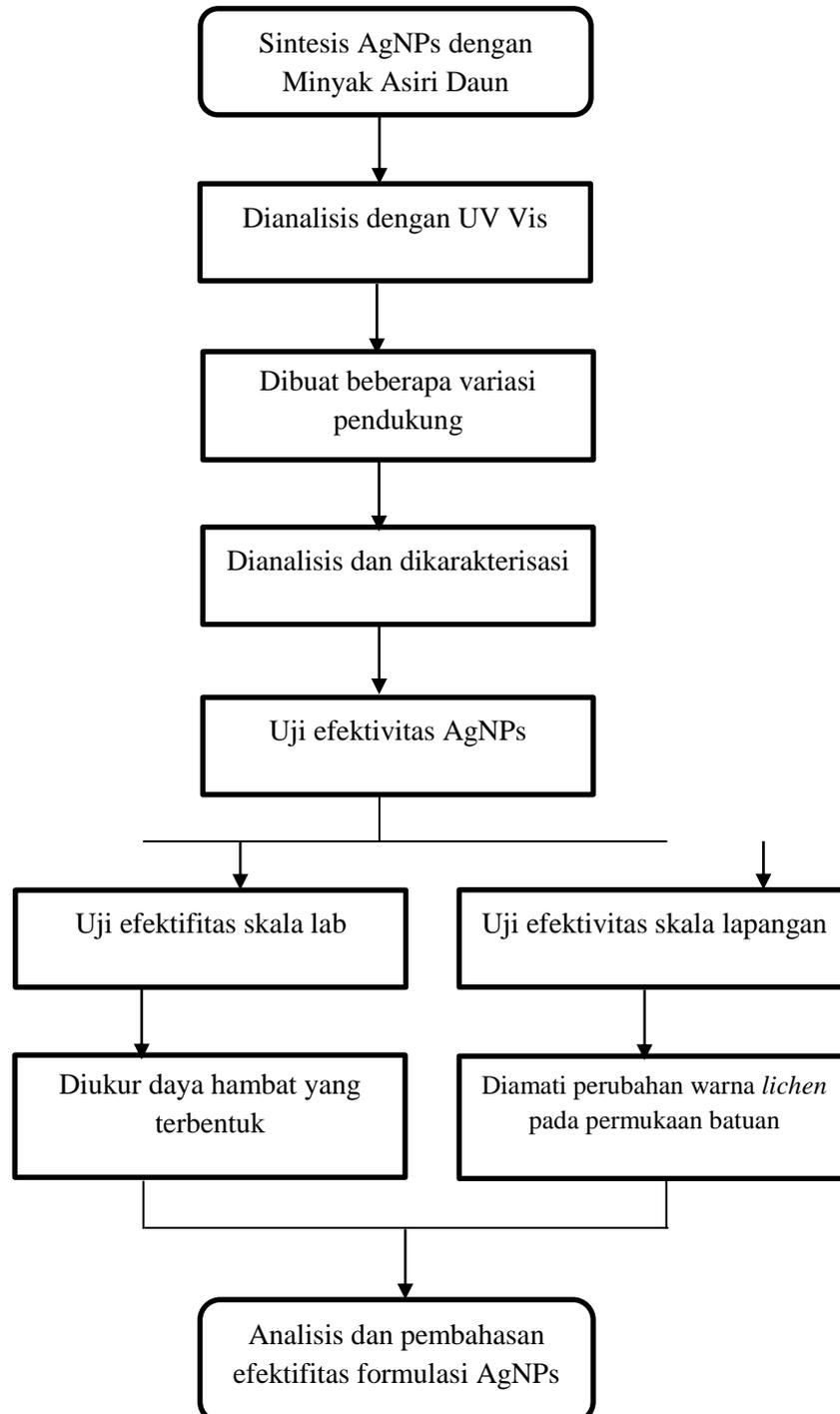
III.1.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu gelas beaker 100 mL, botol sampel 10 mL, gelas ukur 10 mL, gelas ukur 1 mL, pipet tetes, batang pengaduk, sendok sungs, spatula, neraca analitik, erlenmeyer 500 mL, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, scalpel, botol spray, kawat ose, batang L (spreader glass), Bunsen, microtube, pinset, sentrifugasi, oven, autoklaf, incubator, dan mikroskop. Selain alat-alat di atas, dalam penelitian ini juga menggunakan beberapa instrument seperti GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*), Uv-Vis (*Ultraviolet Visible Spectroscopy*), FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), PSA (*Particle Size Analyzer*), SEM EDX (*Scanning Electrone Microscope – Energy Dispersive X-Ray*) dan Scan 500.

III.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Minyak Atsiri Daun Cengkeh (MADC) yang dibeli dari local market penyulingan minyak atsiri Bantul Yogyakarta, Na₂SO₄ anhidrat, perak nitrat (AgNO₃) dengan kemurnian 90%, tween 80, PEG 400, medium PDA (*Potato Dextrose Agar*), NaCl 0,9%, aquadest, plastic wrap, kertas saring whatman, alumunium foil, spiritus, alkohol 70%, kapas,. sampel *lichen* yang diperoleh dari batuan candi Borobudur di Museum Borobudur.

III. 2 Bagan Alir Penelitian



III.3 Sintesis AgNPs dengan Minyak Atsiri Daun Cengkeh (MADC)

Sebelum melakukan sintesis AgNPs, minyak atsiri daun cengkeh dikarakterisasi menggunakan GC-MS untuk mengetahui kandungan senyawa dalam minyak atsiri. Sintesis AgNPs-MADC dilakukan dengan mencampurkan secara langsung 0,017 g AgNO_3 dengan 10 mL minyak atsiri daun cengkeh dalam gelas beaker 100 mL. Campuran tersebut diaduk hingga homogen dan AgNO_3 larut dengan sempurna. Campuran larutan yang telah homogen disimpan pada suhu ruang selama 24 jam. AgNPs-MADC yang terbentuk diamati sesuai dengan parameter penelitian dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

III.3.1 Pengaruh Variasi Waktu Penyimpanan terhadap Sintesis AgNPs-MADC

Sintesis AgNPs-MADC dilakukan dengan mencampurkan secara langsung 0,017 g AgNO_3 dengan 10 mL minyak atsiri daun cengkeh dalam gelas beaker 100 mL. Campuran tersebut diaduk hingga homogen dan AgNO_3 larut dengan sempurna. Campuran larutan yang telah homogen disimpan pada suhu ruang selama 24 jam. Larutan AgNPs-MADC diamati pada rentang waktu 1, 3, 5, 7, dan 9 hari. Masing-masing campuran reaksi diamati perubahan warnanya dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

III.3.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Berat AgNO_3 terhadap Sintesis AgNPs-MADC

Sintesis AgNPs-MADC juga dilakukan pada variasi konsentrasi dari berat AgNO_3 mulai dari 1, 3, 5, 7, 9, dan 10 mM dalam 10 mL minyak atsiri daun cengkeh. Disimpan pada suhu ruang selama 24 jam untuk menentukan konsentrasi berat optimum. Diamati perubahan warna yang terjadi dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

III.3.3 Pengaruh Konsentrasi Berat AgNO₃ dengan Penambahan Surfaktan Tween 80 / Polysorbate 80 (C₆₄H₁₂₄O₂₆) terhadap Pembentukan AgNPs-MADC

Sintesis AgNPs-MADC dilakukan dengan membuat beberapa variasi konsentrasi berat AgNO₃ (10, 12, dan 14 mM). Pada variasi ini dilakukan dengan mencampurkan AgNO₃ secara langsung masing-masing dengan berat 0,017; 0,0204; dan 0,0238 gram untuk masing-masing konsentrasi ke dalam 10 mL minyak atsiri daun cengkeh dalam gelas beaker 100 mL. Kemudian ditambahkan surfaktan tween 80 dan diaduk hingga homogen. Larutan yang telah tercampur homogen disimpan pada suhu ruang selama 24 jam dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

III.3.4 Pengaruh Variasi Berat AgNO₃ dengan Penambahan PEG 400 terhadap Pembentukan AgNPs-MADC

Penambahan kosurfaktan PEG 400 dilakukan untuk membandingkan stabilitas terbentuknya AgNPs dari penggunaan Tween 80 dan PEG 400 dengan menggunakan prosedur yang sama dalam pembentukan AgNPs. Sintesis AgNPs-MADC dilakukan dengan membuat beberapa variasi konsentrasi berat AgNO₃ (10, 12, dan 14 mM). Pada variasi ini dilakukan dengan mencampurkan AgNO₃ secara langsung masing-masing dengan berat 0,017; 0,0204; dan 0,0238 gram untuk masing-masing konsentrasi ke dalam 10 mL minyak atsiri daun cengkeh dalam gelas beaker 100 mL. Kemudian ditambahkan PEG 400 dan diaduk hingga homogen. Larutan yang telah tercampur homogen disimpan pada suhu ruang selama 24 jam dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

III.4 Karakterisasi AgNPs-MADC

Uji karakterisasi AgNPs-MADC dilakukan dengan menggunakan beberapa instrumen diantaranya yaitu spektrofotometer UV-Vis *Hitachi* UH 5300 untuk melihat nilai serapan maksimum dan absorbansi AgNPs yang diamati pada rentang 380-800 nm. Karakterisasi menggunakan FTIR *Perkin Elmer Spectrum* Versi 10.5.1 digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang mengindikasikan terbentuknya

AgNPs. Untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari AgNPs-MADC yang telah terbentuk menggunakan PSA *Horiba SZ-100*, Japan. SEM EDX *Phenom world* digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan partikel dan kandungan unsur yang terdapat dalam sediaan bahan tersebut.

III.5 Uji Aktivitas dan Efektivitas AgNPs-MADC

III.5.1 Uji Skala Lapangan

Uji aktivitas dari formulasi AgNPs pada skala lapangan dilakukan untuk mengetahui efektivitas AgNPs yang telah dibuat. Sebelum proses aplikasi bahan, dilakukan observasi terhadap batu yang menjadi obyek pengamatan. Larutan bahan AgNPs-MADC yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam botol spray untuk memudahkan proses aplikasi. Larutan AgNPs-MADC disemprotkan pada *lichen* yang tumbuh pada permukaan batuan. Setelah penyemprotan larutan bahan, dilakukan pengamatan visual dan dengan menggunakan *handy microscope* dengan rentang waktu pengamatan pada hari ke 1, 3, 6, 8 dan 10. Efektivitas dari AgNPs-MADC dalam membunuh *lichen* juga dibandingkan dengan kontrol (tanpa perlakuan).

III.5.2 Uji Skala Lab

III.5.2.1 Sterilisasi Peralatan

Semua peralatan yang digunakan dalam pengujian skala lab dicuci bersih dan dibilas dengan menggunakan alkohol 70% kemudian dibungkus dengan menggunakan kertas dan disterilisasi dalam oven pada suhu 180 °C selama 1 jam.

III.5.2.2 Pembuatan Medium Spesifik untuk Jamur

Dalam penelitian ini, medium yang digunakan untuk *lichen* yaitu *Potato Dextrose Agar* (PDA). PDA dilarutkan dengan aquadest diaduk hingga homogen dan dipanaskan dalam *microwave* hingga mendidih. Setelah proses pemanasan selesai dan larutan telah homogen, disterilisasi menggunakan autoclave pada suhu 121 °C selama 1,5-2 jam. Media yang telah steril dipindahkan ke dalam *petri dish* steril dan disimpan pada suhu ruang hingga media padat serta tidak terkontaminasi.

III.5.2.3 Sampling *Lichen*

Sampel *lichen* yang masih subur diambil dari museum Borobudur menggunakan *scalpel* dan dimasukkan ke dalam *microtube*. Kemudian sampel *lichen* tersebut dicuci menggunakan NaCl 0,9% dan dipisahkan dengan sentrifugasi pada kecepatan 1000 rpm selama 10 menit. Proses pencucian sampel dilakukan untuk memisahkan sampel dengan pengotornya.

III.5.2.4 Isolasi *Lichen*

Semua peralatan yang digunakan dalam aktivitas biologi dipastikan dalam keadaan steril. Pengambilan sampel *lichen* yang telah dibersihkan menggunakan kawat ose yang telah dibakar pada bunsen, kemudian ditanam pada media agar yang bebas dari kontaminasi. Setelah sampel *lichen* ditanam pada media agar, cawan petri ditutup menggunakan plastik wrap dan diinkubasi selama 3-5 hari. Setelah masa inkubasi selesai, dan adanya pertumbuhan jamur pada media, pilih jamur yang tumbuh dominan sebagai *lichen* dan dipisahkan dengan menggunakan metode geser untuk memisahkan sel-sel jamur. Setelah adanya pertumbuhan *lichen* dilakukan proses inokulasi (peremajaan jamur pada media baru yang steril) pada tabung reaksi dengan media agar yang dibuat miring dan perbanyak stok untuk proses pengujian selanjutnya.

III.5.2.5 Uji Efektivitas AgNPs terhadap Daya Hambat Pertumbuhan *Lichen*

Siapkan beberapa cawan petri steril yang berisi media PDA, kemudian diambil sampel *lichen* yang telah diinokulasi dan dilakukan penanaman dengan kawat ose keseluruh permukaan media. Siapkan beberapa kertas saring berukuran kecil yang telah direndam dalam formulasi AgNPs dengan berbagai konsentrasi, kemudian kertas saring tersebut diletakkan pada media agar yang telah ditanam oleh sampel *lichen*. Simpan dalam inkubasi pada suhu selama 3-5 hari dan diamati zona bening yang terbentuk serta lakukan pengukuran daya hambat menggunakan Scan 500.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV. 1 Karakteristik Minyak Atsiri Daun Cengkeh (MADC)

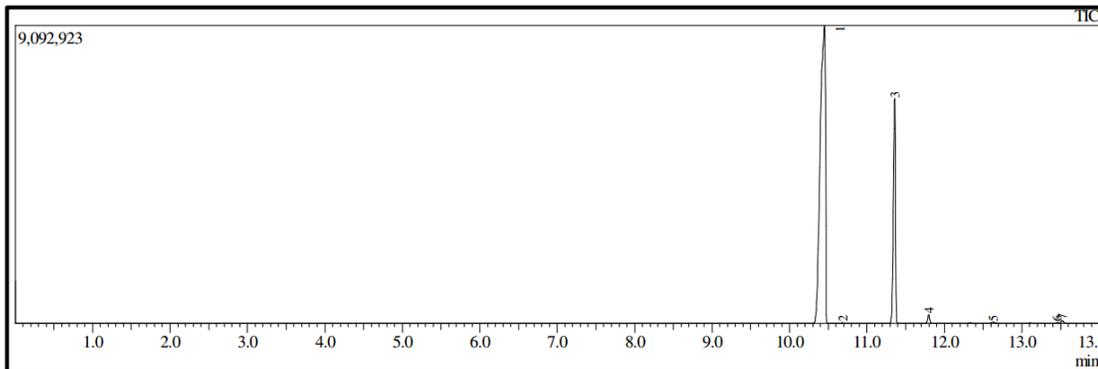
Penentuan kualitas minyak atsiri didasarkan pada sifat fisik yang terdiri dari warna, bau, indeks bias serta kelarutannya dalam etanol 70%. Sedangkan untuk mengetahui komponen senyawa yang terkandung dalam minyak atsiri daun cengkeh dapat dilihat dari hasil karakterisasi menggunakan GC MS. Berdasarkan dari hasil pengamatan, penentuan kualitas MADC berdasarkan sifat fisik yang sesuai dengan standar SNI 06-2387-2006 tentang minyak daun cengkeh, maka diperoleh data sebagai berikut (Tabel 2).

Tabel 2. Karakteristik Minyak Atsiri Daun Cengkeh

Karakteristik	Standar SNI 06-2387-2006	Hasil Pengamatan
Warna	Kuning- Coklat Tua	Kuning
Bau	Khas Minyak Cengkeh	Khas Minyak Cengkeh
Indeks Bias	1,527-1,535	1,527
Bobot Jenis	1,025-1,049	1,028
Eugenol total	Min. 78	76,03

Sifat fisik dari minyak atsiri daun cengkeh (Tabel 2) menunjukkan bahwa hasil pengamatan telah memenuhi standar yang telah ditentukan berdasarkan SNI 06-2387-2006 dengan indeks bias yang dimiliki sebesar 1,527 pada suhu 27,6 °C. Nilai indeks bias dipengaruhi oleh jumlah rantai karbon dan ikatan rangkap. Semakin banyak jumlah dari rantai karbon dan ikatan rangkap, maka nilai indeks bias akan semakin besar. Penentuan komponen senyawa yang terkandung dalam MADC dikarakterisasi dengan menggunakan GC-MS Shimadzu QP. Prinsip dari analisis ini

yaitu berdasarkan pada pemisahan komponen-komponen dalam campuran senyawa berdasarkan perbedaan titik didihnya dengan menggunakan kromatografi gas (GC) dan masing-masing komponen diidentifikasi dengan spektrum massa (MS) yang memiliki ketelitian yang tinggi. Analisis data MS dilakukan dengan mencocokkan pola fragmentasi dari spektra massa dengan database pada hasil yang ditunjukkan pada *National Institute Standards and Technology Mass Spectral*. Kromatogram dan komposisi senyawa minyak atsiri daun cengkeh ditunjukkan pada Gambar 7 dan Tabel 3.



Gambar 7. Karakterisasi MADC dengan GC

Tabel 3. Senyawa Hasil Identifikasi GC MS dari Minyak Atsiri Daun Cengkeh

Peak	RT	Senyawa	%Area	Golongan Senyawa
1	10.450	Eugenol	76.03	Senyawa Aromatik
2	10.686	Alpha-Copaene	0.04	Seskuiterpen
3	11.358	Trans-caryophyllene	25.54	Seskuiterpen
4	11.796	Alpha-humulene	0.86	Seskuiterpen
5	12.629	Alpha-copaene	0.16	Seskuiterpen
6	12.455	Patchulane	10.05	Seskuiterpen
7	13.520	Caryophyllene oxide	0.32	Seskuiterpen

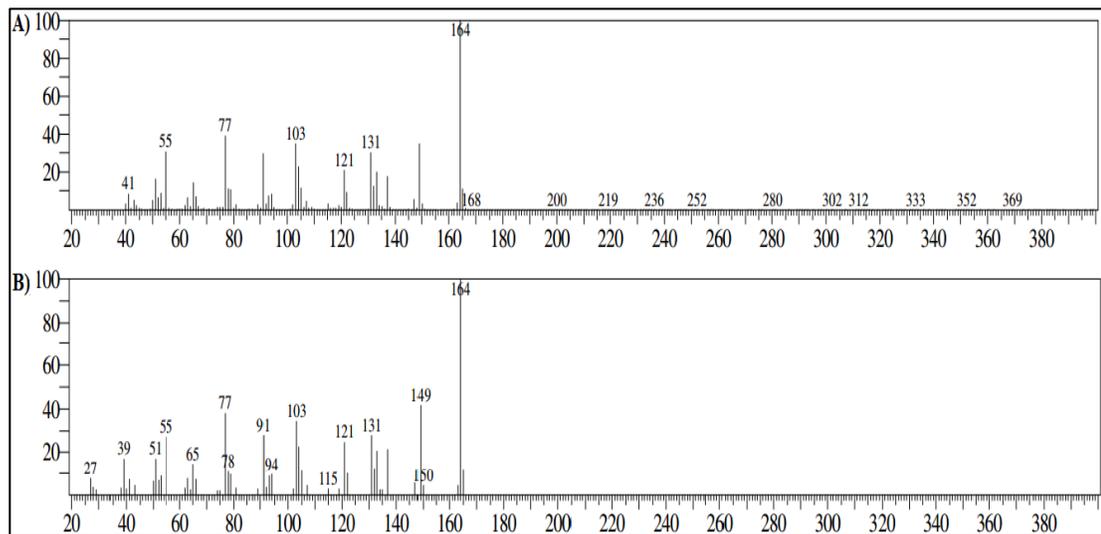
Hasil karakterisasi MADC menggunakan GC MS berdasarkan pada Gambar 7, menunjukkan bahwa terdapat tujuh puncak senyawa yang terkandung

dalam minyak atsiri daun cengkeh. Puncak tertinggi pada kromatogram merupakan senyawa dominan yang terkandung dalam MADC. Berdasarkan kromatogram tersebut, terdapat dua puncak tertinggi (1 dan 3) yang memiliki kelimpahan relatif paling besar diantara puncak-puncak lainnya yaitu sebesar 76,3% dan 25,54% (eugenol dan *trans-caryophyllene*), dimana kedua puncak ini merupakan senyawa dominan yang terdapat dalam MADC dan lima puncak senyawa lainnya memiliki kelimpahan relatif yang lebih kecil.

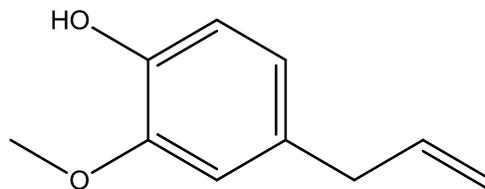
Tabel 3, menunjukkan komposisi senyawa yang terkandung dalam minyak atsiri daun cengkeh. Senyawa dengan titik didih yang lebih rendah akan mudah menguap dan keluar lebih dulu menuju detektor, sehingga waktu retensi yang dibutuhkan akan lebih cepat. Waktu retensi pada masing-masing senyawa ditentukan oleh titik didih dari senyawa tersebut. Perbedaan waktu retensi dari masing-masing senyawa juga disebabkan oleh adanya interaksi dengan fasa diam yang berupa kolom. Pada sistem kromatografi gas, kolom yang digunakan bersifat nonpolar sehingga senyawa yang bersifat polar akan keluar lebih dulu sedangkan senyawa yang bersifat nonpolar akan tertahan lebih lama dalam fasa diam tersebut. Kromatogram yang dihasilkan terbentuk berdasarkan pada jumlah ion total yang terbentuk dari komponen senyawa yang terkandung dalam MADC. Sehingga, semakin besar persentase suatu komponen dalam sampel tersebut, maka puncak yang dihasilkan akan semakin tinggi (Harianingsih et al., 2017).

Puncak-puncak senyawa yang teridentifikasi pada kromatogram diidentifikasi lebih lanjut dengan menganalisis dari spektrum massanya. Masing-masing senyawa yang teridentifikasi pada spektrum massa kemudian dibandingkan dengan data yang terdapat dalam database WILLEY7.LIB dengan melihat nilai Similarity Index (SI), semakin tinggi nilai SI menunjukkan bahwa senyawa tersebut memiliki kemiripan dengan senyawa standar database sehingga dapat dengan mudah mengetahui komponen senyawa yang terkandung dalam MADC. Berdasarkan pada Tabel 3, puncak 1 dari kromatogram diketahui adalah senyawa eugenol yang

merupakan komponen senyawa utama dalam MADC dan memiliki waktu retensi sebesar 10,450 dengan luas puncak 76,03% serta memiliki nilai SI sebesar 97%.



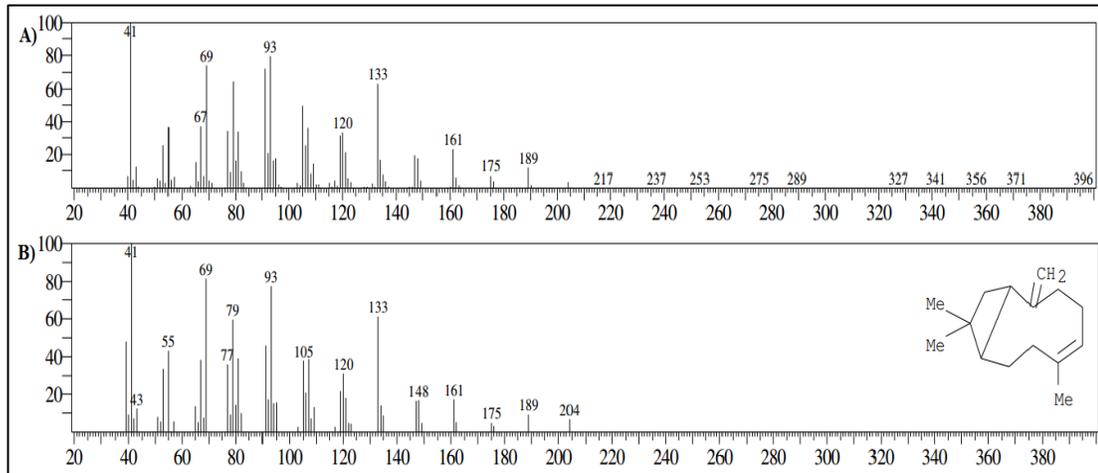
Gambar 8. Spektrum Massa Senyawa Puncak 1 (a) Spektrum Massa Senyawa Eugenol (b)



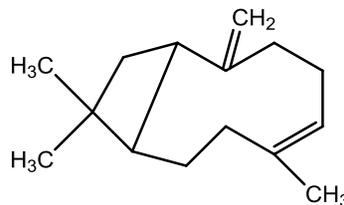
Gambar 9. Struktur senyawa Eugenol

Hasil analisis terhadap spektrum massa pada puncak 1 (Gambar 8a), merupakan senyawa Eugenol dengan rumus molekul $C_{10}H_{12}O_2$ dengan struktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Hal ini berdasarkan pada kemiripannya dengan fragmentasi senyawa eugenol dengan nilai SI mencapai 97. Eugenol merupakan komponen senyawa utama yang terkandung dalam MADC dengan kandungan sebesar 76,03%. Berdasarkan literatur review, hasil dari penelitian ini sama dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Nassar et al., 2007), dimana dalam penelitian tersebut mengatakan bahwa terdapat beberapa senyawa yang

mudah menguap yang diidentifikasi menggunakan GC-MS, dengan komponen utama berupa senyawa eugenol (71,56%)



Gambar 10. Spektrum Massa Senyawa Puncak 3 (a); Spektrum Massa Senyawa *trans-carryophyllene* (b)



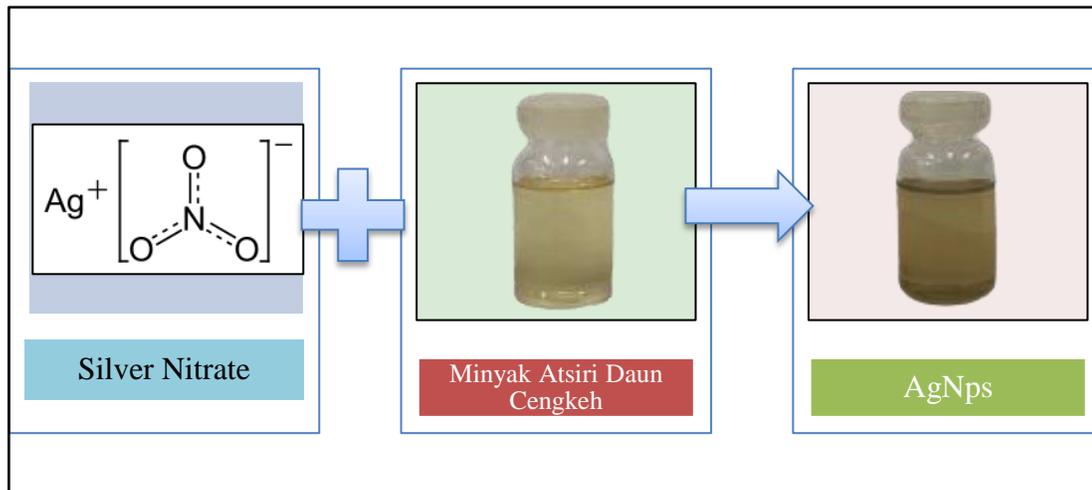
Gambar 11. Struktur senyawa *Trans-Carryophyllene*

Hasil analisis terhadap spektrum massa pada puncak 3 (Gambar 10a), kemungkinan merupakan senyawa *trans-carryophyllene* dengan rumus molekul $C_{15}H_{24}$ dengan struktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Hal ini berdasarkan pada kemiripannya dengan fragmentasi senyawa *trans-carryophyllene* dengan nilai SI mencapai 96.

IV. 2 Sintesis AgNPs Minyak Atsiri Daun Cengkeh (AgNPs-MADC)

Sintesis AgNps-MADC dilakukan dengan menggunakan metode reduksi yang merupakan metode sederhana dan ramah lingkungan karena menggunakan bahan alam seperti minyak atsiri sebagai reduktor. Senyawa aktif dalam minyak atsiri

seperti eugenol diketahui mampu bekerja secara aktif dalam mereduksi perak nitrat (AgNO_3). Berikut skema sintesis AgNPs-MADC dengan menggunakan metode reduksi (Gambar 12).



Gambar 12. Mekanisme Sintesis AgNPs-MADC Metode Reduksi

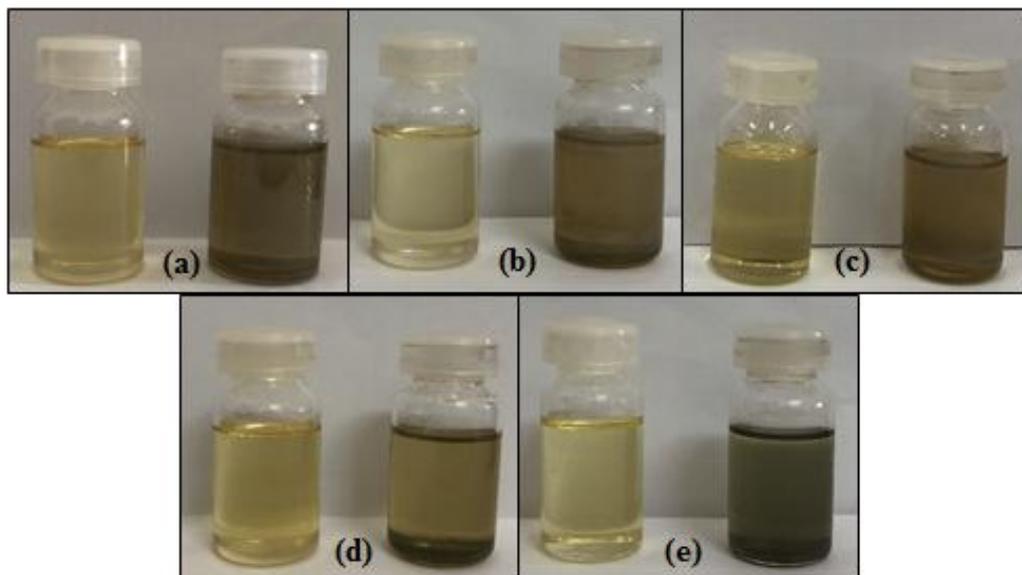
Pembentukan AgNPs melalui reduksi AgNO_3 diamati dari perubahan warna larutan AgNO_3 yang terjadi akibat hasil bioreduksi pada minyak atsiri daun cengkeh. AgNPs memiliki karakteristik warna kuning kecoklatan karena adanya eksitasi dari getaran pada permukaan plasmon (SPR). Pengamatan perubahan warna larutan dilakukan setelah 24 jam dapat dilihat pada Gambar 12. Terbentuknya AgNPs menunjukkan bahwa ion silver (Ag^+) dalam media reaksi telah diubah menjadi unsur perak (Ag^0). Hal ini dikarenakan adanya reaksi yang terjadi antara senyawa organik yang berasal dari MADC yang berperan sebagai reduktor dengan garam nitrat AgNO_3 . Setelah dilihat dari perubahan warna larutan, selanjutnya dikonfirmasi untuk memperkuat dugaan terbentuknya AgNPs dengan melakukan analisis menggunakan UV-Vis pada panjang gelombang 380-800 nm. Menurut (Solomon et al., 2007), melaporkan bahwa terbentuknya AgNPs dapat diketahui dengan adanya puncak serapan pada rentang panjang gelombang 370-500 nm, sedangkan pada penelitian lainnya melaporkan bahwa pembentukan dari AgNPs yang dikonfirmasi dengan

spektrofotometer UV-Vis berada pada panjang gelombang 300-700 nm (Keshari et al., 2020).

Dalam proses sintesis AgNPs dengan menggunakan minyak atsiri, terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil yang diperoleh yaitu kandungan utama dari bioreduktor yang digunakan, media tempat reaksi berlangsung, serta kondisi reaksi (pelarut, stabilizer, dan suhu) (Keat et al., 2015). Dalam penelitian ini, proses awal sintesis AgNPs dimulai dengan optimasi parameter sintesis berupa waktu penyimpanan terhadap stabilitas pembentukan AgNPs, konsentrasi berat AgNO_3 yang digunakan serta pengaruh variasi konsentrasi AgNO_3 dengan penambahan surfaktan tween 80 dan polimer PEG 400. Hasil dari sintesis AgNPs-MADC kemudian dikarakterisasi dengan UV-Vis, FTIR, PSA dan SEM EDX.

IV.2.1 Pengaruh Variasi Waktu Penyimpanan

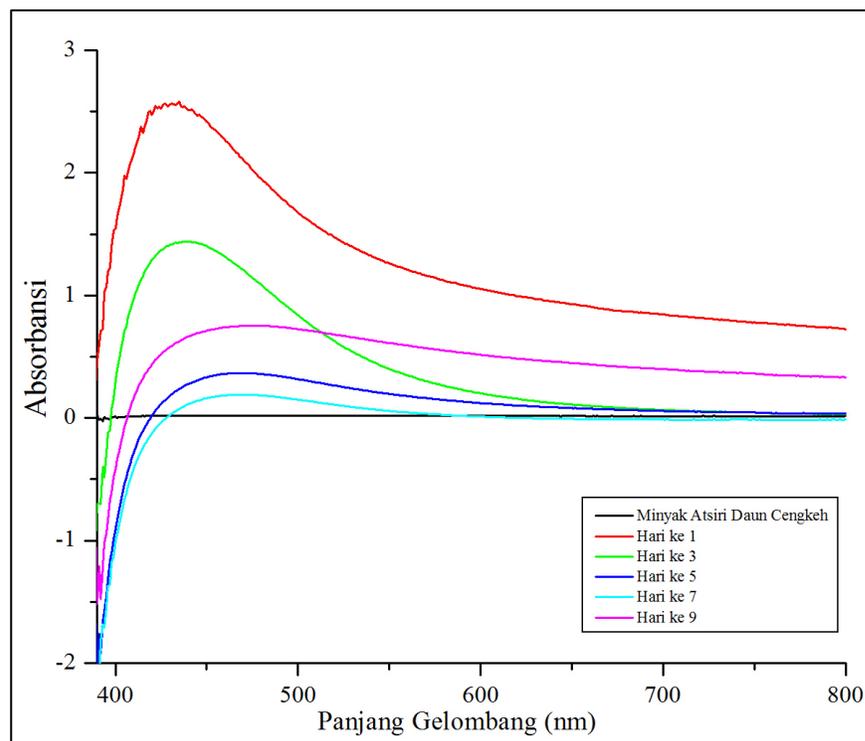
Sintesis AgNPs minyak atsiri daun cengkeh diamati setiap 24 jam selama 9 hari (1, 3, 5, 7 dan 9 hari). Stabilitas pembentukan AgNPs dapat diidentifikasi dari perubahan warna larutan serta panjang gelombang maksimum yang dihasilkan dari



masing-masing larutan berdasarkan waktu penyimpanannya.

Gambar 13. Pengamatan visual AgNPs-MADC berdasarkan variasi waktu penyimpanan; 1 hari (a); 3 hari (b); 5 hari (c); 7 hari (d) dan 9 hari (e)

Selama periode awal reaksi, yaitu setelah 24 jam (1 hari) larutan AgNO_3 telah menunjukkan perubahan warna dan intensitasnya tidak menunjukkan perubahan yang signifikan hingga hari ke 3. Peningkatan waktu reaksi mengakibatkan perubahan SPR yang disebabkan oleh nanopartikel yang mulai terbentuk. Namun, pada hari ke 5 hingga hari ke 9 warna yang ditunjukkan dari larutan AgNPs-MADC sedikit memudar dari warna sebelumnya. Pembentukan AgNPs-MADC dikonfirmasi lebih lanjut menggunakan spektrofotometer UV-Vis seperti yang ditunjukkan pada Gambar



14.

Gambar 14. Spektra UV-Vis pengaruh waktu penyimpanan terhadap stabilitas pembentukan AgNPs-MADC

Analisis UV-Vis telah banyak digunakan untuk mengkonfirmasi stabilitas dari pembentukan AgNPs. Pada umumnya, AgNPs memiliki *Surface Plasmon Resonance* (SPR) karena adanya osilasi elektron bebas. Sintesis AgNPs-MADC

menunjukkan penyerapan gelombang elektromagnetik yang kuat dalam rentang yang terlihat karena sifat optik dari SPR yang terjadi akibat adanya osilasi kolektif dari elektron secara mutual dengan datangnya cahaya. Nanopartikel perak memiliki panjang gelombang maksimum pada rentang 400-500 nm yang merupakan karakteristik dari terbentuknya AgNPs (Almasoud et al., 2021). Berdasarkan pada Gambar 14, menunjukkan spektra UV-Vis pembentukan AgNPs berdasarkan pada fungsi waktu penyimpanan. Munculnya puncak serapan pada kisaran tertentu pada pembentukan AgNPs disebabkan karena adanya resonansi permukaan plasmon. Puncak serapan maksimum berdasarkan waktu penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Puncak serapan pembentukan AgNPs berdasarkan waktu penyimpanan

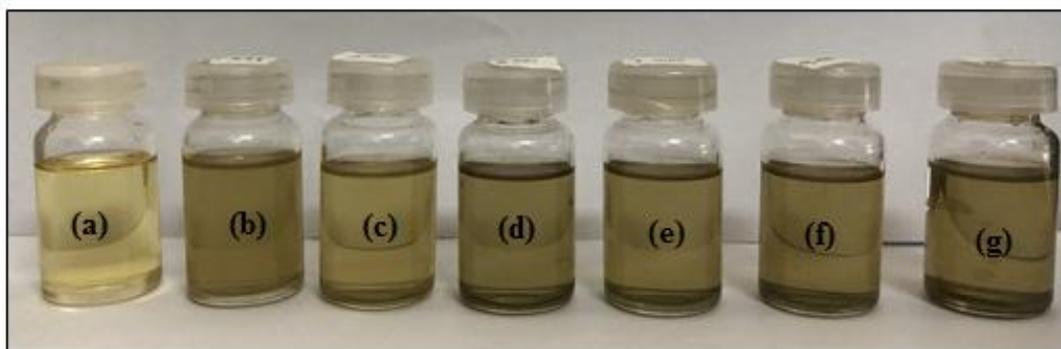
Waktu penyimpanan (hari)	λ_{maks} (nm)	Abs
1	431	2.5704
3	439	1.4407
5	468	0.3677
7	470	0,1914
9	475	0.7539

Nukleasi AgNPs pada hari ke 1 diamati pada panjang gelombang 431 nm, yang menunjukkan bahwa sintesis AgNPs mulai terbentuk. Mulai terbentuknya AgNPs pada panjang gelombang tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Almasoud et al., 2021) yang menyebutkan bahwa AgNPs mulai terbentuk pada panjang gelombang maksimum 400-500 nm. Intensitas puncak serapan terus mengalami peningkatan hingga hari ke 9 akibat adanya efek SPR dalam campuran larutan. SPR sangat berpengaruh pada bentuk serta ukuran dari nanopartikel. Pergeseran puncak disebabkan karena pertumbuhan partikel yang dapat divisualisasikan dari perubahan warna yang terjadi karena emisi dari permukaan plasmon.

Berdasarkan Gambar 14 dan didukung dengan Tabel 4, menunjukkan spektra dari UV-Vis pada koloid perak yang diamati pada rentang 380-800 nm. Dalam penelitian ini, puncak absorpsi yang dihasilkan dari sintesis AgNPs-MADC sebagai fungsi variasi waktu penyimpanan berada pada rentang 431-475 nm dengan nilai absorbansi pada rentang 0,1914-2,5704. Pergeseran puncak yang terjadi pada hari ke 1 hingga hari ke 9 mengalami pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih besar. Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi et al., 2011, melaporkan bahwa pergeseran puncak serapan ke panjang gelombang yang lebih besar menunjukkan bahwa kestabilan dari AgNPs masih rendah karena terjadinya proses aglomerasi. Sehingga dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyimpanan larutan AgNO_3 , maka larutan tersebut akan mengalami aglomerasi dan AgNPs mulai terbentuk setelah 24 jam (1 hari).

IV.2.2 Pengaruh variasi konsentrasi AgNO_3 dalam sintesis AgNPs-MADC

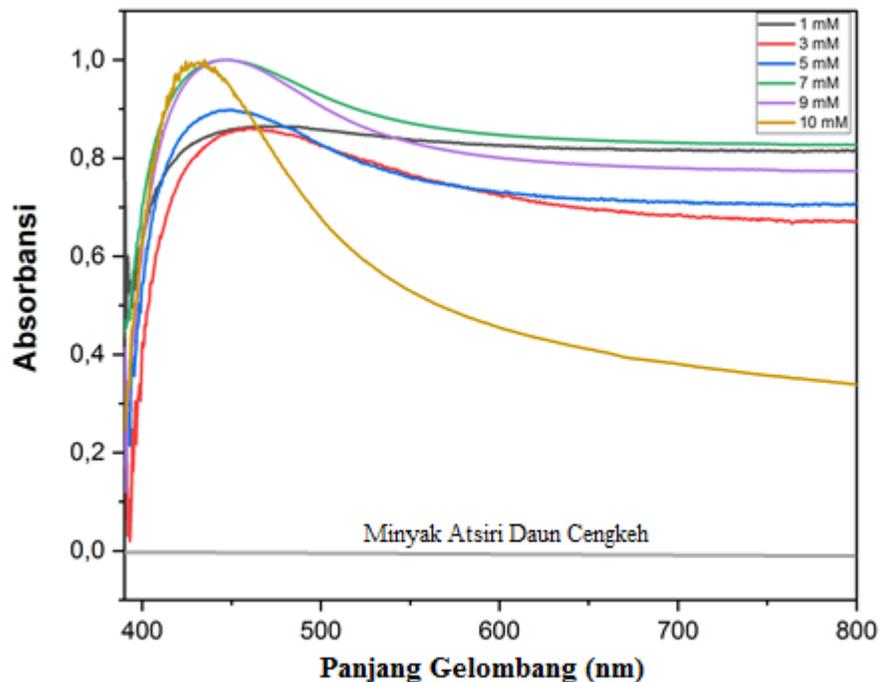
Sintesis AgNPs-MADC berdasarkan variasi konsentrasi AgNO_3 dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum yang dibutuhkan untuk membentuk AgNPs-MADC dalam 10 mL minyak atsiri. Konsentrasi optimum yang dihasilkan juga



mempengaruhi besar kecilnya ukuran partikel.

Gambar 15. Variasi pembentukan AgNPs berdasarkan variasi konsentrasi AgNO_3 ; MADC (a); 1 mM (b); 3 mM (c); 5 mM (d); 7 mM (e); 9 mM (f) dan 10 mM (g)

Sintesis AgNPs-MADC berdasarkan variasi konsentrasi AgNO_3 yang digunakan yaitu 1, 3, 5, 7, 9, dan 10 mM dalam 10 mL MADC. Berdasarkan hasil sintesis AgNPs maka diperoleh hasil visual seperti pada Gambar 15 yang menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO_3 yang digunakan, maka perubahan warna larutan akan semakin gelap, meskipun pada penelitian ini perubahan warna larutan pada masing-masing tidak begitu signifikan. Hasil pengamatan visual terhadap perubahan warna pada larutan selanjutnya dianalisis dengan menggunakan UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang maksimum dari masing-masing larutan berdasarkan variasi konsentrasi.



Gambar 16. Spektra UV-Vis AgNPs-MADC berdasarkan variasi konsentrasi AgNO_3

Gambar 16 menunjukkan spektra UV-Vis AgNPs sebagai fungsi dari variasi konsentrasi AgNO_3 . Berdasarkan gambar tersebut, dapat diamati bahwa puncak resonansi permukaan plasmon (SPR) masing-masing terbaca pada 468 nm, 460 nm, 449 nm, 448 nm, 447 nm dan 429 nm untuk masing-masing berat AgNO_3 dalam

sintesis AgNPs-MADC. Dari data yang diperoleh, diketahui bahwa semakin tinggi berat dari AgNO₃ yang digunakan, maka panjang gelombang yang dihasilkan pun mengalami pergeseran ke arah yang lebih kecil. Masing-masing dari berat AgNO₃

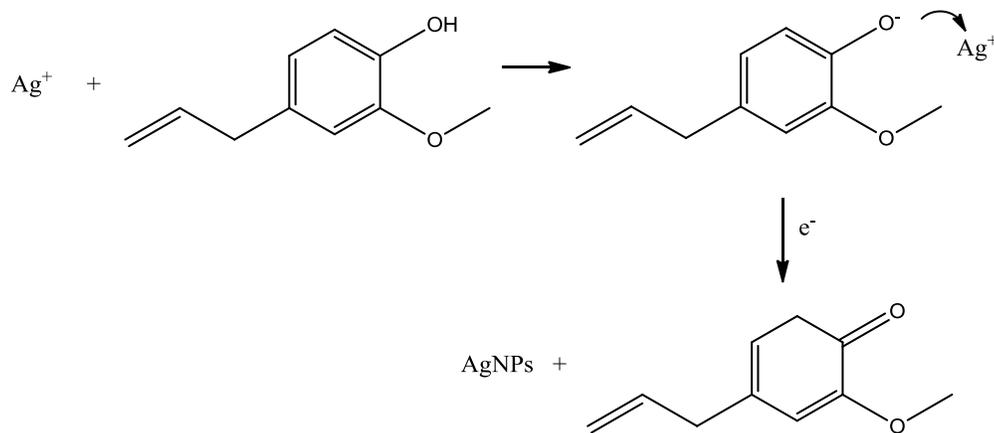
Konsentrasi AgNO ₃ (mM)	λ_{max} (nm)	Abs
1	468	0,5875
3	460	0,5257
5	449	0,5562
7	448	0,7550
9	447	0,7619
10	429	2,4970

tersebut memiliki serapan pada panjang gelombang yang sesuai dengan karakteristik dari AgNPs dan terlihat bahwa pada konsentrasi 10 mM menunjukkan puncak serapan yang lebih stabil. Sehingga, pada variasi selanjutnya AgNO₃ dengan konsentrasi 10 mM digunakan sebagai titik awal variasi konsentrasi dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan penambahan Tween 80/PEG 400.

Tabel 5. Puncak serapan maksimum pembentukan AgNPs-MADC

Pengamatan panjang gelombang pada AgNPs-MADC variasi konsentrasi AgNO₃ dilakukan pengukuran pada rentang 380-800 nm. Berdasarkan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa adanya pergeseran puncak serapan ke arah panjang gelombang yang lebih kecil seiring dengan meningkatnya konsentrasi AgNO₃. Pergeseran puncak serapan antara masing-masing konsentrasi tidak begitu signifikan. Pergeseran puncak serapan pada konsentrasi 1 hingga 10 mM masing-masing berada pada panjang gelombang 468, 460, 449, 448, 447 dan 429 nm dengan absorbansi yang terukur yaitu 0,587; 0,5257; 0,262; 0,7550; 0,7619; dan 2,4970. Berdasarkan hasil analisis AgNPs-MADC pada variasi konsentrasi AgNO₃ menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO₃ yang digunakan, maka absorbansi yang dihasilkan pun semakin besar. Spektrum serapan pada UV-Vis telah terbukti cukup sensitif terhadap pembentukan koloid perak karena nanopartikel perak menunjukkan puncak serapan yang intens ke permukaan plasmon sehingga terjadinya eksitasi elektron

dalam logam perak tersebut (Gao et al., 2005). Eugenol merupakan kelompok senyawa fenolik, sehingga kemungkinan mekanisme reaksi reduksi yang terjadi pada senyawa fenolik terhadap perak nitrat dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Mekanisme Reduksi Ion Perak pada Senyawa Eugenol

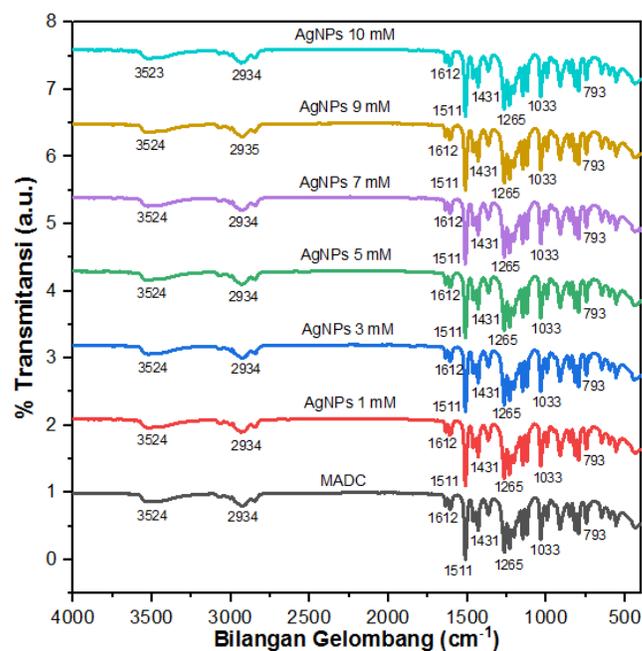
Mekanisme reduksi oleh kandungan senyawa dalam minyak atsiri terhadap garam logam, dijelaskan dalam beberapa tahap. Fase pertama adalah fase dimana terjadinya reduksi Ag^+ dan nukleasi dari Ag^0 yang telah tereduksi, dilanjutkan dengan koalisi spontan dari sejumlah nanopartikel yang berdekatan membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar, seiring dengan peningkatan stabilitas termodinamika dari nanopartikel, proses ini mengacu pada prinsip Ostwal ripening. Fase akhir yaitu dimana bentuk akhir dari nanopartikel terbentuk (Keat et al., 2015).

Komponen biomolekul seperti flavonoid, terpenoid, asam amino, alkaloid, senyawa fenolik maupun senyawa biomolekul lainnya yang mengandung gugus fungsi aldehid yang terdapat dalam komponen utama pada suatu tanaman dapat

berfungsi sebagai reduktor pada ion perak. Gugus fungsi dalam senyawa metabolit sekunder tersebut mampu mendonorkan elektron ke ion Ag^+ untuk menghasilkan Ag^0 dalam bentuk nanopartikel (Otari et al., 2014). Mekanisme pembentukan nanopartikel terdiri dari tiga tahap yaitu reduksi ion, pengelompokan dan pembentukan AgNPs. Masing-masing tahapan ini tergantung pada sifat dari zat pereduksi dan konsentrasi dari agen pereduksi (AgNO_3) (Jain & Mehata, 2017)..

Pada prinsipnya, gugus fungsional yang terdapat pada MADC menyebabkan Ag^+ tereduksi menjadi Ag^0 karena adanya reaksi oksidasi yang terjadi dari ion Ag^+ yang berasal dari AgNO_3 . Selanjutnya, gugus fungsi yang terdapat dalam senyawa metabolit sekunder akan mendonorkan elektron yang dimilikinya ke ion Ag^+ untuk menghasilkan pembentukan AgNPs.

Terbentuknya nanopartikel perak tidak hanya dilihat dari perubahan warna yang terjadi pada larutan, namun dapat diperkuat lagi dengan berbagai analisis dan karakterisasi ini mulai dari UV-Vis, FTIR, PSA serta SEM EDX. Secara umum, sintesis AgNPs dengan metode reduksi kimia melibatkan tiga komponen dalam proses sintesisnya. Tiga komponen tersebut meliputi prekursor logam, dalam penelitian ini menggunakan AgNO_3 , reduktor yang berupa MADC dan agen penstabil. Namun dalam proses sintesis AgNPs pada tahap awal ini hanya menggunakan dua komponen utama saja yaitu prekursor logam dan reduktor. Penambahan agen penstabil menggunakan tween 80 dan PEG 400 dilakukan pada



tahap sintesis AgNPs selanjutnya sebagai variasi dalam pembentukan nanopartikel perak.

Gambar 18. Spektra FTIR AgNPs-MADC berdasarkan variasi konsentrasi AgNO₃

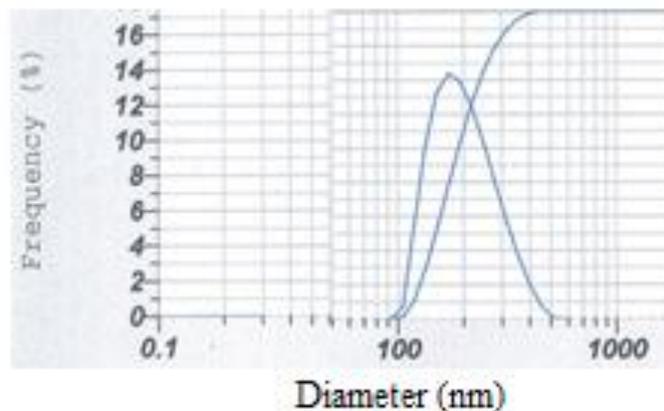
Spektrum dari pita serapan IR pada minyak atsiri daun cengkeh dengan berbagai variasi konsentrasi memiliki intensitas yang relatif tidak berubah. Pergeseran biangan yang terjadi pada gugus OH menunjukkan adanya interaksi dengan Ag untuk membentuk AgNPs. Dalam penelitian ini, pergeseran bilangan gelombang pada gugus -OH yang terjadi pada konsentrasi AgNO₃ 10 mM dengan intensitas serapan pada 3523 cm⁻¹.

Tabel 6. Bilangan gelombang AgNPs-MAD variasi konsentrasi AgNO₃

MADC	Bilangan Gelombang (cm-1)						Gugus Fungsi
	AgNPs-MADC						
	1 mM	3 mM	5 mM	7 mM	9 mM	10 mM	
3524	3524	3524	3524	3524	3524	3523	-OH
2934	2934	2934	2934	2934	2935	2934	C-H sp ³
							C=C
1612	1612	1612	1612	1612	1612	1612	aromatis
							C=C
1511	1511	1511	1511	1511	1511	1511	aromatis
1265	1265	1265	1265	1265	1265	1265	-OCH ₃
1033	1033	1033	1033	1033	1033	1033	C-O

Karakterisasi menggunakan FTIR memberikan informasi tentang kemungkinan gugus fungsi yang terlibat dalam pembentukan nanopartikel perak melalui bilangan gelombang yang terdeteksi. Tabel 6, menunjukkan bilangan gelombang yang terdeteksi dengan berbagai variasi konsentrasi. Puncak pertama berada pada wilayah bilangan gelombang 3524-3523 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi *stretching* pada gugus fungsi O-H yang berasal dari kelompok senyawa fenolik. Pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang 2934 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi dari gugus CH sp³. Gugus C=C aromatis terbaca pada pita serapan

1511 dan 1612 cm^{-1} dan pada pita serapan pada 1033 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-O. Puncak serapan dengan intensitas yang sangat rendah muncul pada 1734 cm^{-1} yang hanya terlihat pada AgNPs-MADC dengan konsentrasi 9 mM dan 10 mM. Adanya puncak serapan pada bilangan gelombang tersebut dengan intensitas yang rendah menunjukkan terjadinya oksidasi gugus -OH menjadi gugus -C=O yang terjadi selama proses sintesis AgNPs berlangsung. Ion Ag^+ akan mereduksi secara



bersamaan menjadi AgNPs. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi menyebabkan adanya perubahan spektrum pada daerah serapan masing-masing gugus fungsi dengan intensitas yang tidak begitu berbeda, dan munculnya beberapa puncak baru serta beberapa puncak yang hilang dari spektra FTIR minyak atsiri daun cengkeh dengan AgNPs.

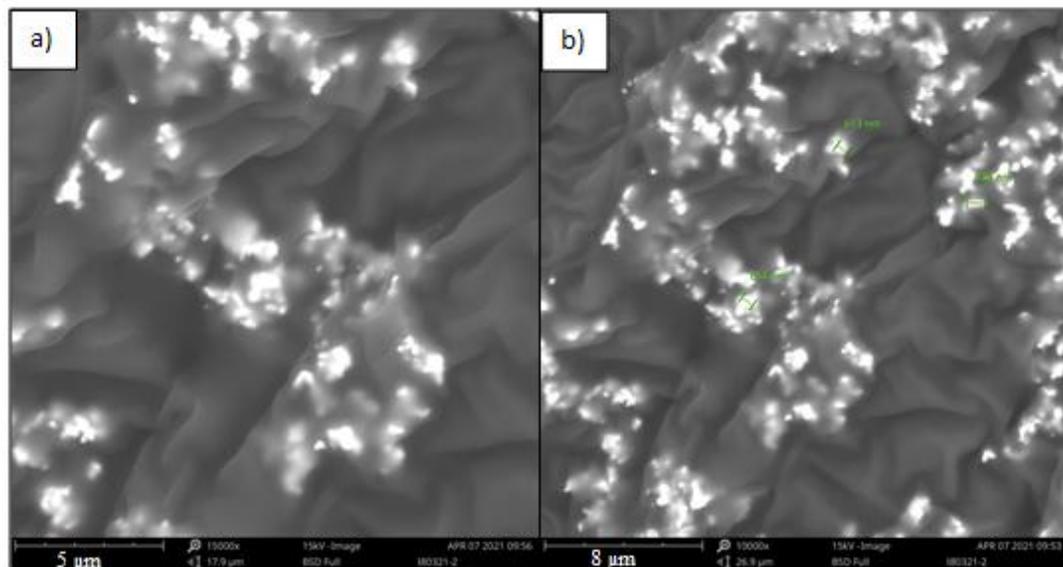
Gambar 19. Distribusi ukuran partikel AgNPs-MADC

Particle Size Analyzer (PSA) merupakan instrumen yang menggunakan prinsip hamburan cahaya dinamis untuk mengukur distribusi ukuran partikel yang mengalami Gerak Brown dari partikel yang sangat kecil dalam cairan akibat benturan yang terjadi antara molekul-molekul dalam zat cair. Metode pengukuran distribusi ukuran partikel dengan PSA diketahui memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik dibandingkan dengan metode analisis gambar menggunakan SEM ataupun TEM karena menggunakan cahaya laser sebagai media informasi terhadap pengukuran

suatu partikel. Selain itu, waktu pengukuran yang lebih cepat karena cahaya memiliki kecepatan rambat yang sangat besar sehingga mampu mengirim informasi dalam waktu singkat (Nuraeni et al., 2013).

Hasil analisis dari PSA menggunakan metode DLS memberikan hasil yang berbeda dengan SEM. Hal ini disebabkan karena perbedaan metode pengukuran antara SEM dan DLS yang mengukur partikel dengan medan hidrodinamikanya. Perbedaan ini juga disebabkan oleh kapasitas dari pengembangan nanopartikel dalam bentuk larutan yang dianalisis dengan DLS, sedangkan menggunakan SEM sampel disiapkan dalam bentuk padatan kering.

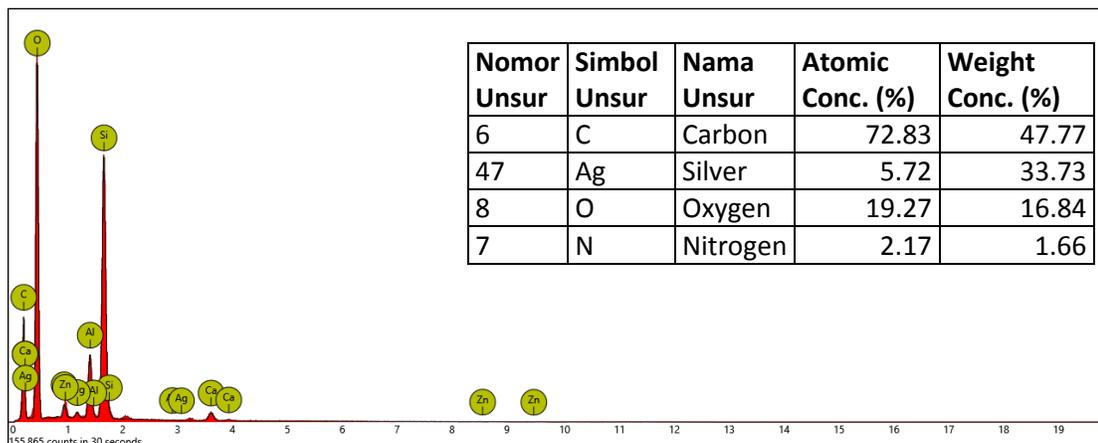
Berdasarkan hasil penelitian menggunakan PSA menunjukkan bahwa AgNPs-MADC yang telah disintesis memiliki ukuran partikel sebesar 217,8 nm yang diukur dengan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS). Besar kecilnya ukuran partikel akan mempengaruhi kinerja dari larutan AgNPs. Semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaan akan semakin besar, sehingga mempengaruhi



efektivitas dari kinerja bahan dalam uji aktivitas biologi.

Gambar 20. Scanning Electron Microscope (SEM) AgNPs-MADC dengan skala pembacaan; 5 µm (a) dan 8 µm (b)

Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) memungkinkan visualisasi ukuran dan bentuk dari AgNPs. Gambar 20 merupakan bentuk morfologi dari AgNPs-MADC yang dilakukan dengan berbagai skala pembacaan yaitu 5 μm dan 8 μm . Berdasarkan hasil analisis morfologi partikel AgNPs menunjukkan bentuk yang tidak teratur. Ukuran partikel yang dihasilkan pada karakterisasi SEM menunjukkan ukuran yang begitu besar dan memiliki ukuran yang berbeda dengan hasil karakterisasi PSA. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor mulai dari adanya kontaminan yang bercampur saat proses sintesis ataupun saat proses pembacaan dengan menggunakan SEM.



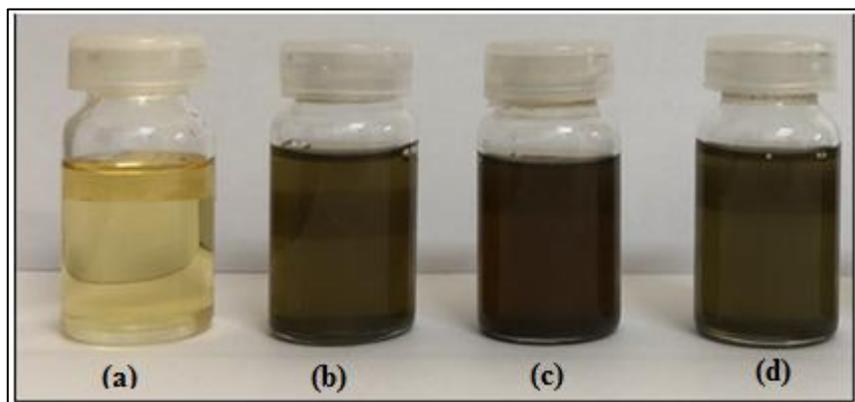
Gambar 21. Spektrum EDX dan data unsur dari AgNPs-MADC

Spot yang ditunjukkan pada karakterisasi pendukung SEM yaitu *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) memberikan informasi komposisi pada titik tertentu. Komposisi unsur penyusun AgNPs-MADC berdasarkan hasil analisis EDX (Gambar 21) terdiri dari C, Ag, O dan N dengan persentase masing-masing 47,77; 33,73; 16,84; dan 1,66%.

IV. 3 Variasi Konsentrasi AgNO_3 dengan Penambahan Surfaktan Tween 80 dan Polimer PEG 400

Penambahan surfaktan tween 80 dan PEG 400 dalam sintesis AgNPs dilakukan untuk melihat kestabilan larutan dan ukuran partikel yang dihasilkan.

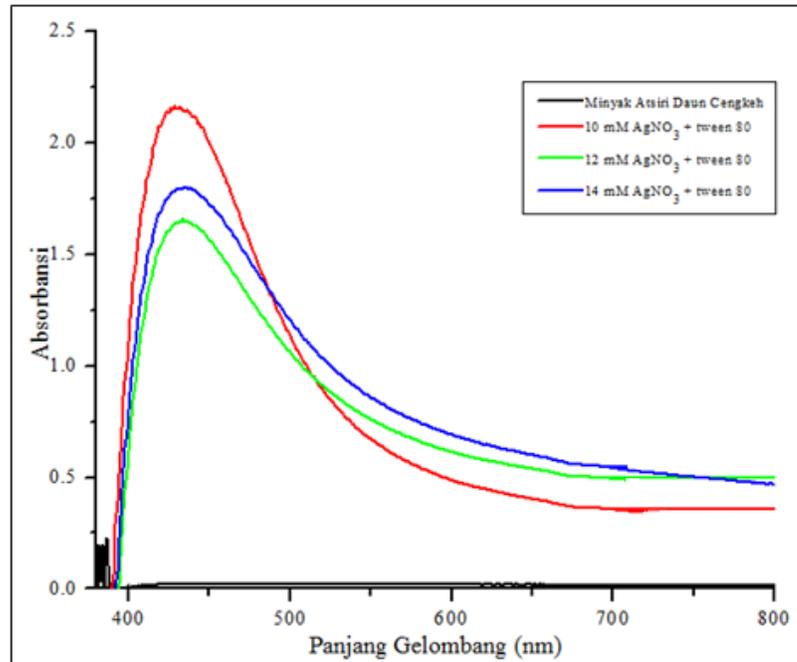
Karena dilihat dari hasil sebelumnya bahwa ukuran partikel masih cukup besar dan kestabilan sangat rendah. Penggunaan tween 80 dan PEG dilakukan untuk membandingkan hasil yang paling efektif dalam menjaga kestabilan AgNPs dan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil. Pemilihan surfaktan tween 80 dengan PEG dikarenakan keduanya memiliki toksisitas yang rendah sehingga aman bagi lingkungan.



IV.3.1 Variasi Konsentrasi AgNO_3 dengan Penambahan Surfaktan Tween 80

Gambar 22. Variasi Konsentrasi AgNO_3 dengan Penambahan Tween 80; MADC (A); 10 mM (B); 12 mM (C); 14 mM (D)

Visualisasi dari hasil sintesis AgNPs-MADC dengan variasi konsentrasi AgNO_3 dan penambahan Tween 80 sebanyak 1 mL dapat dilihat pada Gambar 22. Secara visual, warna yang terlihat setelah 24 jam menunjukkan perubahan warnanya dari kuning transparan (MADC) menjadi kuning kecoklatan dan terlihat lebih pekat dengan adanya penambahan Tween 80 dibandingkan dengan hasil sintesis sebelumnya tanpa menambahkan Tween 80. Perubahan warna yang dihasilkan menunjukkan adanya pertumbuhan atau pembentukan AgNPs-MADC dalam larutan. Untuk mengkonfirmasi adanya pembentukan AgNPs-MADC, maka dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk melihat panjang gelombang maksimum pada masing-masing larutan tersebut.



Gambar 23. Spektra UV Vis Pembentukan AgNPs-MADC + Tween 80

Berdasarkan pada Gambar 23 menunjukkan spektra UV-Vis AgNPs-MADC dengan berbagai variasi konsentrasi AgNO₃ dan penambahan tween 80 sebanyak 1 mL. Puncak serapan pada AgNPs muncul pada panjang gelombang 429 nm, 436 nm, dan 433 nm untuk masing-masing konsentrasi AgNO₃. Tidak ada pergeseran panjang gelombang yang signifikan antara masing-masing puncak tersebut. Dari hasil penelitian, terlihat bahwa pada formulasi AgNO₃ dengan berat 0,0204 menunjukkan panjang gelombang yang lebih tinggi hal ini dikarenakan berdasarkan dari perubahan warna larutan yang terjadi, bahwa larutan tersebut memiliki kepekatan yang lebih tinggi dibandingkan formulasi larutan lainnya.

Ada beberapa mekanisme yang diketahui dalam menjaga stabilitas AgNPs dengan menggunakan surfaktan nonionik seperti tween 80. Pertama, tween 80 dapat melindungi pembentukan AgNPs. Selain itu, dapat melindungi terjadinya agregasi

pada AgNPs dengan mengikat daerah hidrofobik pada permukaan AgNPs sehingga

Konsentrasi AgNO₃ (mM) + Tween 80	λ_{max} (nm)	Abs
10	429	2,1722
12	436	1,8006
14	433	1,6482

dapat mengurangi interaksi yang terjadi antarmolekul (Chou et al., 2005).

Tabel 7. Puncak serapan maksimum pembentukan AgNPs-MADC dengan Tween 80

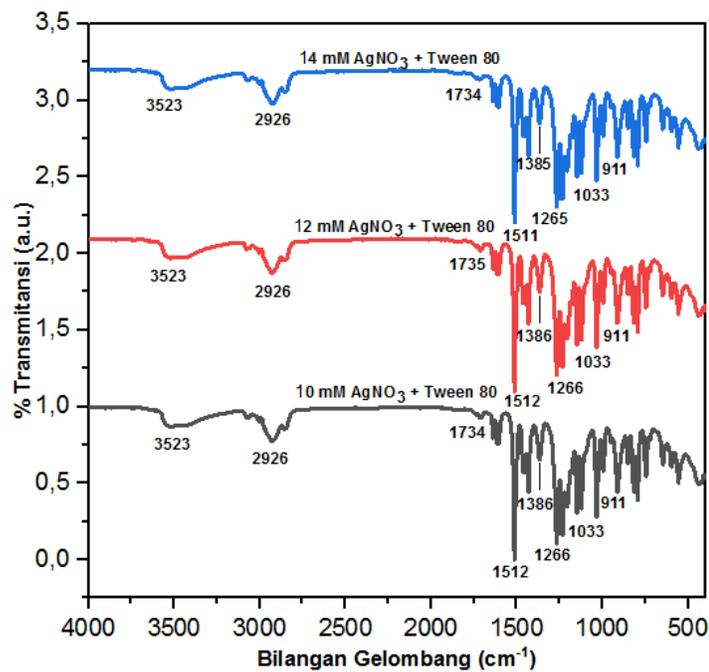
Puncak serapan pada AgNPs muncul pada panjang gelombang 429 nm, 436 nm, dan 433 nm untuk masing-masing konsentrasi AgNO₃. Tidak ada pergeseran panjang gelombang yang signifikan antara masing-masing puncak tersebut. Dari hasil penelitian, terlihat bahwa pada formulasi AgNO₃ dengan konsentrasi 12 mM menunjukkan panjang gelombang yang lebih tinggi hal ini dikarenakan berdasarkan dari perubahan warna larutan yang terjadi, bahwa larutan tersebut memiliki kepekatan yang lebih tinggi dibandingkan formulasi larutan lainnya. Namun jika diamati dari nilai absorbansi menunjukkan bahwa larutan dengan konsentrasi AgNO₃ 10 mM + tween 80 memiliki nilai yang cukup tinggi yaitu sebesar 2,1722.

Setelah melalui tahapan analisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, selanjutnya dilakukan karakterisasi lebih lanjut dengan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dari AgNPs.

Tabel 8. Bilangan gelombang AgNPs-MADC dengan penambahan tween 80

Bilangan gelombang (cm-1)			Gugus Fungsi
Konsentrasi AgNPs (mM) + tween 80			
10	12	14	
3523	3523	3523	-OH
2926	2926	2926	CH sp ³
1734	1735	1734	C=O

1512	1512	1511	C=C aromatis
1386	1386	1385	-CH ₃
1266	1266	1265	O-CH ₃



1033

1033

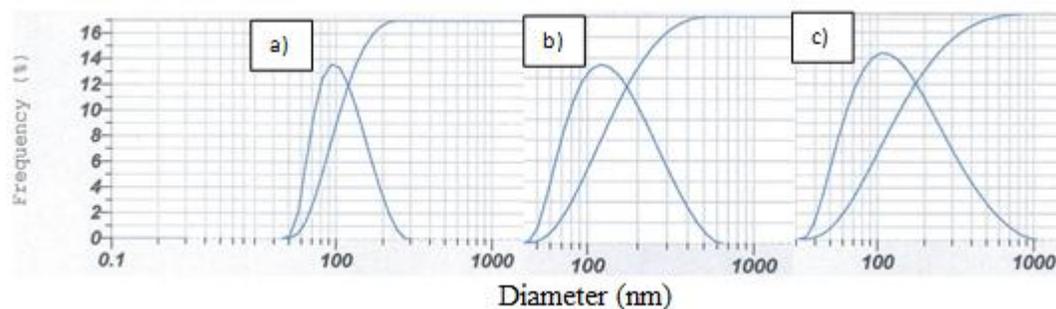
1033

C-O

Gambar 24. Spektra FTIR variasi konsentrasi AgNO₃ + Tween 80

Beberapa puncak utama terbaca pada bilangan gelombang 3523, 2926, 1734-1735, 1511-1512 cm⁻¹ serta beberapa puncak lainnya pada bilangan gelombang sekitar 900-400 cm⁻¹. Tidak ada perbedaan yang signifikan yang terjadi pada AgNPs-MADC dengan konsentrasi AgNO₃ 10 mM hingga 14 mM dengan adanya penambahan tween 80. Pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang 3523 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi yang terjadi pada gugus OH. Munculnya karakteristik pita serapan pada bilangan gelombang 1734-735 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi yang terjadi pada gugus C=O dengan intensitas yang renah. Pita serapan pada bilangan gelombang 1511-1512 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus CC aromatis dengan karakteristik pita serapan yang tajam.

Berdasarkan dari spektra FTIR pada tween 80, menunjukkan bahwa terdapat beberapa gugus fungsi yang ditemukan dalam pembentukan AgNPs diantaranya yaitu CH₃, C=C dan C=O. Transmittansi pada gugus C-O-C mengalami penurunan setelah penambahan tween 80 pada larutan AgNO₃, sedangkan gugus C=O meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi AgNO₃. beberapa penelitian menunjukkan bahwa surfaktan dengan gugus fungsi tertentu dapat mereduksi Ag⁺



menjadi Ag⁰ melalui reaksi redoks (Hu et al., 2020)(Nourafkan & Alamdari, 2018).

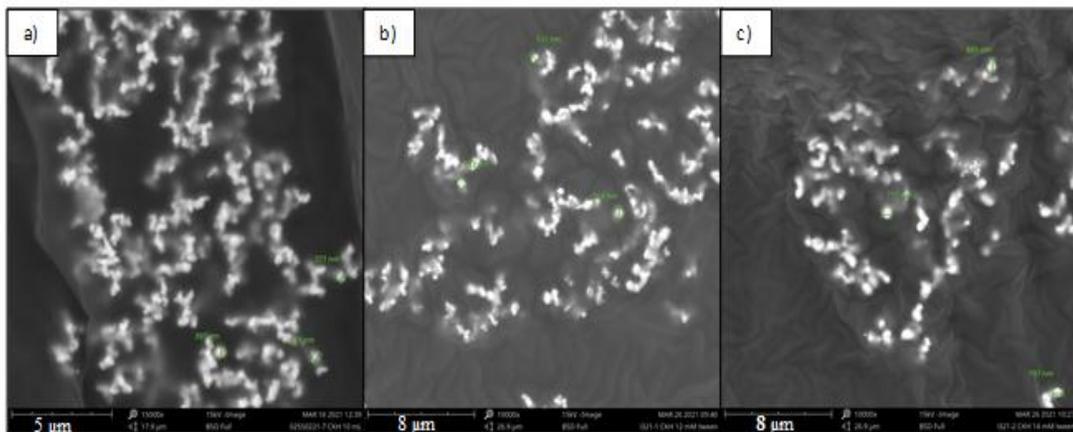
Gambar 25. Distribusi Ukuran Partikel AgNPs-MADC + Tween 80, 10 mM (a); 12 mM (b); 14 mM (c)

Berdasarkan pada hasil sintesis AgNPs-MADC dengan menggunakan variasi konsentrasi AgNO₃ (10 mM, 12 mM dan 14 mM) dan penambahan tween 80, yang selanjutnya dianalisis menggunakan PSA dengan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari masing-masing larutan. Gambar 25, menunjukkan ukuran partikel pada masing-masing larutan, dimana ukuran rata-rata yang diukur dengan metode DLS menunjukkan jari-jari hidrodinamik partikel.

Tabel 9. Distribusi ukuran partikel AgNPs menggunakan tween 80

Konsentrasi AgNO ₃ (mM)	Ukuran partikel (nm)	PI
10	172,2	0.592
12	111,8	0.483
14	121,6	0,488

Sintesis AgNPs-MADC dengan penambahan tween 80 memiliki ukuran partikel sebesar 174,3 nm; 111,8 nm; dan 121,6 nm untuk masing-masing konsentrasi AgNO₃ dengan nilai *Polydispersity Index* (PI) masing-masing sebesar 0,592; 0,483; an 0,488. Semakin kecil nilai PI (mendekati nol (0)), maka distribusi dari ukuran partikel akan semakin baik dan memiliki stabilitas fisik yang baik (Kasim et al., 2020). Selain itu nilai PI dibawah 0,5 menunjukkan bahwa larutan tersebut memiliki keseragaman yang baik. Dalam hal ini, nilai PI yang lebih kecil dari 0,4 menunjukkan populasi dengan distribusi yang sempit (Jadhav et al., 2016). Gerak brown yang terjadi paa suatu partikel zat cair akan mengalami tumbukan antara satu dengan yang lainnya. Sehingga, apabila ditembakkan dengan sinar laser dapat menyebabkan terjadinya hamburan cahaya dengan berbagai frekuensi yang berasal dari partikel



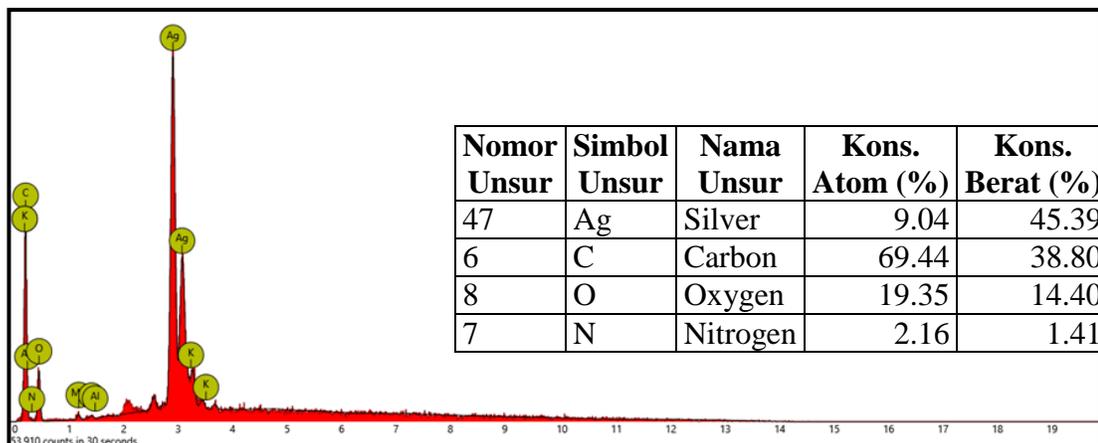
yang bergerak cepat atau lambat. Berbagai frekuensi tersebut akan terdeteksi oleh detektor, kemudian dihasilkan sinyal cahaya yang fluktuatif, dan masing-masing sinyal kemudian akan diubah dalam bentuk daya spektrum (Nuraeni et al., 2013).

Gambar 26. Morfologi AgNPs -MADC+Tween 80 dengan skala pembacaan 5 μ m (a) 10 mM dan 8 μ m (b) 12 m; (c) 14 mM

Prinsip karakterisasi sampel dengan menggunakan SEM yaitu diawali dengan elektron gun yang menghasilkan seberkas elektron ke kolom bagian bawah dan pada serangkaian lensa elektromagnetik. Lensa tersebut berbentuk tabung yang

kemudian dibungkus dengan kumparan yang disebut sebagai solenoida yang akan disesuaikan untuk memfokuskan berkas elektron ke sampel. Proses penyesuaian ini mengakibatkan terjadinya fluktuasi tegangan sehingga dapat menambah serta mengurangi kecepatan elektron yang bersentuhan dengan permukaan sampel (Choudhary & ka, 2017).

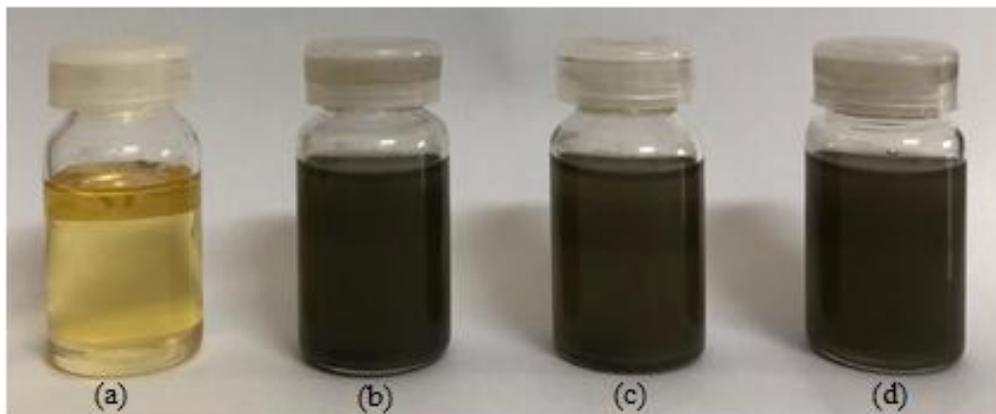
Berdasarkan pada Gambar 26, menunjukkan bentuk morfologi dari AgNPs-MADC dengan variasi konsentrasi AgNO_3 dan penambahan tween 80 yang dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Karakterisasi yang dilakukan menggunakan SEM bertujuan untuk mengamati ukuran serta bentuk morfologi dari AgNPs-MADC tersebut. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan bahwa bentuk morfologi dari AgNPs-MADC dengan penambahan Tween 80 memiliki bentuk *spherical* yang tak beraturan dengan ukuran yang beragam. Ukuran partikel yang beragam dan bentuk yang tidak beraturan disebabkan oleh adanya efek agregasi dari nanopartikel dan memiliki partikel yang beragam (Masakke et al., 2015). Hasil pengamatan AgNPs, menunjukkan bahwa untuk sampel tersebut dapat dilakukan pengamatan dalam energi akselerasi yang cukup tinggi hingga 15 kV dan dengan perbesaran maksimal hingga 15000 kali.



Gambar 27. Spektrum EDX dan data unsur dari AgNPs-MADC + Tween 80

Hasil karakterisasi dengan menggunakan EDX (Gambar 27), menunjukkan adanya sinyal yang kuat di wilayah Ag yang mengkonfirmasi pembentukan AgNPs dan ditandai dengan konsentrasi berat Ag yang besar. Analisis EDX menunjukkan komposisi unsur dari Ag yang disintesis dalam bentuk nanopartikel. Unsur lain yang mayoritas turut hadir dalam pembentukan nanopartikel ini menunjukkan peran fitokimia dalam nanopartikel fabrikasi.

Spot yang ditunjukkan pada karakterisasi pendukung SEM yaitu *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) memberikan informasi komposisi pada titik tertentu. Komposisi unsur penyusun AgNPs-MADC + tween 80 berdasarkan hasil analisis EDX terdiri dari atom Ag, C, O, dan N. Hasil analisis tersebut menunjukkan intensitas Ag yang lebih tinggi dibandingkan unsur lainnya yang mengkonfirmasi pembentukan dari AgNPs-MADC.

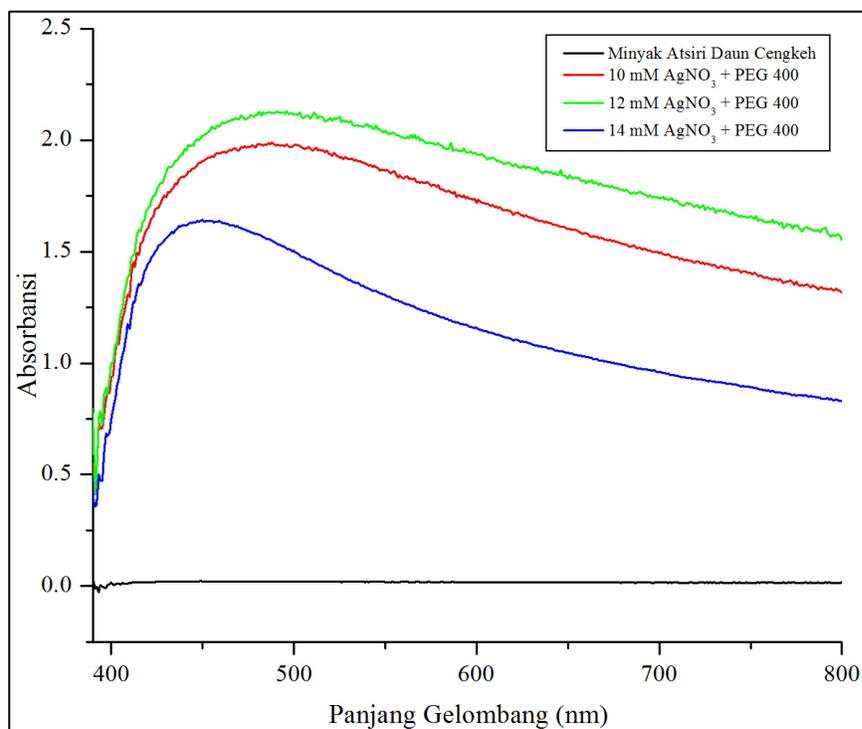


4.3.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi AgNO_3 Terhadap Penambahan PEG 400

Gambar 28. Variasi Konsentrasi AgNPs-MADC + PEG 400, MADC (a); 10 mM (b); 12 mM (c); 14 mM (d)

Pembentukan AgNPs melalui reduksi dari AgNO_3 dengan berbagai variasi konsentrasi mulai dari 10 mM hingga 14 mM dan penambahan PEG 400 dapat mudah diamati dengan perubahan warna yang terjadi pada campuran reaksi. AgNPs memiliki karakteristik warna kuning kecoklatan karena adanya proses eksitasi dari

vibrasi permukaan plasmon. Perubahan warna yang terjadi dari campuran reaksi setelah 24 jam (1 hari) ditunjukkan pada Gambar 28 yang menunjukkan bentuk dari AgNPs-MADC. Perubahan warna larutan menunjukkan bahwa ion silver dalam media reaksi telah diubah menjadi unsur Ag dan adanya pertumbuhan serta pembentukan AgNPs. Perubahan warna larutan dari kuning menjadi kecoklatan dan pekat pada masing-masing larutan tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Untuk mengkonfirmasi pembentukan AgNPs-MADC, maka dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk melihat panjang gelombang maksimum yang dihasilkan dari larutan tersebut berdasarkan perubahan warna yang terjadi.



Gambar 29. Spektra UV-Vis AgNPs-MADC + PEG 400

Bioreduksi dari AgNPs-MADC + PEG 400 diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 380-800 nm berdasarkan pada resonansi permukaan plasmon. Dalam penelitian ini, puncak serapan

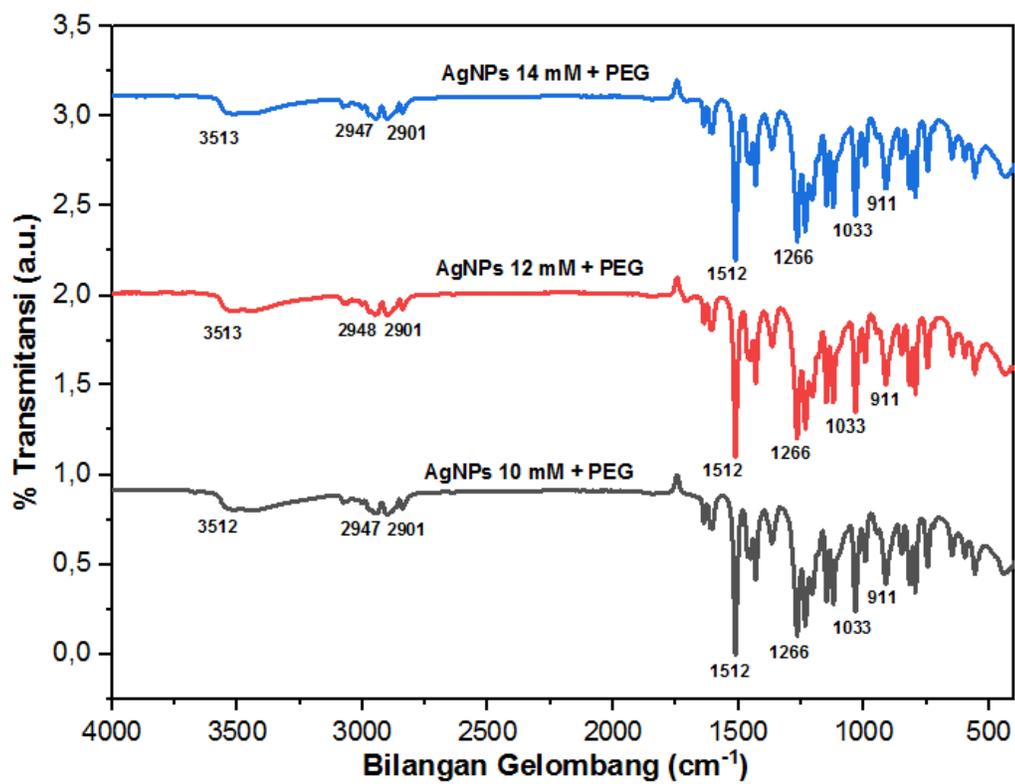
ditunjukkan pada panjang gelombang 471, 463 dan 451 nm untuk masing-masing

Konsentrasi AgNO ₃ (mM) + PEG 400	λ_{max} (nm)	Abs
10	471	2,1055
12	463	2,0506
14	451	1,6433

konsentrasi, Hal ini kemungkinan disebabkan karena komposisi kimia dari PEG yang tidak cocok pada proses sintesis AgNPs-MADC sehingga potensial reduksi dari silver tidak dapat diterima.

Tabel 10. Puncak serapan maksimum pembentukan AgNPs dengan penambahan PEG 400

Berdasarkan hasil analisis terhadap AgNPs-MADC dengan penambahan PEG 400 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi yang digunakan puncak serapan panjang gelombang semakin kecil. Begitu pula dengan nilai absorbansi yang ditunjukkan. Pada konsentrasi AgNO₃ 10 mM absorbansi puncak memiliki nilai yang



lebih besar dan intensitas puncak serapan melebar.

Gambar 30. Spektra FTIR AgNPs dengan penambahan PEG 400

Tabel 11. Bilangan gelombang AgNPs dengan penambahan PEG 400

Bilangan gelombang (cm-1)			Gugus Fungsi
Konsentrasi AgNPs (mM) + PEG 400			
10	12	14	
3512	3513	3513	-OH
2947 dan 2901	2948 dan 2901	2947 dan 2901	CH sp ³
1512	1512	1512	C=C aromatis
1266	1266	1266	O-CH ₃
1033	1033	1033	C-O

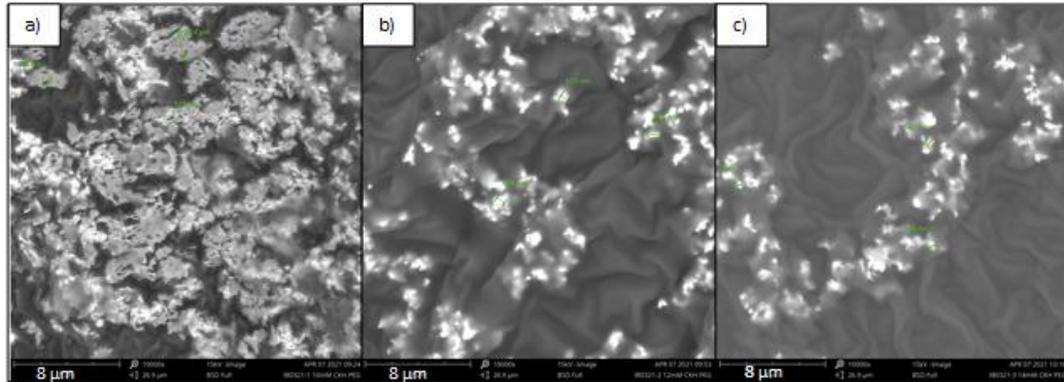
Pita serapan FTIR pada Gambar 30, menunjukkan adanya gugus fungsional -OH pada bilangan gelombang 3513-3512 cm⁻¹ dengan intensitas serapan yang rendah. Pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang 2948-2947 cm⁻¹ dan 2901 cm⁻¹ merupakan gugus fungsi yang dimiliki oleh CH sp³. Gugus fungsi C=C aromatis terbaca pada pita serapan yang tajam dengan bilangan gelombang 1511 cm⁻¹ dan gugus C-O muncul pada puncak serapan 1033 cm⁻¹.

Tabel 12. Distribusi ukuran partikel AgNPs dengan penambahan PEG 400

Konsentrasi AgNO ₃ (mM)	Ukuran partikel (nm)
10	Tidak terdeteksi
12	Tidak terdeteksi
14	Tidak terdeteksi

Analisis distribusi ukuran partikel pada AgNPs dengan penambahan AgNO₃ menunjukkan bahwa tidak ada ukuran yang dapat terdeteksi dari masing-masing konsentrasi. Hal ini bisa saja disebabkan karena ukuran partikel yang terbentuk dari

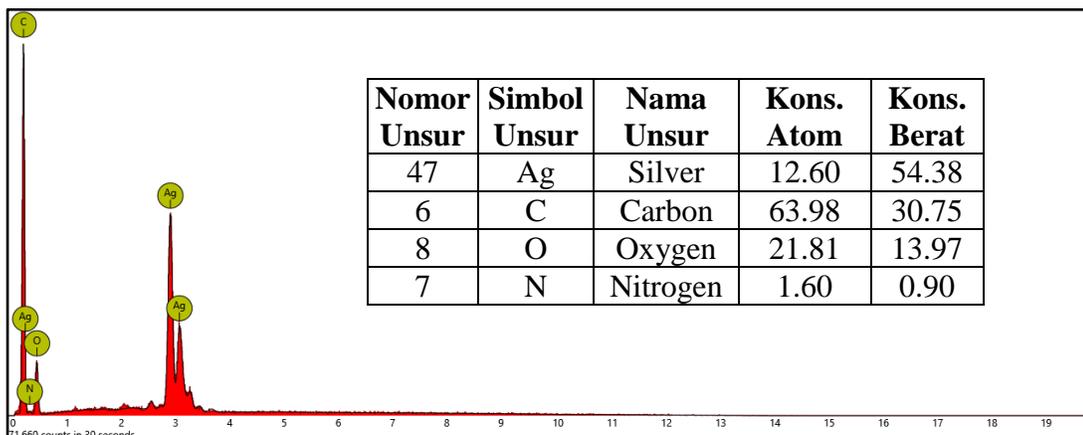
penambahan PEG berada diluar rentang pengukuran rata-rata yang mampu dibaca oleh instrumen PSA yaitu 0,6 nm-7 μ m. Selanjutnya, untuk mengetahui lebih lanjut



bentuk morfologi dan ukuran partikel dilakukan karakterisasi menggunakan SEM EDX.

Gambar 31. Morfologi AgNPs dengan penambahan PEG 400 dengan skala pembacaan 8 μ m; 10 mM (a); 12 mM (b) dan 14 mM (c)

Berdasarkan pada Gambar 32, bentuk morfologi dari AgNPs-MADC dengan berbagai konsentrasi AgNO_3 dan penambahan PEG 4000 pada skala pembacaan 8 μ m menunjukkan bentuk yang tidak memiliki keteraturan yang baik, terutama pada AgNPs-MADC 10 mM + PEG 400. Pada konsentrasi AgNO_3 12 mM dan 14 mM dengan penambahan PEG 400 memiliki bentuk partikel bulaat dan tidak teratur. Ukuran partikel yang terbaca pada konsentrasi tersebut masing-masing berada pada rentang 600-800 nm dan 400-500 nm. Untuk mengetahui unsur penyusun dari AgNPs yang terbentuk selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan EDX.



Gambar 32. Spektrum EDX dan data unsur dari AgNPs dengan penambahan PEG 400

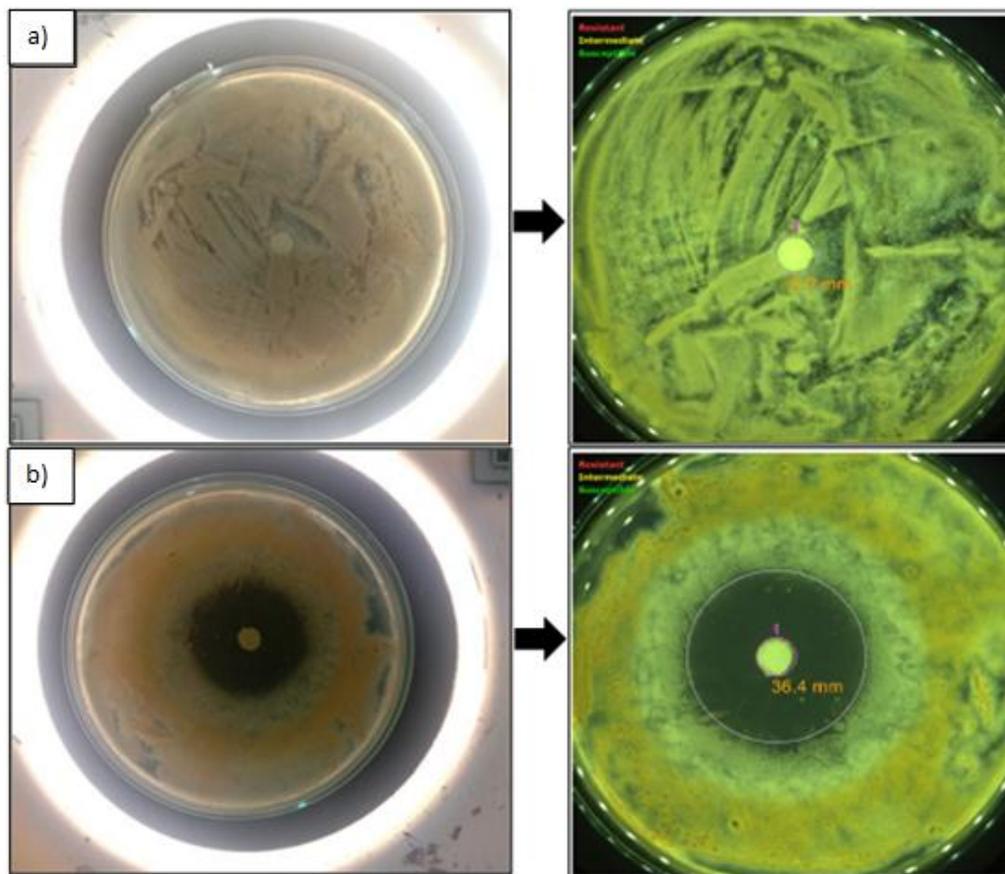
Berdasarkan pada Gambar 32 yang merupakan representatif dari data analisis menggunakan EDX, dimana unsur penyusun AgNPs dengan penambahan PEG 400 terdiri dari Ag, C, O, dan N dengan konsentrasi berat masing-masing 54,38; 30,75; 13,97; dan 0,90. Hasil analisis EDX, menunjukkan adanya sinyal yang kuat di wilayah Ag yang mengkonfirmasi pembentukan AgNPs yang ditandai dengan konsentrasi berat Ag yang lebih besar. Analisis EDX menunjukkan komposisi unsur dari Ag yang disintesis dalam bentuk nanopartikel. Selain Ag, juga terlihat intensitas puncak tertinggi pada unsur C, hal ini dikarenakan pada proses pembacaan sampel menggunakan bantuan *carbon tape*, sehingga unsur C juga ikut terbaca. Puncak lainnya yang muncul pada hasil analisis ini (N dan O) merupakan unsur penyusun dari senyawa AgNO_3 .

IV. 4 Uji Aktivitas dan Efektivitas AgNPs dengan Minyak Atsiri Daun Cengkeh**IV.4.1 Uji aktivitas untuk menghambat pertumbuhan *Lichen* (Skala Lab)**

Uji aktivitas anti *lichen* yang dilakukan pada skala lab menggunakan metode *disc diffusion* merupakan metode uji kualitatif. Uji aktivitas ini bertujuan untuk mengukur zona hambat yang terbentuk pada larutan yang telah diaplikasikan menggunakan kertas saring sebagai media larutan yang akan diujikan. Sedangkan

untuk media agar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu PDA (*Potato Dextrose Agar*). Pengujian untuk mengukur daya hambat *lichen* dilakukan dari sintesis AgNPs MADC dengan berbagai variasi mulai dari kontrol, MADC, serta AgNPs-MADC + tween 80, AgNPs-MADC + PEG 400 dengan konsentrasi masing-masing 10, 12 dan 14 mM.

Berdasarkan hasil uji aktivitas terhadap pertumbuhan *lichen* menunjukkan bahwa kontrol (tanpa perlakuan) yang berupa kertas saring tanpa penambahan larutan



apapun, tidak menunjukkan adanya penghambatan dari pertumbuhan *lichen*. Sedangkan pada MADC dalam pengujiannya terhadap pertumbuhan *lichen*, menunjukkan bahwa MADC diketahui mampu menghambat pertumbuhan *lichen* dengan baik (Gambar 33).

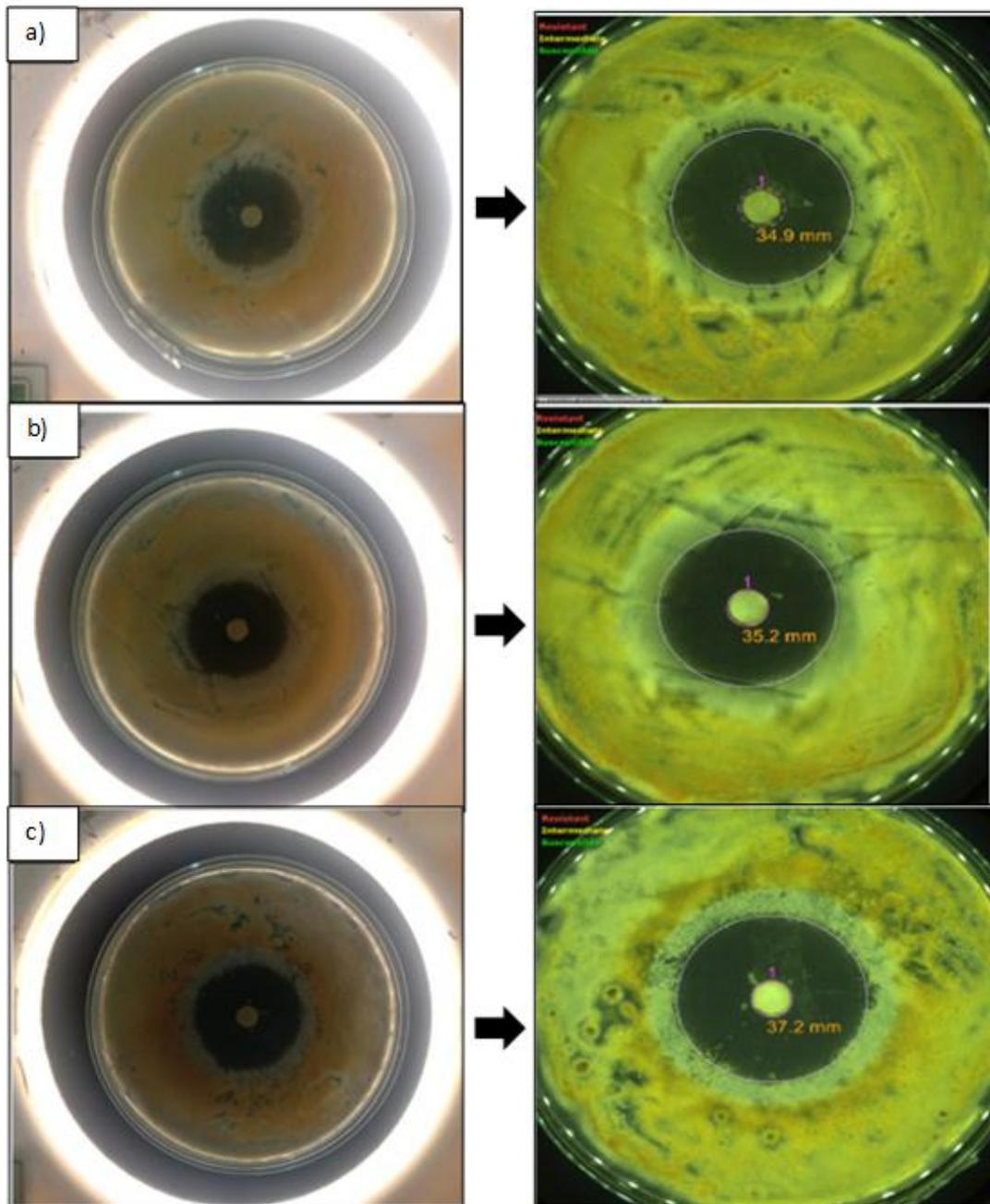
Gambar 33. Uji Aktivitas Daya Hambat *Lichen*; Kontrol (a) dan MADC (b)

Menurut Fabiani, et al, uji aktivitas antibakteri pada AgNPs menunjukkan bahwa kekuatan daya hambat terbagi ke dalam empat kategori yaitu daya hambat lemah (5 mm), sedang (5-10 mm), kuat (10-20 mm) dan sangat kuat (>20 mm).

Berdasarkan hasil penelitian ini (Gambar 33), menunjukkan bahwa kontrol tidak memiliki aktivitas dalam menghambat pertumbuhan *lichen* karena tidak diberi perlakuan apapun, sedangkan pada minyak atsiri daun cengkeh memiliki daya hambat

yang sangat kuat dan mampu menghambat pertumbuhan *lichen* sebesar 36,4 mm yang diamati selama 5 hari. Sehingga dapat disimpulkan bahwa MADC ini yang

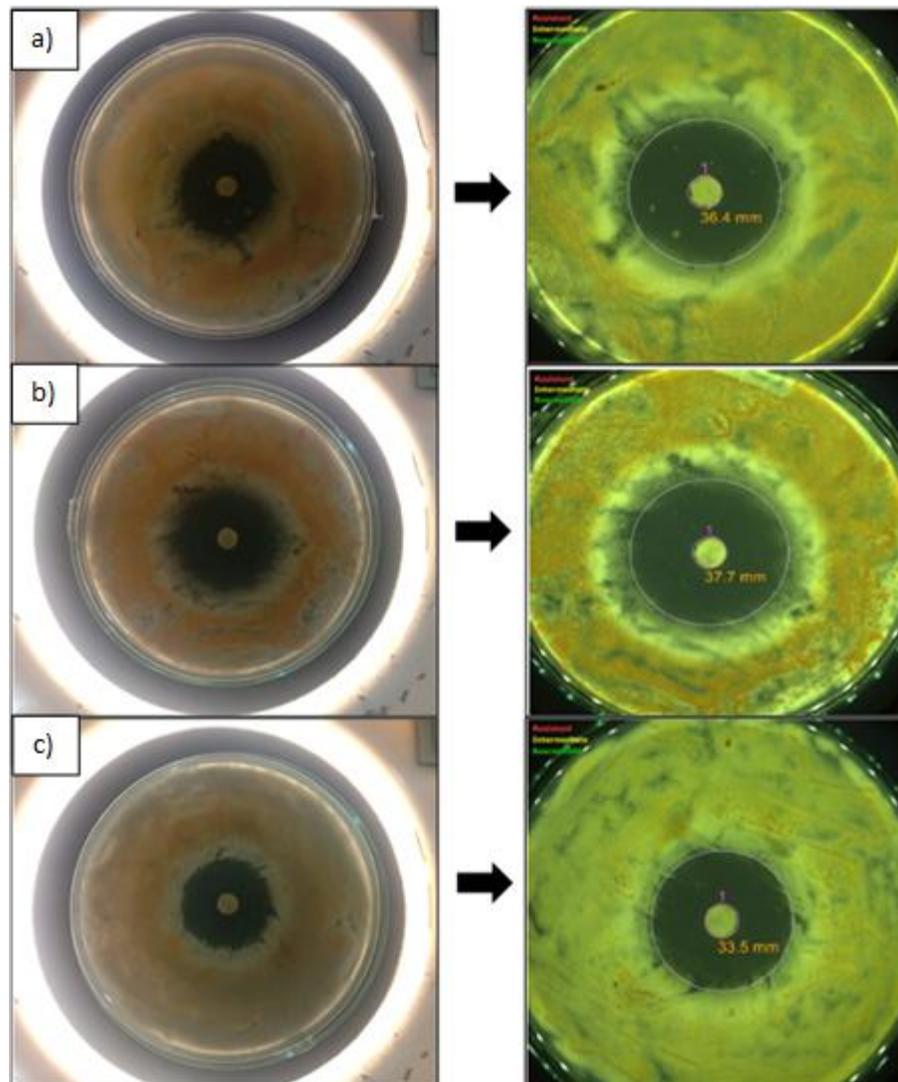
memiliki kandungan utama berupa eugenol yang tinggi memiliki kemampuan dalam



menghamat pertumbuhan *lichen*.

Gambar 34. Uji Aktivitas Daya Hambat *Lichen* pada AgNPs-MADC Tween 80; 10 mM (a); 12 mM (b); 14 mM (c)

Gambar 34, menunjukkan ukuran zona hambat *lichen* yang terbentuk pada masing-masing konsentrasi AgNO₃ dengan penambahan tween 80 masing-masing sebesar 34,9; 35,3; dan 37,2 nm. Ketiga ukuran daya hambat tersebut menunjukkan kekuatan daya hambat yang sangat kuat. Sehingga, dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa formulasi AgNPs-MADC dengan penambahan tween 80 juga



memiliki aktivitas yang baik dalam menghambat pertumbuhan *lichen*.

Gambar 35. Uji Aktivitas Daya Hambat *Lichen* pada AgNPs-MADC + PEG 400, 10 mM (a); 12 mM (b); 14 mM (c)

Hasil penelitian yang telah dilakukan terkait uji aktivitas dalam menghambat pertumbuhan *lichen* (Gambar 35) menunjukkan ukuran daya hambat memiliki kekuatan dalam menghambat pertumbuhan *lichen* dengan sangat kuat yaitu sebesar 36,4; 37,7 dan 33,5 nm untuk masing-masing konsentrasi dengan penambahan PEG 400.

Tabel 13. Diameter Zona Hambat *Lichen*

Konsentrasi AgNPs (mM)	Diameter Zona Hambat (mm)
Kontrol	0,0
Minyak Atsiri Daun Cengkeh	36,4
AgNPs 10 mM + Tween 80	34,9
AgNPs 12 mM + Tween 80	35,3
AgNPs 14 mM + Tween 80	37,2
AgNPs 10 mM + PEG 400	36,4
AgNPs 12 mM + PEG 400	37,7
AgNPs 14 mM + PEG 400	33,5

Hasil pengujian aktivitas anti *lichen* pada AgNPs dengan berbagai konsentrasi menunjukkan adanya respon yang berupa zona bening yang terbentuk dalam menghambat pertumbuhan *lichen*. Pada kontrol tidak terlihat adanya zona hambat yang terbentuk (0), sedangkan pada MADC dan AgNPs-MADC dengan penambahan Tween dan PEG pada masing-masing konsentrasi, menunjukkan adanya zona hambat yang terbentuk yang dapat menghambat pertumbuhan *lichen* tersebut. Luas dari ukuran zona hambat menunjukkan banyaknya *lichen* yang mampu dihambat oleh AgNPs-MADC. Semakin besar ukuran diameter zona hambat yang terbentuk, maka semakin banyak pula *lichen* yang dapat dihambat, begitupun sebaliknya, semakin kecil diameter ukuran diameter zona hambat yang terbentuk, maka semakin kecil pula kemampuannya untuk menghambat pertumbuhan dari

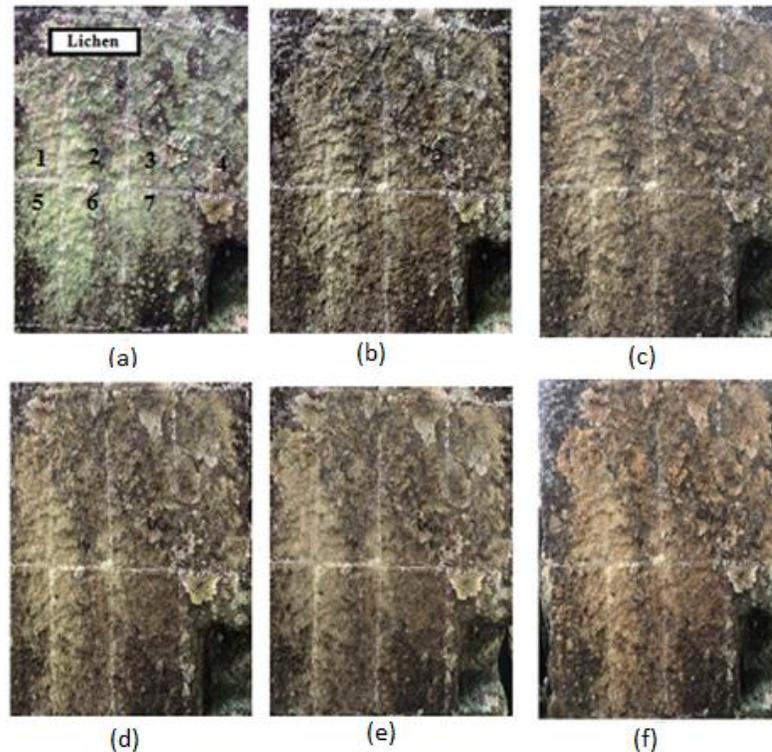
lichen tersebut. Pada penelitian ini, rata-rata ukuran diameter zona hambat yang terbentuk berkisar antara 33-37 mm.

Senyawa kimia yang terkandung dalam minyak atsiri daun cengkeh akan berdifusi ke dalam media agar, sehingga akan menyebabkan terjadinya penghambatan dalam pembentukan dinding sel. Sel yang dimiliki pada tubuh *lichen* hanya dibatasi oleh membran tipis sehingga mudah pecah atau rusak. Proses penghambatan pertumbuhan *lichen* juga bisa terjadi melalui proses sintesis protein (Cunha et al., 2018). AgNPs dan Minyak atsiri daun cengkeh dengan kandungan utama berupa eugenol, keduanya memiliki efektifitas yang baik dalam menghambat pertumbuhan jamur.

Mekanisme penghambatan pertumbuhan *lichen* terjadi ketika Ag mengikat dinding sel, membrane sel dan menghambat proses respirasi pada *lichen* tersebut. Terjadinya proses penghambatan *lichen* dapat dilihat dari perubahan struktur dan morfologinya. Peran dari AgNPs dimana Ag⁰ menembus ke dalam sel, sehingga molekul DNA menjadi kental dan kehilangan kemampuan dalam replikasi yang menyebabkan kematian sel (Cunha et al., 2018).

V.4.2 Uji aktivitas AgNPs terhadap *lichen* pada permukaan batu

Pengamatan yang dilakukan pada permukaan batu dilakukan secara visual dan dengan menggunakan *handy microscope* sebelum dan sesudah pengaplikasian AgNPs. Uji aktivitas yang dilakukan pada permukaan batu candi menunjukkan pertumbuhan *lichen* yang terhambat yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna hijau (*lichen* subur) menjadi coklat pada permukaan batu yang ditumbuhi oleh *lichen*. Perubahan warna yang terjadi menunjukkan bahwa *lichen* yang hidup pada permukaan batuan tersebut telah kering dan mati. Pengamatan terhadap pertumbuhan *lichen* sebelum dan setelah pengaplikasian AGNPs diamati setelah 24 jam (1 hari) kemudian dilanjutkan pada hari ke 3, 6, 8 dan hari ke 10.

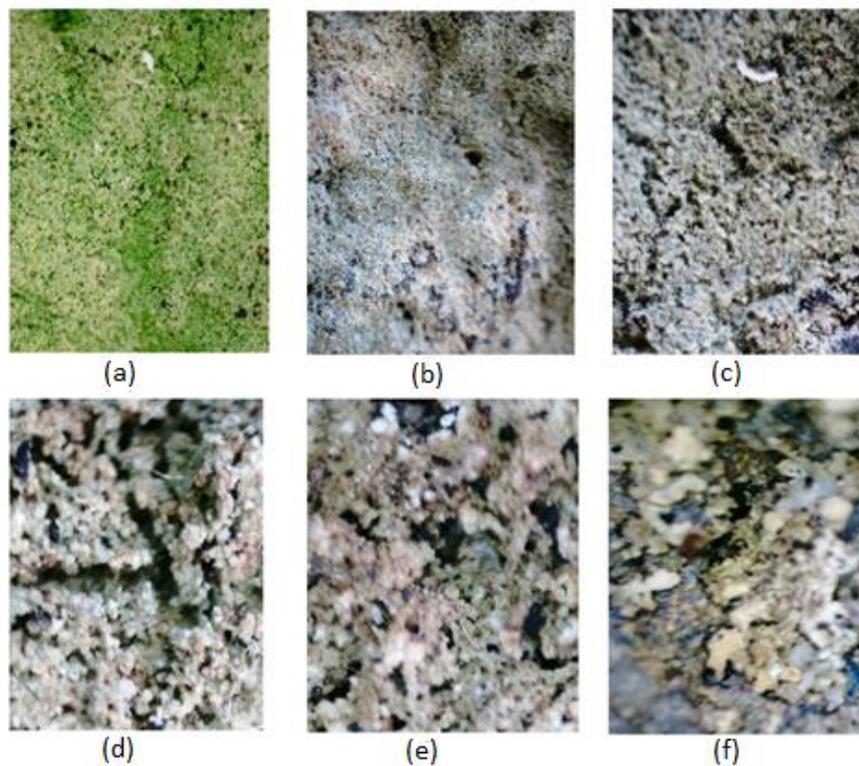


Gambar 36. Hasil pengamatan uji aktivitas AgNPs secara visual; sebelum (a); 1 hari (b); 3 hari (c); 6 hari (d); 8 hari (e); dan 10 hari (f)

Berdasarkan pengamatan secara visual pada Gambar 36, menunjukkan perubahan yang terjadi pada *lichen* yang menempel di permukaan batu sebelum dan setelah dilakukan pengaplikasian AgNPs-MADC. Urutan pengaplikasian larutan AgNPs sesuai dengan kode pada gambar 36 a (1-7) masing-masing merupakan MADC, 10 mM AgNO₃ + tween; 12 mM AgNO₃ + tween, 14 mM AgNO₃ + tween, 10 mM AgNO₃ + PEG; 12 mM AgNO₃ + PEG dan 14 mM AgNO₃ + PEG yang diamati selama 10 hari. Terlihat perbedaan yang begitu jelas perubahan warna dari *lichen* yang menempel pada batuan Candi di mana sebelum pengaplikasian formulasi tersebut terlihat *lichen* berwarna hijau dengan kondisi segar dan subur, namun setelah pengaplikasian dari AgNPs-MADC dengan berbagai variasi, menunjukkan kondisi *lichen* berubah warna menjadi kecoklatan yang menunjukkan bahwa *lichen* tersebut

mulai kering dan perlahan menunjukkan pertumbuhannya yang terhambat dan terhenti.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa AgNPs-MADC yang diformulasikan pada berbagai variasi konsentrasi serta dengan penambahan tween 80 dan PEG 400 menunjukkan bahwa AgNPs efektif dalam menghambat pertumbuhan *lichen* pada



batuan candi Borobudur.

Gambar 37. Visualisasi *Lichen* yang diamati dengan *Handy Microscope*; sebelum (a); hari ke 1 (b); hari ke 3 (c); hari ke 6 (d); hari ke 8 (e); an hari ke 10 (f)

Selain dilakukan secara visual, pengamatan terhadap perumbuhan *lichen* sebelum dan setelah pengaplikasian AgNPs juga dilakukan dalam skala mikro menggunakan *handy microscope*. Pengamatan dengan skala micro bertujuan untuk melihat lebih detail kondisi perubahan *lichen* setelah diberi perlakuan menggunakan AgNPs.

Lichen memiliki berbagai jenis dengan karakteristik serta bentuk morfologi yang beragam seperti *foliose*, *fruticose*, *crustose* dan *squamulose* (Roziaty, 2016). Dalam penelitian ini yang menjadi obyek penelitian pada batuan Candi Borobudur ialah *lichen* dengan jenis *squamulose* dan *crustose* (Gambar 37). *Lichen* jenis *squamulose* ini memiliki karakteristik dengan lobus-lobus yang seperti sisik, dan biasanya berukuran kecil dan saling tumpang tindih satu dengan yang lainnya, sedangkan *lichen* tipe *crustose* mempunyai karakteristik thallus yang memiliki lobus dan memusat dengan ukuran yang kecil (Marlina et al., 2017).

Gambar 37 (a) menunjukkan kondisi *lichen* yang masih terlihat segar dan subur dan belum diberi perlakuan apapun. Pengamatan terhadap efektivitas dari AgNPs dalam menghambat pertumbuhan *lichen* menunjukkan terjadinya perubahan warna pada *lichen*. Berdasarkan hasil pengamatan, menunjukkan bahwa *lichen* mengalami perubahan warna mulai dari hari ke 1 hingga hari ke 10, dimana perubahan warna yang ditunjukkan dari hijau segar yang menunjukkan kesuburan dari *lichen* hingga berwarna coklat yang menunjukkan *lichen* telah kering dan pertumbuhannya mulai terhambat. Sehingga, dapat disimpulkan dari hasil pengamatan ini bahwa AgNPs-MADC memiliki efektivitas yang baik dalam menghambat pertumbuhan *lichen*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V. 1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik minyak atsiri daun cengkeh memiliki beberapa sifat fisik diantaranya yaitu berwarna kuning, memiliki aroma khas minyak cengkeh, dengan nilai indeks bias 1,527. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan GC MS, senyawa utama yang terkandung dalam minyak atsiri daun cengkeh yaitu *eugenol* (76,03%) dan *trans-caryophyllene* (25,54%).
2. Metode sintesis nanopartikel perak dilakukan secara langsung dengan metode reduksi kimia menggunakan minyak atsiri sebagai reduktornya. Karakteristik pembentukan nanopartikel perak ditandai dengan terjadinya perubahan warna larutan menjadi cokelat.
3. Sintesis AgNPs berdasarkan variasi waktu penyimpanan menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyimpanan, maka panjang gelombang maksimum yang dihasilkan semakin meningkat mulai dari 431-475 nm, hal ini disebabkan karena terbentuknya agregasi sehingga koloid nanopartikel menjadi tidak stabil.
4. AgNPs yang disintesis berdasarkan variasi konsentrasi AgNO₃ menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi yang digunakan, puncak serapan akan bergeser ke panjang gelombang yang lebih kecil dan nilai absorbansi akan meningkat.
5. Dari hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa formulasi AgNPs-MADC dengan berbagai variasi konsentrasi dan adanya penambahan Tween 80 dan PEG 400 memiliki efektivitas yang baik dalam menghambat pertumbuhan lichen pada batuan Candi di Balai Konservasi Borobudur dan mampu menghambat pertumbuhan *lichen* dengan kemampuan daya hambat yang sangat kuat pada rentang ukuran 33-37 nm.

V.2 Saran

Saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh dari pH terhadap ukuran partikel, variasi terhadap volume surfaktan yang digunakan dan mampu menjaga kestabilan dari AgNPs serta melakukan uji efektivitas biologi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. De Caro, C. (2015). UV / VIS Spectrophotometry. *Mettler-Toledo International*, September 2015, 4–14.
- Abed, M. S., Abed, A. S., & Othman, F. M. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles from natural compounds: Glucose, eugenol and thymol. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 60(1), 95–111.
- Almasoud, N., Alhaik, H., Almutairi, M., Houjak, A., Hazazi, K., Alhayek, F., Aljanoubi, S., Alkhaibari, A., Alghamdi, A., Soliman, D. A., Alomar, T. S., & Awad, M. A. (2021). Green nanotechnology synthesized silver nanoparticles: Characterization and testing its antibacterial activity. *Green Processing and Synthesis*, 10(1), 510–528. <https://doi.org/10.1515/gps-2021-0048>
- Anindya, A. L. (2018). Particle size analyser: beberapa penggunaan instrumen hamburan cahaya. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol Dan Otomasi (SNIKO)*, 1, 10–11.
- Azad, M., & Avin, A. (2019). Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics - HERVEX, January*, 1–9.
- Azeem, A., Rizwan, M., Ahmad, F. J., Iqbal, Z., Khar, R. K., Aqil, M., & Talegaonkar, S. (2009). Nanoemulsion components screening and selection: A technical note. *AAPS PharmSciTech*, 10(1), 69–76. <https://doi.org/10.1208/s12249-008-9178-x>
- Bere, M. L., Sibarani, J., & Manurung, M. (2019). SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK (Npag) MENGGUNAKAN EKSTRAK AIR DAUN KEMANGI (Ocimum Sanctum Linn .) DAN APLIKASINYA DALAM FOTODEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 7, 155–164.
- Boenigk, J., Beisser, D., Zimmermann, S., Bock, C., Jakobi, J., Grabner, D., Großmann, L., Rahmann, S., Barcikowski, S., & Sures, B. (2014). Effects of silver nitrate and silver nanoparticles on a planktonic community: General trends after short-term exposure. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095340>
- Braga, M. S., Gomes, O. F., Jaimes, R. F. V. V., Braga, E. R., Borysow, W., & Salcedo, W. J. (2019). Multispectral colorimetric portable system for detecting metal ions in liquid media. *INSCIT 2019 - 4th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers, August*, 1–6.

<https://doi.org/10.1109/INSCIT.2019.8868861>

- Cahyandari, G. O. I. (2013). *Pelapukan Pada Batu Candi*. 109–119. http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_975592266527.pdf
- Chou, D. K., Krishnamurthy, R., Randolph, T. W., Carpenter, J. F., & Manning, M. C. (2005). Effects of Tween 20® and Tween 80® on the stability of Albutropin during agitation. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 94(6), 1368–1381. <https://doi.org/10.1002/jps.20365>
- Choudhary, O. P., & ka, P. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1877–1882. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.207>
- Chuchita, Santoso, S. J., & Suyanta. (2018). SINTESIS NANOPARTIKEL DARI PERAK NITRAT DENGAN TIROSIN SEBAGAI REDUKTOR DAN AGEN PENGKAPING UNTUK MEMBENTUK NANOKOMPOSIT FILM Agnps-POLI ASAM LAKTAT SEBAGAI ANTIBAKTERI. *Berkala MIPA*, 25(2), 140–153.
- Cunha, F. A., Lima, M. C. N., Martins, R. T., Cunha, M. C. S. O., Bandeira, M. A. A. B., Menezes, E. A., & Fechine, 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*, 37(5), 964–968.
- De Oliveira, L. M., Silva, L. S., Mar, J. M., Azevedo, S. G., Rabelo, M. S., Da Fonseca Filho, H. D., Lima, S. X., Bezerra, J. D. A., Machado, M. B., Campelo, P. H., & Sanches, E. A. (2019). Alternative Biodefensive based on the Essential Oil from *Allium sativum* Encapsulated in PCL/Gelatin Nanoparticles. *Journal of Food Engineering and Technology*, 8(2), 65–74. <https://doi.org/10.32732/jfet.2019.8.2.65>
- Ellingham, S. T. D., Thompson, T. J. U., & Islam, M. (2018). Scanning Electron Microscopy–Energy-Dispersive X-Ray (SEM/EDX): A Rapid Diagnostic Tool to Aid the Identification of Burnt Bone and Contested Cremains. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 504–510. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13541>
- Fabiani, V. A., Silvia, D., Liyana, D., & Akbar, H. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Pucuk Idat (*Cratogeomachra glaucum*) dengan Metode Iradiasi Microwave. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(2), 96. <https://doi.org/10.37033/fjc.v4i2.102>

- Flores, F. C., de Lima, J. A., Ribeiro, R. F., Alves, S. H., Rolim, C. M. B., Beck, R. C. R., & da Silva, C. B. (2013). Antifungal Activity of Nanocapsule Suspensions Containing Tea Tree Oil on the Growth of *Trichophyton rubrum*. *Mycopathologia*, *175*(3–4), 281–286. <https://doi.org/10.1007/s11046-013-9622-7>
- Gao, X., Gu, G., Hu, Z., Guo, Y., Fu, X., & Song, J. (2005). A simple method for preparation of silver dendrites. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *254*(1–3), 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.11.009>
- 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/>
- Hadidi, M., Pouramin, S., Adinepour, F., Haghani, S., & Jafari, S. M. (2020). Chitosan nanoparticles loaded with clove essential oil: Characterization, antioxidant and antibacterial activities. *Carbohydrate Polymers*, *236*(February), 116075. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116075>
- Harianingsih, Wulandari, R., Harliyanto, C., & Andiani, C. N. (2017). Identifikasi GC-MS Ekstrak Minyak Atsiri dari Sereh Wangi (*Cymbopogon winterianus*) Menggunakan Pelarut Metanol. *Techno*, *18*(1), 23–27.
- Hartati, S. Y., Penelitian, B., & Rempah, T. (2014). Efikasi Formula Fungisida Nabati Terhadap Penyakit Bercak Daun Jahe *Phyllosticta* sp. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah Dan Obat*, *24*(1), 42–48. <https://doi.org/10.21082/bullitro.v24n1.2013>.
- Haryono, A., Sondari, D., Harmami, S. B., & Randy, M. (2008). *Sintesa nanopartikel perak.pdf* (pp. 156–163).
- Hendra, H., Barlian, E., Razak, A., & Sanjaya, H. (2016). Photo-Degradation of Surfactant Compounds Using Uv Rays With Addition of Tio2 Catalysts in Laundry Waste. *Sainstek: Jurnal Sains Dan Teknologi*, *7*(1), 59. <https://doi.org/10.31958/js.v7i1.126>
- Hu, D., Ogawa, K., Kajiyama, M., & Enomae, T. (2020). Characterization of self-assembled silver nanoparticle ink based on nanoemulsion method. *Royal Society Open Science*, *7*(5). <https://doi.org/10.1098/rsos.200296>
- Hyochol Ahn, PhD, Michael Weaver, PhD, Debra Lyon, PhD, Eunyoung Choi, RN, and Roger B. Fillingim, P., & Tumbur, C. J. F. S. T. (2017). 乳鼠心肌提取

- HHS Public Access. *Physiology & Behavior*, 176(1), 139–148.
<https://doi.org/10.1039/c1cs15237h>.The
- Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8–10), 603–608. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)
- Jadhav, K., Dhamecha, D., Bhattacharya, D., & Patil, M. (2016). Green and ecofriendly synthesis of silver nanoparticles: Characterization, biocompatibility studies and gel formulation for treatment of infections in burns. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 155, 109–115.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.01.002>
- Jain, S., & Mehata, M. S. (2017). Medicinal Plant Leaf Extract and Pure Flavonoid Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles and their Enhanced Antibacterial Property. *Scientific Reports*, 7(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-15724-8>
- Jayanudin, J. (2018). Komposisi kimia minyak atsiri daun cengkeh dari proses penyulingan uap. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 10(1), 37.
<https://doi.org/10.5614/jtki.2011.10.1.5>
- 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>
- Keat, C. L., Aziz, A., Eid, A. M., & Elmarzugi, N. A. (2015). Biosynthesis of nanoparticles and silver nanoparticles. *Bioresources and Bioprocessing*, 2(1).
<https://doi.org/10.1186/s40643-015-0076-2>
- Keshari, A. K., Srivastava, R., Singh, P., Yadav, V. B., & Nath, G. (2020). Antioxidant and antibacterial activity of silver nanoparticles synthesized by *Cestrum nocturnum*. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 11(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.11.003>
- Khasanah, N. N., Ramadhanti, N., Tamako, P. D., A, S. E., & Nurohman, D. (n.d.). *Studi Aplikasi Metode Spektrofotometri pada Penentuan Kandungan Logam Besi dalam Sampel Air*.
- Kushwaha, R. K., Deepa, H. N., Karkera, P., & Jayashree, S. (2021). Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Synthesized Using *Syzygium aromaticum*, *Cinnamomum tamala*, *Cinnamomum cassia* Plant Extract. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33(1), 20–31.
<https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i1311134>

- Maciel, M. V. de O. B., Almeida, A. da R., Machado, M. H., Melo, A. P. Z. de, Rosa, C. G. da, Freitas, D. Z. de, Noronha, C. M., Teixeira, G. L., Armas, R. D. de, & Barreto, P. L. M. (2019). <i> Syzygium aromaticum</i> L. (Clove) Essential Oil as a Reducing Agent for the Green Synthesis of Silver Nanoparticles. *Open Journal of Applied Sciences*, 09(02), 45–54. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2019.92005>
- Mantilaka, M. M. M. G. P. G., De Silva, R. T., Ratnayake, S. P., Amaratunga, G., & de Silva, K. M. N. (2018). Photocatalytic activity of electrospun MgO nanofibres: Synthesis, characterization and applications. *Materials Research Bulletin*, 99(October 2017), 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.10.047>
- Marfina, A., Cahyono, E., Mursiti, S., & Harjono. (2019). Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Nanopartikel Emas dengan Bioreduktor Minyak Atsiri Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*). *Indo. J. Chem. Sci*, 8(2), 2–8.
- Margaretha, T., Kojong, I., & Aritonang, H. (2018). Green Syntesis Nanopartikel Perak (Ag) Menggunakan Larutan Daun Rumput Macan (*Lantana Camara L.*). *Chemistry Progress*, 11(2), 46–51. <https://doi.org/10.35799/cp.11.2.2018.27938>
- Marlina, T., Dini, I., & Maryono. (2017). *Isolasi Senyawa Alkaloid dari Fraksi Ekstrak Kloroform*. 137–140.
- 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.
- Mbatu, R. S. T., Kenanda, I. P. B., Suharta, I. G. Y., & Rita, W. S. (2018). Aktivitas Minyak Atsiri Daun Cengkeh Sebagai Antijamur Terhadap *Candida albicans*. *Jurnal Media Sains*, 2(1), 61–65. <http://jurnal.undhirabali.ac.id/index.php/mp3/article/view/360/326>
- Minyak, P., & Bunga, A. (2013). PENGAMBILAN MINYAK ATSIRI BUNGA CENGKEH (Clove Oil) MENGGUNAKAN PELARUT N-HEKSANA DAN BENZENA. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 1(2), 75346. <https://doi.org/10.15294/jbat.v1i2.2546>
- Montazer, M., Hajimirzababa, H., Rahimi, M. K., & Alibakhshi, S. (2012). Durable anti-bacterial nylon carpet using colloidal nano silver. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 93(4), 96–101.
- Murdock, R. C., Braydich-Stolle, L., Schrand, A. M., Schlager, J. J., & Hussain, S. M. (2008). Characterization of nanomaterial dispersion in solution prior to in

- vitro exposure using dynamic light scattering technique. *Toxicological Sciences*, 101(2), 239–253. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfm240>
- Musta, R., & Nurliana, L. (2019). Studi Kinetika Efektifitas Minyak Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) Sebagai Antifungi *Candida albicans*. *Indo. J. Chem. Res.*, 6(2), 107–114. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.6-rus>
- Neveu, V., Perez-Jiménez, J., Vos, F., Crespy, V., du Chaffaut, L., Mennen, L., Knox, C., Eisner, R., Cruz, J., Wishart, D., & Scalbert, A. (2010). Phenol-Explorer: an online comprehensive database on polyphenol contents in foods. *Database : The Journal of Biological Databases and Curation*, 2010(January). <https://doi.org/10.1093/database/bap024>
- Nirwana, C. H., & Zamrudy, W. (2021). Studi Literatur Karakteristik Minyak Cengkeh (Clove Oil) Dari Beberapa Metode Distilasi. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 561–569. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.271>
- Nourafkan, E., & Alamdari, A. (2018). *Study of effective parameters in silver nanoparticle synthesis through method of reverse microemulsion Journal of Industrial and Engineering Chemistry Study of effective parameters in silver nanoparticle synthesis through method of reverse microemulsion. September 2014.* <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.12.059>
- Nuraeni, W., Daruwati, I., W, E. M., & Sriyani, M. E. (2013). Verifikasi Kinerja Alat Particle Size Analyzer (PSA) Horiba Lb-550 Untuk Penentuan Distribusi Ukuran Nanopartikel. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*, 268–269.
- Øgden, L. (2019). Light Scattering a brief introduction. *University of Copenhagen*, May, 45.
- Otari, S. V., Patil, R. M., Ghosh, S. J., & Pawar, S. H. (2014). Green phytosynthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of *Manilkara zapota* (L.) seeds and its inhibitory action against *Candida* species. *Materials Letters*, 116, 367–369. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.11.066>
- Pratiwi, L., Rachman, M. S., & Hidayati, N. (2016). Ekstraksi Minyak Atsiri Dari Bunga Cengkeh Dengan Pelarut Etanol Dan N-Heksana. *University Research Colloquium*, 2, 655–661.
- Rahmayani, Y., Zulhadjri, Z., & Arief, S. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Perak-Tricalcium Phosphate (TCP) dengan Bantuan Ekstrak Daun Alpukat (*Persea americana*). *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 72–78. <https://doi.org/10.15408/jkv.v5i1.8652>

- Rajan, V. P., Gunasekaran, S., Ramanathan, S., Murugaiyah, V., Samsudin, M. W., & Din, L. B. (2016). Biological activities of four *Parmotrema* species of Malaysian origin and their chemical constituents. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(8), 36–43. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.60806>
- Riyanto, R. (2014). Minyak Atsiri sebagai Bahan Aktif Konservasi Benda Cagar Budaya. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 8(2), 4–10. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v8i2.127>
- 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>
- 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>
- Salzer, R., Graff, A., Simon, M., & Altmann, F. (2009). Standard free thickness determination of thin TEM samples via backscatter electron image correlation. *Microscopy and Microanalysis*, 15(SUPPL. 2), 340–341. <https://doi.org/10.1017/S1431927609096457>
- Sampath, M., Vijayan, R., Tamilarasu, E., Tamilselvan, A., & Sengottuvelan, B. (2014). Green synthesis of novel jasmine bud-shaped copper nanoparticles. *Journal of Nanotechnology*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/626523>
- Sharma, S. K., Verma, D. S., Khan, L. U., Kumar, S., & Khan, S. B. (2018). Handbook of Materials Characterization. *Handbook of Materials Characterization*, September, 1–613. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2>
- Singh, P., Kim, Y. J., Zhang, D., & Yang, D. C. (2016). Biological Synthesis of Nanoparticles from Plants and Microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 34(7), 588–599. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.02.006>
- Sipahelut, S. G. (2019). Perbandingan Komponen Aktif Minyak Atsiri dari Daging Buah Pala Kering Cabinet Dryer Melalui Metode Distilasi Air dan Air-Uap. *AGRITEKNO, Jurnal Teknologi Pertanian*, 8(1), 8–13. <https://doi.org/10.30598/jagritekno.2019.8.1.8>
- Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., Boritz, C., & Mulfingar, L. (2007). Synthesis and study of silver nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 84(2), 322–325. <https://doi.org/10.1021/ed084p322>
- Sulistiyani, M., & Huda, N. (2018). Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi Pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier

Transform Infra Red. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 195–198.

- Tekin, V., Kozgus Guldu, O., Dervis, E., Yurt Kilcar, A., Uygur, E., & Biber Muftuler, F. Z. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles by using eugenol and evaluation of antimicrobial potential. *Applied Organometallic Chemistry*, 33(7), 1–7. <https://doi.org/10.1002/aoc.4969>
- 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*, October 2019, 1–11. <https://doi.org/10.9734/ejmp/2019/v29i330157>
- Tuganitya, M., Gugule, S., & Anom, I. D. K. (2019). *Pemisahan dan identifikasi komponen-komponen utama minyak atsiri dari daun cengkeh segar dan kering (Syzygium aromaticum)*. 4(2), 44–47.
- Vijayaraghavan, K., Nalini, S. P. K., Prakash, N. U., & Madhankumar, D. (2012). Biomimetic synthesis of silver nanoparticles by aqueous extract of *Syzygium aromaticum*. *Materials Letters*, 75, 33–35. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.01.083>
- Vinicius, M., Brisola, D. O., Almeida, R., Heck, M., Curi, W., Gonçalves, C., Lopes, G., Montanheiro, C., Cleber, F., Ramos, M., Dutra, R., Armas, D., Luiz, P., & Barreto, M. (2020). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Green synthesis , characteristics and antimicrobial activity of silver nanoparticles mediated by essential oils as reducing agents. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28(July), 101746. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101746>
- Wahyudi, A., Sariman, & Rochani, S. (2011). Mining Preliminary Study of Particle Size Measurement of Fine Phosphate Rocks Using Dynamic Light Scattering Method. *Indones. Min. J.*, 3, 115–122.
- 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>
- Wahyuni,dkk, S. (2017). Minyak Atsiri untuk Konservasi Cagar Budaya Berbahan Batu Tahap II. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 11(1), 29–39. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v11i1.167>
- Xing, Y., Xu, Q., Li, X., Che, Z., & Yun, J. (2012). Antifungal Activities of Clove Oil Against *Rhizopus Nigricans*, *Aspergillus Flavus* and *Penicillium Citrinum* in Vitro and in Wounded Fruit Test. *Journal of Food Safety*, 32(1), 84–93. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2011.00347.x>

- Yanuardi, M. H. (2009). Penyebab Kerusakan dan Pelapukan beserta Penanganannya: Studi atas Faktor Biotik dan Abiotik di Candi Borobudur (Causes and Handling of Damage and Weathering: Study of Biotic and Abiotic Factors at Borobudur Temple). *Jurnal Sejarah Lontar*, 6(2), 29–37. <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/lontar/article/view/2512>
- Yusuf, Y. (2019). Isolasi dan Penentuan Molekul Senyawa Kimia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Zakir, M., & Budi, P. (2016). EFFECT OF AgNO₃ CONCENTRATION AND SYNTHESIS TEMPERATURE ON SURFACE PLASMON RESONANCE (SPR) OF SILVER NANOPARTICLES Pengaruh Konsentrasi AgNO₃ dan Suhu Sintesis terhadap Surface Plasmon Resonance (SPR) Nanopartikel Perak. *J. Chem. Res*, 4(1), 356–361.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Konsentrasi Sintesis AgNPs-MADC

Sintesis AgNPs 10 mM dalam 10 mL MADC

$$10 \text{ mM} = 0,01 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M.V$$

$$mol = 0,01 \text{ M} \cdot 0,01 \text{ L}$$

$$mol = 1 \times 10^{-4}$$

$$g = n.Mr$$

$$= 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,017 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 10 mM adalah sebesar 0,017 gram

Lampiran 2. Perhitungan Variasi Konsentrasi Sintesis AgNPs-MADC

a. Sintesis AgNPs 1 mM dalam 10 mL MADC

$$1 \text{ mM} = 0,001 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M.V$$

$$mol = 0,001 \text{ M} \cdot 0,01 \text{ L}$$

$$mol = 1 \times 10^{-5}$$

$$g = n.Mr$$

$$= 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,0017 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 1 mM adalah sebesar 0,0017 gram

b. Sintesis AgNPs 3 mM dalam 10 mL MADC

$$10 \text{ mM} = 0,003 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M.V$$

$$mol = 0,003 \text{ M} \cdot 0,01 \text{ L}$$

$$mol = 3 \times 10^{-5}$$

$$g = n.Mr$$

$$= 3 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,0051 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 3 mM adalah sebesar 0,0051 gram

c. Sintesis AgNPs 5 mM dalam 10 mL MADC

$$5 \text{ mM} = 0,005 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M.V$$

$$mol = 0,005 \text{ M} \cdot 0,01 \text{ L}$$

$$mol = 5 \times 10^{-5}$$

$$g = n.Mr$$

$$= 5 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,0085 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 5 mM adalah sebesar 0,0085 gram

d. Sintesis AgNPs 7 mM dalam 10 mL MADC

$$7 \text{ mM} = 0,007 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M.V$$

$$mol = 0,007 \text{ M} \cdot 0,01 \text{ L}$$

$$mol = 7 \times 10^{-5}$$

$$g = n.Mr$$

$$= 7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,0119 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 7 mM adalah sebesar 0,0119 gram

e. Sintesis AgNPs 9 mM dalam 10 mL MADC

$$9 \text{ mM} = 0,009 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M.V$$

$$mol = 0,009 \text{ M} \cdot 0,01 \text{ L}$$

$$mol = 9 \times 10^{-5}$$

$$g = n.Mr$$

$$= 9 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,0153 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 9 mM adalah sebesar 0,0153 gram

f. Sintesis AgNPs 10 mM dalam 10 mL MADC

$$10 \text{ mM} = 0,01 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M.V$$

$$mol = 0,01 M \cdot 0,01 L$$

$$mol = 1 \times 10^{-4}$$

$$g = n \cdot Mr$$

$$= 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,017 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 10 mM adalah sebesar 0,017 gram

Lampiran 3. Perhitungsn Variasi Konsentrasi AgNps-MADC dengan Penambahan Tween/PEG 1 mL

a. Sintesis AgNPs 10 mM dalam 10 mL MADC

$$10 \text{ mM} = 0,01 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M \cdot V$$

$$mol = 0,01 M \cdot 0,01 L$$

$$mol = 1 \times 10^{-4}$$

$$g = n \cdot Mr$$

$$= 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,017 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 10 mM adalah sebesar 0,017 gram

b. Sintesis AgNPs 12 mM dalam 10 mL MADC

$$12 \text{ mM} = 0,012 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$mol = M \cdot V$$

$$mol = 0,012 M \cdot 0,01 L$$

$$mol = 12 \times 10^{-5}$$

$$g = n \cdot Mr$$

$$= 12 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,0204 \text{ gram}$$

Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 12 mM adalah sebesar 0,0204 gram

c. Sintesis AgNPs 14 mM dalam 10 mL MADC

$$14 \text{ mM} = 0,014 \text{ M}$$

$$10 \text{ mL MADC} = 0,01 \text{ L}$$

$$\text{mol} = M \cdot V$$

$$\text{mol} = 0,014 \text{ M} \cdot 0,01 \text{ L}$$

$$\text{mol} = 14 \times 10^{-5}$$

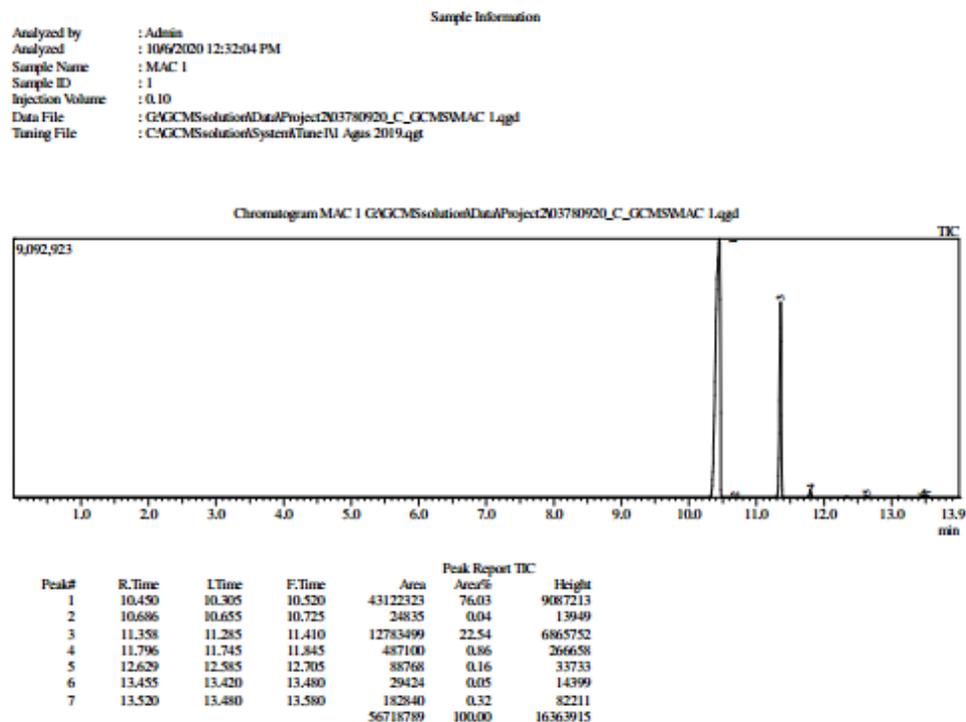
$$g = n \cdot M_r$$

$$= 14 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot 170 \text{ g/mol}$$

$$= 0,0238 \text{ gram}$$

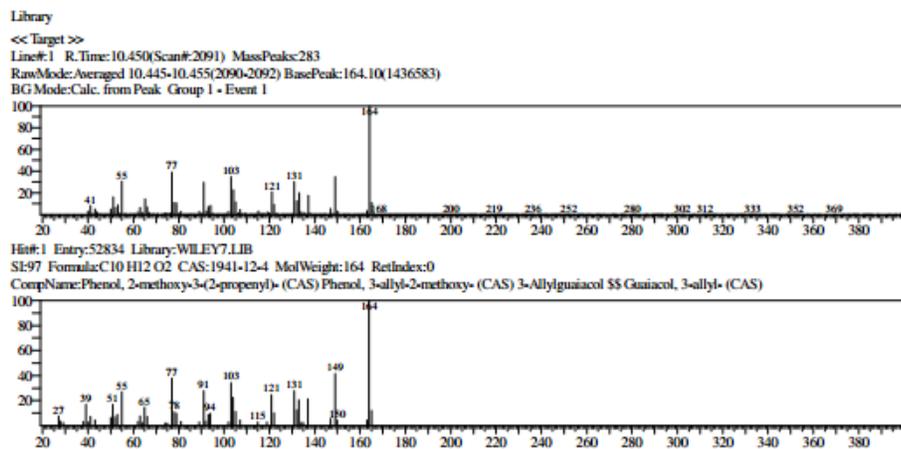
Jadi, berat AgNO_3 yang dibutuhkan dalam proses sintesis AgNPs-MADC dengan konsentrasi 14 mM adalah sebesar 0,0238 gram

Lampiran 4 Kromatogram GC Minyak Atsiri Daun Cengkeh

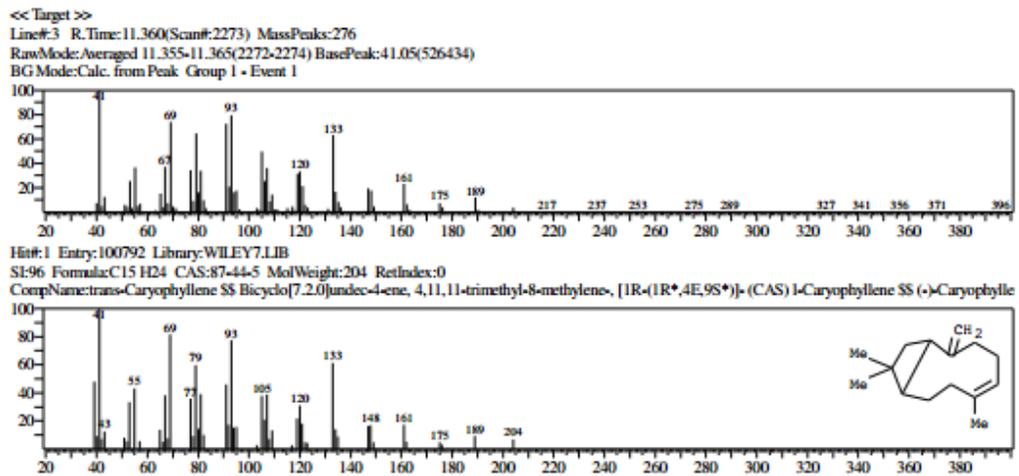


Lampiran 5. Kromatogram MS, pada senyawa utama minyak atsiri daun cengkeh

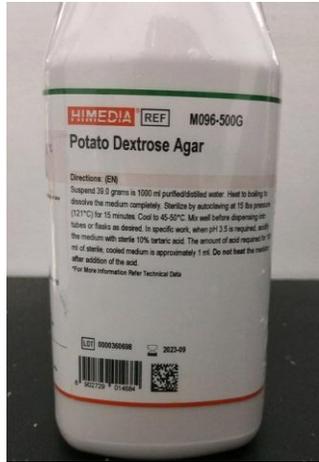
Senyawa Eugenol



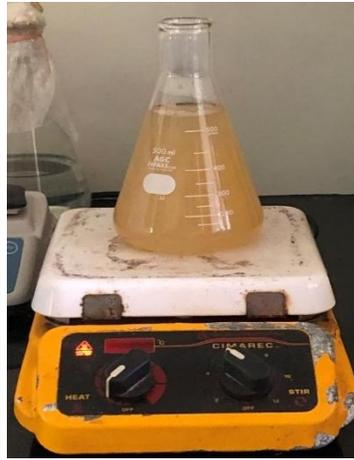
Senyawa *trans*-caryophyllene



Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian



Media spesifik PDA



Pembuatan Media



Autoclave



Sentrifugasi



Penanaman *lichen*



Preparasi sampel analisis SEM-EDX