

UJI EFEKTIVITAS MINYAK ATSIRI BIJI PALA (*Myristica fragans houtt*) UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN LUMUT KERAK (*Lichenes*) PADA CAGAR BUDAYA BATU

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Jogjakarta



disusun oleh:

**RINA ANDRIYANI
No. Mahasiswa: 11612032**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2015**

UJI EFEKTIVITAS MINYAK ATSIRI BIJI PALA (*Myristica fragans houtt*) UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN LUMUT KERAK (*Lichenes*) PADA CAGAR BUDAYA BATU

oleh:

RINA ANDRIYANI
No. Mahasiswa: 11612032

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Skripsi
 Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
 Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 12 Maret 2015

Dewan Penguji

1. Riyanto, M. Si., Ph.D
2. Nahar Cahyandaru, S.Si
3. Rudy Syahputra, M.Si., Ph.D
4. Tatang Shabur Julianto, M.Si

Tanda Tangan

Mengetahui,
 Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
 Universitas Islam Indonesia

(Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan untuk Mamah dan Bapak yang tersayang :

Kata terimakasih tidak akan mampu menggantikan semua yang telah diberikan, tetesan keringat dan air mata. Maaf bisa mungkin ananda belum menjadi yang paling terbaik, tapi ananda janji akan selalu berusaha untuk menjadi yang terbaik dan membuat mamah dan bapak bahagia.

Untuk keluarga besar Kakek Sumarjo dan Kakek Sanwikarta Tersayang. Terimakasih atas kasih sayang dan dukungannya yang tiada henti baik secara material, psikis dan moral hingga ananda bisa menjadi sarjana seperti yang kalian mau. Aku cinta kalian semua.

Sesungguhnya sholatku, ibadahku, hidupku dan matiku semuanya bagi Allah, Rabb Semesta Alam (Q.S. Al An'am: 162).

Dari Abu Hurairah ra. Bahwasanya Rasulullah SAW^o Bersabda: "Barang siapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu, maka Allah memudahkan bagi orang itu karena ilmu tersebut jalan menuju surga." (HR. Muslim).

Untuk sahabatku Dyah Tri Untari:

Terimakasih sudah menjadi sahabat terbaikku, teman serumah, teman penelitian, dan pokoknya kemana-mana bareng. Selalu bikin happy dengan sikapmu yang kadang-kadang konyol, selalu memberi nasehat disaat aku berbuat salah dan selalu memberi motivasi disaat aku

sedang down, walaupun kadang suka berantem gara-gara masalah sepele. Maaf ya kalo aku punya banyak salah sama kamu, semoga persahabatan kita gak cuma sampai disini tapi selamanya sampai maut memisahkan kita hehehe. Kejar mimpimu selagi kamu bisa dan jangan pernah menyerah sampai mimpimu terwujud!!

Untuk teman-teman kimia angkatan 2011:

Terimakasih sudah menjadi teman-teman terbaikku, kenangan bersama kalian tak akan pernah ku lupakan. Semoga kesuksesan dan kebaikan selalu menyertai kalian semua.

Untuk seseorang yang kelak menjadi imamku dan ayah dari anak-anakku.

KATA PENGANTAR



Assalamua'laikum Wr.Wb.

Alhamdulillah rabbil 'alamin. Puji dan syukur penyusun haturkan kehadirat Allah SWT atas karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir "**UJI EFEKTIVITAS MINYAK ATSIRI BIJI PALA (*Myristica fragans houtt*) UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN LUMUT KERAK (*Lichenes*) PADA CAGAR BUDAYA BATU**" ini.

Sesuai dengan kurikulum dan persyaratan akademis, untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains program strata satu (S1) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Prodi Kimia, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta, maka setiap mahasiswa diwajibkan membuat tugas akhir.

Selama membuat tugas akhir, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Dr. Is Fatimah, M.Si. selaku Ketua Prodi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Riyanto, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dengan penuh sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan skripsi ini dapat tersusun dengan baik.
 4. Bapak Nahar Cahyandaru, S.Si. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan pikirannya dalam membantu penelitian dan membimbing penyusun dalam skripsi ini.
 5. Kepala Balai Konservasi Borobudur yang telah memberikan izin tempat penelitian sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.
 6. Para staff di Balai Konservasi Borobudur, khususnya Mas Widyo selaku pembimbing lapangan yang mengajarkan dan memberikan arahan kepada penyusun sehingga penelitian berjalan dengan baik.
 7. Bapak Rudy Syahputra, M.Si., Ph.D. dan Bapak Tantang Shabur Julianto, M.Si, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
 8. Para Dosen, khususnya di Prodi Kimia FMIPA UII yang dengan ikhlas mentransfer ilmu dan pengalamannya demi kepentingan pendidikan.
 9. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan.
- Penyusun menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan tugas akhir ini.

Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.

Jogjakarta, Maret 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman Persembahan	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Intisari.....	xiv
Abstarct.....	xv

Bab I Pendahuluan

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

Bab II Tinjauan Pustaka

2.1 Pemeliharaan Benda Cagar Budaya Candi Borobudur.....	6
2.2 Mikroba di Batuan Candi Borobudur.....	8
2.3 Minyak Atsiri Biji Pala Untuk Bahan Konservasi Benda Cagar Budaya.....	10
2.4 Aktivitas Minyak Atsiri Sebagai Antibakteri dan Antijamur.....	13

Bab III Dasar Teori

3.1 Uraian Tentang Lumut Kerak (<i>Lichenes</i>)	
3.1.1 Sistematika Tumbuhan.....	14
3.1.2 Morfologi Lumut Kerak.....	15
3.1.3 Klasifikasi Lumut Kerak.....	19
3.1.4 Reproduksi Lumut Kerak.....	21
3.1.5 Dampak Lumut Kerak pada Batuan.....	21
3.2 Uraian Tentang Tanaman Pala	
3.2.1 Sistematika Tumbuhan.....	22
3.2.2 Morfologi Tumbuhan.....	22
3.2.3 Kegunaan Buah Pala.....	24
3.2.4 Buah Pala Sebagai Minyak Atsiri.....	25
3.3 Instrumen untuk Identifikasi dan Analisis	
3.3.1 Kromatografi Gas.....	29
3.3.2 Spektrofotometri Massa.....	33
3.3.3 KG-SM.....	34
3.3.4 Scanning Electron Microscope.....	36
3.3.5 Spektrofotometri Serapan Atom.....	38

Bab IV Metode Penelitian

4.1 Alat dan Bahan	
4.1.1 Alat yang digunakan.....	44

4.1.2 Bahan yang digunakan.....	45
4.2 Sampel.....	45
4.3 Cara Kerja	
4.3.1 Uji Karakteristik Minyak Atsiri Biji Pala.....	45
4.3.2 Analisis Kualitas Minyak Atsiri Biji Pala dengan GC-MS.....	47
4.3.3 Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Cr dan Pb.....	47
4.3.4 Preparasi Sampel Minyak Atsiri Biji Pala.....	48
4.3.5 Uji Aktivitas Antijamur Minyak Atsiri Biji Pala.....	48
4.3.6 Pengujian Lapangan.....	49

Bab V Hasil dan Pembahasan

5.1 Uji Karakteristik Minyak Atsiri Biji Pala.....	50
5.2 Analisis Minyak Atsiri Biji Pala dengan GC-MS.....	53
5.2.1 Identifikasi senyawa pada puncak 2 t _R 4,654 menit.....	54
5.2.2 Identifikasi senyawa pada puncak 3 t _R 5,177 menit.....	56
5.2.3 Identifikasi senyawa pada puncak 4 t _R 5,265 menit.....	57
5.2.4 Identifikasi senyawa pada puncak 15 t _R 8,279 menit.....	59
5.2.5 Identifikasi senyawa pada puncak 19 t _R 13,190 menit.....	60
5.3 Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Cr dan Pb.....	63
5.4 Identifikasi Jamur Hasil Isolasi.....	66

5.4.1 Uji Aktivitas Antijamur Minyak Atsiri Pala dengan Metode Difusi.....	67
5.5 Uji Coba Minyak Atsiri Biji Pala pada Lumut Kerak.....	70
5.5.1 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Minyak Atsiri Biji Bala 1%.....	71
5.5.2 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Minyak Atsiri Biji Bala 5%.....	72
5.5.3 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Minyak Atsiri Biji Bala 10%.....	73
5.5.4 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Minyak Atsiri Biji Bala 15%.....	74
5.5.5 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Minyak Atsiri Biji Bala 20%.....	75
5.5.6 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Minyak Atsiri Biji Bala 25%.....	76
5.5.7 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Minyak Atsiri Biji Bala 100%.....	77
5.5.8 Pengamatan Lumut Kerak Setelah Dioles Menggunakan Larutan Tween + Akuades 10%.....	78

5.6 Pengamatan Lumut Kerak (<i>Lichenes</i>) Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	80
---	----

Bab VI Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan.....	83
6.2 Saran.....	84
Daftar Pustaka.....	85
Lampiran.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Persentase berat dari bagian-bagian buah pala.....	24
Tabel 2. Spesifikasi biji pala sesuai SNI 01-0006-1987.....	26
Tabel 3. Standar mutu minyak atsiri pala.....	27
Tabel 4. Komposisi pembuatan konsentrasi minyak atsiri biji pala.....	48
Tabel 5. Hasil uji karakteristik minyak atsiri biji pala.....	51
Tabel 6. Kemungkinan fragmen yang hilang dari senyawa α -pinen.....	55
Tabel 7. Kandungan senyawa kimia minyak atsiri biji pala.....	62
Tabel 8. Hasil optimasi alat Spektrofotometri Serapan Atom.....	64
Tabel 9. Hasil analisis kandungan logam Pb,Cd dan Cr menggunakan SSA.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kandungan Kimia Hyvar X-L Herbisida.....	7
Gambar 2. Batu candi yang ditumbuhi lumut kerak (<i>Lichenes</i>).....	9
Gambar 3. Contoh senyawa aromatik dan terpenoid.....	11
Gambar 4. Contoh lumut kerak crustose.....	16
Gambar 5. Contoh lumut kerak foliose.....	17
Gambar 6. Contoh lumut kerak fructiose.....	17
Gambar 7. Contoh lumut kerak squamulose.....	18
Gambar 8. Tanaman buah pala.....	23
Gambar 9. Struktur kima komponen minyak atsiri biji pala.....	28
Gambar 10. Skema alat kromatografi gas.....	30
Gambar 11. Diagram skematik fungsi dasar dan cara kerja SEM.....	37
Gambar 12. Skema umum komponen alat pada SSA.....	40
Gambar 13. Lampu katoda berongga.....	42
Gambar 14. <i>Photomultiplier Tube</i>	43
Gambar 15. Kromatogram Minyak atsiri biji pala.....	53
Gambar 16. Spektrum massa senyawa α -pinen.....	54
Gambar 17. Senyawa α -pinen.....	55
Gambar 18. Spektrum massa senyawa β -phelladrene.....	56
Gambar 19. Senyawa β -phelladrene.....	57
Gambar 20. Spektrum massa senyawa β -pinen.....	57
Gambar 21. Senyawa β -pinen.....	58
Gambar 22. Spektrum massa senyawa terpinen-4-ol.....	59
Gambar 23. Senyawa terpinen-4-ol.....	59
Gambar 24. Spektrum massa senyawa miristisin.....	60
Gambar 25. Senyawa Miristisin.....	61
Gambar 26. Pengamatan jamur hasil isolasi.....	66

Gambar 27. <i>Penicillium sp</i>	67
Gambar 28. Efek penghambatan minyak atsiri biji pala terhadap jamur.....	68
Gambar 29. Hasil pengukuran zona penghambatan minyak atsiri biji pala terhadap jamur.....	69
Gambar 30. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 1%.....	71
Gambar 31. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 5%.....	72
Gambar 32. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 10%.....	73
Gambar 33. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 15%.....	74
Gambar 34. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 20%.....	75
Gambar 35. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 25%.....	76
Gambar 36. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 100%.....	77
Gambar 37. Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan larutan tween + akuades 10%.....	78

**UJI EFEKTIVITAS MINYAK ATSIRI BIJI PALA (*Myristica fragans houtt*)
UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN LUMUT KERAK (*Lichenes*)
PADA CAGAR BUDAYA BATU**

Rina Andriyani

NIM: 11612032

INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang uji efektivitas minyak atsiri biji pala (*Myristica fragans houtt*) serta uji aktivitas antijamur dari lumut kerak. Penelitian ini bertujuan untuk melindungi cagar budaya batu dari lumut kerak yang dapat merusak batu candi Borobudur.

Minyak atsiri biji pala diuji karakteristiknya, meliputi indeks bias dan bobot jenis. Analisa kandungan senyawa minyak atsiri biji pala menggunakan KG-SM. Serta analisis kandungan logam berat Cd, Cr dan Pb menggunakan SSA. Sebelum aplikasi ke lapangan dilakukan uji aktivitas antijamur dari lumut kerak dengan metode difusi. Aplikasi uji efektivitas minyak atsiri biji pala terhadap batu dilakukan dengan cara dioles pada permukaan batu yang ditumbuhi lumut kerak. Pengamatan setelah aplikasi minyak atsiri biji pala terhadap lumut kerak dilakukan menggunakan SEM, tujuannya untuk melihat perbedaan topografi permukaan lumut kerak pada batu sebelum dan sesudah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala.

Hasil penelitian menunjukkan minyak atsiri biji pala memiliki indeks bias 1,485 dan bobot jenis 0,910 gr/mL. Hasil analisis dengan KG-SM menunjukkan lima senyawa utama dengan komposisi yang besar adalah α -pinen 13,16%; β -phelladrene 12,53%; β -pinen 11,43%; terpinene-4-ol 15,15%; dan miristisin 13,58%. Hasil analisis dengan SSA menunjukkan kandungan logam Cd dan Pb dalam sampel minyak atsiri biji pala tidak ada, sedangkan kandungan logam Cr dalam sampel minyak atsiri biji pala sebesar 6,093 mg/kg. Hasil uji aktivitas antijamur menunjukkan zona penghambatan minyak atsiri biji pala pada setiap konsentrasi, 1% = 6 mm; 5% = 6,5 mm; 10% = 7,5 mm; 15% = 10 mm; 20% = 11 mm; 25% = 20 mm.. Hasil penelitian penghambatan lumut kerak terhadap cagar budaya batu menunjukkan bahwa konsentrasi yang optimum untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak adalah pada konsentrasi minyak atsiri biji pala adalah 25%.

Kata kunci: pala (*Myristica fragans houtt*), KG-SM, SSA, lumut kerak (*Lichenes*), antijamur.

**THE EFFECTIVENESS OF NUTMEG OIL (*Myristica fragans houtt*) FOR
INHIBIT THE GROWTH OF LICHENS (*Lichenes*) TO CULTURAL
CONSERVATION OF STONE**

Rina Andriyani

NIM: 11612032

ABSTRACT

Research about the effectiveness of nutmeg oil (*Myristica fragans houtt*) for inhibit the growth of lichens to cultural conservation of stone has been done. The purpose of research is to protect the cultural conservation of stone from lichens. Lichens growth on stone can be damaged of Borobudur Temple.

The study aimed examining the nutmeg oil characteristic, including refractive index and specific gravity. Analysis of compounds nutmeg oil using GC-MS. And analysis of heavy metals Cd, Cr and Pb using AAS. Before the application to the field test the antifungal activity of lichens with diffusion method. Application of the effective nutmeg oil on stone by smeared with that at the surface of the stone. Observations after the application of nutmeg oil to lichens using SEM.

The result of this study showed that of nutmeg oil has a refractive index and specific gravity one 1,485 and 0,910 mg/mL, respectively. The result of analysis by GC-MS showed five the main compounds with composition of α -pinen 13,16%; β -phelladrene 12,53%; β -pinen 11,43%; terpinene-4-ol 15,15%; and myristicin 13,58%. The result analysis by AAS showed metal content of Cd and Pb in the sample of nutmeg oil no detection, while metal content of Cr in samples is 6,093 mg/kg. Result of the test antifungal activity showed inhibition zones nutmeg oil at each concentration, 1% = 6 mm; 5% = 6,5 mm; 10% = 7,5 mm; 15% = 10 mm; 20% = 11 mm; 25% = 20 mm. The results of this study is inhibition of lichens on cultural conservation of stone showed that the optimum concentration to inhibit the growth of lichens is nutmeg oil at 25%.

Keywords: nutmeg oil, GC-MS, lichens, antifungal , AAS, SEM.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan Indonesia yang kaya akan benda cagar budaya memang sudah tidak diragukan lagi. Hampir di setiap daerah terdapat cagar budaya yang tidak ternilai harganya sebagai warisan dan sekaligus pertanda betapa hebatnya nenek moyang kita dulu. Cagar budaya merupakan kekayaan budaya bangsa yang penting artinya bagi pemahaman dan pengembangan sejarah, ilmu pengetahuan dan kebudayaan, sehingga perlu dilindungi dan dilestarikan demi pemupukan kesadaran jati diri bangsa Bangsa Indonesia. Indonesia mempunyai beberapa benda cagar budaya warisan dari nenek moyang yang telah masuk dalam warisan dunia UNESCO seperti Candi Borobudur, Candi Prambanan, Batik dan Wayang. Benda cagar budaya terbuat dari batu, kayu, kain dan kertas. Benda cagar budaya harus dilindungi dari kepunahan dan kerusakan akibat proses alam seperti hujan asam, serangan serangga, jamur dan mikroba. Jenis mikroba yang banyak tumbuh di batuan yaitu lumut kerak (*Lichenes*), jamur dan alga. Mikroba tersebut mudah berkembang pada batuan, batu pasir, granit, batu kapur dan gypsum (Burford *et al.*, 2003).

Selama ini Balai Konservasi Borobudur banyak menggunakan pestisida, fungisida dan insektisida sintetik seperti AC-322 dan Hyvar X-L. Bahan-bahan tersebut diduga mengandung bahan berbahaya dan beracun, yang menyebabkan bahaya bagi manusia yang melakukan konservasi, pengunjung, dan lingkungan

sekitar benda cagar budaya. Bahan-bahan tersebut dapat menyebabkan kanker karena bersifat karsinogenik dan mutagenik. Tapi sekarang di Balai Konservasi Borobudur bahan-bahan tersebut sudah mulai dihindari, sehingga perlu alternatif bahan lain sebagai penggantinya yang lebih ramah lingkungan dan efektif .

Faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan bangunan bersejarah yaitu kimia, fisika dan mikrobiologi (Suihko *et al.*, 2007). Pertumbuhan mikroba pada batuan tergantung pada faktor lingkungan seperti ketersediaan air, pH, iklim, sumber nutrisi, komposisi batuan, porositas dan permeabilitas batuan (Warscheid and Bramms, 2000).

Indonesia mempunyai keanekaragaman hayati tanaman penghasil minyak atsiri. Dengan tersedianya berbagai jenis tanaman penghasil minyak atsiri tersebut, maka Indonesia mempunyai peluang yang sangat besar untuk mengembangkan minyak atsiri sebagai pestisida nabati. Pemanfaatan pestisida nabati diharapkan mampu memberikan hasil pengendalian yang efektif, efisien, sekaligus aman bagi lingkungan. Selain aman bagi manusia dan tidak mencemari lingkungan, pestisida nabati diharapkan tidak memicu terjadinya resistensi hama tersebut terhadap pestisida yang digunakan. Pestisida nabati adalah pestisida yang bahan dasarnya berasal dari tumbuhan. Penggunaan pestisida nabati selain dapat mengurangi pencemaran lingkungan, harganya relatif lebih murah apabila dibandingkan dengan pestisida kimia sintetis (Sudarmo, 2005). Salah satu tanaman yang sudah dibudidayakan adalah sereh dapur, sereh wangi dan nimba

yang dapat dibuat menjadi bentuk minyak tanaman sebagai penolak hama dan juga nyamuk (Zanellato *et al.*, 2009).

Minyak atsiri dari tanaman aromatik diketahui mengandung senyawa aktif yang dapat digunakan sebagai bahan baku insektisida. Hal ini berkaitan dengan sifatnya yang mampu membunuh, mengusir dan menghambat makan hama. Beberapa minyak atsiri dari tanaman aromatik yang diduga bersifat insektisida antara lain minyak cengkeh (*Eugenia aromatic*), minyak biji pala (*Mryristica fragans houtt*), minyak serai wangi (*Andropogon nardus*), dan minyak kayu manis (*Cinnamomum spp.*). Karena itu, sangat perlu dicarikan alternatif konservasi benda cagar budaya menggunakan pestisida alami atau nabati. Beberapa minyak atsiri mengandung senyawa benzen dan gugus hidroksil, sehingga dapat berperan sebagai pestisida nabati. Salah satu bahan alam yang harganya murah dan efektivitas tinggi yaitu minyak atsiri. Pestisida nabati merupakan pestisida yang dapat menjadi alternatif untuk mengurangi penggunaan pestisida sintesis. Pestisida berbasis minyak atsiri telah lolos registrasi dari EPA (*Enviromental Protection Agency*) dan dinyatakan aman dari GRAS (*Generally Recognized as Safe*) sehingga ramah terhadap manusia dan lingkungan. Penelitian penggunaan minyak atsiri untuk pestisida, fungisida dan insektisida telah banyak dilakukan umumnya untuk melindungi tanaman.

Beberapa jenis pestisida berbasis minyak atsiri telah diproduksi dan sering digunakan untuk mengendalikan patogen, serangan hama dan vektor pathogen di lingkungan rumah, rumah kaca dan peternakan. Pestisida berbasis minyak atsiri juga mempunyai nilai MIC (*Minimum Inhibitory Concentration*) dan LD (*Lethal*

Dose) yang rendah, kompatibel, dan menghasilkan produk pertanian yang bebas residu.

Penelitian penggunaan tanaman minyak atsiri khususnya pala untuk konservasi benda cagar budaya untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak (*Lichenes*) pada cagar budaya batu belum pernah dilakukan. Karena itu peneliti akan melakukan penelitian penggunaan minyak atsiri biji pala untuk melindungi benda cagar budaya yang terbuat dari batu dari lumut kerak (*Lichenes*).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah sifat fisika dan komposisi kimia minyak atsiri biji pala yang dihasilkan dari penyulingan?
2. Bagaimanakah efek minyak atsiri biji pala terhadap lumut kerak (*Lichenes*)?
3. Berapakah dosis yang optimum untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak (*Lichenes*) pada cagar budaya batu?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan sifat fisika dan komposisi kimia minyak atsiri biji pala yang dihasilkan dari hasil penyulingan.
2. Mengetahui efek minyak atsiri biji pala untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak (*Lichenes*) pada cagar budaya batu.
3. Menentukan dosis yang optimum untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak (*Lichenes*) pada cagar budaya batu.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menemukan formula yang memiliki efektivitas tinggi untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak (*Lichenes*).
2. Dapat digunakan untuk konservasi benda cagar budaya khususnya batu candi yang ramah lingkungan.
3. Dapat menemukan formula baru dengan harga yang relatif lebih murah dan efisien.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemeliharaan Benda Cagar Budaya Candi Borobudur

Ada dua faktor faktor utama yang mempengaruhi kerusakan bagian-bagian pada Candi Borobudur, yaitu faktor dari dalam dan faktor dari luar. Faktor dari dalam adalah besarnya tekanan antarbatuan yang menyusun candi Borobudur. Faktor dari luar yang mempengaruhi kerusakan pada candi Borobudur diantaranya adalah faktor iklim, faktor lumut dan ganggang, serta faktor manusia. Pada faktor iklim, yang mempengaruhi adalah suhu dan curah hujan. Curah hujan juga berpengaruh terhadap kerusakan pada batuan. Curah hujan yang tinggi pada musim hujan dapat mengikis permukaan batuan sedikit demi sedikit. Kondisi batuan yang lembap karena terkena hujan juga dapat memicu tumbuhnya lumut dan ganggang, serta lumut kerak (*Lichenes*). Jamur, ganggang, dan lumut kerak (*Lichenes*) akan tumbuh di permukaan batuan yang lembab, sehingga dapat menimbulkan pelapukan pada batuan dan mengurangi kekuatan batuan itu. Ketiga jenis tanaman ini biasanya hidup pada batuan yang tidak terkena sinar matahari langsung, atau pada batuan yang ada di dalam candi. Hal ini sangat mengkhawatirkan bagi kelestarian candi Borobudur.

Untuk perawatan terhadap faktor jamur, ganggang, dan lumut kerak, pihak pengelola telah mempunyai cara tersendiri untuk membasmi jamur, ganggang, dan lumut kerak yang tumbuh pada batuan di Candi Borobudur. Selama ini metode

pembersihan lumut yang dilakukan dalam pembersihan batu di Candi Borobudur adalah pembersihan secara kimiawi dan mekanis. Metode ini menggunakan cairan kimia *Hivar XL*. Bahan kimia ini digosok pada setiap permukaan batuan andesit yang ditumbuhi jamur, ganggang, maupun lumut kerak. Kandungan kimia pada herbisida Hyvar XL ditunjukkan pada Gambar 1. Herbisida Hyvar X-L mengandung bahan kimia 5-bromo-3-sec-butyl-6-methyluracil yang diduga menyebabkan kerusakan kulit, iritasi mata, karsinogenik dan mutagenik.

DuPont™	
HYVAR® X-L	
herbicide	
Water Soluble Liquid	
Active Ingredient	By Weight
*Lithium salt of bromacil (5-bromo-3-sec-butyl-6-methyluracil)	21.9%
Inert Ingredients	78.1%
TOTAL	100%
* Equivalent to 21.4% Bromacil. 1 Gallon Contains 2 Pounds Bromacil	
EPA Reg. No. 352-346	

Gambar 1. Kandungan Kimia Hyvar X-L Herbisida

Pembersihan secara mekanis yang dilakukan berupa penggosokan dengan sikat baik secara kering maupun basah. Penggosokan dengan sikat menyebabkan rontoknya lumut kerak yang tumbuh pada batuan, akan tetapi lumut kerak tersebut tidak mati. Namun pembersihan dengan cara juga ini dapat mengakibatkan kerontokan permukaan batuan. Metode lain yang digunakan adalah pembersihan secara fisik menggunakan *steam cleaner*. Dari hasil penelitian-penelitian yang

telah dilakukan menerangkan bahwa metode pembersihan yang dipakai mempunyai kelemahan, khususnya pembersihan secara mekanis dan *steam cleaner*. Kelemahan tersebut di antaranya adalah dapat menimbulkan efek kerontokan pada permukaan batuan.

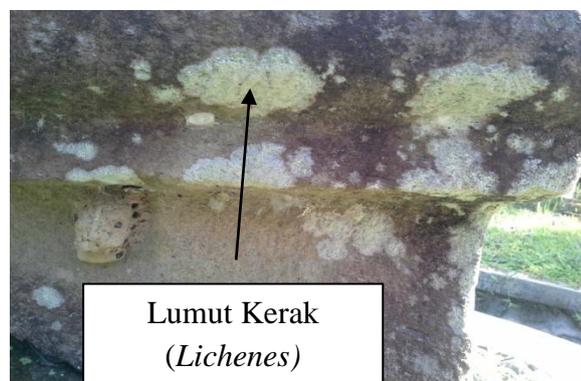
2.2 Mikroba di Batuan Candi Borobudur

Salah satu sebab kerusakan benda cagar budaya adalah pelapukan oleh bahan-bahan organik. Pelapukan organik yaitu proses penghancuran benda cagar budaya yang diakibatkan oleh aktivitas makhluk hidup, baik hewan maupun tumbuhan. Bakteri merupakan salah satu jasad renik yang terbentuk seperti batang, peluru, dan sekrup. Bakteri termasuk makhluk hidup yang kasat mata. Untuk dapat mengamati dan mengenal bakteri secara seksama diperlukan mikroskop. Jamur dapat juga disebut fungi atau cendawan. Jamur merupakan organisme yang tidak punya klorofil atau bersifat heterotrof. Untuk mempertahankan dirinya, jamur hidup sebagai parasit dan saprofit. Jamur berkembang baik secara kawin dan tidak kawin. Perkembangbiakan secara kawin dilakukan dengan cara konjugasi, akospora dan basidiospora. Perkembangan dengan cara tidak kawin dilakukan dengan membentuk spora, membelah diri, fragmentasi dang dengan kondium.

Berdasarkan hasil penelitian di Candi Borobudur, makhluk hidup dapat mempercepat proses pelapukan. Batuan Candi Borobudur yang kaya mineral penting sebagai tempat yang tepat bagi tumbuhan organisme saprofit. Mineral-mineral batuan tersebut bereaksi dengan bahan-bahan organik dan makhluk hidup saprofit dan terjadilah pelapukan. Makhluk hidup yang ditemukan di Candi

Borobudur yaitu bakteri, alga dan jamur. Bakteri yang tumbuh di Candi Borobudur seperti bakteri fotoautotrof yang dapat mensintesis senyawa organik dengan menggunakan energi cahaya matahari tidak langsung. Bakteri tersebut menghasilkan berbagai senyawa asam yang dapat bereaksi dengan oksida batuan. Contoh bakteri yang ada pada batuan Candi Borobudur adalah *Amonifiri, SP.*, *Aceutobacteur* dan *Fictobacteur fixing*.

Lumut kerak (*Lichenes*) juga ditemukan dibatuan Candi Borobudur. Lumut kerak yang dapat hidup di Candi Borobudur atau batuan merupakan jenis lumut kerak Crustose. Lumut kerak dapat membentuk bercak pada batu. Permukaan bawah melekat pada substrat dan permukaan atas merupakan tempat fotosintesis.



Gambar 2. Batu candi yang ditumbuhi lumut kerak (*Lichenes*)

Lumut kerak (*Lichenes*) adalah tumbuhan yang dapat hidup di batu. Dalam pertumbuhannya lumut kerak mengeluarkan zat yang bersifat asam yang dapat menghancurkan batu tempat hidupnya. Salah satunya adalah batuan di Candi Borobudur yang akhir-akhir ini dipenuhi oleh lumut kerak yang dapat mengurangi nilai estetika candi.

2.3 Minyak Atsiri Biji Pala Untuk Bahan Konservasi Benda Cagar Budaya

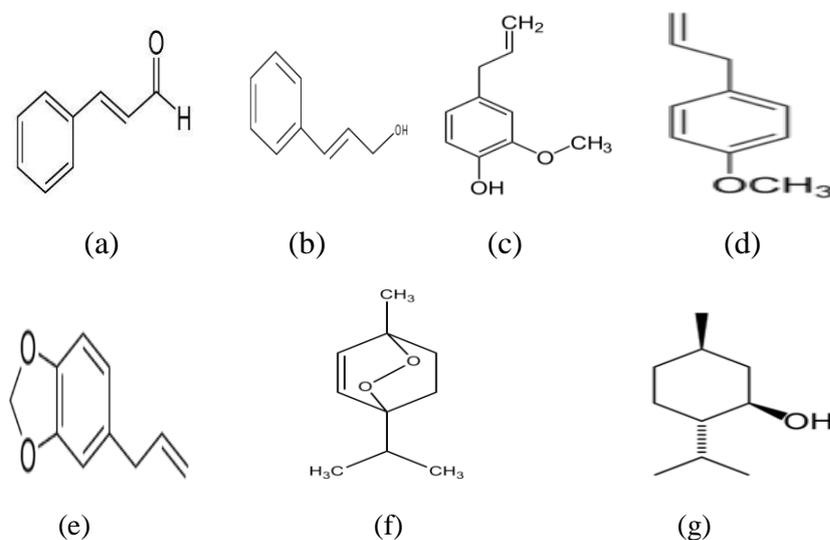
Kegunaan minyak atsiri sangat luas dan spesifik, khususnya dalam berbagai bidang industri, antara lain dalam industri kosmetik (sabun, pasta gigi, sampo, losion), dalam industri makanan sebagai bahan penyedap atau penambah cita rasa, dalam industri parfum sebagai pewangi, dalam industri bahan pengawet, bahkan digunakan pula sebagai insektisida, oleh karena itu tidak heran jika minyak atsiri banyak diburu berbagai negara (Lutony *et al.*, 1994).

Beberapa jenis minyak atsiri terbukti mempunyai aktivitas biologi terhadap mikroba maupun serangga hama dan vektor patogen yang merugikan manusia, hewan, dan tanaman. Properti minyak atsiri tersebut telah banyak dimanfaatkan dan produknya telah banyak dikomersialkan terutama di bidang industri makanan, misalnya sebagai bahan aditif dan pengawet makanan. Potensi minyak atsiri sebagai pestisida nabati juga sangat besar ditinjau dari aktivitas biologi, efikasi, kompatibilitas, organisme sasaran, serta keamanannya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Minyak atsiri biji pala memiliki banyak kegunaan dalam bidang farmasi. Minyak atsiri biji pala digunakan dalam industri obat-obatan seperti obat sakit perut, diare, *bronchitis*, dan rematik. Minyak atsiri biji pala juga memiliki kemampuan lain yaitu, dapat mematikan serangga (insektisidal), antijamur (fungisidal), antibakteri dan antioksidan yang kuat (Nurdjannah, 2007).

Komponen utama yang terdapat di dalam minyak atsiri biji pala, yang beraroma tinggi dan mempunyai sifat pedas, adalah d-pinena, d-kamfena, dipentena dan miristisin. Komponen utama dari monoterpen hidrokarbon pada biji

pala adalah alfa dan beta pinena dan sabinena, sedangkan miristisin adalah komponen utama dari eter aromatik. Miristisin merupakan salah satu komponen penting dari minyak pala yang bersifat beracun dan dapat bertindak sebagai narkotik serta dapat menyebabkan degenerasi hati. Kamfena dan turunannya memiliki sifat antibakteri, antijamur, dan insektisida yang kuat, banyak digunakan dalam industri manufaktur. Kamfena dapat dikonversi menjadi senyawa lain, digunakan dalam pembuatan kapur barus dan obat dalam farmasi. Beberapa jenis minyak atsiri mengandung senyawa monoterpen yang mempunyai sifat antimikroba seperti cymene, sabinen, alpha pinen, betapinen, sitronellol, geraniol, carvacrol, thymol, farnesol dan caryophyllene. Struktur dan gugus fungsi yang berperan sebagai antimikroba (Reichling, 2009), ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh senyawa aromatik dan terpenoid. (a) Sinamaldehyd, (b) Cinnamyl alcohol, (c) Eugenol, (d) Estragole, (e) Safrol, (f) Ascaridole, dan (g) Mentol.

2.4 Aktivitas Minyak Atsiri Sebagai Antibakteri dan Antijamur

Aktivitas biologi minyak atsiri terhadap mikroba telah banyak diteliti terutama terhadap bakteri patogen pada manusia dan hewan. Hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa sejumlah minyak atsiri mempunyai aktivitas terhadap bakteri patogen baik yang bersifat gram negatif maupun positif dengan nilai MIC (*Minimum Inhibitory Concentration*) yang bervariasi. Sejumlah minyak atsiri juga dilaporkan mempunyai aktivitas terhadap bakteri patogen pada tanaman (Hartati *et al.*, 1994; Supriadi *et al.*, 2008; Pradhanang *et al.*, 2003; Vasinauskiene *et al.*, 2006; Kotan *et al.*, 2007).

Menurut Shelef (1983) dalam penelitian oleh Endang Susilawati (1987), komponen antimikroba yang terdapat didalam minyak atsiri terutama kandungan fenolnya dengan berat molekul antara 150 sampai 160, yaitu yang mempunyai gugus OH. Eugenol, carvacrol dan timol merupakan komponen antimikroba utama yang ada pada cengkih, lada, dan kayu manis. Umumnya bakteri gram positif dihambat pada konsentrasi rempah-rempah yang lebih rendah dibandingkan dengan bakteri gram negatif. Contoh bakteri yang pertumbuhannya terhambat oleh minyak atsiri adalah : *E. coli*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *A. flavus*, dan *A. parasiticus*. Mekanisme penghambatan oleh senyawa fenol sebagai antibakteri adalah dengan cara meracuni protoplasma sel dan merusak dinding sel serta mengendapkan protein sel mikroba. Senyawa yang ada dalam rempah dapat menyebabkan denaturasi protein sehingga merusak membran sel bakteri. Efektifitas sifat antimikroba dari setiap jenis rempah-rempah berbeda untuk setiap mikroba.

Hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa sejumlah minyak atsiri juga mempunyai aktivitas terhadap jamur. Aktivitas antijamur yang dimiliki oleh minyak atsiri juga berhubungan dengan senyawa monoterpenik fenol khususnya timol, karvakrol dan eugenol (Isman, 2000).

Banyak minyak astiri yang sudah diuji aktivitas anti jamurnya (Northover and Scheider, 1993). Beberapa minyak, seperti minyak yang berasal dari kayu manis, pala dan cengkeh, dan beberapa minyak astiri lainnya dilaporkan efektif menghambat pertumbuhan jamur *Aspergillus Flavus* dan menghambat produksi aflatoxin (Mahmoud, 1999). Minyak cengkeh efektif menekan pertumbuhan jamur *Colletotrichum musae*, *Lasiodiplodia theobromae*, and *Fusarium proliferatum* (Ranasinghe *et al.*, 2002). Minyak astiri dari selasih (*Ocimum basilicum L.*) dapat menghambat pertumbuhan jamur dengan kisaran yang luas (22 spesies) termasuk jamur mikotoksigenik *Aspergillus flavus* dan *A. parasiticus*. Minyak atsiri biji pala dapat menghambat pertumbuhan jamur *F. solani*, *A. terreus*, *A. Fumigatus*, *Penicillium sp.*, *F. moniliforme*, *A. flavus*, *A.oryzae*, dan *A. niger* (Nilima *et al.*, 2012).

Minyak atsiri juga dapat dijadikan bahan konservasi bangunan bersejarah, penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Preeti Bhatnagar dan S. K. Jain tahun 2014, mereka menggunakan minyak atsiri peppermint, kayu manis dan minyak atsiri dari getah pinus sebagai bahan konservasi menghambat pertumbuhan jamur yang dapat merusak benda cagar budaya, yaitu Benteng Gwalior di India. Jenis jamur yang diduga mengalami penghambatan adalah *Penicillium sp* dan *Fusarium*, jamur ini banyak tumbuh di Benteng tersebut.

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Uraian Tentang Lumut Kerak (*Lichenes*)

3.1.1 Sistematika Tumbuhan

Secara umum kedudukan lumut kerak (*Lichenes*) dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan menurut Misra dan Agrawal (1978) adalah sebagai berikut:

Kelas : *Ascolichenes*

Ordo : *Lecanorales*

Famili : *Lichinaceae, Collemataceae, Heppiaceae, Pannariaceae, Coccocarpiaceae, Peritigeraceae, Tictaceae, Graphidaceae, Thelotremaaceae, Asterothyriaceae, Gyalectaceae, Lecidaeceae, Parmeliaceae, Usneaceae, Physiaceae, Theloshistaceae.*

Ordo : *Sphariales*

Famili : *Pyrenulaceae, Strigulaceae, Verrucariaceae*

Ordo : *Caliciales*

Famili : *Caliciaceae, Cypheliaceae, Sphaeophoraceae*

Ordo : *Myrangiiales*

Famili : *Arthoniaceae, Myrangiaceae*

Ordo : *Pleosporales*

Famili : *Arthopyreniaceae*

Ordo : *Hysteriales*

Famili : *Lecanatiaceae, Opegraphaceae, Rocellaceae*

Kelas : *Basidiolichenes*

Famili : *Herpothallaceae, Coraceae, Dictynomataceae, Thelolomataceae*

Kelas : *Lichenes Imperfect*

Genus : *Cystocoleus, Lepraria, Lichenothrix, Racodium*

3.1.2 Morfologi Lumut Kerak

Lichenes merupakan simbiosis mutualisme antara sel alga dan miselium jamur yang hidup di batu, batang pohon, dan pada dinding bangunan. Jenis jamur yang bersimbiosis biasanya dari golongan Ascomycota dan Basidiomycota, sedangkan alga yang bersimbiosis biasanya bersel tunggal atau berbentuk benang dari Chlorophyta atau Cyanophyta (Karmana, 2008).

Hubungan simbiosis mutualisme dalam lumut kerak masih belum jelas. Diperkirakan alga mendapat air dan mineral dari jamur, sedangkan jamur mendapat makanan dari hasil fotosintesis alga. Lumut kerak mampu hidup di atas batuan yang terbuka sehingga dijuluki sebagai tumbuhan perintis. Bentuk lumut *Lichenes* bermacam-macam, ada yang berbentuk kerak (*crustose*), berbentuk daun (*foliose*), dan berbentuk tumbuhan perdu (*fructiose*) (Karmana, 2008).

Warna lumut kerak berbeda-beda tergantung pada pigmen-pigmen khusus yang menyusunnya. Lumut kerak biasanya berwarna abu-abu atau abu-abu kehijauan. Ketika lumut kerak basah, lapisan luarnya menjadi lebih transparan dan lapisan photobiont yang mendasari menjadi tampak, membuat warna lumut kerak menjadi abu-abu atau cokelat berubah menjadi warna hijau muda atau hijau pudar. Macam-macam pigmen terang yang terdapat di lapisan luar adalah asam usnic kuning muda yang tersebar luas. Tapi pigmen-pigmen lain menghasilkan macam-

macam lumut kerak yang kuning, orange atau merah. Warna-warna yang berbeda dalam spesies tergantung pencahayaan, genetik, usia dan lainnya.

1. Morfologi Luar

Tubuh lumut kerak dinamakan talus yang secara vegetatif mempunyai kemiripan dengan alga dan jamur. Talus ini berwarna abu-abu atau abu-abu kehijauan. Bagian tubuh secara seluler dinamakan hifa. Hifa merupakan organ vegetatif dari thallus atau miselium yang biasanya tidak dikenal pada jamur yang bukan lumut kerak.

Berdasarkan bentuknya, lumut kerak dibedakan atas empat bentuk:

a. Crustose

Lumut kerak yang memiliki talus berukuran kecil, datar, tipis dan selalu melekat ke permukaan batu, kulit pohon atau di tanah. Jenis ini susah untuk mencabutnya tanpa merusak substratnya. Contoh: *Graphis scripta*, *Haematomma puniceum*, *Acarospora* atau *Plesopsidium*.



Gambar 4. Contoh lumut kerak crustose

b. Foliose

Lumut kerak Foliose memiliki struktur seperti daun yang tersusun oleh lobus-lobus. Lumut kerak ini relatif lebih longgar melekat pada substratnya. Talusnya

datar, lebar, banyak lekukan seperti daun yang mengerut berputar. Lumut kerak ini melekat pada batu, ranting dengan rhizines. Rhizines ini juga berfungsi sebagai alat untuk mengabsorpsi makanan. Contoh: *Xantoria*, *Peltigera*, *Parmelian*, dan lain-lain.



Gambar 5. Contoh lumut kerak foliose

c. Fructiose

Talusnya berupa semak dan memiliki banyak cabang dengan bentuk seperti pita. Talus tegak atau menggantung pada batu, daun-daunan atau cabang pohon. Tidak ada perbedaan antar permukaan atas dan bawah. Contoh: *Usnea*, *Ramalina* dan *Cladonia*.



Gambar 6. Contoh lumut kerak fructiose

d. Squamulose

Lumut kerak ini memiliki lobus-lobus seperti sisik, lobus ini disebut *Squamulus* yang biasanya berukuran kecil dan saling bertindih dan sering memiliki struktur tubuh buah yang disebut podetia.



Gambar 7. Contoh lumut kerak squamulose

2. Morfologi Dalam (Anatomi)

Struktur morfologi dalam diwakili oleh jenis foliose, karena jenis ini mempunyai empat bagian tubuh yang dapat diamati secara jelas yaitu sebagai berikut:

- a. Korteks atas, berupa jalinan yang padat disebut pseudoparenchyma dari hifa jamurinya.
- b. Daerah alga, merupakan lapisan biru atau biru hijau yang terletak di bawah korteks atas.
- c. Medulla, terdiri dari lapisan hifa yang berjalanan membentuk suatu bagian tengah yang luas dan longgar.
- d. Korteks bawah, lapisan ini terdiri dari struktur hifa yang sangat padat dan membentang secara vertikal terhadap permukaan talus atau sejajar dengan kulit bagian luar.

3.1.3 Klasifikasi Lumut Kerak (*Lichenes*)

Lumut kerak sangat sulit untuk diklasifikasikan karena merupakan gabungan dari alga dan fungi serta sejarah perkembangan yang berbeda. Para ahli seperti Bessey (1950), Martin (1950) dan Alexopoulos (1956), berpendapat bahwa lumut kerak dikelompokkan dan diklasifikasikan ke dalam kelompok jamur sebenarnya. Bessey meletakkannya dalam ordo Leocanorales dari Ascomycetes. Smith (1955) menganjurkan agar lumut kerak dikelompokkan dalam kelompok yang terpisah dari alga dan fungi.

Lumut kerak memiliki klasifikasi yang bervariasi dan dasar-dasar klasifikasinya secara umum adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan Komponen Cendawan yang Menyusunnya

a. Ascolichens

Cendawan penyusunnya tergolong Pyrenomycetales maka tubuh buah yang dihasilkan berupa peritesium. Contoh: *Dermatocarpon* dan *Verrucaria*.

Cendawan penyusunnya tergolong Discomycetes. Lumut kerak membentuk tubuh buah berupa apothecium yang berumur panjang. Contoh: *Usnea* dan *Parmelia*.

b. Basidiolichenes

Berasal dari jamur Basidiomycetes dan alga Mycophyceae. Basidiomycetes yaitu dari famili Thellyphoraceae, dengan tiga genus *Cora*, *Corella* dan *Dyctionema*.

Mycophyceae berupa filamen, yaitu *Scytonema* dan tidak berbentuk filamen yaitu, *Chroococcus*.

c. Lichen Imperfect

Deutromycetes fungi, steril. Contoh: *Cystocoleus*, *Lepraria*, *Lepracanlon*, dan *Normandia*.

2. Berdasarkan Alga yang Menyusun Talus

a. Homoimerus

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

b. Heteromerus

Sel alga berbentuk terbatas pada bagian atas talus dan komponen jamur menyebabkan terbentuknya talus, alga tidak berupa gelatin Chlorophyceae. Contoh: *Parmelia*.

3. Berdasarkan Tipe Talus dan Kejadiannya

a. Crustose atau Crustaceous.

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

b. Fruticose

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

3.1.4 Reproduksi Lumut Kerak (*Lichenes*)

Lumut kerak mampu bereproduksi sebagai unit simbiosis (satu kesatuan organisme) secara aseksual, dengan fragmentasi induk lumut kerak dan pembentukan soredia. Fragmentasi terjadi bila ada pemutusan dan pemisahan sebagai tubuh induk, kemudian bagian tubuh tersebut tumbuh menjadi lumut kerak baru. Sementara soredia merupakan kumpulan hifa yang mengandung sel ganggang di dalamnya. Soredia terdapat di permukaan lumut kerak dan terlihat berwarna putih seperti tepung. Bila soredia ini jatuh di tempat yang cocok, maka akan tumbuh menjadi lumut kerak baru.

3.1.5 Dampak Lumut Kerak (*Lichenes*) pada Batuan

Lumut kerak bisa hidup di batang pohon, di atas gunung, atau di atas batu besar yang polos. Kebanyakan dari lumut kerak ini menutupi batu-batu besar. Lumut kerak juga memiliki ciri khas seperti jamur, yaitu mampu menguraikan segala sesuatu. Mereka menguraikan batu tempat mereka hidup di atasnya secara pelan-pelan dan dengan bantuan hujan serta angin, lumut kerak dapat

menyebabkan batu besar menjadi terpecah-pecah. Beberapa jenis lumut kerak memiliki kekuatan untuk menghancurkan batu-batu besar yang sangat keras. Batu besar yang tidak kuat menahan hal ini akan terpecah-pecah hingga hancur, kemudian menjadi tanah (Gul, 2007).

3.2 Uraian Tentang Tanaman Pala (*Myristica fragans houtt*)

3.2.1 Sistematika Tumbuhan

Kedudukan tanaman pala dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut:

Kerajaan : *Plantae*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Magnoliopsida*

Ordo : *Magnoliales*

Famili : *Myristicaceae*

Genus : *Myristica*

Spesies : *M. fragans*

Sumber: Hapsoh dan Hasanah, 2011

3.2.2 Morfologi Tumbuhan

Pala (*Myristica fragans houtt*) merupakan jenis tanaman yang dapat tumbuh di daerah tropis. Tanaman ini termasuk dalam familia *Myristicaceae*,

yang mempunyai sekitar 200 spesies. Tanaman ini jika pertumbuhannya baik dan tumbuh di lingkungan terbuka, tajuknya akan rindang dan ketinggiannya dapat mencapai 15-18 meter. Tajuk pohon ini bentuknya meruncing ke atas dan puncak tajuknya tumpul (Sunanto, 1993).



Gambar 8. Tanaman buah pala

Daun pala berbentuk bulat telur, pangkal dan pucuknya meruncing. Warna bagian bawah hijau kebiru-biruan muda dan bagian atasnya hijau tua. Jangka waktu pertumbuhan buah mulai dari persarian hingga masa petik tidak boleh lebih dari 9 bulan. Buah berbentuk bulat, lebar, dan ujungnya meruncing. Kulitnya licin, berwarna kuning, berdaging, dan cukup banyak mengandung air. Bijinya tunggal, berkeping dua, dilindungi oleh tempurung, walaupun tidak tebal namun cukup keras. Bentuk bijinya bulat telur lonjong, bila sudah tua warnanya cokelat tua (Rismunandar, 1992).

Buah pala terdiri atas daging buah (*Pericrap*) dan biji yang terdiri atas fuli, tempurung dan daging biji. Fuli adalah serat tipis (*areolus*) berwarna merah atau kuning muda, berbentuk selaput berlubang-lubang seperti jala yang terdapat diantara daging dan biji pala. Daging buah pala cukup tebal dan bentuknya lebih dari 70% dari berat buah, berwarna putih kekuning-kuningan, berisi cairan

bergetah yang encer, rasanya sepat dan mempunyai sifat sebagai astringensia (obat luar bagi kulit) (Nurdjannah, 2007).

Berikut ini merupakan tabel presentase berat dari bagian buah pala menurut Rismunandar (1992):

Tabel 1. Presentase berat dari bagian-bagian buah pala.

Bagian buah	Presentase basah (%)	Presentase kering angin (%)
Daging	77,8	9,93
Fuli	4	2,09
Tempurung	15,1	-
Biji	13,1	8,4

Komponen dalam biji dan fuli buah pala terdiri dari minyak atsiri, minyak lemak, protein, selulosa, pentosan, pati, resin dan mineral-mineral lainnya. Menurut Rismunandar (1992) biji pala mengandung minyak atsiri sekitar 2-16% dengan rata-rata pada 10% minyak atsirinya dan minyak lemak sekitar 25-40%, karbohidrat sekitar 30% dan protein sekitar 6%. Setiap 100 gram daging buah pala mengandung air sekitar 10 gram, protein 7 gram, lemak 33 gram, minyak atsiri dengan komponen utama monoterpen hidrokarbon 61-68% (alfa pinen, beta pinen, dan sabinen), asam monoterpen 5-15%, dan aromatik eter 2-18% (*myristicin*, *elemicin*, dan *safrole*).

3.2.3 Minyak Atsiri Pala

Pala (*Myristica Fragans Houtt*) dikenal sebagai tanaman rempah yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan multiguna. Setiap bagian tanaman dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri. Biji, fuli, dan minyak pala

merupakan komoditas ekspor dan digunakan dalam industri makanan dan minuman. Selain itu minyak yang berasal dari biji, fuli dan daun banyak digunakan untuk industri obat-obatan, parfum, dan kosmetik. Sampai saat ini Indonesia menjadi pemasok biji dan fuli pala terbesar ke pasar dunia sekitar 60%. Sebagai komoditas ekspor, pala mempunyai prospek yang baik karena selalu dan akan selalu dibutuhkan secara kontinyu baik dalam industri makanan, minuman, obat-obatan dan lain-lain. Sampai saat, ini kebutuhan dalam negeri untuk pala juga cukup tinggi (Nurdjannah, 2007).

3.2.4 Minyak Atsiri Pala

Minyak atsiri yang dikenal juga dengan minyak esteris atau minyak terbang (*essential oil, volatile oil*) dihasilkan oleh tanaman. Minyak tersebut mudah menguap pada suhu kamar tanpa mengalami dekomposisi, rasa getir (*pungent taste*), berbau wangi sesuai dengan bau tanaman penghasilnya, umumnya larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air (Ketaren, 1985).

Beberapa metode isolasi minyak atsiri seperti penyulingan, pengepresan, ekstraksi dengan pelarut menguap, ekstraksi dengan lemak padat. Namun, sebagian besar minyak atsiri diperoleh melalui metode penyulingan yang dikenal juga dengan hidrodestilasi (Guenther, 1987).

Di dalam buah pala terdapat biji pala (*nutmeg*) dan pembungkus biji (fuli atau *mace*). Biji dan fuli berukuran kecil dan dijadikan serbuk untuk disuling, dikempa, atau dijadikan oleoresin (Haris, 1987). Dari daging biji pala terdapat pula lemak dan minyak atsiri. Rata-rata kandungan lemak biji pala sekitar 30-40%

dan minyak atsiri rata-rata 12%. Perbedaan komponen tersebut bervariasi tergantung pada letak geografis dan tempat tumbuhannya. Pada hakekatnya minyak atsiri dalam biji pala dibentuk terlebih dahulu dari pada lemaknya. Oleh sebab itu biji pala yang akan disuling, hendaknya dipetik pada saat menjelang terbentuk tempurung yaitu kira-kira sudah mencapai umur 4-5 bulan. Buah yang masih muda memiliki kadar minyak atsiri yang tinggi. Biji pala yang masih muda tersebut dapat menghasilkan 8-17% minyak atsiri (Rismunandar, 1992).

Spesifikasi biji pala sesuai SNI 01-0006-1987 dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Spesifikasi biji pala sesuai SNI 01-0006-1987.

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan	
			Mutu I	Mutu II
1	Kadar Air, (b/b)	%	Maks 14,0	Maks 14,0
2	Kadar Minyak Atsiri	%	Min 10,0	Min 8,0
3	Benda Asing, (b/b)	%	Maks 0,5	Maks 0,5

Minyak atsiri yang berasal dari biji pala banyak diperdagangkan secara komersial sebagai bahan rempah, disamping oleoresin dan hasil olahan lainnya. Minyak atsiri biji pala berwarna kekuningan sampai kuning pucat dan biasanya didapat dengan cara destilasi uap. Minyak atsiri biji pala biasanya digunakan untuk pemberi rasa cita rasa pada makanan. Juga dapat digunakan untuk wangi-wangian, pasta gigi, industri kosmetik dan sabun. Minyak ini juga sebagai campuran dalam obat-obatan atau bahan makanan yang diperbolehkan untuk manusia adalah sebanyak 0,2-1,2 gram per hari. Proses penyulingan minyak atsiri biji pala lebih mudah dan lebih ekonomis jika digunakan biji pala yang telah

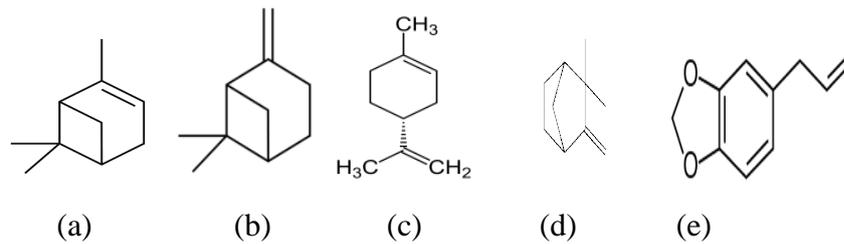
dimakan ulat, sehingga mempunyai harga yang sangat rendah sebagai rempah-rempah. Pada biji pala ini ,lemak sudah sudah rusak dimakan ulat, sedangkan minyak atsiri pala tetap utuh (Haris, 1987).

Standar mutu minyak atsiri pala Indonesia telah ditetapkan dalam standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 06-2388-2006 tentang minyak atsiri pala. Standar mutu SNI minyak atsiri pala disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar mutu minyak atsiri pala.

Karakteristik	Satuan	Persyaratan
Warna	-	Tidak berwarna-kuning pucat
Bau	-	Khas minyak pala
Bobot jenis (20°C/20°C)	-	0,880-0,910
Indeks bias (nD20)	-	1,470-1,497
Kelarutan dalam etanol 90% pada suhu 20°C	-	1:3 jernih, seterusnya jernih
Putaran optik	-	(+)8°-(+)25°
Sisa penguapan	%	Maksimum 2,0
Miristisin	%	Minimum 10

Komponen utama minyak biji pala adalah terpen, terpen alkohol dan fenolik eter. Komponen utama yang terdapat dalam minyak biji pala yang beraroma tinggi dan mempunyai sifat pedas adalah d-pinena,d-kamfena, dipentena dan miristisin. Komponen monoterpen hidrokarbon yang merupakan komponen utama minyak atsiri pala terdiri dari β -pinen (23,9%), α -pinen (17,2%), dan limonen (7,5%). Sedangkan kelompok fenolik eter terutama adalah miristisin (16,2%), safrol (3,9%) dan metil eugenol (1,8%).



Gambar 9. Struktur kima. (a) α -pinen, (b) β -pinen, (c) limonen, (d) kamfena dan (e) safrol.

Kegunaan senyawa penyusun minyak atsiri biji pala antara lain sebagai berikut:

- a. Kamfena (*Champhene*) dan turunannya memiliki sifat antibakteri, antijamur, dan insektisida yang kuat, banyak digunakan dalam industri dan manufaktur.
- b. d-pinen digunakan dalam pembuatan kapur barus (kamper), pelarut, plastik, dasar parfum dan minyak pinus sintetis.
- c. Dipentena digunakan sebagai pelarut, juga digunakan dalam pembuatan resin.
- d. d-linalol digunakan dalam wewangian.
- e. d-borneol digunakan sebagai wewangian dan dupa.
- f. l-terpineol digunakan sebagai antiseptik dan pembuatan parfum dalam sabun.
- g. Miristisin adalah senyawa pada pala yang dapat memberikan efek farmakologi.
- h. Safrol digunakan pada industri untuk membuat wewangian, sabun, dan digunakan sebagai antiseptik.
- i. Eugenol dan isoeugenol digunakan dalam pembuatan wewangian dan sebagai analgesik gigi.

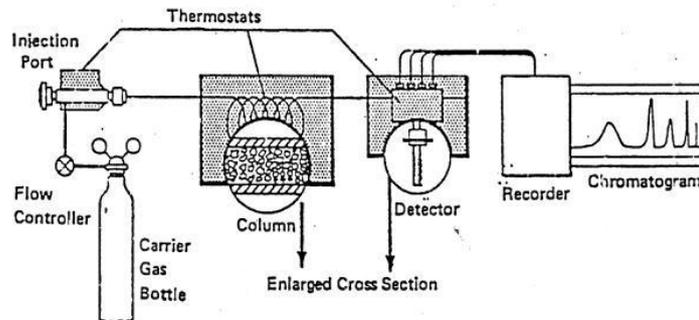
3.3 Instrumen untuk Identifikasi dan Analisis

3.3.1 Kromatografi Gas

Kromatografi gas adalah suatu metode pemisahan campuran yang terdiri dari dua macam komponen atau lebih, yang didasarkan pada distribusi diferensial diantara dua fasa yaitu fasa diam yang berupa padatan atau cairan dan fasa gerak yang berupa gas (Sastrohamidjojo, 1985). Berdasarkan kombinasi fasa diam dan fasa gerak yang digunakan, kromatografi gas dibagi menjadi dua macam yaitu:

- a. Kromatografi gas padat (*gas solid chromatography*), dimana fasa diamnya berupa padatan yang memiliki affinitas adsorpsi yang berbeda-beda terhadap komponen-komponen dalam sampel campuran. Pemisahan yang terjadi pada kromatografi gas padat adalah berdasarkan perbedaan adsorpsi komponen.
- b. Kromatografi gas cair (*gas liquid chromatography*) yang lebih populer dengan sebutan kromatografi gas, fasa diamnya adalah cairan yang tidak mudah menguap yang melekat pada padatan pendukung (*solid support*) yang inert yang berupa butiran halus. Untuk kolom dengan diameter kapiler, cairan ini diletakan pada dinding sebelah dalam kolom. Dan sebagai fasa geraknya adalah gas inert. Pemisahan campuran dengan kromatografi gas didasarkan pada perbedaan partisi komponen didalam fasa diam. Pada dasarnya, secara umum kromatografi gas terdiri dari beberapa bagian utama yaitu: tangki gas pembawa, sistem injeksi sampel, kolom, detektor, dan sistem pembacaan.

Skema alat kromatografi gas dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 10. Skema alat kromatografi gas.

Bagian-bagian utama kromatografi gas antara lain:

1. Gas pembawa

Gas pembawa merupakan istilah pengganti fasa gerak dalam kromatografi gas.

Gas ini terdapat pada suatu tangki bertekanan sangat tinggi (± 150 atm).

Persyaratan ideal gas pembawa antara lain:

- a. Gas pembawa bersifat inert.
- b. Murni, murah dan mudah diperoleh.
- c. Pemilihan gas pembawa sangat tergantung pada jenis detektor yang digunakan.
- d. Harus mengurangi difusi gas.

Gas yang sering dipakai adalah helium dan argon. Gas tersebut sangat baik, tidak mudah terbakar tetapi sangat mahal. Konduktivitas panas gas tersebut tinggi dan molekulnya kecil.

2. Pengaturan aliran dan tekanan gas pembawa

Kecepatan aliran gas mempengaruhi kerja kolom, sehingga diperlukan pengaturan yang tepat untuk mendukung proses kerja dalam kolom. Pengatur ini juga disebut juga pengurang Dragger, yang bekerja dengan baik pada tekanan 2,5 atm. Harga umum untuk kecepatan aliran gas dikaitkan dengan diameter luar (OD) dari kolom adalah:

1/4" OD, kecepatan alirnya= 75 mL/menit.

1/8" OD, kecepatan alirnya= 25 mL/menit.

3. Tempat injeksi sampel

Fungsi dasar injektor adalah mengubah fasa sampel menjadi gas atau uap. Volume injeksi bervariasi tergantung fasa sampel. Untuk sampel gas berkisar antara 0,5-50 mL dan untuk cairan berkisar antara 0,2-20 mikroliter.

4. Kolom

Lazimnya tampak luar suatu kolom adalah tabung berbentuk kumparan akan tetapi terdapat pula kolom yang berbentuk lurus atau bengkok seperti huruf V/W, tabung ini terbuat dari bermacam-macam bahan seperti tembaga, Teflon, stainless steel, aluminium dan gelas. Tabung tembaga tidak digunakan untuk senyawa-senyawa seperti amina, asetilen, terpena dan steroid karena akan terjadi reaksi kimia.

Panjang kolom bervariasi menurut standar pabrik pembuatannya. Panjang kolom dapat dari 1 m sampai 3 m. diameter kolom mempunyai berbagai ukuran, biasanya pengukuran berdasarkan diameter dalam dari kolom gelas yaitu antara 0,3 mm hingga 5 mm.

5. Detektor

Detektor berfungsi untuk mendeteksi komponen cuplikan yang telah dipisahkan. Detektor mengubah sejumlah sifat-sifat molekul dari senyawa organik menjadi arus listrik. Arus listrik ini diteruskan ke pencatat untuk menghasilkan kromatogram (Sastrohamidjojo, 1985).

Terdapat banyak detektor yang dapat digunakan dalam kromatografi gas. Jenis detektor yang berbeda akan memberikan selektivitas yang berlainan. Detektor yang non selektif akan memberikan respon pada semua senyawa kecuali senyawa gas pembawa, detektor yang selektif hanya akan memberikan respon pada satu senyawa saja. Detektor berfungsi mengubah sifat-sifat molekul dari senyawa organik menjadi arus listrik untuk kemudian diteruskan ke rekorder atau pencatat menjadi kromatogram (Sastrohamidjojo, 1985).

6. Thermostat

Thermostat adalah alat untuk mengkondisikan suhu kolom, injektor dan detektor sedemikian rupa, sehingga dapat dilakukan penganalisan sampel dengan baik. Untuk mendapatkan kondisi tersebut, kolom ditempatkan dalam oven/ ruang/kotak yang terisolasi dan dipanaskan / didinginkan dengan suhu yang dapat dikontrol dengan baik.

7. Pencatat/Recorder

Merupakan unit yang mengubah signal-signal yang dihasilkan oleh detektor menjadi suatu tampilan yang bisa dibaca atau diinterpretasikan. Hasil tampilan ini berupa puncak-puncak (*peak*) yang disebut kromatogram (Sastrohamidjojo, 1985).

Secara umum dasar kerja kromatografi gas adalah cuplikan yang akan dianalisis diinjeksi melalui tempat injeksi yang mempunyai suhu lebih tinggi dari titik didih cuplikan, sehingga cuplikan akan teruapkan karena adanya aliran gas pembawa, maka senyawa-senyawa dalam uap cuplikan akan terdorong ke dalam kolom. Di dalam kolom cuplikan akan terpisah menjadi komponen-komponen atas dasar partisi atau adsorpsi. Komponen yang terpisah akan terdeteksi oleh suatu detektor yang diubah menjadi sinyal-sinyal. Proses selanjutnya adalah sinyal digunakan oleh pencatat, sehingga menghasilkan kromatogram. Analisis kualitatif digunakan untuk menginterpretasikan data kromatogram (Qodriyah, 1989).

Kromatografi gas dapat digunakan untuk analisa kualitatif dan kuantitatif. Tujuan dari analisa kualitatif adalah identifikasi dari satu komponen atau lebih dari suatu cuplikan. Hal ini dapat dilakukan dengan cara membandingkan waktu retensi sampel dengan waktu retensi senyawa standar. Tujuan dari analisa kuantitatif adalah menentukan jumlah dari komponen-komponen yang terpisah dari suatu cuplikan (Sastrohamidjojo, 1985).

3.3.2 Spektrofotometri Massa

Spektrofotometri massa adalah suatu teknik analisis yang mendasarkan pemisahan berkas ion-ion yang sesuai dengan perbandingan massa dengan pengukuran intensitas dari berkas ion-ion tersebut. Bagian utama dari spektrofotometri massa adalah:

- a. Kamar ionisasi (berisi kutub katoda dan anoda).
- b. Analiser.
- c. Kolektor.

d. Pencatat dan penguat.

Dalam spektrofotometri massa, molekul-molekul organik ditembak dengan berkas elektron dan diubah menjadi ion-ion bermuatan positif yang bertenaga tinggi (ion-ion molekular atau ion-ion induk), yang dapat pecah menjadi ion-ion yang lebih kecil (ion-ion pecahan atau ion-ion anak). Lepasnya elektron dari molekul menghasilkan radikal kation dan proses ini dapat dinyatakan sebagai $M \longrightarrow M^+$. Ion molekular M^+ biasanya terurai menjadi sepasang pecahan atau fragmen, yang dapat berupa radikal atau ion, atau molekul yang kecil dan radikal kation (Sastrohamidjojo, 1992).

3.3.3 Kromatografi Gas-Spektrofotometri Massa (KG-SM)

Pada KG-SM ini, kedua alat dihubungkan dengan suatu interfase. Kromatografi gas ini berfungsi sebagai alat pemisah berbagai komponen campuran dalam sampel, sedangkan spektrometer massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen-komponen yang telah dipisahkan pada sistem Kromatografi Gas. Analisa KG-SM merupakan metode yang cepat dan akurat untuk memisahkan campuran yang rumit, mampu menganalisis cuplikan dalam jumlah sangat kecil dan menghasilkan data-data yang berguna mengenai struktur serta identitas senyawa organik.

Komputerisasi untuk pengolahan data akan membantu penafsiran hasil analisis. Dari analisis KG-SM akan diperoleh dua informasi dasar, yaitu hasil analisis kromatografi gas yang ditampilkan dalam bentuk kromatogram, dan hasil spektrometri massa yang ditampilkan dalam bentuk spektrum massa.

Dari kromatogram dapat diperoleh informasi mengenai jumlah komponen kimia yang terdapat dalam campuran yang dianalisis (jika sampel berbentuk campuran) yang ditunjukkan oleh jumlah puncak yang terbentuk pada kromatogram berikut kuantitasnya masing-masing. Pembentukan kromatogram ini didasarkan pada jumlah total ion yang terbentuk dari masing-masing komponen kimia tersebut. Artinya, jika suatu komponen berada dalam presentase tinggi dalam campuran yang dianalisis, maka jumlah ion yang terbentuk dari molekul komponen tersebut akan tinggi juga, sehingga puncak yang tampil pada kromatogram juga memiliki luas area yang besar. Sebaliknya, jika suatu komponen kimia dalam campuran tersebut terdapat dalam presentase kecil, maka puncak yang tampil pada kromatogramnya otomatis akan kecil. Kromatogram yang didasarkan pada perhitungan ini sering disebut dengan *Total Ion chromatogram* (TIC). Selanjutnya, spectrum massa komponen kimia yang diperoleh dari hasil analisis kemudian dibandingkan dengan spectrum massa yang terdapat dalam suatu bank data.

Kromatografi gas spektrofotometri Massa (KG-SM) merupakan instrumen analisis hasil kombinasi antara kromatografi gas dan spektrometri massa, kromatografi gas memiliki kemampuan yang sangat baik dalam hal pemisahan dan analisis kuantitatif komponen sedangkan spektrometri massa memiliki kemampuan yang tinggi dalam hal identifikasi atau analisis kualitatif. Lebih dari 20 tahun KG-SM telah diperkenalkan untuk analisis sehingga alat ini semakin populer digunakan dalam analisis di bidang kimia, ilmu kedokteran, farmasi, dan

lingkungan. Di bidang lingkungan, kromatografi gas dapat digunakan untuk analisis pestisida (Harvey, 2000).

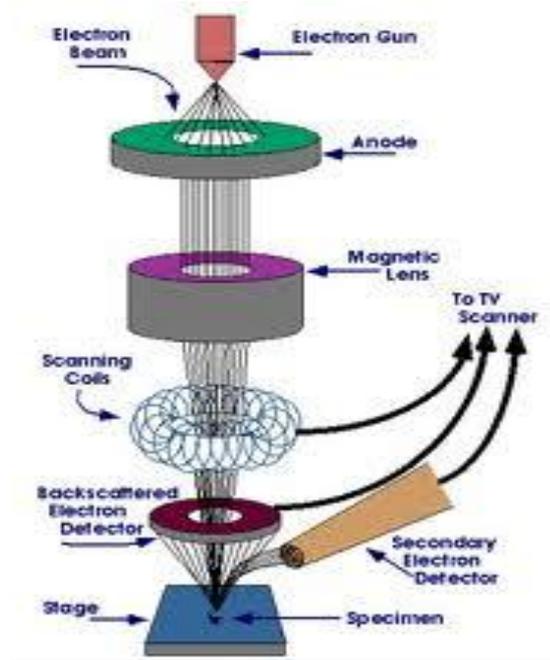
3.3.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah suatu tipe mikroskop electron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari electron dalam suatu pola scan raster. Elektron berinteraksi dengan atom–atom yang akan membuat sampel menghasilkan sinyal dan memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat–sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

Tipe sinyal yang dihasilkan oleh SEM dapat meliputi elektron sekunder, sinar–X karakteristik dan cahaya (katoda luminisens). Sinyal tersebut datang dari hamburan elektron permukaan unsur yang berinteraksi dengan *specimen*. SEM menghasilkan gambar dengan resolusi yang tinggi dari suatu permukaan sampel, menangkap secara lengkap dengan ukuran sekitar 1 – 5 nm. SEM dapat menghasilkan karakteristik bentuk 3 dimensi sehingga mampu memberikan data yang lebih mudah tentang sampel yang dianalisa. Agar menghasilkan gambar yang diinginkan maka SEM mempunyai sebuah lebar fokus 25 - 250.000 kali (Hasrin, 2010).

SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2–30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan image berukuran $< \sim 10$ nm pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar (Trewin, 1988).

Diagram skematik dan cara kerja SEM digambarkan sebagai berikut:



Gambar 11. Diagram skematik fungsi dasar dan cara kerja SEM.

Cara kerja SEM yaitu gelombang elektron yang dipancarkan elektron gun terkondensasi di lensa kondesor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor backscatter. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi gambar (Kroschwitz, 1990). Pada sistem ini berkas elektron dikonsentrasikan pada spesimen, bayangan diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar.

3.3.5 Spektrofotometri Serapan Atom

Spektrometri merupakan suatu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan banyaknya radiasi yang dihasilkan atau yang diserap oleh spesi atom atau molekul analit. Salah satu bagian dari spektrometri ialah Spektrometri Serapan Atom (SSA), merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog et. al., 2000).

Prinsip kerja SSA adalah larutan sampel diaspirasikan ke suatu nyala dan unsur-unsur di dalam sampel diubah menjadi atom sehingga nyala mengandung atom-atom unsur yang dianalisis. Beberapa diantara atom akan tereksitasi secara termal oleh nyala, tetapi kebanyakan atom tetap tinggal sebagai atom netral dalam keadaan dasar (*ground state*). Atom-atom *ground state* ini kemudian menyerap radiasi yang diberikan oleh sumber radiasi yang terbuat dari unsur-unsur yang bersangkutan. Panjang gelombang yang dihasilkan oleh sumber radiasi adalah sama dengan panjang gelombang yang diabsorpsi oleh atom dalam nyala. Absorpsi ini mengikuti hukum Lambert-Beer, yakni absorbansi berbanding lurus dengan panjang nyala sinar dan konsentrasi uap atom dalam nyala.

Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang bersangkutan maka sebagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada dalam sel. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari:

1. Hukum Lambert: Bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi.
2. Hukum Beer: Intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.

Dari kedua hukum tersebut diperoleh suatu persamaan berikut ini:

$$I_t = I_0 \cdot e^{-(\epsilon bc)}, \text{ atau}$$

$$A = -\text{Log } I_t/I_0 = \epsilon bc$$

Dimana:

I_0 : Intensitas sumber sinar

ϵ : Absorptivitas molar

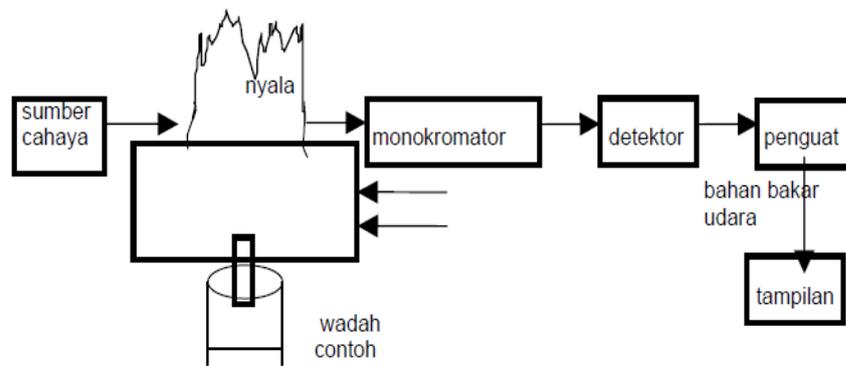
b : Panjang medium

c : Konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar

A : Absorbansi

Dari persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 1989). Pada alat SSA terdapat dua bagian utama yaitu suatu sel atom yang menghasilkan atom-atom gas bebas dalam keadaan dasarnya dan suatu sistem optik untuk pengukuran sinyal.

Suatu skema umum dari alat SSA adalah sebagai berikut:



Gambar 12. Skema umum komponen alat pada SSA (Sumber: Haswel, 1991)

Dalam metode SSA, sebagaimana dalam metode spektrometri atomik yang lain, contoh harus diubah ke dalam bentuk uap atom. Proses perubahan ini dikenal dengan istilah atomisasi, pada proses ini contoh diuapkan dan didekomposisi untuk membentuk atom dalam bentuk uap.

Secara umum pembentukan atom bebas dalam keadaan gas melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Pengisatan pelarut, pada tahap ini pelarut kan teruapkan dan meninggalkan residu padat.
- b. Penguapan zat padat, zat padat ini terdisosiasi menjadi atom-atom penyusunnya yang mula-mula akan berada dalam keadaan dasar.
- c. Beberapa atom akan mengalami eksitasi ke tingkatan energy yang lebih tinggi dan akan mencapai kondisi dimana atom-atom tersebut memancarkan energy.

1. Sel Atom

Terdapat dua tahap utama yang terjadi dalam sel atom pada alat SSA dengan sistem atomisasi nyala. Pertama, tahap nebulisasi untuk menghasilkan suatu

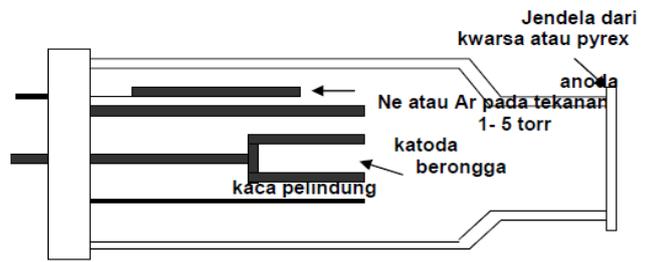
bentuk aerosol yang halus dari larutan contoh. Kedua, disosiasi analit menjadi atom-atom bebas dalam keadaan gas. Berdasarkan sumber panas yang digunakan maka terdapat dua metode atomisasi yang dapat digunakan dalam spektrometri serapan atom :

- a. Atomisasi menggunakan nyala.
- b. Atomisasi tanpa nyala (*Flameless Atomization*).

Pada atomisasi menggunakan nyala, digunakan gas pembakar untuk memperoleh energi kalor sehingga didapatkan atom bebas dalam keadaan gas. Sedangkan pada atomisasi tanpa nyala digunakan energi listrik seperti pada atomisasi tungku grafit (*grafit furnace atomization*). Diperlukan nyala dengan suhu tinggi yang akan menghasilkan atom bebas. Untuk alat SSA dengan sistem atomisasi nyala digunakan campuran gas asetilen-udara atau campuran asetilen-N₂O. Pemilihan oksidan bergantung kepada suhu nyala dan komposisi yang diperlukan untuk pembentukan atom bebas.

2. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan dalam alat SSA ialah lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*). Lampu ini terdiri dari suatu katoda dan anoda yang terletak dalam suatu silinder gelas berongga yang terbuat dari kwarsa. Katoda terbuat dari logam yang akan dianalisis. Silinder gelas berisi suatu gas lembam pada tekanan rendah. Ketika diberikan potensial listrik maka muatan positif ion gas akan menumbuk katoda sehingga terjadi pemancaran spektrum garis logam yang bersangkutan.



Gambar 13. Lampu katoda berongga.

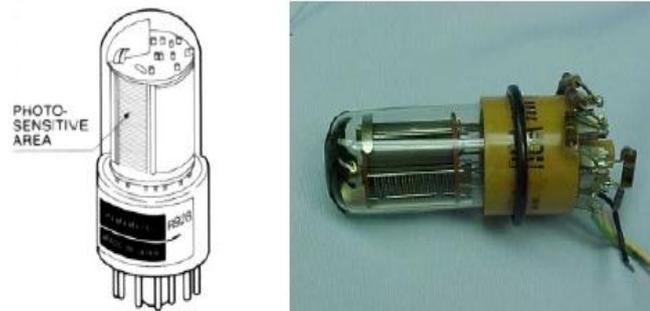
3. Monokromator dan Sistem Optik

Berkas cahaya dari lampu katoda berongga akan dilewatkan melalui celah sempit dan difokuskan menggunakan cermin menuju monokromator. Monokromator dalam alat SSA akan memisahkan, mengisolasi dan mengontrol intensitas energi yang diteruskan ke detektor. Monokromator yang biasa digunakan ialah monokromator difraksi grating.

4. Detektor dan Sistem Elektronik

Energi yang diteruskan dari sel atom harus diubah ke dalam bentuk sinyal listrik untuk kemudian diperkuat dan diukur oleh suatu sistem pemroses data. Proses perubahan ini dalam alat SSA dilakukan oleh detektor. Detektor yang biasa digunakan ialah tabung pengganda foton (*photomultiplier tube*), terdiri dari katoda yang dilapisi senyawa yang bersifat peka cahaya dan suatu anoda yang mampu mengumpulkan elektron. Ketika foton menumbuk katoda maka elektron akan dipancarkan, dan bergerak menuju anoda. Antara katoda dan anoda terdapat dinoda-dinoda yang mampu menggandakan elektron. Sehingga intensitas elektron yang sampai menuju anoda besar dan akhirnya dapat dibaca sebagai sinyal listrik.

Untuk menambah kinerja alat maka digunakan suatu mikroprosesor, baik pada instrumen utama maupun pada alat bantu lain seperti autosampler.



Gambar 14. *Photomultiplier Tube*

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

4.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Autoklaf TOMY ES-215
2. *Scanning Electron Microscope* (SEM) Jeol JSM-T300
3. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Perkin-Elmer 5100 PC
4. *Vertical Laminar Flow Cabinet* ESCO
5. Kromatografi Gas-Spektrofotometri Massa (KG-SM/GC-MS) Shimadzu QP 2010 S
6. Cawan petri
7. Kuas
8. Mikroskop digital Olympus CX41
9. Refraktometer
10. Kamera
11. Seperangkat alat gelas
12. Piknometer
13. Oven BINDER
14. Timbangan digital GR-200
15. Preparat kaca
16. Ose

17. Inkubator MFI-250

4.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Sampel minyak atsiri biji pala
2. Na₂SO₄ anhidrat (Merck)
3. Aquades
4. Tween 80 (Merck) sebagai pengemulsi minyak
5. PDA (*Potatoes Dextrose Agar*) (Oxoid)
6. Larutan Standar Cd 1000 ppm (Merck)
7. Larutan Standar Pb 1000 ppm (Merck)
8. Larutan Standar Cr 1000 ppm (Merck)
9. HNO₃ pekat (Merck)

4.2 Sampel

Sampel yang digunakan yaitu batu asli Candi Borobudur yang ditumbuhi lumut kerak (*Lichenes*). Sampling lumut kerak untuk pengujian laboratorium dilakukan dengan cara mengerik lumut kerak yang menempel pada batu menggunakan spatula dan dimasukkan ke dalam cawan petri yang bersih.

4.3 Cara Kerja

4.3.1 Uji Karakteristik Minyak Atsiri Biji Pala

1. Penentuan Indeks Bias

Refraktometer di alirkan menggunakan air sehingga alat ini berada pada suhu dimana pembacaan akan dilakukan. Suhu tidak boleh berada lebih dari $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dari

suhu referensi dan harus dipertahankan dengan toleransi $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Minyak ditaruh di dalam alat, tetapi minyak tersebut harus berada pada suhu yang sama dengan suhu dimana pengukuran akan dilakukan. Pembacaan dilakukan bila suhu sudah stabil.

2. Penentuan Bobot Jenis

Piknometer dicuci dan dibersihkan, kemudian dibilas secara berturut-turut dengan etanol dan dietil eter. Bagian dalam piknometer dikeringkan dengan arus udara kering dan disisipkan tutupnya. Piknometer dibiarkan di dalam lemari timbangan selama 30 menit dan ditimbang sebagai m . Piknometer diisi dengan aquades yang telah dididihkan dan biarkan pada suhu 20°C , sambil menghindari adanya gelembung-gelembung udara. Piknometer dicelupkan ke dalam penangas air pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit dan disisipkan penutupnya serta dikeringkan piknometernya. Selanjutnya piknometer dibiarkan di dalam lemari timbangan selama 30 menit, kemudian ditimbang dengan isinya sebagai m_1 . Piknometer tersebut dikosongkan dan dibilas dengan etanol dan dietil eter, lalu dikeringkan dengan arus udara kering. Piknometer diisi dengan contoh minyak atsiri dan hindari adanya gelembung udara. Piknometer dicelupkan kembali ke dalam penangas air pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit, lalu disisipkan penutupnya dan dikeringkan piknometer tersebut. Piknometer dibiarkan di dalam timbangan selama 30 menit dan ditimbang sebagai m_2 . Untuk mengetahui bobot jenis minyak atsiri biji pala tersebut dapat menggunakan rumus perhitungan bobot jenis sesuai dengan SNI 06-2388-2006 yaitu sebagai berikut:

$$\text{Bobot jenis} = \frac{m_1 - m}{m_2 - m}$$

Dengan:

m adalah massa piknometer kosong (gr);

m₁ adalah massa piknometer bersisi air pada 20°C (gr);

m₂ adalah massa piknometer berisi minyak atsiri pada 20°C (gr).

4.3.2 Analisis Minyak Atsiri Biji Pala dengan GC-MS

Komponen-komponen senyawa minyak atsiri biji pala dianalisis menggunakan alat GC-MS. Sampel minyak atsiri yang murni diinjeksi 0,10 µL ke dalam alat GC-MS Shimadzu QP 2010 S dengan kolom yang digunakan Rtx-5 MS. Alat GC-MS diatur, seperti: suhu kolom yang digunakan 60°C, suhu detektor (MS) 250°C, suhu injektor 250°C, suhu awal 60°C, kenaikan suhu 10°C per menit sampai suhunya 300°C dan laju alir gas helium 0,51 mL per menit. Pengujian ini menghasilkan senyawa-senyawa yang terkandung dalam minyak atsiri biji pala.

4.3.3 Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Cr, dan Pb

Sampel minyak atsiri biji pala ditimbang dengan teliti sebanyak 5,0 gram (sampel dalam keadaan cair) ke dalam labu Kjeldah 50 mL, lalu ditambahkan 10 mL HNO₃ 1:1 dan dididihkan selama 1 jam. Cairan dipindahkan secara kualitatif ke dalam labu ukur 50 mL dengan aquades dan diencerkan hingga tanda tera. Selanjutnya absorbansi larutan diukur dengan AAS pada panjang gelombang sesuai logam yang akan dianalisis (SNI 06-2385-2006).

4.3.4 Preparasi Sampel Minyak Atsiri Biji Pala

Sampel minyak atsiri biji pala dimurnikan dengan menambahkan Na₂SO₄ anhidrat. Minyak atsiri biji pala dibuat konsentrasi 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25 % dengan menambahkan larutan tween 80 10% sebagai agen pengemulsi.

Untuk mendapatkan masing-masing konsentrasi tersebut maka digunakan rumus pengenceran agar mendapat konsentrasi yang sesuai.

Tabel 4. Komposisi pembuatan konsentrasi minyak atsiri biji pala

Konsentrasi minyak atsiri biji pala (%)	Minyak atsiri biji pala (mL)	Tween+akuades (10%) (mL)
0	0	10
1	0,1	9,9
5	0,5	9,5
10	1,0	9,0
15	1,5	8,5
20	2,0	8,0
25	2,5	7,5

4.3.5 Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak Minyak Atsiri Biji Pala

1. Pembuatan Medium Kultur Jamur PDA (*Potatoes Dextrose Agar*)

Sebanyak 39 gram PDA dicampur dengan aquades 1000 mL, lalu diaduk sampai larut dan dipanaskan selama 15 menit dengan suhu 100°C agar larut sempurna. Selanjutnya larutan dimasukkan ke dalam alat autoklaf dengan suhu 121°C selama 1 jam.

2. Isolasi Jamur dari Lumut Kerak

Lumut kerak dikerik dari batu candi menggunakan spatula dan dimasukkan ke dalam cawan petri yang bersih. Jamur dari lumut kerak diinokulasi ke dalam medium PDA dengan menggunakan metode penuangan selama 48 – 72 jam hingga terbentuk koloni jamur. Koloni jamur yang terbentuk kemudian diambil dengan ose dan diinokulasi lagi ke dalam medium agar PDA miring dalam tabung reaksi dengan cara digores secara zigzag dan diinokulasi selama 48-72 jam. Koloni jamur yang terbentuk diamati menggunakan mikroskop.

3. Uji Antijamur Minyak Atsiri Biji Pala dengan Metode Difusi

Uji aktivitas antijamur bertujuan untuk mengetahui daya hambat minyak atsiri biji pala terhadap pertumbuhan jamur dari lumut kerak. Delapan kertas saring disiapkan dengan ukuran 6 mm, lalu kertas saring direndam dengan minyak atsiri biji pala untuk masing-masing konsentrasi 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% atau kontrol berupa kertas saring 6 mm tidak direndam. Selanjutnya masing-masing kertas yang sudah direndam diletakan pada permukaan medium PDA yang telah ditanami jamur sesuai konsentrasi. Selanjutnya dilakukan pengamatan setiap 24 jam setelah pengaplikasian dengan cara mengukur diameter hambatan dengan garisan yang ada ukurannya millimeter.

4.3.6 Pengujian Lapangan

1. Uji Coba Minyak Atsiri Biji Pala pada Lumut Kerak

Aplikasi atau perlakuan dilakukan pada batu yang ditumbuhi *Lichenes* atau lumut kerak dengan cara dioleskan langsung ke bagian permukaan benda uji menggunakan kuas. Pengamatan dilakukan 24 jam setelah pengaplikasian minyak selama beberapa hari, dengan melihat lumut kerak. Sebelum dan sesudah pengolesan minyak atsiri permukaan benda uji diamati dengan menggunakan mikroskop digital. Minyak atsiri dalam penelitian ini digunakan konsentrasi sebesar 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 100%.

2. Pengamatan Batu Uji dengan SEM dan Mikroskop

Pengamatan setelah aplikasi minyak atsiri biji pala terhadap lumut kerak (*Lichenes*) dilakukan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan identifikasi jamur hasil isolasi menggunakan mikroskop digital.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Uji karakteristik minyak atsiri biji pala

Minyak atsiri biji pala yang akan digunakan terlebih dahulu diuji sifat fisiknya, seperti indeks bias dan bobot jenisnya. Penentuan indeks menggunakan alat refraktometer. Pengujian indeks bias bertujuan untuk menentukan kemurnian minyak atsiri biji pala. Prinsip dari alat ini adalah penyinaran yang menembus dua macam media dengan kerapatan yang berbeda, kemudian terjadi pembiasan (perubahan arah sinar) akibat perbedaan kerapatan media (Guenther, 1987). Yang dimaksud dengan indeks bias merupakan perbandingan kecepatan cahaya di dalam ruang hampa dengan kecepatan cahaya dalam zat tersebut. Sebelum melakukan pengukuran indeks bias minyak, alat dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara permukaan lempengan tempat sampel dibersihkan dengan hati-hati menggunakan tisu yang telah dibasuh dengan aseton teknis. Setelah permukaan sudah bersih dan kering, sampel minyak 1-2 tetes diteteskan ke dalam permukaan prisma refraktometer. Kemudian prisma ditutup dan diputar knop pengatur hingga batas diantara medan terang dan gelap terlihat dengan jelas pada teleskop. Cermin diatur untuk mendapat sinar yang dipantulkan sepanjang sumbu teleskop, lalu diputar lagi hingga batas daerah terang dan gelap berimpit dengan titik potong dari garis silang dan indeks bias dapat dibaca dari skala. Indeks bias yang didapat dari minyak atsiri biji pala adalah 1,485 hal ini sesuai mutu SNI 06-2388-2006 bahwa indeks bias minyak atsiri biji pala antara 1,470 - 1,497. Nilai indeks bias

minyak atsiri biji pala yang dihasilkan besar hal ini berarti bahwa minyak tersebut memiliki kerapatan yang besar, sehingga kecepatan cahaya pada minyak lebih kecil dan mengakibatkan nilai indeks biasanya besar (Sutiah *et.al*, 2008).

Penentuan bobot jenis minyak atsiri biji pala bertujuan untuk menunjukkan kerapatan minyak atsiri biji pala pada suhu 20°C terhadap kerapatan air suling pada suhu yang sama. Prinsip dari pengukuran bobot jenis adalah membandingkan antara kerapatan minyak pada suhu 20°C terhadap kerapatan air suling pada suhu yang sama. Bobot jenis ditentukan dengan menggunakan alat piknometer. Piknometer digunakan dalam penetapan bobot jenis karena selain praktis dan tepat penggunaannya juga hanya menggunakan sejumlah kecil sampel minyak. Bobot jenis suatu senyawa organik dipengaruhi oleh bobot molekul, polaritas, suhu, dan tekanan. Bobot jenis juga merupakan salah satu kriteria penting dalam penentuan mutu dan kemurnian minyak atsiri (Guenther, 1987). Hasil penetapan bobot jenis minyak atsiri biji pala pada penelitian ini adalah 0,910 gr/mL hal ini sesuai dengan mutu minyak atsiri pala dalam SNI 06-2388-2006 yang menetapkan bobot jenis minyak tersebut antara 0,880-0,910 gr/mL.

Tabel 5. Hasil uji karakteristik minyak atsiri biji pala

Parameter	Hasil Penelitian	Mutu SNI 06-2388-2006
Indeks bias (nD20)	1,485	1,470-1,497
Bobot jenis (gr/mL)	0,910	0,880-0,910

5.2 Analisis minyak atsiri biji pala dengan GC-MS

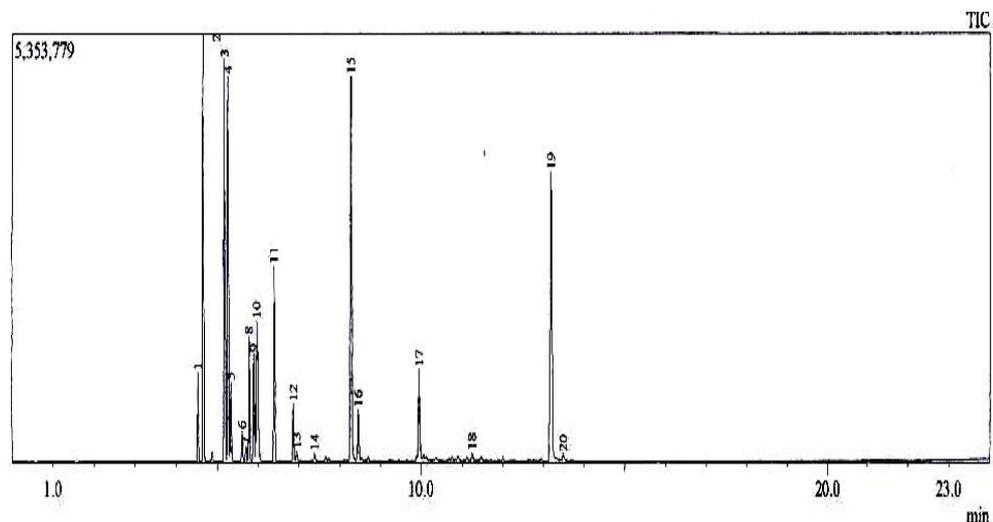
Untuk mengetahui komponen-komponen senyawa dalam minyak atsiri biji pala maka dianalisis menggunakan alat GC-MS. Analisis dilakukan dengan

menginjeksikan sampel minyak atsiri ke dalam ruang injeksi yang telah dipanasi. Sampel kemudian dibawa oleh gas pembawa melalui kolom dimana komponen sampel akan dipisahkan. Di dalam kolom, fasa diam akan menahan komponen secara selektif berdasarkan koefisien distribusinya dan akan dialirkan ke detektor yang memberikan sinyal untuk kemudian dapat diamati pada sistem pembacaan.

Identifikasi komponen senyawa dalam minyak atsiri biji pala dengan spektrometri massa dilakukan dengan cara membandingkan spektra massa dari sampel dengan data spektra massa standar yang tersimpan dalam kepustakaan alat GC-MS. Perbandingan dilakukan dengan melihat nilai SI (*Similarity Index*) atau indeks kemiripan spektra massa senyawa yang ada pada komputer (*hit list*). Semakin tinggi nilai SI maka senyawa itu semakin mirip dengan senyawa yang dianalisis sehingga bisa disimpulkan bahwa sampel tersebut sama dengan senyawa yang memiliki SI tertinggi dalam *hit list* yang diberikan computer.

Analisis kualitas minyak atsiri biji pala dengan GC-MS dapat menginterpretasi spektra massa dari puncak-puncak yang ada pada kromatogram sehingga dapat diidentifikasi komponen-komponen senyawa yang ada dalam minyak tersebut.

Berikut ini ditampilkan kromatogram dari analisis minyak atsiri biji pala dengan menggunakan GC-MS:

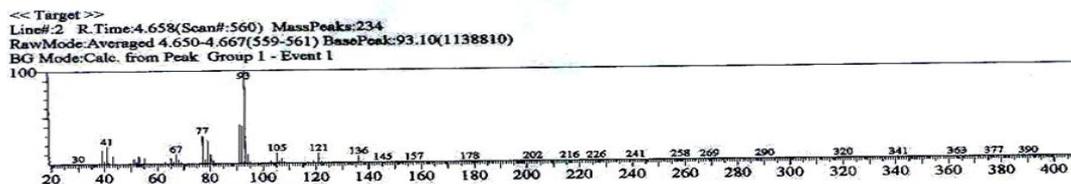


Gambar 15. Kromatogram Minyak atsiri biji pala

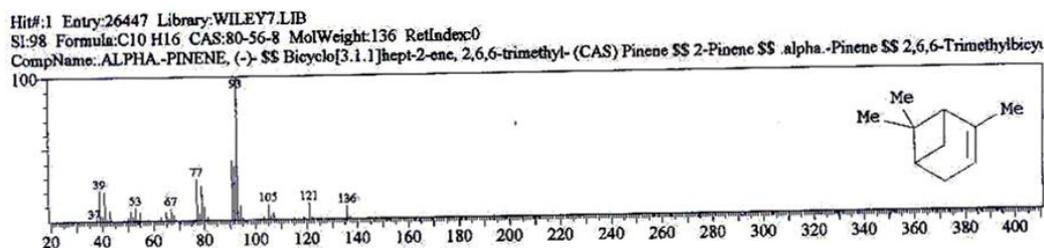
Dari kromatogram pada Gambar 15 terlihat ada 20 puncak, tetapi komponen senyawa yang berada dalam jumlah besar adalah Terpinen-4-ol (15,15%), Miristisin (13,58%), α -pinen (13,16%), β -phelladrene (12,53%), dan β -pinen (11,43%). Analisis komponen senyawa dalam minyak atsiri dengan GC-MS dapat menginterpretasi spektra massa dari puncak-puncak yang ada pada kromatogram sehingga dapat diidentifikasi komponen-komponen senyawa dalam minyak tersebut. Interpretasi dilakukan dengan melihat puncak-puncak karakteristik pada spektra massa.

5.2.1 Identifikasi senyawa pada puncak 2 t_R 4,654 menit (13,16%)

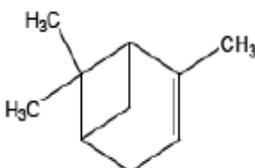
Spektrum massa senyawa pada puncak 2 identik dengan spektrum massa senyawa α -pinen yang ditampilkan pada Gambar 16.



Gambar 16.a. Spektum massa senyawa puncak 2

Gambar 16.b. Spektum massa senyawa α -pinen

Analisis dengan spektrometer massa menunjukkan bahwa spektra massa senyawa puncak 2 dengan waktu retensi 4,654 menit, kelimpahan 13,16% ditampilkan pada Gambar 16.a, sedangkan spektrum massa senyawa dari pusat data GC-MS yang memiliki kemiripan 98% dengan spektrum massa nomor 1 pada Gambar 16.b. Tampak pada Gambar 16.a spektrum massa senyawa puncak 2 mirip dengan Gambar 16.b yang merupakan spektrum massa dari α -pinen. Senyawa α -pinen merupakan golongan senyawa terpenoid yaitu termasuk monoterpen dengan berat molekul 136, memiliki fragmentasi dengan m/z: 37, 39, 53, 67, 77, 93, 105, 121, dan 136. Rumus molekul senyawa α -pinen C₁₀H₁₆ dan rumus struktur sebagai berikut:

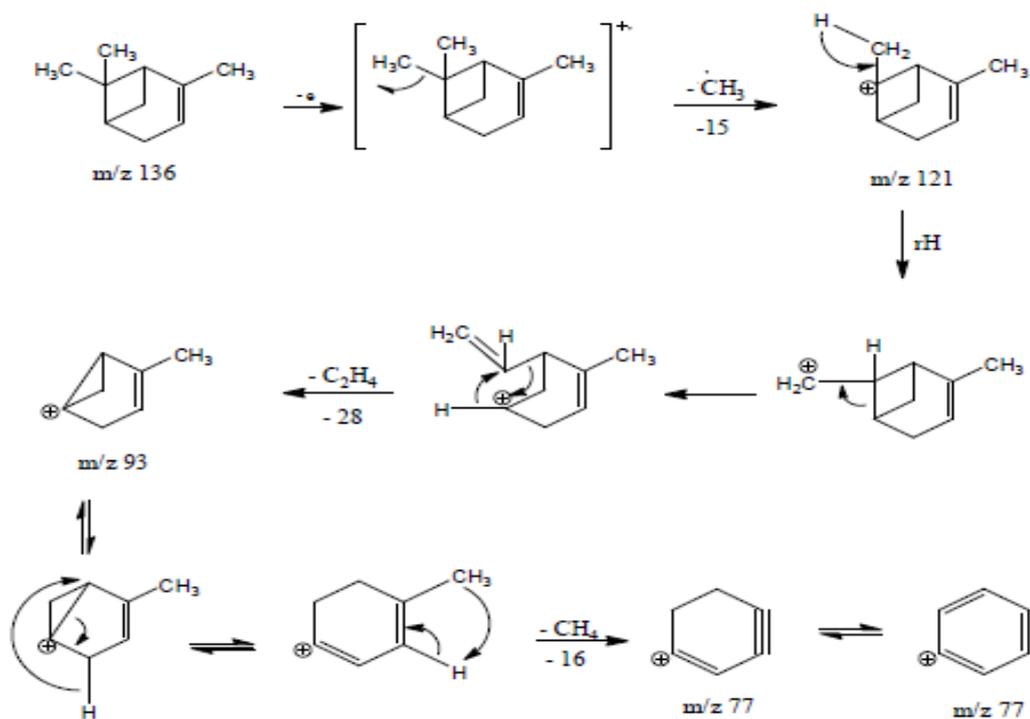
Gambar 17. Senyawa α -pinen

Berdasarkan data dari WILEY7.LIB α -pinen mempunyai rumus molekul $C_{10}H_{16}$ dan berat molekul senyawa α -pinen adalah 136. Oleh karena itu ion molekuler (M^+) senyawa pada puncak 2 adalah 136 m/z dengan puncak dasar pada m/z 93. Pola pemenggalan spektrum massa senyawa puncak 2 seperti pada Tabel 4.

Tabel 6. Kemungkinan fragmen yang hilang dari senyawa α -pinen.

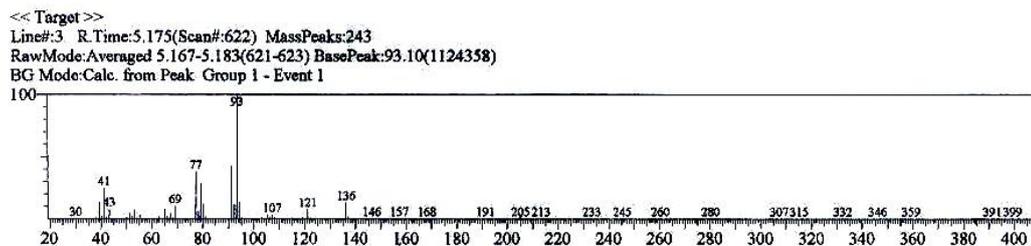
No	m/z	Kemungkinan fragmen yang hilang	Penggalan
1	136	M^+	$C_{10}H_{16}$
2	121	$M^+ - 15 - CH_3$	$C_9H_{13}^+$
3	93	$(M^+ - 15) - 28 - C_2H_4$	$C_7H_9^+$
4	77	$[(M^+ - 15) - 28] - 16 - CH_4$	$C_6H_5^+$

Fragmentasi yang terjadi pada senyawa α -pinen sesuai dengan spektrum massa pada Gambar 16. dapat diperkirakan sebagai berikut:

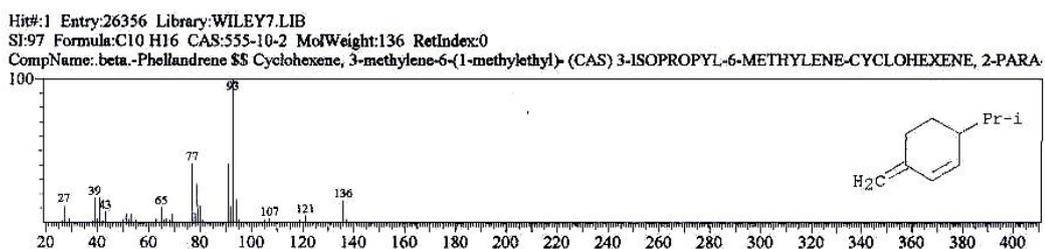


5.2.2 Identifikasi senyawa pada puncak 3 t_R 5,177 menit (12,53%)

Spektrum massa senyawa pada puncak 3 identik dengan spektrum senyawa β -phelladrene yang ditampilkan pada Gambar 18.

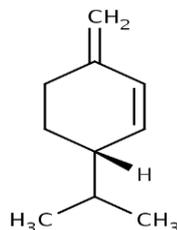


Gambar 18.a. Spektrum massa senyawa puncak 3



Gambar 18.b. Spektrum massa senyawa β -phelladrene

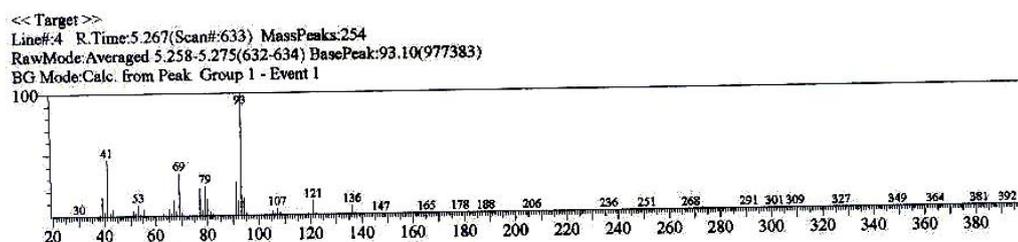
Analisis dengan spektrometer massa menunjukkan bahwa spektrum massa puncak 3 dengan waktu retensi 5,177 menit, kelimpahan 12,53% ditampilkan pada Gambar 18.a, sedangkan spektrum massa senyawa dari pusat data GC-MS yang memiliki kemiripan 97% dengan spektrum massa puncak 3 ditampilkan pada Gambar 18.b. Tampak pada Gambar 18.a spektrum massa senyawa puncak 3 mirip dengan Gambar 18.b yang merupakan struktur β -phelladrene. Berat molekul β -phelladrene adalah 136, memiliki fragmentasi dengan m/z: 27, 39, 43, 65, 93, 107, 121, dan 136. Rumus molekul senyawa β -phelladrene C₁₀H₁₆ dengan struktur sebagai berikut:

Gambar 19. Senyawa β -phelladrene

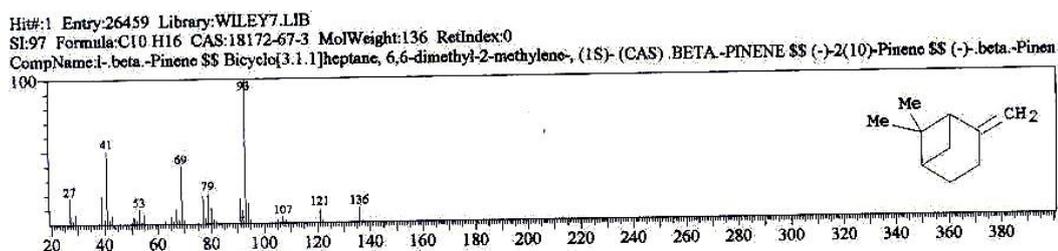
Puncak ion molekuler pada $m/z = 136$ sebagai M^+ . Pola fragmentasi β -phelladrene dapat dijelaskan sebagai berikut. Pemecahan pertama pada ikatan CH_3 (metil), menghasilkan fragmen pada $m/z = 121$ yang kemudian terurai lebih lanjut. Pemecahan selanjutnya adalah lepasnya isopropil yang menghasilkan puncak pada $m/z = 93 = M^+ - 43$ sebagai puncak dasar.

5.2.3 Identifikasi senyawa pada puncak 4 t_R 5, 265 menit (11,43%)

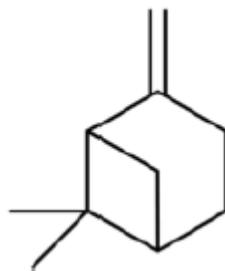
Spektrum massa senyawa pada puncak 4 identik dengan spektrum massa senyawa β -pinen yang ditampilkan pada Gambar 20.



Gambar 20.a. Spektrum massa senyawa puncak 4

Gambar 20.b. Spektrum massa senyawa β -pinen

Analisis dengan spektrometer massa menunjukkan bahwa spektrum massa puncak 4 dengan waktu retensi 5,265 menit, kelimpahan 11,43% ditampilkan pada Gambar 20.a, sedangkan spektrum massa senyawa dari pusat data GC-MS yang memiliki kemiripan 97% dengan spektrum massa puncak 4 ditampilkan pada Gambar 20.b. Tampak pada Gambar 20.a spektrum massa senyawa puncak 4 mirip dengan Gambar 20.b yang merupakan struktur β -pinen. Berat molekul β -pinen adalah 136, memiliki fragmentasi dengan m/z : 27, 41, 53, 69, 79, 93, 107, 121, dan 136. Rumus molekul senyawa β -pinen $C_{10}H_{16}$ dengan rumus struktur sebagai berikut:

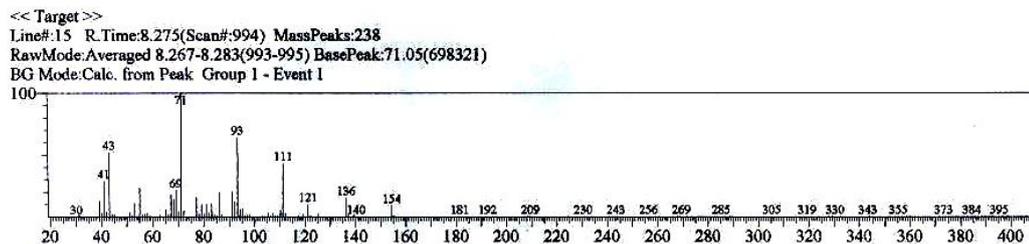


Gambar 21. Senyawa β -pinen

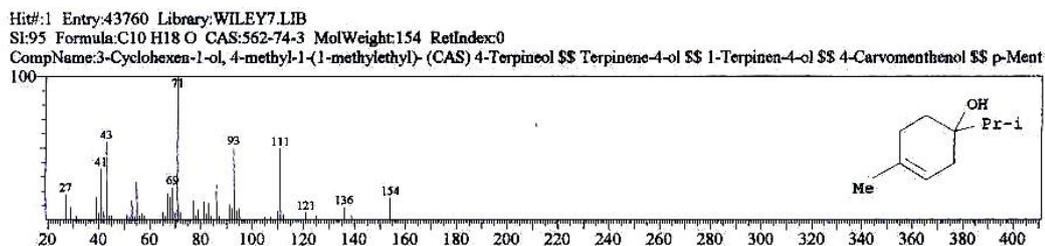
Puncak ion molekuler pada $m/z = 136$ sebagai M^+ . Pola fragmentasi β -pinen dapat dijelaskan sebagai berikut. Pemecahan pertama terjadi pada ikatan CH_3 (metil), yang menghasilkan fragmen pada $m/z = 121$ yang kemudian terurai lebih lanjut. Pemecahan selanjutnya adalah lepasnya isopropil yang menghasilkan puncak pada $m/z = 93 = M^+ - 43$ sebagai puncak dasar.

5.2.4 Identifikasi senyawa pada puncak 15 t_R 8, 279 menit (15,15%)

Spektrum massa senyawa pada puncak 15 identik dengan spektrum massa senyawa terpinen-4-ol yang ditampilkan pada Gambar 22.

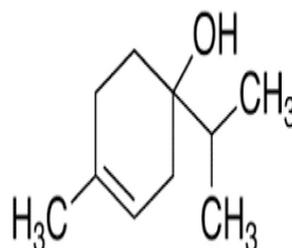


Gambar 22.a. Spektrum massa senyawa puncak 15



Gambar 22.b. Spektrum massa senyawa terpinen-4-ol

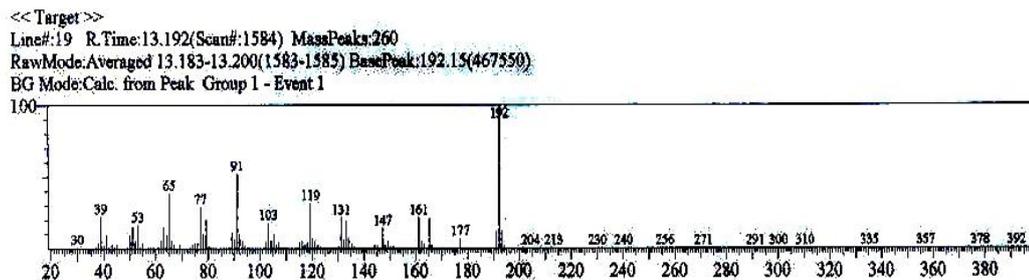
Analisis spektrometer massa menunjukkan bahwa spektrum massa puncak 15 dengan waktu retensi 8,279 menit, kelimpahan 15,15% ditampilkan pada Gambar 22.a, sedangkan spektrum massa senyawa dari pusat data GC-MS yang memiliki kemiripan 95% dengan spektrum massa puncak 15 ditampilkan pada Gambar 22.b. Tampak pada Gambar 22.a spektrum massa senyawa puncak 15 mirip dengan Gambar 22.b yang merupakan struktur terpinen-4-ol. Berat molekul senyawa terpinen-4-ol adalah 154, memiliki fragmentasi: 27, 41, 43, 69, 71, 93, 111, 121, 136, dan 154. Rumus molekul senyawa terpinen-4-ol $C_{10}H_{18}O$ dengan rumus struktur sebagai berikut:



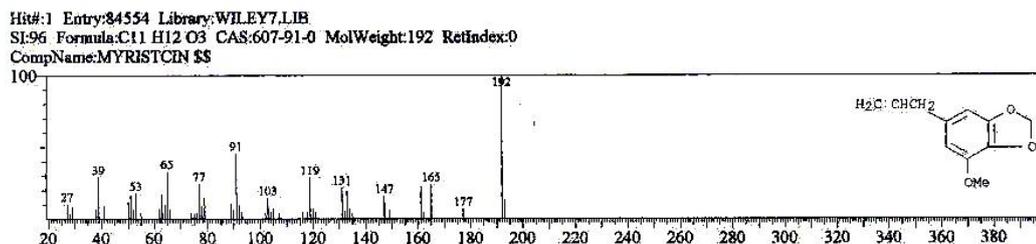
Gambar 23. Senyawa terpinen-4-ol

5.2.5 Identifikasi senyawa pada puncak 19 t_R 13,190 menit (13,58%)

Spektrum massa senyawa pada puncak 19 identik dengan spektrum massa senyawa miristisin yang ditampilkan pada Gambar 24.

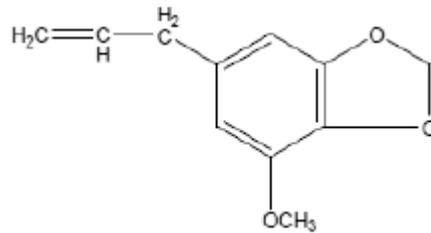


Gambar 24.a. Spektrum massa senyawa puncak 19



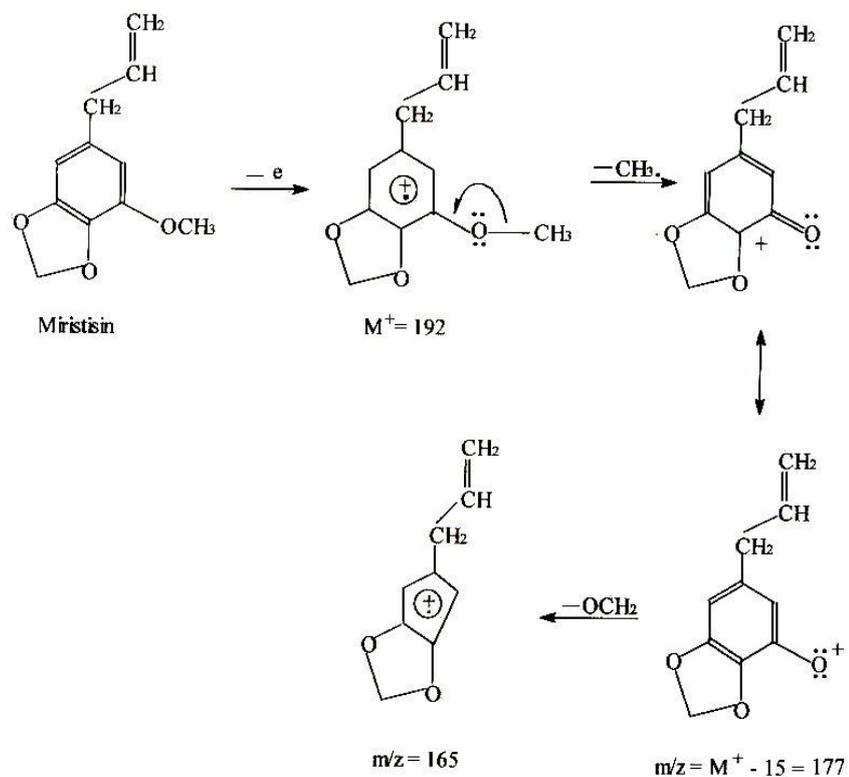
Gambar 24.b. Spektrum massa senyawa miristisin

Analisis dengan spektrometer massa menunjukkan bahwa spektrum massa puncak 19 dengan waktu retensi 13,190 menit, kelimpahan 13,58% ditampilkan pada Gambar 24.a, sedangkan spektrum massa senyawa dari pusat data GC-MS yang memiliki kemiripan 96% dengan spektrum massa puncak 19 ditampilkan pada Gambar 24.b. Tampak pada gambar 24.a spektrum massa senyawa puncak 19 mirip dengan Gambar 24.b yang merupakan struktur miristisin. Berat molekul miristisin adalah 192, memiliki fragmentasi dengan m/z: 27, 39, 53, 65, 77, 91, 103, 119, 131, 147, 165, 177, dan 192. Rumus molekul senyawa miristisin C₁₁H₁₂O₃ dengan rumus struktur sebagai berikut:



Gambar 25. Senyawa Miristin

Puncak ion molekul pada $m/z = M^+ = 192$ terlihat jelas sebagai puncak dasar. Pola fragmentasi miristin dapat dijelaskan sebagai berikut. Pemecahan pertama terjadi pada ikatan CH_3 (metil), yang menghasilkan fragmen pada $m/z = 177$ yang kemudian terurai lebih lanjut. Pemecahan selanjutnya lepasnya $\text{O}-\text{CH}_2$ yang menghasilkan puncak pada $m/z = 165$. Adapun fragmentasinya dapat digambarkan sebagai berikut:



Dari penentuan komponen senyawa minyak atsiri biji pala menggunakan GC-MS, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 7. Kandungan senyawa kimia minyak atsiri biji pala.

Puncak	Waktu retensi (menit)	m/z	Nama Senyawa	Area (%)
2	4,654	37, 39, 53, 67, 77, 93, 105, 121, 136	α -pinen	13,16
3	5,177	27, 39, 43, 65, 77, 93, 107, 121, 136	β -phelladrene	12,53
4	5,265	27, 41, 53, 69, 79, 93, 107, 121, 136	β -pinen	11,43
15	8,279	27, 41, 43, 69, 71, 93, 111, 121, 136, 154	Terpinen-4-ol	15,15
19	13,190	27, 39, 53, 65, 77, 91, 103, 119, 131, 147, 165, 177, 192	Miristisin	13,58

Senyawa α -pinen dan β -pinen memiliki sifat antiseptic yang kuat. Dalam bidang industri biasanya digunakan sebagai disinfektan, insektisida, pengharum ruangan dan lain-lain. Terpinen-4-ol memiliki aktivitas antimikroba yang kuat, anti-inflamatory dan aktivitas antifungal. Senyawa ini digunakan sebagai flavor, parfum, dan obat-obatan (Sipahelut, 2010). Miristisin memiliki sifat pedas serta mempunyai efek halusinasi seperti narkotik. Dalam bidang non-medis miristisin digunakan sebagai bumbu masakan, insektisida dan rasa pada rokok, sedangkan di bidang medisinal, digunakan dalam obat-obatan dan kemoterapi (Mancha & Fuentes, 2008).

5.3 Analisis kandungan logam berat Cd, Cr dan Pb

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Cd, Cr dan Pb yang terkandung dalam minyak atsiri biji pala. Hal ini perlu dilakukan untuk menghindari pengaruh logam berat tersebut dalam menghambat pertumbuhan lumut kerak (*Lichenes*) pada batu. Analisis logam berat Cd, Cr dan Pb menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Perkin Elmer 5100 PC.

Prinsip analisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah larutan sampel diaspirasikan ke suatu nyala dan unsur-unsur di dalam sampel diubah menjadi uap atom sehingga nyala mengandung atom unsur-unsur yang dianalisis. Beberapa diantara atom akan tereksitasi secara termal oleh nyala, tetapi kebanyakan atom tetap tinggal sebagai atom netral dalam keadaan dasar (*ground state*). Atom-atom *ground state* ini kemudian menyerap radiasi yang diberikan oleh sumber radiasi yang diberikan oleh sumber radiasi yang terbuat dari unsur-unsur yang bersangkutan.

Sebelum dilakukan pengukuran logam berat dengan SSA, maka sampel minyak atsiri biji pala didestruksi terlebih dahulu menggunakan HNO₃ pekat, dipanaskan dalam lemari asam dan diencerkan menjadi volume 50 mL cara kerja ini mengikuti aturan SNI 06-2385-2006. Destruksi bertujuan untuk menghancurkan ikatan-ikatan yang membentuk koloid, sehingga nantinya akan membentuk larutan sejati. Hal ini dilakukan untuk mencegah adanya sumbatan di dalam alat SSA, terutama di dalam selang kapiler dan pada atomizer.

Alat SSA perlu dioptimasi terlebih dahulu untuk memperoleh hasil analisis yang baik. Dengan dilakukannya optimasi alat makan akan diperoleh hasil analisis yang baik. Parameter-parameter yang dioptimasi adalah panjang gelombang, laju alir asetilen sebagai bahan bakar, laju alir udara sebagai oksigen, kuat arus lampu katoda cekung (HCL), tinggi pembakar dan lebar celah. Pada kondisi optimum perubahan serapan akibat perubahan konsentrasi akan lebih sensitif (Khozanah, 2003). Hasil optimasi SSA dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 8. Hasil optimasi alat Spektrofotometri Serapan Atom.

Parameter	Logam		
	Cd	Cr	Pb
Panjang gelombang (nm)	228,6	357,0	217,0
Laju alir asetilen (L/menit)	1,56	3,0	2,0
Laju alir udara (L/menit)	13,5	6,0	4,0
Arus lampu (mA)	4	12,0	10,0
Lebar celah (mm)	0,5	0,7	0,7

Setelah dilakukan optimasi terlebih dahulu diukur absorbansi larutan standar dari masing-masing logam dan terakhir baru diukur absorbansi larutan sampel minyak atsiri biji pala.

Hasil analisis logam Cd dapat dilihat pada lampiran 3, dimana hasilnya menunjukkan bahwa tidak adanya logam Cd dalam sampel minyak atsiri biji pala karena absorbansinya adalah 0,000 (*not detection*). Sehingga logam Cd tidak berpengaruh dalam penghambatan lumut kerak.

Hasil analisis logam Cr dapat dilihat pada lampiran 5, dimana hasilnya menunjukkan bahwa adanya logam Cr dalam sampel minyak atsiri biji pala. Adapun hasil pengukuran absorbansi sampelnya adalah 0,0222. Untuk mengetahui kadar logam Cr dalam minyak atsiri biji pala maka digunakan metode

kurva kalibrasi. Larutan standar Cr dibuat dengan konsentrasi 0,00 ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, dan 3 ppm yang kemudian dianalisis dengan SSA dimulai dari 0,00 ppm sampai 3 ppm, sehingga didapatkan absorbansi masing-masing larutan standar, yang kemudian dibuat kurva kalibrasi absorbansi vs konsentrasi. Kurva kalibrasi larutan standar Cr absorbansi vs konsentrasi dapat dilihat pada lampiran 6.

Setelah persamaan regresi linear diperoleh yaitu $y = 0,0438 - 0,0041x$, kemudian disubstitusikan data absorbansi sampel ke dalam persamaan tersebut. Dimana y sebagai absorbansi sampel dan x sebagai konsentrasi. Data perhitungan dapat dilihat pada lampiran 6. Berdasarkan perhitungan yang didapat, diketahui bahwa kadar Cr dalam sampel adalah 6,093 mg/kg. Adanya logam Cr dalam minyak atsiri itu bisa saja terjadi, mungkin karena pengaruh ketel pada saat dilakukan penyulingan minyak atsiri biji pala. Tetapi dalam hal ini logam Cr yang terkandung dalam sampel minyak atsiri biji pala tidak ikut berpengaruh dalam proses penghambatan lumut kerak (*Lichenes*), karena menurut Aggangan *et al* (1998) konsentrasi logam Cr yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba adalah sekitar 104 ppm.

Hasil analisis logam Pb dapat dilihat pada lampiran 4, dimana hasilnya menunjukkan bahwa tidak adanya logam Pb dalam sampel minyak atsiri biji pala karena absorbansinya adalah 0,000 (*not detection*). Sehingga logam Pb tidak berpengaruh terhadap penghambatan lumut kerak.

Tabel 9. Hasil analisis kandungan logam Pb, Cd dan Cr menggunakan SSA.

Kandungan Logam	Konsentrasi (mg/kg)
Pb	Tidak terdeteksi
Cd	Tidak terdeteksi
Cr	6,093

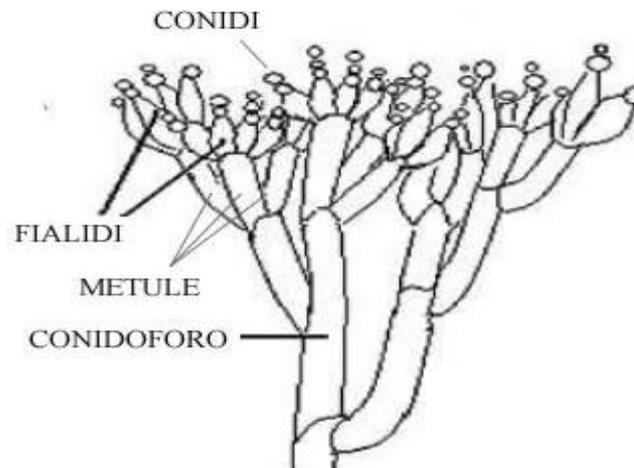
5.4 Identifikasi jamur hasil isolasi

Setelah koloni jamur terbentuk, kemudian diamati menggunakan mikroskop digital. Adapun hasil pengamatan jamur menggunakan mikroskop dapat dilihat pada Gambar 26. Berdasarkan cirri-ciri yang terlihat jamur ini merupakan *Penicillium sp.*



Gambar 26. Pengamatan jamur hasil isolasi menggunakan mikroskop digital.

Penicillium sp. adalah genus fungi dari ordo *Hypomycetes*, filum *Ascomycota*. *Penicillium sp.* Memiliki hifa bersepta dan membentuk badan spora yang disebut konidium. Konidium berbeda dengan sporangium, karena tidak memiliki selubung pelindung seperti sporangium. Tangkai konidium disebut konidiofor, dan spora yang dihasilkannya disebut konidia. Konidium ini memiliki cabang-cabang yang disebut phialides sehingga tampak membentuk gerumbul (Purves dan Sadava, 2003).



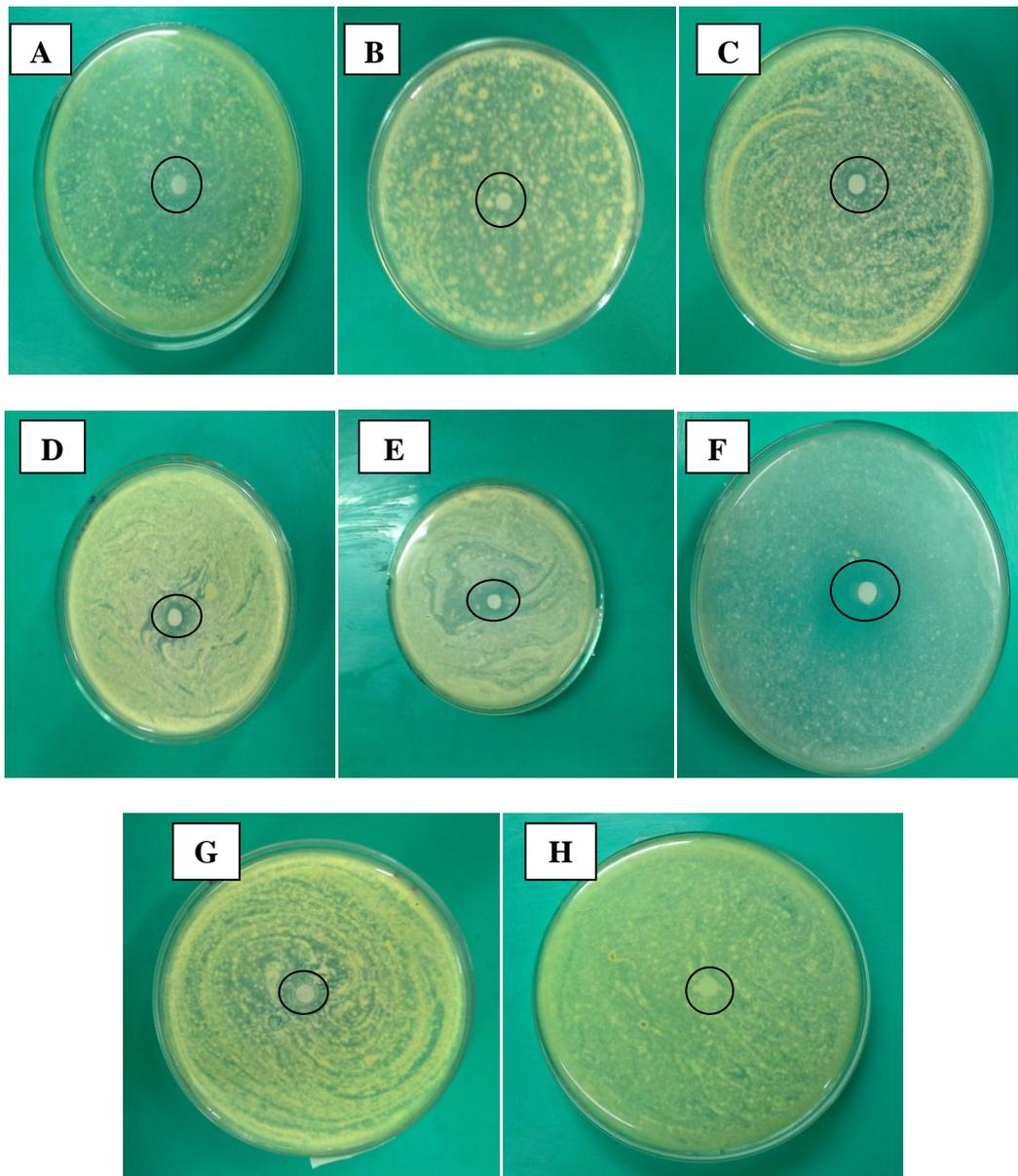
Gambar 27. *Penicillium sp.*

5.4.1 Uji antijamur minyak atsiri pala dengan metode difusi

Uji aktivitas antijamur bertujuan untuk mengetahui daya hambat minyak atsiri biji pala terhadap pertumbuhan jamur dari lumut kerak. Menurut penelitian terdahulu dilaporkan bahwa minyak atsiri biji pala dapat menghambat pertumbuhan jamur *F. solani*, *A. terreus*, *A. Fumigatus*, *Penicillium sp.*, *F. moniliforme*, *A. flavus*, *A. oryzae*, dan *A. niger* (Nilima *et al.*, 2012).

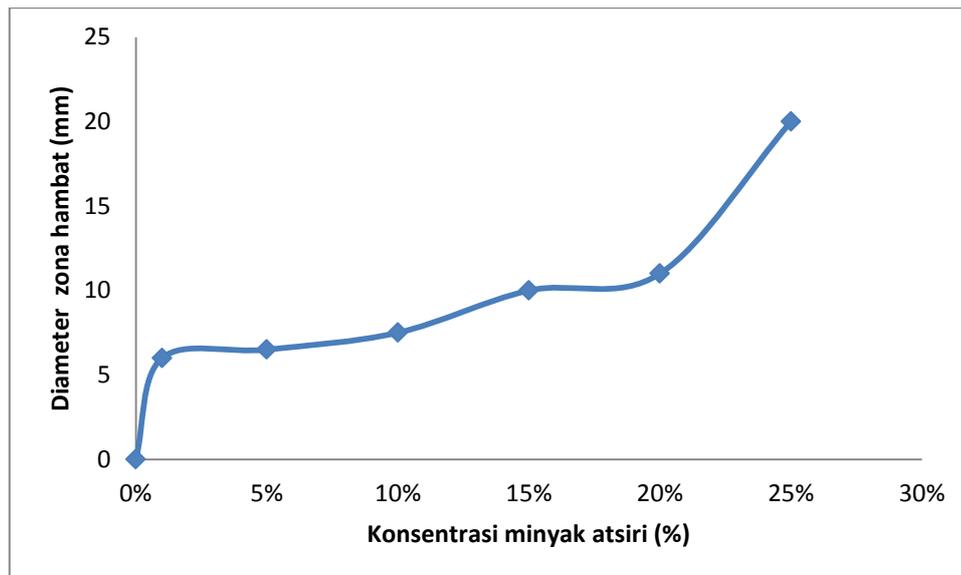
Uji minyak atsiri biji pala pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode difusi cakram. Prinsip dari metode ini adalah bahan uji dijenuhkan ke dalam kertas saring (cakram kertas). Cakram kertas yang mengandung bahan tertentu ditanam pada media perbenihan agar padat yang telah dicampur dengan mikroba yang diuji, kemudian diinkubasikan 35°C selama 18-24 jam. Selanjutnya diamati adanya zona jernih disekitar cakram kertas yang menunjukkan tidak adanya pertumbuhan mikroba. Selama inkubasi, bahan uji berdifusi dari kertas saring ke dalam agar-agar itu, sebuah zona inhibisi dengan demikian akan terbentuk (Madigan, 2003).

Berdasarkan pengamatan pada setiap konsentrasi minyak atsiri biji pala menunjukkan penghambatan. Hasil pengukuran zona penghambatan pada setiap konsentrasi minyak atsiri biji pala dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Efek penghambatan minyak atsiri biji pala terhadap jamur: a. Konsentrasi 1%; b. Konsentrasi 5%; c. Konsentrasi 10%; d. Konsentrasi 15%; e. Konsentrasi 20%; f. Konsentrasi 25%; g. blangko; h. control

Cara mengukur zona penghambatan minyak atsiri biji pala terhadap jamur adalah dengan cara mengukur diameter area jernih yang terlihat di sekitar kertas saring menggunakan garisan.



Gambar 29. Hasil pengukuran zona penghambatan minyak atsiri biji pala terhadap jamur

Berdasarkan hasil pengukuran minyak atsiri biji pala mulai konsentrasi 1% sudah menunjukkan aktivitas penghambatan yang nyata terhadap kontrol. Sedangkan pada konsentrasi 15%, 20% dan 25% menunjukkan penghambatan yang lebih besar yaitu berturut-turut 10 mm, 11 mm dan 20 mm. Sedangkan pada konsentrasi 1%, 5%, 10% dan blangko kurang efektif karena zona penghambatannya kecil yaitu berturut-turut 6 mm, 6,5 mm, 7,5 mm dan 0 mm.

Mengacu pada Madigan *et al.* (1997) senyawa antimikroba yang terkandung dalam minyak atsiri biji pala yang berdifusi ke dalam medium agar dapat menyebabkan terhambatnya pembentukan dinding sel sehingga sel hanya

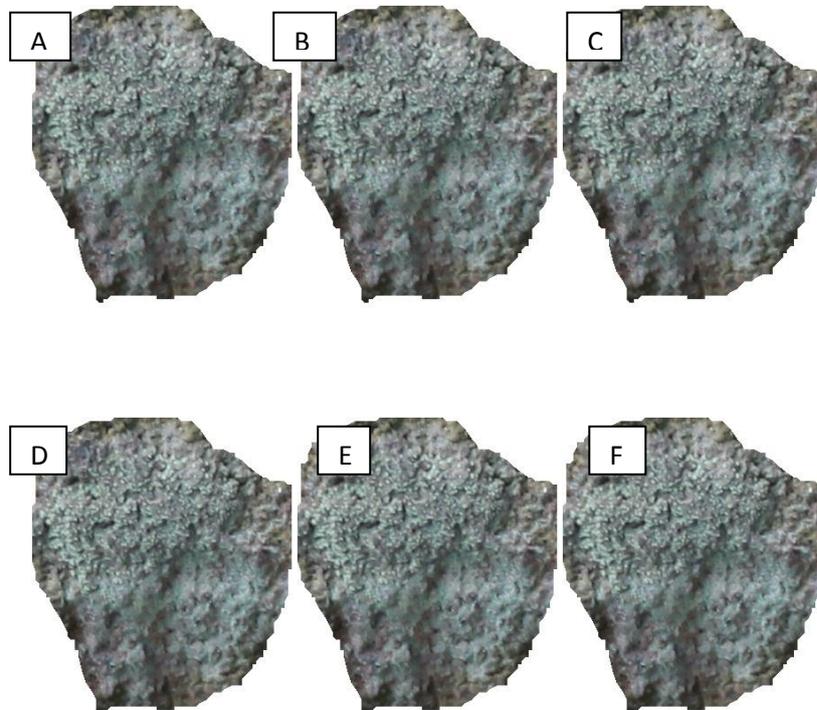
dibatasi oleh membran sel yang tipis dan dapat pecah atau rusak. Penghambatan juga dapat terjadi pada proses sintesis protein.

5.5 Uji coba minyak atsiri biji pala pada lumut kerak (*Lichenes*)

Sebelumnya sudah ada penelitian yang berkaitan dengan efektivitas minyak atsiri untuk bahan konservasi benda cagar budaya, salah satunya yaitu penelitian yang telah dilakukan oleh Preeti Bhatnagar dan S. K. Jain pada tahun 2014, mereka menggunakan minyak atsiri dari peppermint, kayu manis dan minyak atsiri dari getah pinus sebagai bahan konservasi untuk menghambat pertumbuhan jamur yang dapat merusak benda cagar budaya, yaitu Benteng Gwalior di India. Jenis jamur yang dilaporkan mengalami penghambatan adalah *Penicillium sp* dan *Fusarium*, jamur ini banyak tumbuh di Benteng tersebut. Berdasarkan penelitian ini maka dibuatlah penelitian untuk membuat bahan konservasi yang dapat menghambat pertumbuhan lumut kerak pada batu candi menggunakan minyak atsiri biji pala, karena minyak atsiri biji pala mempunyai aktivitas antijamur.

Aplikasi uji coba minyak atsiri biji pala dilakukan pada batu yang ditumbuhi lumut kerak (*Lichenes*). Terlebih dahulu minyak atsiri dibuat konsentrasi 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 100% dengan menggunakan tween 80 sebagai surfaktan yaitu untuk melarutkan minyak atsiri biji pala, karena minyak tidak larut dalam air sehingga diperlukan suatu surfaktan untuk melarutkan minyak dalam air. Minyak atsiri biji pala dioleskan pada permukaan batu yang ditumbuhi lumut kerak sesuai konsentrasi, kemudian dilakukan pengamatan setiap 24 jam selama seminggu untuk mengetahui efek minyak atsiri terhadap lumut kerak.

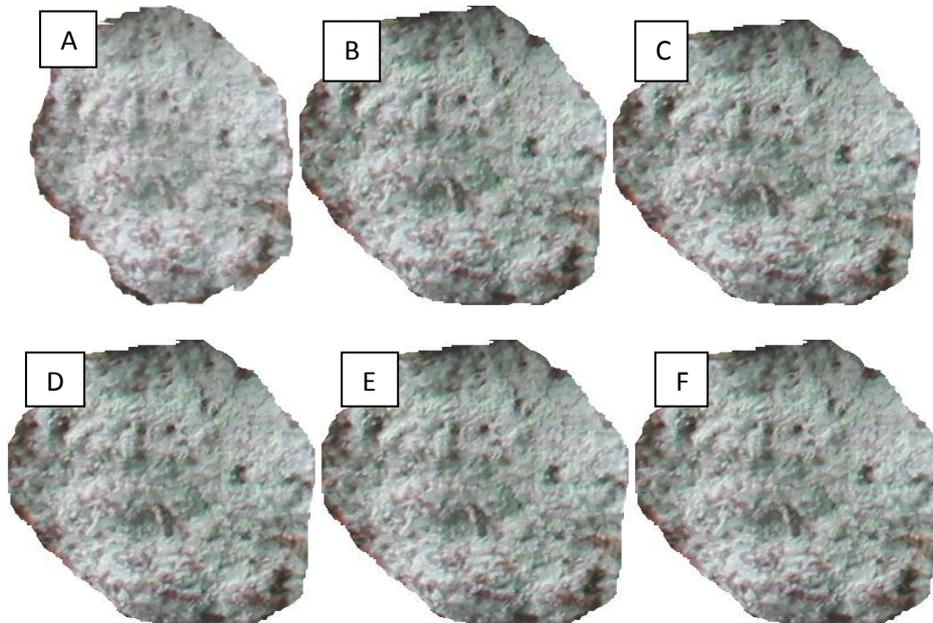
5.5.1 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 1%



Gambar 30. Pengamatan lumut kerak menggunakan minyak atsiri biji pala 1%. (a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pada Gambar 30 tidak ada perbedaan antara lumut kerak sebelum dioles dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 1%, pada pengamatan setelah 24 jam belum dan seterusnya tidak terjadi perubahan, hal ini ditandai dengan warna lumut kerak setelah dioles tidak berubah warna. Jadi konsentrasi minyak atsiri biji pala 1% tidak efektif dalam menghambat pertumbuhan lumut kerak.

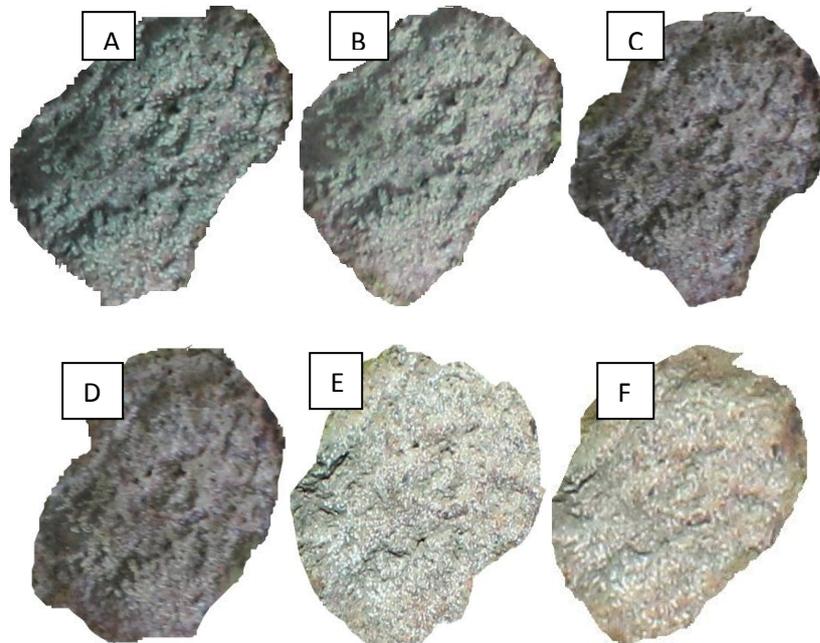
5.5.2 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 5%



Gambar 31. Pengamatan lumut kerak menggunakan minyak atsiri biji pala 5%. (a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pada Gambar 31 tidak ada perbedaan antara lumut kerak sebelum dioles dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 5%, pada pengamatan setelah 24 jam dan seterusnya tidak ada perubahan, hal ini ditandai dengan warna lumut kerak setelah dioles tidak berubah warna. Jadi konsentrasi minyak atsiri biji pala 5% juga tidak efektif dalam menghambat pertumbuhan lumut kerak.

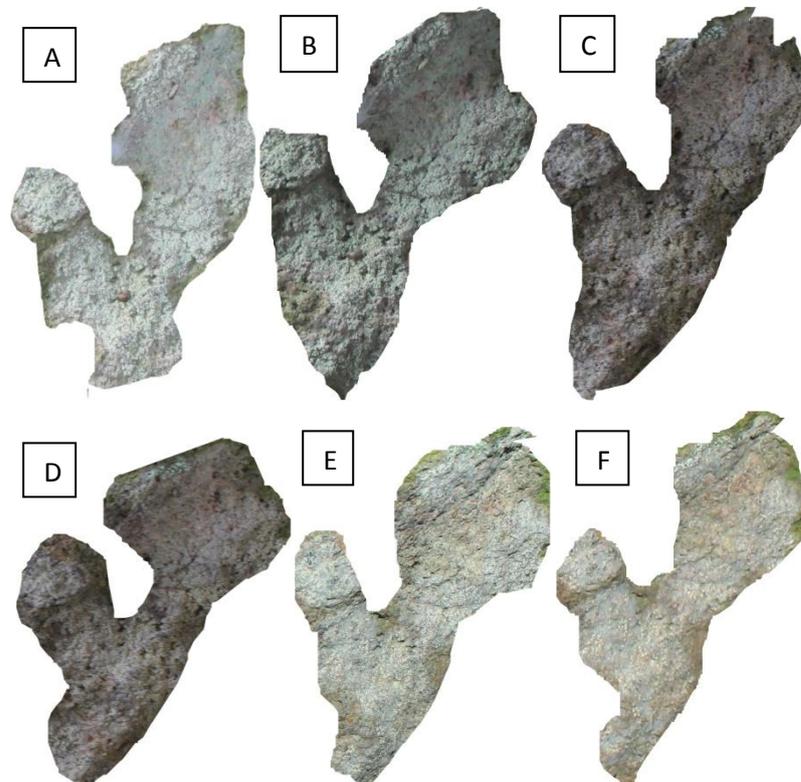
5.5.3 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 10%



Gambar 32. Pengamatan lumut kerak menggunakan minyak atsiri biji pala 10%.
(a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pada Gambar 32 terlihat perbedaan antara lumut kerak sebelum dioles dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 10%, pada pengamatan setelah 24 belum terlihat adanya perubahan yang signifikan, namun pada pengamatan 48 jam dan 72 jam terlihat warna lumut kerak layu atau tidak segar, pengamatan setelah 96 jam dan 120 jam terlihat adanya perubahan warna lumut kerak dari hijau keabuan menjadi hijau sedikit kekuningan.

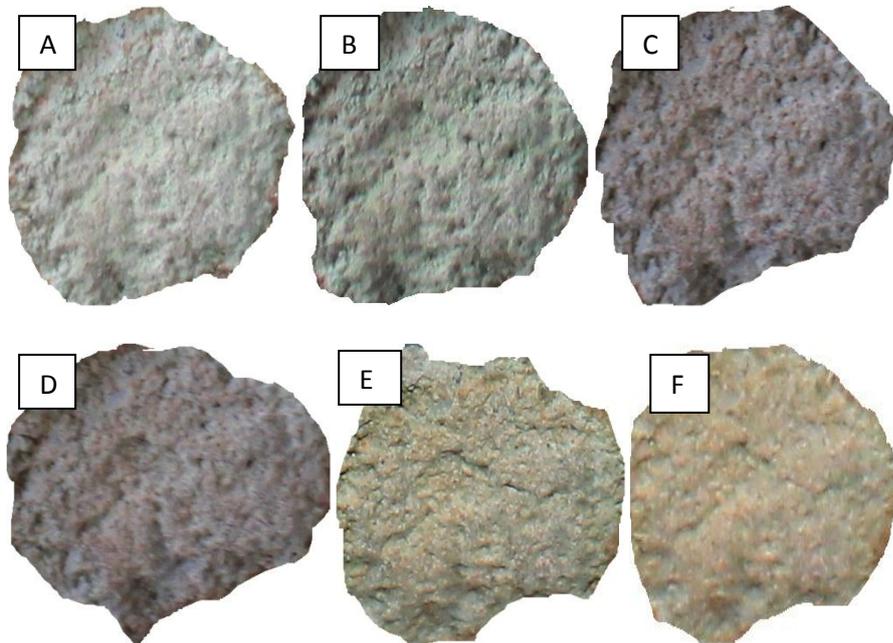
5.5.4 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 15%



Gambar 33. Pengamatan lumut kerak menggunakan minyak atsiri biji pala 15%.
(a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pada Gambar 33 terlihat perbedaan antara lumut kerak sebelum dioles dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 15%, pada pengamatan setelah 24 belum terlihat adanya perubahan yang signifikan, namun pada pengamatan 48 jam dan 72 jam terlihat warna lumut kerak layu atau tidak segar, pengamatan setelah 96 jam dan 120 jam terlihat adanya perubahan warna lumut kerak dari hijau keabuan menjadi hijau sedikit kekuningan.

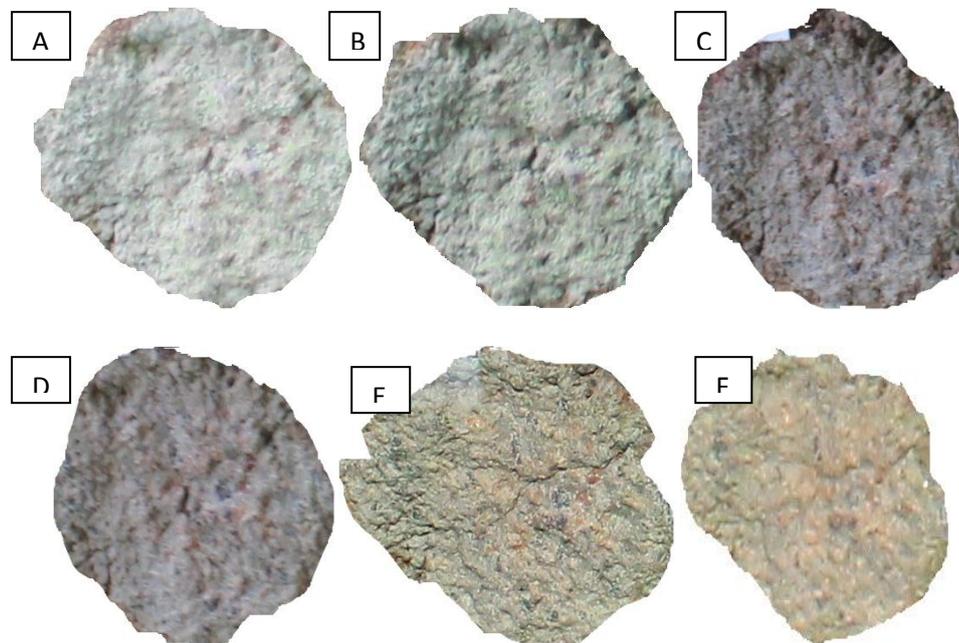
5.5.5 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 20%



Gambar 34. Pengamatan lumut kerak menggunakan minyak atsiri biji pala 20%.
(a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pada Gambar 34 terlihat perbedaan antara lumut kerak sebelum dioles dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 0%, pada pengamatan setelah 24 belum terlihat adanya perubahan yang signifikan, namun pada pengamatan 48 jam dan 72 jam terlihat warna lumut kerak layu atau tidak segar, pengamatan setelah 96 jam terlihat perubahan warna menjadi kuning kehijauan dan pada pengamatan setelah 120 jam terlihat adanya perubahan warna lumut kerak dari hijau keabuan menjadi kuning kecokelatan.

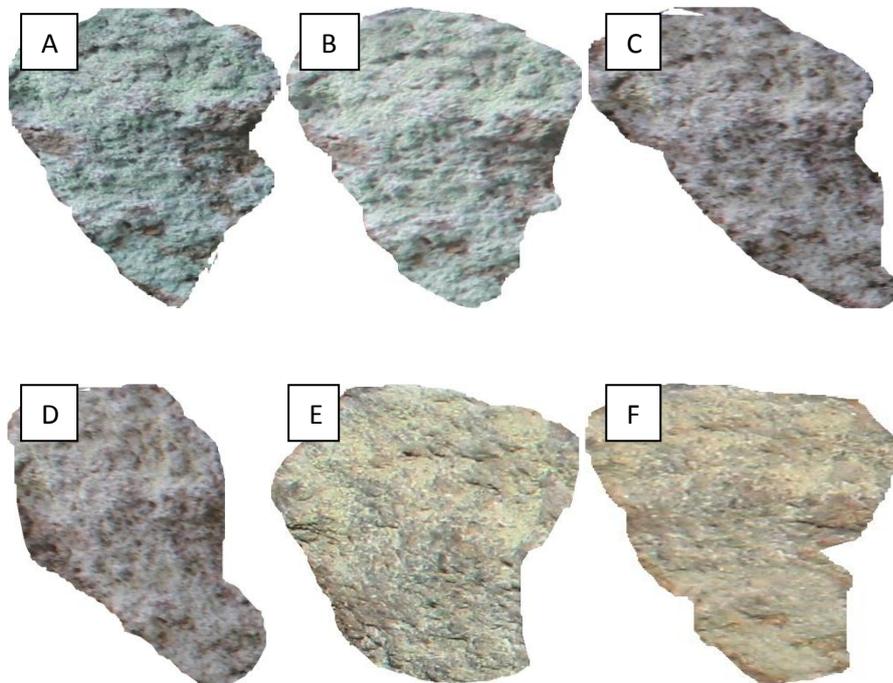
5.5.6 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 25%



Gambar 35. Pengamatan lumut kerak menggunakan minyak atsiri biji pala 25%.
(a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pada Gambar 35 terlihat perbedaan antara lumut kerak sebelum dioles dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 25%, pada pengamatan setelah 24 belum terlihat adanya perubahan yang signifikan, namun pada pengamatan 48 jam dan 72 jam terlihat warna lumut kerak layu atau tidak segar, pengamatan setelah 96 jam terlihat perubahan warna menjadi kuning kehijauan dan pada pengamatan setelah 120 jam terlihat adanya perubahan warna lumut kerak dari hijau keabuan menjadi kuning kecokelatan.

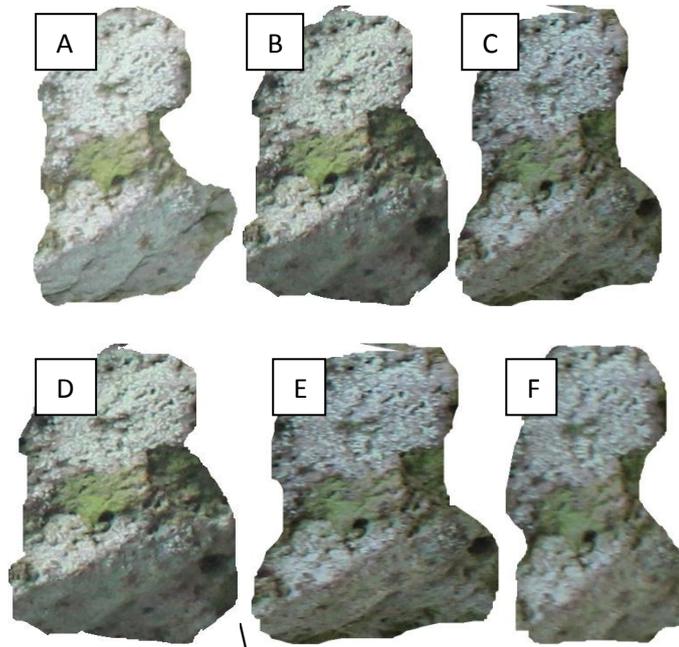
5.5.7 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 100%



Gambar 36. Pengamatan lumut kerak menggunakan minyak atsiri biji pala 100%.
(a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pada Gambar 36 terlihat perbedaan antara lumut kerak sebelum dioles dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 100%, pada pengamatan setelah 24 belum terlihat adanya perubahan yang signifikan, namun pada pengamatan 48 jam dan 72 jam terlihat warna lumut kerak layu atau tidak segar, pengamatan setelah 96 jam terlihat perubahan warna menjadi kuning dan pada pengamatan setelah 120 jam terlihat adanya perubahan warna lumut kerak dari hijau keabuan menjadi kuning pekat kecokelatan.

5.5.8 Pengamatan lumut kerak setelah dioles menggunakan larutan tween + akuades 10%



Gambar 37. Pengamatan lumut kerak menggunakan larutan tween + akuades 10%.
 (a) Lumut kerak sebelum dioles minyak atsiri; (b) Pengamatan 24 jam; (c) Pengamatan 48 jam; (d) pengamatan 72 jam; (e) Pengamatan 96 jam; (f) Pengamatan 120 jam.

Pengamatan lumut kerak menggunakan larutan tween + akuades 10 % tidak menimbulkan penghambatan terhadap lumut kerak, hal ini ditandai dengan tidak adanya perubahan warna lumut kerak pada setiap pengamatan 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam dan 120 jam

Berdasarkan pengamatan efek minyak atsiri biji pala terhadap lumut kerak menunjukkan adanya penghambatan pertumbuhan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala. Efektivitas penghambatan paling optimum terjadi pada konsentrasi 25 % , hal ini ditandai dengan perubahan warna menjadi kuning kecokelatan setelah lima hari (120 jam) dan juga dibuktikan dengan uji efektivitas minyak atsiri biji pala terhadap jamur menunjukkan penghambatan

yang signifikan pada konsentrasi 25%. Sehingga dapat diketahui bahwa minyak atsiri biji pala merupakan bahan alami dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak yang ramah lingkungan dan efisien.

Minyak atsiri biji pala mengandung senyawa aromatik dan golongan senyawa fenolik yang dapat digunakan sebagai antijamur. Aktivitas penghambatan yang ditunjukkan oleh minyak atsiri biji pala dapat disebabkan oleh adanya aktivitas kerja gabungan dari senyawa miristisin, bergamol, safrol, α -terpineol, eugenol, dan metil eugenol yang terdapat di dalamnya, sehingga menunjukkan aktivitas penghambatan yang efektif (Jawetz et.al, 1982). Mekanisme penghambatan oleh senyawa fenolik adalah dengan cara meracuni protoplasma sel dan merusak dinding sel serta mengendapkan protein sel mikroba. Senyawa yang ada dalam minyak tersebut dapat menyebabkan denaturasi protein sehingga merusak membran sel mikroba (Shelef, 1983).

Lumut kerak bisa hidup di batang pohon, diatas gunung , atau di atas batu besar yang polos. Kebanyakan dari lumut kerak ini menutupi batu-batu besar. Lumut kerak juga memiliki ciri khas seperti jamur, yaitu mampu menguraikan segala sesuatu. Mereka menguraikan batu tempat mereka hidup diatasnya secara pelan-pelan dan dengan bantuan hujan serta angin, lumut kerak dapat menyebabkan batu besar menjadi terpecah-pecah. Beberapa jenis lumut kerak memiliki kekuatan untuk menghancurkan batu-batu besar yang sangat keras. Batu besar yang tidak kuat menahan hal ini akan terpecah-pecah hingga hancur, kemudian menjadi tanah (Gul, 2007). Jenis lumut kerak yang tumbuh dibatuan Candi Borobudur adalah *Crustose*. Lumut kerak ini merupakan lumut kerak yang

memiliki talus berukuran kecil, datar, tipis dan selalu melekat ke permukaan batu. Jenis ini susah untuk mencabutnya tanpa merusak substratnya.

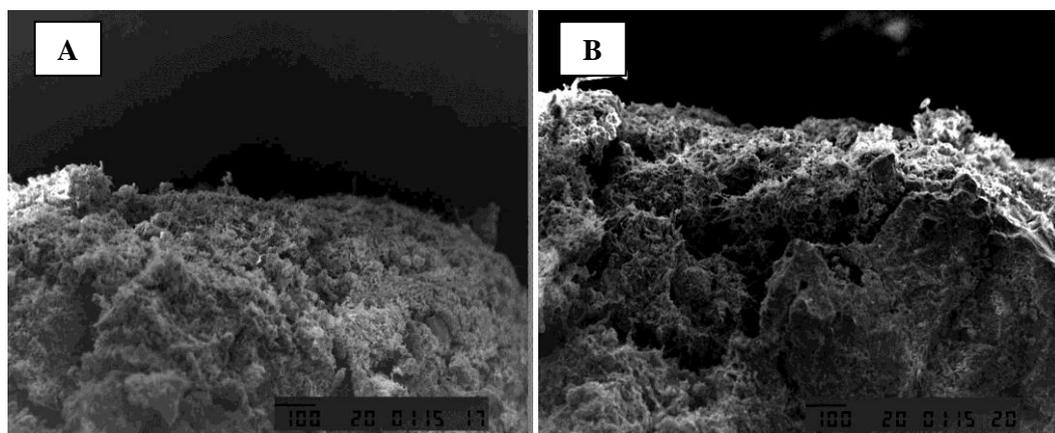
Peranan penting lain lumut kerak terhadap batu adalah lumut kerak mampu melakukan fotosintesis, *rhizin* dapat masuk ke dalam pori-pori dan retakan batuan, hasil dari hasil ekskresi asam-asam terjadilah pelapukan batuan. Adanya pertumbuhan lumut kerak yang lebat dapat menyebabkan timbunan bahan organik di celah batuan sehingga memungkinkan pertumbuhan jasad lain misalnya lumut. Kadang-kadang pengaruhnya sukar diamati karena akibat pelapukannya tipis merata di seluruh batuan, berbeda dengan akibat pelapukan oleh alga dan lumut lain (Santiko, 2013).

5.6 Pengamatan Lumut Kerak (*Lichenes*) Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM merupakan metode analisis yang digunakan untuk melihat morfologi permukaan suatu sampel, salah satu contohnya adalah batu yang ditumbuhi lumut kerak. Prinsip kerjanya berdasarkan pada sinar elektron yang difokuskan dengan lensa elektromagnetik kepada permukaan sampel. Sinar akan sampai pada seluruh permukaan sampel yang disetarakan dengan sinar katoda yang ditunjukkan pada layar. Emisi elektron dari sampel digunakan untuk mengatur keterangan/kecerahan dari sinar katoda yang ditunjukkan sehingga akan membentuk bayangan. Perbedaan kehomogenan sinar ini akan menghasilkan bayangan permukaan sampel (Emrialdi, 2005). Dalam SEM, sumber elektron difokuskan pada suatu noda kecil dengan diameter 50-100 Å⁰ pada permukaan

sampel. Bentuk permukaan yang berbeda akan menghasilkan pantulan elektron yang berbeda pula. Elektron itulah yang membentuk gambar dari permukaan sampel yang kemudian diperlihatkan pada layar rekorder (Mackay *et al.*, 2000).

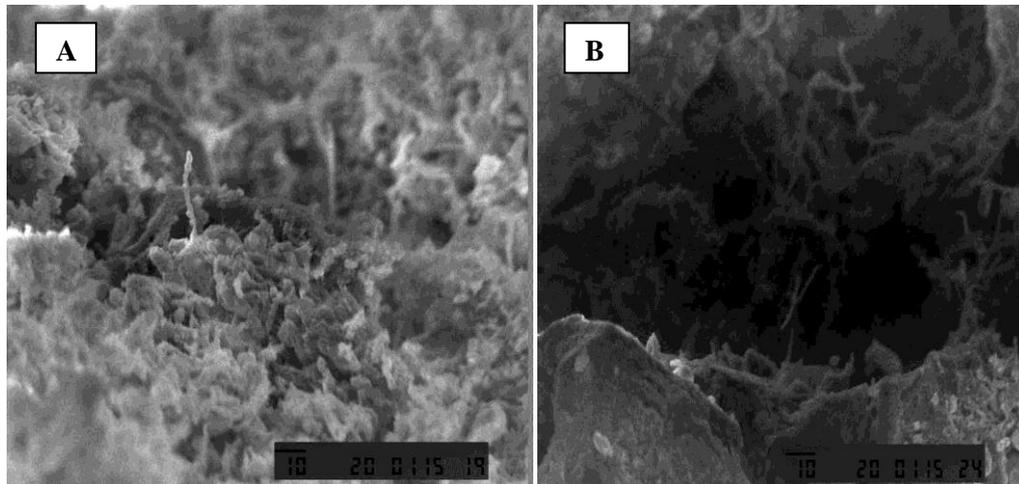
Sebelum sampel batu dianalisis menggunakan SEM maka terlebih dahulu sampel dibersihkan dan harus bebas dari air, lalu tempatkan sampel pada *sample holder* berukuran 12 mm atau 25 mm, kemudian untuk menempelkan sampel diperlukan *double-side tape* konduktif serta diletakan area sampel yang akan dipelajari pada 45°. Selanjutnya dilakukan *sputter*/pelapisan dengan logam Au dengan ketebalan kira-kira 10 - 30 nm. Setelah sampel sudah dilakukan pelapisan dengan logam Au, maka langsung dianalisis menggunakan alat SEM.



Gambar 38. Morfologi permukaan batu yang ditumbuhi lumut kerak dengan perbesaran 100 kali. (A) Sebelum dioles menggunakan minyak atsiri biji pala; (B) Setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 15%.

Berdasarkan hasil analisis permukaan lumut kerak pada batu menggunakan SEM dengan perbesaran 100 kali menunjukkan perbedaan lumut kerak yang belum dioles (A) dengan lumut kerak setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 15% (B), yaitu terlihat bahwa permukaan lumut kerak

tersebut akan mengelupas secara perlahan, sedangkan permukaan lumut kerak sebelum dioles terlihat rapat menutupi permukaan batu.



Gambar 39. Morfologi permukaan batu yang ditumbuhi lumut kerak dengan perbesaran 750 kali. (A) Sebelum dioles menggunakan minyak atsiri biji pala; (B) Setelah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala 15%.

Berdasarkan hasil gambar lumut kerak pada permukaan batu menggunakan perbesaran 750 kali juga terdapat perbedaan sebelum dan setelah pengaplikasian minyak atsiri biji pala. Pada Gambar 37, setelah dioles menggunakan minyak atsiri terlihat permukaan batu seperti terpisah dengan akar lumut kerak. Fungsi pengamatan permukaan lumut kerak pada batu menggunakan SEM adalah untuk melihat ada tidaknya perbedaan topografi lumut kerak pada batu sebelum dan sesudah dioles menggunakan minyak atsiri biji pala.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Komponen senyawa utama sampel minyak atsiri biji pala yang berada dalam jumlah yang besar berdasarkan hasil identifikasi menggunakan GC-MS ada lima yaitu:
 - a. α -pinen 13,16%
 - b. β -phellandrene 12,53%
 - c. β -pinen 11,43%
 - d. 1-Terpinen-4-ol 15,15%
 - e. Miristisin 13,58%
2. Kandungan logam Cd dan Pb dalam sampel minyak atsiri biji pala tidak ada, sedangkan kandungan logam Cr dalam sampel minyak atsiri biji pala sebesar 6,093 mg/kg. Namun konsentrasi Cr yang terkandung dalam minyak atsiri biji pala tidak berpengaruh terhadap proses penghambatan lumut kerak.
3. Hasil uji aktivitas antijamur menunjukkan zona penghambatan minyak atsiri yang paling optimum adalah pada konsentrasi 25% dengan zona hambat sekitar 20 mm, hal ini berarti dosis optimum yang dapat menghambat pertumbuhan lumut kerak adalah minyak atsiri biji pala konsentrasi 25%.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang efek minyak atsiri terhadap pertumbuhan lumut kerak , karena kemungkinan ada minyak atsiri lain yang lebih efektif dari minyak atsiri biji pala dalam menghambat pertumbuhan lumut kerak.
2. Perlu dicarikan sampel minyak atsiri yang tidak mengandung logam berat seperti logam Cr yaitu dengan menggunakan alat destilasi yang terbuat dari kaca untuk melakukan penyulingan minyak atsiri biji pala.
3. Perlu dicarikan surfaktan lain yang dapat melarutkan minyak atsiri dengan sempurna.
4. Perlu dicarikan metode lain untuk membersihkan lumut kerak yang telah mati tanpa merusak batu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2006, *SNI 06-2388-2006 :Minyak Pala*, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2006, *SNI 06-2385-2006: Minyak Nilam*, Badan Standarisasi Nasional.
- Aggangan, N.S., Dell, B., Malajczuk, N. 1998. *Effect of Chromium and Nickel on Growth of The Ectomycorrhizal Fungus Pisolithus and Formation of Ectomycorrhizas on Eucalyptus Urophylla STBlake*. *Geoderma*. 84(1-3): 15-27, E.
- Anshori, A. Jamaludin, 2005, *Spektrometri Serapan Atom*, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Padjadjaran.
- Batish, D. R., H. P. Singh, and R. K. Kohli. 2008. *Eucalyptus essential oil as a natural pesticide*. *Forest Ecology and Management* 256: 2166-2174.
- Bhatnagar, P. and S. K. Jain. 2014. *Alternative control techniques against fungal colonization for preserving monument Deterioration*. Departement of Microbiology Vikram University, Ujjain (M.P), India.
- Burford, P.E., Kierans, M., Gadd, M.G. 2003, *Geomycology: fungi in mineral substrata*, *Mycologist* 17: 98-107.
- Neil, A.Campbell and Jane, B.R., *Biology*, Erlangga, Jakarta.
- Day, R.A dan Underwood, A.L, 1989, *Analisis Kimia Kuantitatif*, Erlangga, Jakarta.
- Dubey, N. K. , B. Srivastava, and A. Kumar. 2008. *Current status of plant products as botanical pesticides in storage pest management*. *J. of Biopesticides* 1 (2):182-186.
- Dubey, N. K., R. Shukla, A. Kumar, P. Singh, and B. Prakash. 2010. *Prospects of botanical pesticides in sustainable agriculture*. *Current Science* 4 (25): 479-480.
- Emriadi. 2005. *Material Polimer*. Andalas University Press. Hal 26-29. Padang.
- Guenther, E., 1987, *Minyak Atsiri Jilid 1*, Universitas Indonesia, Jakarta.

- Gul, Sema., 2007, *Dunia Mikroorganisme*, Penerbit Yudhistira, Jakarta.
- Hapsoh dan Hasanah, Y., 2011, *Budidaya Tanaman Obat dan Rempah*, USU Press, Medan.
- Haris, R., 1987, *Tanaman Minyak Atsiri*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Hartati, S. Y., E. M. Adhi, A. Asman, dan Nuri Karyani. 1994. *Efikasi minyak cengkeh terhadap bakteri Pseudomonas solanacearum*. Prosiding Seminar Hasil Penelitian dalam Rangka Pemanfaatan Pestisida Nabati, Bogor. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balitro. Bogor. Hlm. 37-42.
- Harvey, D., 2000, *Modern Analytical Chemistry*, McGraw-Hill Comp, New York.
- Hidayati, E., Juli., Marwani, E. 2002. *Isolasi Enterobacteriaceae Patogen dari Makanan Berbumbu dan Tidak Berbumbu Kunyit (Curcuma Longa L.) Serta Uji Pengaruh Ekstrak Kunyit (Curcuma Longa L.) Terhadap Pertumbuhan Bakteri Yang Diisolasi*, Departemen Biologi, Fakultas Pendidikan MIPA, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Isman, M. B. 2000. *Plant essential oils for pest and disease management*. Crop Protection. 19: 603-608.
- Jawetz, E., J.L. Melnick, and E.A Adelberg. 1982. *Mikrobiologi untuk Profesi Kedokteran* Penerjemah: G. Bonang. EGC Penerbit Buku Kedokteran. Jakarta.
- Karmana, Oman, 2008, *Biologi*, PT. Grafindo Media Pratama, Jakarta.
- Ketaren, S., *Pengantarte Teknologi Minyak Atsiri*, Balai Pustaka, Jakarta.
- Khozanah, H., 2004, *Penentuan Kandungan Pb dan Cu Pada Sayuran Sawi (Brassica Juncea) Dengan Spektrofotometri Serapan Atom*, Skripsi Jurusan Kimia, FMIPA, UII, Yogyakarta.
- Koul, O., S. Walia, and G. S. Dhaliwal. 2008. *Essential oils as green pesticides: Potential and constrains. Biopesticides*. Int. 4 (1): 63-84.
- Kotan, R., F. Dadasoglu, S. Kordali, A. Cakir, N. Dikbas, and R. Cakmakci. 2007. *Antibacterial activity of essential oils extracted from some medicinal plants, carvacrol, and thymol on Xanthomonas axonopodis pv. vesicatoria (Doidge) dye causes bacterial spot disease on pepper and tomato*. J. of Agricultural Technology 3 (2): 299-306.

- Kroschwitz, 1990, *Polymers: Polymer Characterization and Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- Lutony, T.L. & Rahmayati, Y., 1994, *Produksi dan Perdagangan Minyak Atsiri*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Mackay, K.M, R.A. Mackay, and W. Henderson, 2000, *Introduction to Modern Inorganic Chemistry*, 6th Edition, Neson Thomas Ltd, London.
- Madigan, M.T., J.M. Martikno, and Parker. 1997. *Biology of Microorganisms*. 8th Edition. Prentice Hall. New York.
- Mustika, I. , dan A. Rahmat. 1994. *Efikasi beberapa macam produk cengkeh terhadap nematoda lada*. Prosiding Seminar Hasil Penelitian dalam Rangka Pemanfaatan Pestisida Nabati, Bogor. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balitro. Hlm. 49-55.
- Nilma, K.W., dan Shirurkar, D. 2012. *Antifungal activity of selected plant derived oils and some fungicides seed borne fungi of maize*. Annasaheb Magar Mahavidyalaya, Hadaspar, Pune, M.S. India.
- Nurdjannah, Nanan, 2007, *Teknologi Pengolahan Pala*, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Pradhanang, P. M., M. T. Momol, S. M. Olson, and J. B. Jones. 2003. *Effects of plant essential oils on Ralstonia solanacearum population density and bacterial wilt incidence in tomato*. Plant Disease 87:423-427.
- Purves dan Sadava. 2003. *Life The Science of Biology 7th Edition*. Sinauer Associates Inc. New York.
- Qodriyah, R., 1998, *Isolasi dan Identifikasi Komponen Utama Minyak Daun Jeruk Purut (Citrus Hystrix D.C)*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Reichling, J., P. Schnitzler, U. Suschke, and R. Saller. 2009. *Essential oils of aromatic plants with antibacterial, antifungal, antiviral, and citotoxic properties-an overview*. Forsch Komplementmed. 16: 79-90.
- Reitz, S. R. G. Maiorino, S. Olson, R. Sprenkel, A. Crescenzi, and M. T. Momol. 2008. *Interesting plant essential oils and kaolin for the sustainable management of thrips and tomato spotted wilt on tomato*. Plant Disease. 92: 878-886.
- Rismunandar, 1992, *Budidaya dan Tataniaga Pala*, Penebar Swadaya, Jakarta

- Riyanto, 2014, *Minyak Atsiri Sebagai Bahan Konservasi Cagar Budaya*. Seminar Pra Kajian Konservasi Cagar Budaya Dengan Bahan Tradisional Balai Konservasi Borobudur Tahun 2014
- Sangwan, N. K., B. S. Verma, K. K. Verma, and K. S. Dhindsa. 1990. *Nematicidal activity of some essential plant oils*. Pestic. Sci. 28: 331-335.
- Santiko, H., 2013, *100 Tahun Pemugaran Candi Borobudur Trilogi II: Dekonstruksi dan Rekonstruksi Candi Borobudur*, Balai Konservasi Borobudur, Magelang.
- Sastrohamidjojo, H., 1985, *Kromatografi*, Liberty, Yogyakarta
- Sastrohamidjojo, H., Riyanto, Pradana, D.A. 2013, *Penerapan Teknologi Destilasi Fraksinasi Untuk Isolasi Bahan Baku Obat Berbasis Bahan Alam Minyak Atsiri Cengkeh (Clove Leaf Oil) dan Sereh (Lemongrass Oil)*, Laporan Penelitian Hibah Unggulan PT, DPPM, UII, Yogyakarta.
- Shelef, L.A. 1983. *Antimicrobial effects of spices*. J. Food Safety. 6:29-44
- Skoog, D.A., Donald, M.W., James, H., Stanley, R.C., 2000, *Fundamental of Analytical Chemistry*, Brooks Cole
- Sipahelut, S.G. 2010. *Isolasi dan Identifikasi Minyak Atsiri dari Daging Buah Pala*. Universitas Pattimura, Ambon.
- Sudarmadji, S., Haryono, B., Suhardi, 1997, *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*, edisi keempat, Liberty, Yogyakarta.
- Sunanto, H., 1993, *Budidaya Pala Komoditas Ekspor*, Kanisius, Yogyakarta.
- Supriadi, S. H. Hartati, Makmun, N. Karyani. 2008. *Aktivitas biologi minyak atsiri cengkeh-kayumanis terhadap Ralstonia solanacearum pada jahe*. Prosiding Seminar Nasional engendalian Terpadu Organisme Pengganggu Tanaman Jahe dan Nilam. Bogor. Hlm: 55-60.
- Suihko, L. M., Alakomi, L. H., Gorbushina, A. A., Fortune, I., Mar-quardt, Saarela, M. (2007): *Characterization of Aerobic Bacterial and Fungal Microbiota on Surfaces of Historic Scottish Monuments*, Syst. Appl. Microbiol. 30: 494-508.
- Tariq, R. M., S. N. H. Naqvi, M. I. Choudhary, and A. Abbas. 2010. *Importance and Implementation of essential oil of Pakistanian Acorus calamus Linn., as a biopesticide*. Pakistanian J. Bot. 42 (3): 2043-2050.

- Trewin, N., 1998, *Use of the Scanning Electron Microscope in Sedimentology*, In: Trucker, M (Ed.), *Techniques in sedimentology*, Blackwell Science Publications, Oxford, p. 229-273.
- Vasinauskiene, M., J. Radusiene, I. Zitikaite, and E. Surviliene. 2006. *Atibacterial activities of essential oils from aromatic and medicinal plants against growth of phytopathogenic bacteria*. *Agronomy Research* 4 (Special issue): 437-440.
- Warscheid, T.H., Braams, J. (2000) *Biodeterioration of stone: a review*, *Int. Biodeterioration Biodegrad.* 46: 343-368.
- Yurnaliza, *Lichenes: Karakteristik, Klasifikasi dan Kegunaan*, 2002, Laporan Penelitian, Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- Zanellato, M., E. Masciarelli, L. Cassori, P. Boccia, E. Sturcio, M. Pezzella, A. Cavalieri, and F. Caporali. 2009. *The essential oils in agriculture as an alternative strategy to herbicides: a case study*. *International J. of Environ. and Health.* 3: 198-212.

Lampiran 1**Perhitungan Bobot Jenis Sampel Minyak Atsiri Biji Pala**

Berat piknometer kosong (m) = 13, 9310 gram

Berat piknometer + air (m1) = 25, 5756 gram

Berat pikonometer + minyak (m2) = 24, 5250 gram

$$\text{Bobot jenis} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} = \frac{24,5250 \text{ gram} - 13,9310 \text{ gram}}{25,5756 \text{ gram} - 13,9310 \text{ gram}} = 0,910 \text{ gr/mL}$$

Lampiran 2

Perhitungan Pengenceran Konsentrasi Minyak Atsiri

1. Konsentrasi 1%

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100\% = 10 \text{ mL} \times 1\%$$

$$V_1 = 0,1 \text{ mL}$$

2. Konsentrasi 5%

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100\% = 10 \text{ mL} \times 5\%$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

3. Konsentrasi 10%

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100\% = 10 \text{ mL} \times 10\%$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

4. Konsentrasi 15%

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100\% = 10 \text{ mL} \times 15\%$$

$$V_1 = 1,5 \text{ mL}$$

5. Konsentrasi 20%

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100\% = 10 \text{ mL} \times 20\%$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

6. Konsentrasi 25%

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100\% = 10 \text{ mL} \times 25\%$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Lampiran 3

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Logam Cd


UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
LABORATORIUM TERPADU
LAB. INSTRUMENTASI, FISIKA DASAR DAN KIMIA DASAR

Jl Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895920 ext. 3045, 3016, Fax (0274) 896439 ext. 3020

 Website: <http://lab.uui.ac.id> , e-mail : lab.terpadu@uui.ac.id

No. Dok : Form-06/Hasil Uji Rev. 2

Tgl. Terbit : 14 Maret 2013

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sampel : Cair
Kode Sampel : 641/C/AAS
Asal Sampel : Rina Andriyani
Tanggal diterima : 30 Januari 2015
Tanggal dianalisis : 2 Februari 2015
Parameter : Cd

No	Sample ID	Seq No.	El	Standar (Abs)	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp Conc	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	24	Cd	0	-0.0006			0.00312	mg/L
2	std 1	25	Cd	0.2	0.0117	0.0116		0.00093	mg/L
3	std 2	26	Cd	0.4	0.0368	0.0116		0.00094	mg/L
4	std 3	27	Cd	0.6	0.0607	0.0116		0.00095	mg/L
5	std 4	28	Cd	1	0.1019	0.0116		0.00393	mg/L
6	std 5	29	Cd	2	0.1966	0.0116		0.00316	mg/L
7									
8	Sereh wangi	30	Cd		0.0000		< 0.0116	0.00245	mg/L
9	Pala	31	Cd		0.0000		< 0.0116	0.00150	mg/L

Jogjakarta, 2 Februari 2015

Lampiran 4

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Logam Pb


**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
LABORATORIUM TERPADU**
LAB. INSTRUMENTASI, FISIKA DASAR DAN KIMIA DASAR

Jl Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895920 ext. 3045, 3016, Fax (0274) 896439 ext. 3020

 Website: <http://lab.uui.ac.id> , e-mail : lab.terpadu@uui.ac.id

No. Dok : Form-06/Hasil Uji Rev. 2

Tgl. Terbit : 14 Maret 2013

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sampel : Cair
 Kode Sampel : 641/C/AAS
 Asal Sampel : Rina Andriyani
 Tanggal diterima : 30 Januari 2015
 Tanggal dianalisis : 2 Februari 2015
 Parameter : Pb

No	Sample ID	Seq No.	El	Standar (Abs)	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp Conc	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	14	Pb	0	-0.0020			0.00226	mg/L
2	std 1	15	Pb	1	0.0019	0.0084		0.00295	mg/L
3	std 2	16	Pb	5	0.0108	0.0084		0.00554	mg/L
4	std 3	17	Pb	10	0.0290	0.0084		0.00170	mg/L
5	std 4	18	Pb	15	0.0471	0.0084		0.00167	mg/L
6	std 5	19	Pb	20	0.0650	0.0084		0.00094	mg/L
7									
8	Sereh wangi	20	Pb		0.0000		< 0.0084	0.00787	mg/L
9	Pala	21	Pb		0.0000		< 0.0084	0.00583	mg/L

Jogjakarta, 2 Februari 2015

Lampiran 5

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Logam Cr


UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
LABORATORIUM TERPADU
LAB. INSTRUMENTASI, FISIKA DASAR DAN KIMIA DASAR

Jl Kallurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895920 ext. 3045, 3016, Fax (0274) 896439 ext. 3020

 Website: <http://lab.uil.ac.id>, e-mail : lab.terpadu@uil.ac.id

No. Dok : Form-06/Hasil Uji Rev. 2

Tgl. Terbit : 14 Maret 2013

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sampel : Cair
Kode Sampel : 641/C/AAS
Asal Sampel : Rina Andriyani
Tanggal diterima : 30 Januari 2015
Tanggal dianalisis : 2 Februari 2015
Parameter : Cr

No	Sample ID	Seq No.	El	Standar (Abs)	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp Conc	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	35	Cr	0	-0.0011			0.00463	mg/L
2	std 1	36	Cr	0.5	0.0142	0.0172		0.00854	mg/L
3	std 2	37	Cr	1	0.0379	0.0172		0.02567	mg/L
4	std 3	39	Cr	3	0.1284	0.0172		0.00533	mg/L
5									
6									
7									
8	Sereh wangi	41	Cr		0.0262		0.7544	0.00437	mg/L
9	Pala	42	Cr		0.0222		0.6666	0.00348	mg/L

Jogjakarta, 2 Februari 2015

Lampiran 6

Perhitungan Kadar Logam Cr dalam Sampel

No	Konsentrasi Standar (ppm)	Absorbansi (A)
1	0	0,0000
2	0,5	0,0142
3	1	0,0379
4	3	0,1284
5	Sampel minyak atsiri biji pala	0,0222

Perhitungan Konsentrasi Logam Cr dalam Sampel

$$\text{Kadar (ppm)} = \frac{C \times V \times FP}{W}$$

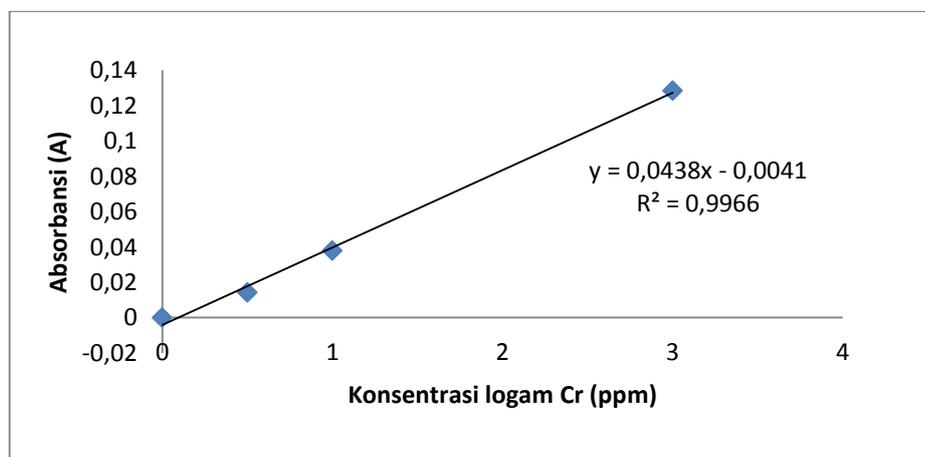
Dimana = C = Konsentrasi Larutan Sampel

V = Volume larutan Sampel

FP = Faktor Pengenceran

W = Berat Sampel

Kurva kalibrasi standar logam Cr



Persamaan regresi linear logam Cr $y = 0,043x - 0,004$

Absorbansi Sampel = 0,0222

$$y = 0,043x - 0,004$$

$$0,0222 = 0,043x - 0,004$$

$$0,0222 + 0,004 = 0,043x$$

$$0,0262 = 0,043x$$

$$x = 0,6093$$

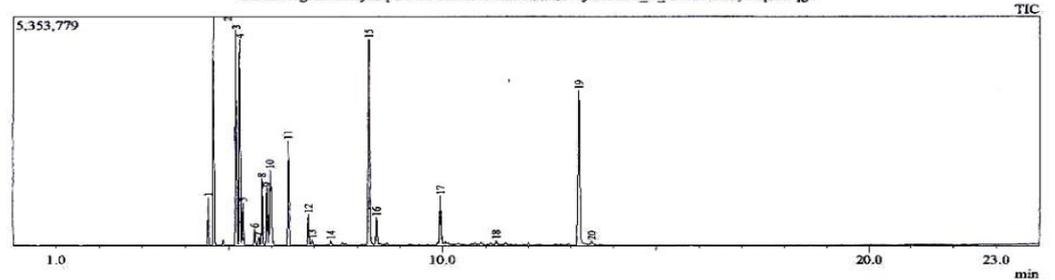
$$\begin{aligned} \text{Kadar (mg/kg)} &= \frac{0,6093 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 50\text{mL} \times 1 \text{ kali}}{5 \text{ gram (sampel cair)}} = \frac{0,6093 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,05 \text{ L}}{0,005 \text{ kg}} \\ &= 6,093 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

Lampiran 7

Analyzed by : Admin
 Analyzed : 12/31/2014 10:02:56 AM
 Sample Name : Minyak pala
 Sample ID : 1
 Injection Volume : 0.10
 Data File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\592_C_GCMS\Minyak pala.qgd
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune1\Tuning 22052012.qgt

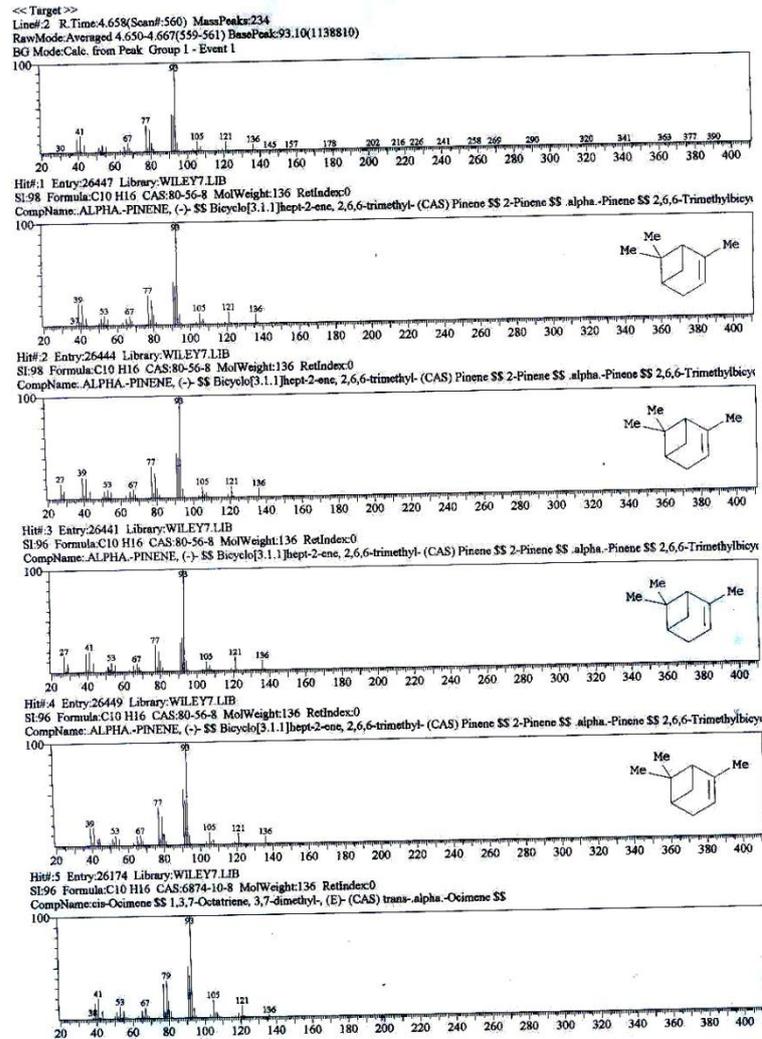
Sample Information

Chromatogram Minyak pala C:\GCMSsolution\Data\Project1\592_C_GCMS\Minyak pala.qgd



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height
1	4.525	4.483	4.567	1731755	2.30	1103144
2	4.654	4.567	4.708	9903753	13.16	5332071
3	5.177	5.125	5.217	9426281	12.53	5022264
4	5.265	5.217	5.300	8598828	11.43	4797326
5	5.329	5.300	5.383	1675256	2.23	974429
6	5.605	5.567	5.650	666617	0.89	376703
7	5.701	5.650	5.733	300988	0.40	175517
8	5.778	5.733	5.833	2826084	3.76	1552146
9	5.891	5.842	5.925	2401712	3.19	1334213
10	5.964	5.925	6.067	5543154	7.37	1750751
11	6.396	6.342	6.450	4678398	6.22	2430638
12	6.857	6.808	6.908	1380177	1.83	713256
13	6.945	6.908	6.983	235358	0.31	124172
14	7.383	7.350	7.425	178443	0.24	97311
15	8.279	8.217	8.375	11404739	15.15	4800829
16	8.450	8.375	8.500	1251361	1.66	631515
17	9.942	9.892	10.017	2458750	3.27	1103485
18	11.250	11.217	11.292	199647	0.27	102796
19	13.190	13.117	13.300	10218688	13.58	3601741
20	13.486	13.450	13.533	174861	0.23	77483
				75254850	100.00	36101790

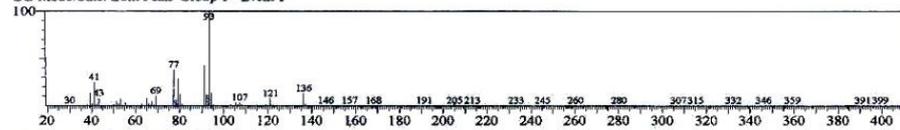
Lampiran 8



Lampiran 9

<< Target >>

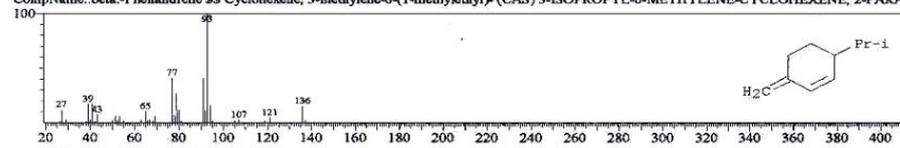
Line#:3 R.Time:5.175(Scan#:622) MassPeaks:243
 RawMode:Averaged 5.167-5.183(621-623) BasePeak:93.10(1124358)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#:1 Entry:26356 Library:WILEY7.LIB

SI:97 Formula:C10 H16 CAS:555-10-2 MolWeight:136 RetIndex:0

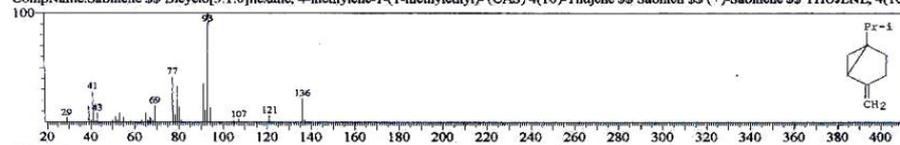
CompName:beta.-Phellandrene \$\$ Cyclohexene, 3-methylene-6-(1-methylethyl)- (CAS) 3-ISOPROPYL-6-METHYLENE-CYCLOHEXENE, 2-PARA-



Hit#:2 Entry:26425 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C10 H16 CAS:3387-41-5 MolWeight:136 RetIndex:0

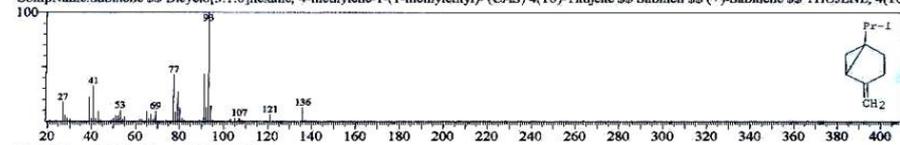
CompName:Sabinene \$\$ Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4(10)-Thujene \$\$ Sabinen \$\$ (+)-Sabinene \$\$ THUJENE, 4(10-



Hit#:3 Entry:26430 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C10 H16 CAS:3387-41-5 MolWeight:136 RetIndex:0

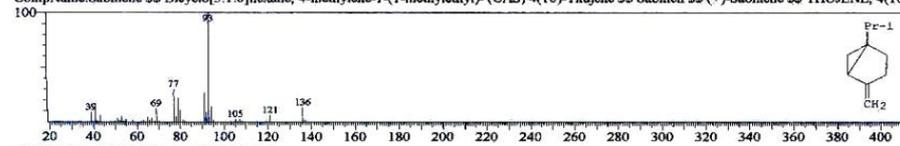
CompName:Sabinene \$\$ Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4(10)-Thujene \$\$ Sabinen \$\$ (+)-Sabinene \$\$ THUJENE, 4(10-



Hit#:4 Entry:26424 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C10 H16 CAS:3387-41-5 MolWeight:136 RetIndex:0

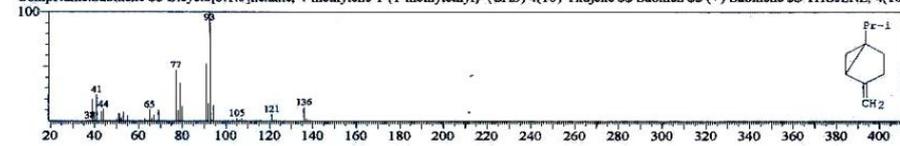
CompName:Sabinene \$\$ Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4(10)-Thujene \$\$ Sabinen \$\$ (+)-Sabinene \$\$ THUJENE, 4(10-



Hit#:5 Entry:26432 Library:WILEY7.LIB

SI:94 Formula:C10 H16 CAS:3387-41-5 MolWeight:136 RetIndex:0

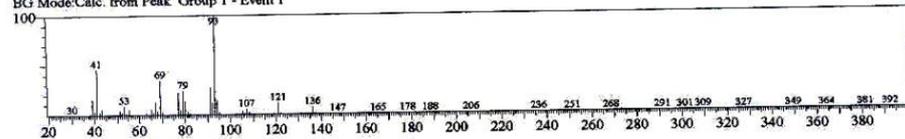
CompName:Sabinene \$\$ Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4(10)-Thujene \$\$ Sabinen \$\$ (+)-Sabinene \$\$ THUJENE, 4(10-



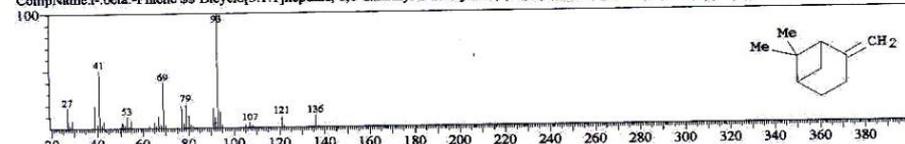
Lampiran 10

<< Target >>

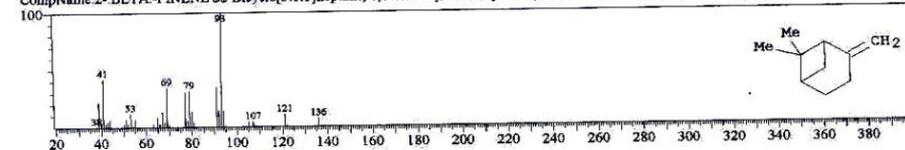
Line#4 R.Time:5.267(Scan#:633) MassPeaks:254
 RawMode:Averaged 5.258-5.275(632-634) BasePeak:93.10(977383)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



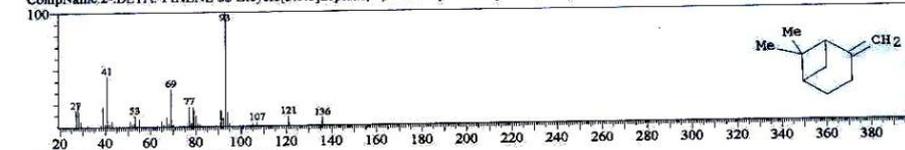
Hit#:1 Entry:26459 Library:WILEY7.LIB
 SI:97 Formula:C10 H16 CAS:18172-67-3 MolWeight:136 RetIndex:0
 CompName:1-*beta*-Pinene \$\$ Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1*S*)- (CAS) .*beta*-PINENE \$\$ (-)-2(10)-Pinene \$\$ (-)-*beta*-Pinen



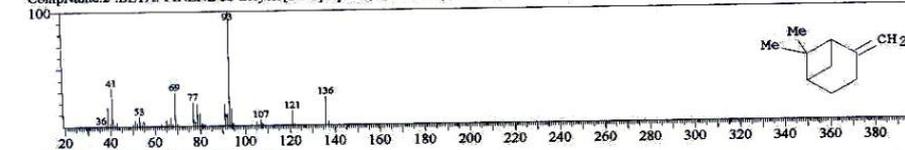
Hit#:2 Entry:26471 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C10 H16 CAS:127-91-3 MolWeight:136 RetIndex:0
 CompName:2-*BETA*-PINENE \$\$ Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene- (CAS) .*beta*-Pinene \$\$ Nopinene \$\$ Nopinene \$\$ Pseudopinene \$



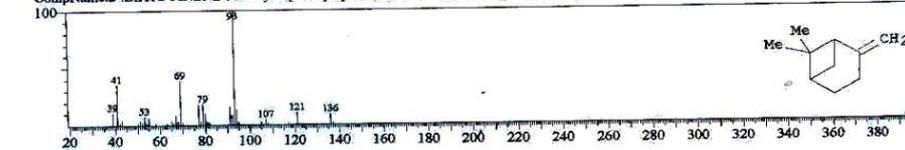
Hit#:3 Entry:26470 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C10 H16 CAS:127-91-3 MolWeight:136 RetIndex:0
 CompName:2-*BETA*-PINENE \$\$ Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene- (CAS) .*beta*-Pinene \$\$ Nopinene \$\$ Nopinene \$\$ Pseudopinene \$



Hit#:4 Entry:26468 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C10 H16 CAS:127-91-3 MolWeight:136 RetIndex:0
 CompName:2-*BETA*-PINENE \$\$ Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene- (CAS) .*beta*-Pinene \$\$ Nopinene \$\$ Nopinene \$\$ Pseudopinene \$



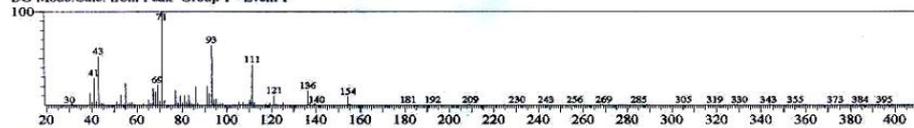
Hit#:5 Entry:26466 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C10 H16 CAS:127-91-3 MolWeight:136 RetIndex:0
 CompName:2-*BETA*-PINENE \$\$ Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene- (CAS) .*beta*-Pinene \$\$ Nopinene \$\$ Nopinene \$\$ Pseudopinene \$



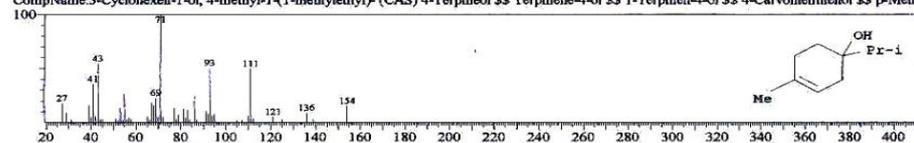
Lampiran 11

<< Target >>

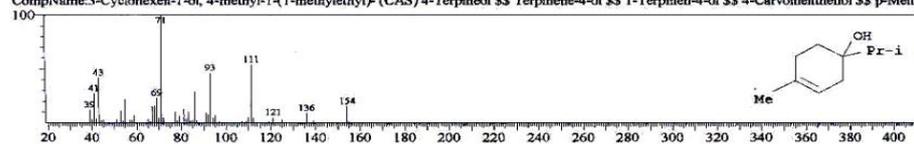
Line#:15 R.Time:8.275(Scan#:994) MassPeaks:238
 RawMode:Averaged 8.267-8.283(993-995) BasePeak:71.05(698321)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



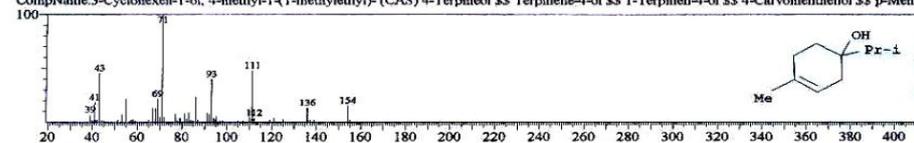
Hit#:1 Entry:43760 Library:WILEY7.LIB
 SI:93 Formula:C10 H18 O CAS:562-74-3 MolWeight:154 RetIndex:0
 CompName:3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4-Terpineol \$\$ Terpinene-4-ol \$\$ 1-Terpinen-4-ol \$\$ 4-Carvomenthenol \$\$ p-Ment



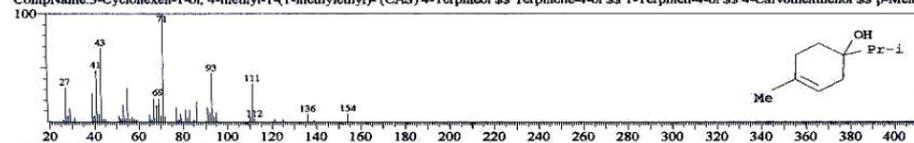
Hit#:2 Entry:43759 Library:WILEY7.LIB
 SI:92 Formula:C10 H18 O CAS:562-74-3 MolWeight:154 RetIndex:0
 CompName:3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4-Terpineol \$\$ Terpinene-4-ol \$\$ 1-Terpinen-4-ol \$\$ 4-Carvomenthenol \$\$ p-Ment



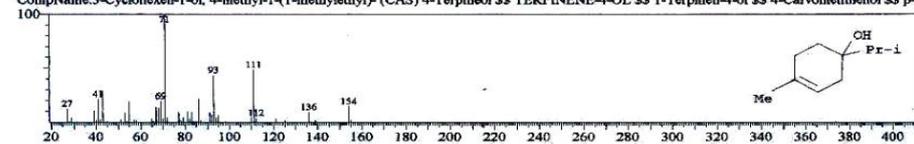
Hit#:3 Entry:43755 Library:WILEY7.LIB
 SI:92 Formula:C10 H18 O CAS:562-74-3 MolWeight:154 RetIndex:0
 CompName:3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4-Terpineol \$\$ Terpinene-4-ol \$\$ 1-Terpinen-4-ol \$\$ 4-Carvomenthenol \$\$ p-Ment



Hit#:4 Entry:43757 Library:WILEY7.LIB
 SI:92 Formula:C10 H18 O CAS:562-74-3 MolWeight:154 RetIndex:0
 CompName:3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4-Terpineol \$\$ Terpinene-4-ol \$\$ 1-Terpinen-4-ol \$\$ 4-Carvomenthenol \$\$ p-Ment



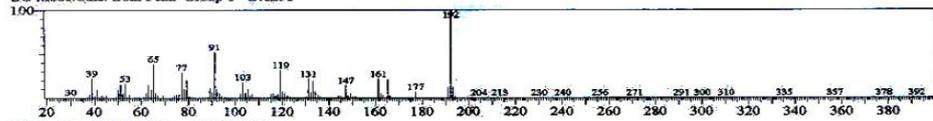
Hit#:5 Entry:43754 Library:WILEY7.LIB
 SI:92 Formula:C10 H18 O CAS:562-74-3 MolWeight:154 RetIndex:0
 CompName:3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- (CAS) 4-Terpineol \$\$ TERPINENE-4-OL \$\$ 1-Terpinen-4-ol \$\$ 4-Carvomenthenol \$\$ p-l



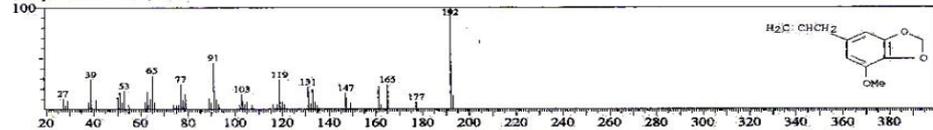
Lampiran 12

<< Target >>

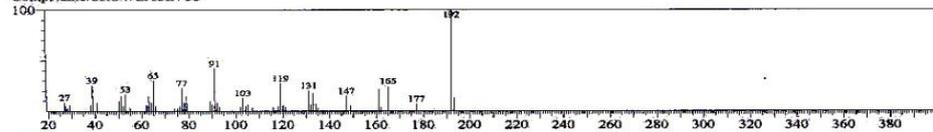
Line#:19 R.Time:13.192(Scan#:1584) MassPeaks:260
 RawMode:Averaged 13.183-13.200(1583-1585) BasePeak:192.15(467550)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



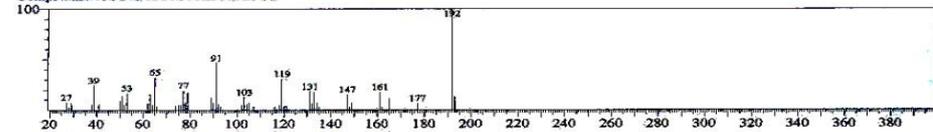
Hit#:1 Entry:84554 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C11 H12 O3 CAS:607-91-0 MolWeight:192 RetIndex:0
 CompName:MYRISTICIN \$\$



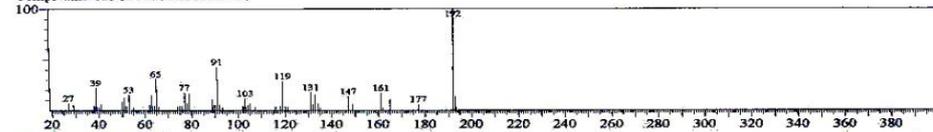
Hit#:2 Entry:84555 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C11 H12 O3 CAS:484-34-4 MolWeight:192 RetIndex:0
 CompName:CROWEACIN \$\$



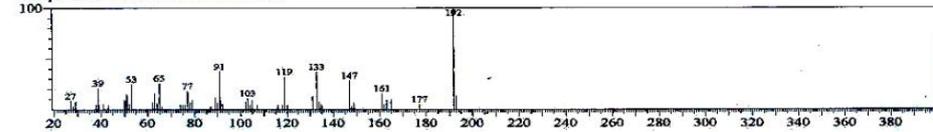
Hit#:3 Entry:85594 Library:WILEY7.LIB
 SI:94 Formula:C11 H12 O3 CAS:18312-21-5 MolWeight:192 RetIndex:0
 CompName:TRANS-ISOMYRISTICIN \$\$



Hit#:4 Entry:85595 Library:WILEY7.LIB
 SI:93 Formula:C11 H12 O3 CAS:18312-21-5 MolWeight:192 RetIndex:0
 CompName:CIS-ISOMYRISTICIN \$\$



Hit#:5 Entry:85596 Library:WILEY7.LIB
 SI:89 Formula:C11 H12 O3 CAS:0-00-0 MolWeight:192 RetIndex:0
 CompName:TRANS-ISOCROWEACIN \$\$



Lampiran 13

Instrumen Scanning Electron Microscope



Gambar Instrument SEM



Gambar Alat Sputtering

Lampiran 14

Gambar Alat Autoklaf



Gambar Alat Inkubator

Lampiran 15

Pengenceran Minyak Atsiri Biji Pala

