

**POTENSI MINYAK ATSIRI DALAM MENGHAMBAT PERTUMBUHAN  
ISOLAT BAKTERI YANG DITEMUKAN DI CANDI BOROBUDUR**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



**Oleh :**

**ABSARI HANIFAH**

**NIM. 14308141018**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
JURUSAN PENDIDIKAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2017**

## **PERSETUJUAN**

Skripsi yang berjudul “Potensi Minyak Atsiri dalam Menghambat Pertumbuhan Isolat Bakteri yang Ditemukan di Candi Borobudur” yang disusun oleh Absari Hanifah, NIM 14308141018 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, .....2017

Pembimbing

Evy Yulianti, M. Sc

NIP. 198101272005011002

## **SURAT PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta , 23 September 2017

Yang menyatakan,

Absari Hanifah

NIM. 14308141018

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Potensi Minyak Atsiri dalam Menghambat Pertumbuhan Isolat Bakteri yang Ditemukan di Candi Borobudur” yang disusun oleh Absari Hanifah, NIM 14308141018 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal .....dan dinyatakan lulus.

### DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
	Ketua Penguji	.....	.....
	Sekretaris Penguji	.....	.....
	Penguji I (Utama)	.....	.....
	Penguji II (Pendamping)	.....	.....

Yogyakarta, .....2017

Fakultas MIPA

Dekan,

Dr. Hartono, M. Si

NIP. 196203291987021002

## MOTTO

“Aku ingin mendaki puncak tantangan, menerjang batu granit kesulitan, menggoda mara bahaya, dan memecah misteri dengan sains. Aku ingin menghirup berupa-rupa pengalaman lalu terjun bebas menyelami labirin lika-liku hidup yang ujungnya tak dapat disangka. Aku mendamba kehidupan dengan kemungkinan-kemungkinan yang bereaksi satu sama lain seperti benturan molekul uranium: meletup tak terduga-duga, menyerap, mengikat, mengganda, berkembang, terurai, dan berpencar ke arah yang mengejutkan. Aku ingin ke tempat-tempat yang jauh, menjumpai beragam bahasa dan orang-orang asing. Aku ingin berkelana, menemukan arahku dengan membaca bintang gemintang. Aku ingin mengarungi padang dan gurun-gurun, ingin melepuh terbakar matahari, limbung dihantam angin, dan menciut dicengkeram dingin. Aku ingin kehidupan yang menggetarkan, penuh dengan penaklukan. Aku ingin hidup! Ingin merasakan sari pati hidup!”

By : Andrea Hirata dalam Tetralogi Novel Edensor

## Puncak-Nya

**Ketika senja dan fajar adalah 2 perbedaan tipis dalam penglihatannya  
Sama halnya dengan awan dan kabut yang sama putih dan rupanya  
Demikian adanya dengan sisi lain yang belum terkuak seperti apa keterpiawaian untuk saling  
membeda diantara kediamannya  
Seperti kabut kabut yang menyerubut tak tentu arah dan tujuan  
Hanya „untuk membedakan dimana kebenaran dan kesalahan yang selama ini terbang entah  
kemana tak terlihat mata  
Bahkan sisi kehidupan ini sesaat pula terasa sulit karena hanya menyerupai yang diserupai oleh  
rasa keterasaan asa  
Masa masa yang sulit terlihat biasa saja  
Namun keterbelakangan serasa seperti istimewa  
Inikah yang dinamakan dengan fana  
Tatapan kosong dan terbuka seperti serasa sama  
Tak dapat membedakan bahkan membela  
Yang terasa hanya satu tujuan nyata  
Penuh kelurusan jiwa nan satu impian bernyawa  
Itulah keindahan nan sebenarnya  
Wahai jiwa jiwa penerus asa  
Teruslah berkobar didalam kibaran bendera di pucuk sana  
Bahwasanya hanya langkah pasti yang selama ini dicari  
Teruslah berada dipuncak tertinggi Dengan satu tujuan pasti  
Dia lah yang selalu dinanti  
Wahai Illahi Rabbi,,,,,  
Oleh: Absari Hanifah**

## **PERSEMBAHAN**

Kupersembahkan bagi semua pembaca..

Semoga ilmunya terus bermanfaat bagi siapapun yang membacanya aamiin ,,

# **Potensi Minyak Atsiri dalam Menghambat Pertumbuhan Isolat Bakteri yang Ditemukan di Candi Borobudur**

**Absari Hanifah (14308141018) Biologi B 2014**

## **Abstrak**

Candi Borobudur merupakan aset warisan dunia yang perlu dijaga, salah satunya adalah dengan konservasi. Relief Candi Borobudur merupakan bagian penting yang sering terkena dampak dari pelapukan yang disebabkan oleh mikroorganisme, sehingga cepat mengalami pelapukan dan mengurangi nilai estetika sebagai Candi bersejarah. Salah satu penyebabnya adalah adanya bakteri yang menyerang batu. Menyebabkan terbentuknya biopatina yang merusak struktur batu dan mengubah warna aslinya. Salah satu bahan organik yang aman digunakan untuk konservasi batu candi adalah minyak atsiri. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan percobaan penghambatan pertumbuhan bakteri yang diisolasi dari Candi Borobudur dengan minyak atsiri.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Balai Konservasi Borobudur, menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), terdapat 16 sample bakteri yang diambil dari relief Candi Borobudur pada lantai 2. Masing-masing sampel diambil dari 4 sisi bidang relief batu candi. Penelitian terdiri dari tahap persiapan, pengambilan sampel, karakterisasi bakteri, uji mikroskopi, pemilihan bakteri uji, dan uji minyak atsiri. Minyak atsiri yang digunakan adalah temulawak, nilam, dan daun cengkeh dengan konsentrasi masing-masing 10%, 20%, dan 30%.

Bakteri yang digunakan sebagai isolat uji dengan minyak atsiri adalah bakteri jenis terbanyak yang ditemukan di batu lapuk dan tidak ditemukan pada batu relief kompak. Sedangkan minyak atsiri yang berpotensi untuk menghambat pertumbuhan bakteri adalah jenis nilam dengan konsentrasi 30% dengan rata-rata penghambatan 1,075 mikro meter.

**Kata Kunci : *Bakteri, Minyak Atsiri, Borobudur***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir Skripsi yang berjudul **Potensi Minyak Atsiri dalam Menghambat Pertumbuhan Isolat Bakteri yang Ditemukan di Candi Borobudur** dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian ini tidak dapat terlaksana tanpa bantuan dari pihak yang terlibat didalamnya. Ucapan terimakasih saya haturkan kepada :

1. Evy Yulianti, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan pengarahan dari jalannya penelitian sampai penyusunan tugas akhir ini dengan baik.
2. Dr. Tien Aminatun, dan Dr. Ir. Astuti, MP. selaku dosen penguji yang telah menguji tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.
3. Dr. Paidi, M.Si. selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Mamah, Papah, dan semua keluarga besar yang banyak sekali membantu serta kasih sayang yang telah diberikan.
5. Evy Yulianti, M.Sc. selaku pembimbing akademik yang banyak memberikan bantuan dan dorongan selama belajar di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
6. Seluruh staf dosen dan karyawan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta yang telah banyak membantu selama kuliah.
7. Kepada Kepala Balai Konservasi Borobudur yang telah mengizinkan dan memberikan fasilitasnya dalam pelaksanaan skripsi ini.
8. Bapak Iskandar M. Siregar, S.Si. selaku Kepala Kasiyantis Balai Konservasi Borobudur dan pembimbing lapangan Mas Habibi, Pak



Nahar dan Mas Widyono yang dengan sabar memberikan ilmunya kepada saya dan membimbing dengan kasih sayang.

9. Teman-teman Biologi kelas B angkatan 2014, atas seluruh bantuan, kerjasama, pengalaman, rasa kekeluargaan dan canda tawa yang telah diberikan.
10. Pony, Afrizal, Shobirin, Anggun, Afit, Khansa, Sofi dan semua sahabat atas canda tawa, dukungan, kesedihan dan kebahagiaannya selama ini.
11. Keluarga KSI-Mist dan Keluarga Riset KSI-Mist yang selalu memberikan motivasi di tiap detik untuk selalu berusaha mencapai cita-cita.
12. Pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Saya berharap tugas akhir skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Kritik dan saran yang membangun saya harapkan untuk perbaikan tugas akhir skripsi ini.

Yogyakarta, 2017

Absari Hanifah

## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN .....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BABI.PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Perumusan Masalah .....	5
E. Tujuan Penelitian .....	6
F. Manfaat Penelitian .....	6
G. Batasan Operasional.....	7
BAB II.KAJIAN PUSTAKA .....	8
A. Kajian Teori .....	8
B. Kerangka Berpikir.....	40
C. Hipotesis.....	42
BAB III.METODE PENELITIAN.....	43
A. Desain Penelitian.....	43
B. Waktu dan Lokasi Penelitian .....	43
C. Objek Penelitian .....	43
D. Variabel Penelitian .....	43

E. Rancangan Penelitian .....	43
F. Instrumen.....	44
G. Prosedur Kerja.....	45
H. Teknik Analisis Data.....	50
<b>BAB IV. PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
A. Hasil Karakterisasi Bakteri Isolat Candi Borobudur .....	29
B. Hasil Uji Mikroskopi Bakteri.....	32
C. Hasil Pengujian Penghambatan Bakteri Uji dengan Minyak Atsiri.....	37
D. Keterbatasan Penelitian.....	62
<b>BAB V. PENUTUP .....</b>	<b>63</b>
A. Kesimpulan .....	63
B. Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan Kerangka Berpikir ..... 23

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan senyawa kimia minyak atsiri temulawak .....	13
Tabel 2. Kandungan senyawa kimia minyak atsiri nilam .....	14
Tabel 3. Hasil Karakterisasi Morfologi Bakteri Lapuk .....	29
Tabel 4. Hasil Karakterisasi Morfologi Bakteri pada Batuan Kompak .....	30
Tabel 5. Kenampakan Mikroskopi Bakteri Batu Lapuk .....	32
Tabel 6. Kenampakan Mikroskopi Bakteri Batu Kompak .....	33
Tabel 7. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Kontrol .....	36
Tabel 8. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Temulawak .....	39
Tabel 9. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri Nilam .....	41
Tabel 10. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Minyak Daun Cengkeh ..	43

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. Grafik Perlakuan Uji Positif dan Negatif.....	37
Grafik 2. Grafik Efektifitas Minyak Atsiri Temulawak.....	40
Grafik 3. Grafik Efektifitas Minyak Atsiri Nilam.....	42
Grafik 4. Grafik Efektifitas Minyak Atsiri Daun Cengkeh.....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Gambar.....	77
SK Penguji.....	83
SK Pembimbing .....	84
Catatan Monitoring Bimbingan Skripsi .....	84

## BAB I PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Warisan Cagar Budaya dunia kompleks Candi Borobudur berdiri sejak abad ke-8 atau ke-9 Masehi terletak di Jawa Tengah. Dinding dan pembatasnya dihiasi relief yang indah seluas 2500m<sup>2</sup>. Bahkan, ada pula yang memperkirakan dibangun dalam kurun waktu yang cukup lama secara bertahap dari tahun 780 hingga 833 M (Daud Aris Tanudirjo, 2007: 1). Umur batuan candi yang sudah lebih dari ratusan tahun lamanya ini telah masuk dalam daftar warisan dunia yang diakui oleh UNESCO. Batuan candi yang telah tua berisiko terkena berbagai kerusakan dan pelapukan yang harus dijaga. Penjagaan yang dilakukan selama ini adalah dengan melakukan konservasi candi.

Balai Konservasi Borobudur (BKB) merupakan badan berwenang dalam pengelolaan dan konservasi candi dengan mencegah kerusakan benda cagar budaya akibat tumbuhnya bakteri, lumut, dan mikroorganisme perusak batu candi yang lain. Namun selama ini proses konservasi masih menggunakan bahan kimia berbahaya seperti 5-bromo-3-sec-butyl-6-methyluracil (Hyvar-X), xylophene, aldrin, malathion, parathion, DDT (*Dichloro Diphenyl Trichloroethane*) dan CCA (*Chromated Copper Arsenat*). Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai bahan yang ramah lingkungan sebagai pengganti bahan kimia untuk konservasi candi yaitu dengan minyak atsiri, yang diambil dari tanaman serih wangi, cengkeh, pala, jahe karena mengandung zat-zat aktif seperti sitronelal, sitronelol, geraniol, eugenol, cineol, dan camphene yang dapat membasmi, membunuh, dan mengusir serangga, jamur, dan bakteri. Penggunaan minyak atsiri sebagai bahan konservasi aman terhadap lingkungan, manusia, dan mampu mencegah kerusakan (Riyanto, 2014: 4).

Selama ini, kerusakan yang ada di Candi Borobudur penyebab utamanya adalah pelapukan batuan yang disebabkan oleh bahan-bahan organik. Pelapukan organik yaitu proses penghancuran benda cagar budaya yang diakibatkan oleh aktivitas makhluk hidup, baik hewan maupun tumbuhan. Secara umum beberapa mikroorganisme penyebab pelapukan yaitu bakteri dan jamur. Mikroorganisme



penyebab kerusakan yang ditemukan di Candi Borobudur diantaranya adalah jamur, alga, dan bakteri. Bakteri merupakan salah satu jasad renik yang berbentuk seperti batang, peluru, dan sekrup. Bakteri termasuk makhluk hidup yang kasat mata. Untuk dapat mengamati dan mengenal bakteri secara seksama diperlukan mikroskop. Berdasarkan hasil penelitian di Candi Borobudur, bakteri dan jamur dapat mempercepat proses pelapukan. Batuan Candi Borobudur yang kaya mineral penting merupakan tempat yang tepat bagi tumbuhnya organisme saprofit. Mineral-mineral batuan tersebut bereaksi dengan bahan-bahan organik dan makhluk hidup saprofit sehingga terjadilah pelapukan. Mikroorganisme penyebab kerusakan yang ditemukan di Candi Borobudur diantaranya adalah bakteri, alga, dan jamur. Bakteri yang tumbuh di Candi Borobudur di antaranya adalah 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* (Riyanto, 2014: 5). Oleh karena itu, pencegahan dari pertumbuhan mikroorganisme pelapuk batuan perlu dilakukan. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan bahan alam minyak atsiri dalam menghambat pertumbuhannya. Dampak adanya bakteri pada batuan candi akan mempercepat proses pelapukan dan menghilangkan tekstur asli batu. Berdasarkan penelitian sebelumnya belum pernah dilakukan penelitian mengenai minyak atsiri potensial sebagai anti bakteri pada batu candi. Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis bermaksud untuk melakukan penelitian mengenai potensi minyak atsiri yang efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri batu di Candi Borobudur.

## B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi permasalahan yaitu:

1. Timbulnya kerusakan pada candi akibat mikroorganisme.
2. Pemakaian bahan kimia berbahaya seperti DDT, CCA dan lainnya yang memiliki efek jangka panjang dalam kerusakan relief batu candi.

3. Belum ditemukannya senyawa alami potensial dengan minyak atsiri untuk menghambat pertumbuhan bakteri
4. Bakteri menjadi salah satu permasalahan di batu Candi Borobudur sebagai penyebab kerusakan pada relief untuk dilakukan penelitian lanjutan.

#### C. Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada pengujian beberapa jenis minyak atsiri yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri hasil isolasi yang mendominasi di Candi Borobudur. Jenis minyak atsiri yang digunakan adalah ekstrak minyak atsiri dengan 3 jenis berbeda yaitu temulawak, nilam dan cengkeh dengan pengujian perbedaan konsentrasi 10%, 20%, dan 30%.

#### D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada maka masalah-masalah yang dapat diteliti adalah

1. Bagaimana proses identifikasi bakteri batu di Candi Borobudur?
2. Apakah minyak atsiri berpotensi menghambat pertumbuhan bakteri batu di Candi Borobudur?
3. Minyak atsiri jenis apa dan pada konsentrasi berapa yang potensial dalam menghambat pertumbuhan bakteri?

#### E. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Dapat mengetahui proses identifikasi bakteri batu di Candi Borobudur.
2. Mengetahui potensi minyak atsiri dalam menghambat pertumbuhan bakteri batu di Candi Borobudur.

3. Mengetahui minyak atsiri yang paling potensial dan konsentrasinya dalam menghambat pertumbuhan bakteri batu di Candi Borobudur.

#### F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak,

1. Manfaat bagi peneliti

Dapat menambah wawasan keilmuan bidang biologi dan konservasi mengenai penghambatan pertumbuhan bakteri dengan ekstrak minyak atsiri.

2. Manfaat bagi Instansi

Dapat dijadikan pertimbangan oleh berbagai instansi dalam penerapannya untuk menghambat pertumbuhan bakteri di Candi Borobudur sebagai aset warisan dunia.

3. Manfaat bagi ilmu pengetahuan

Dapat menjadikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang biologi dan konservasi.

#### G. Bantuan Operasional

1. Minyak atsiri

Minyak atsiri merupakan salah satu hasil metabolisme sekunder yang dihasilkan oleh tanaman, bersifat mudah menguap pada suhu kamar, mempunyai rasa getir, serta berbau wangi sesuai dengan bau tanaman penghasilnya (Sudaryani, 1992: 1-58). Minyak atsiri merupakan salah satu bahan alami yang dapat digunakan untuk mengobati infeksi terhadap bakteri atau sebagai antibakteri (Udri Rastuti. 2013: 198)

## 2. Antibakteri

Antibakteri adalah obat pembasmi bakteri, khususnya bakteri yang merugikan manusia. Antibakteri harus memiliki sifat toksisitas selektif setinggi mungkin, artinya obat harus bersifat sangat toksik untuk bakteri, tetapi relatif tidak toksik untuk hospes. Berdasarkan toksisitas selektif, antibakteri dibedakan menjadi dua, yaitu antibakteri yang bersifat menghambat pertumbuhan (bakteriostatik) dan antibakteri yang bersifat membunuh bakteri (bakterisid) (Diastri, 2015: 13).

## 3. Bakteri

Bakteri adalah makhluk hidup terkecil bersel tunggal, terdapat dimana-mana, dapat berkembangbiak dengan kecepatan luar biasa dengan membelah diri. Bakteri merupakan mikroba prokariotik uniseluler, berkembang biak secara aseksual dengan pembelahan sel. Semua bakteri memiliki struktur sel yang relatif sederhana (Pratiwi, 2015: 7).

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Kajian Pustaka

##### 1. Candi Borobudur

Candi Borobudur terletak di Desa Borobudur, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang, Propinsi Jawa Tengah. Secara astronomis terletak di  $7^{\circ} 36' 28''$  LS dan  $110^{\circ} 12' 13''$  BT. Lingkungan geografis Candi Borobudur dikelilingi oleh Gunung Merapi dan Merbabu di sebelah Timur, Gunung Sindoro dan Sumbing di sebelah Utara, dan pegunungan Menoreh di sebelah Selatan, serta terletak di antara Sungai Progo dan Elo. Candi Borobudur didirikan di atas bukit yang telah dimodifikasi, dengan ketinggian 265 dpl (Winda Diah dkk. 2010: 1-2)

Upaya pemugaran Candi Borobudur dilakukan sebanyak dua kali yaitu pertama dilakukan oleh pemerintah Hindia Belanda dibawah pimpinan Van Erp dan yang kedua dilakukan oleh pemerintah Indonesia yang diketuai oleh Soekmono (alm). Berdasarkan perbandingan antara kondisi saat itu dengan foto-foto yang dibuat Van Erp 10 tahun sebelumnya, diketahui ternyata proses kerusakan pada Candi Borobudur terus terjadi dan semakin parah, terutama pada dinding relief batu-batunya rusak akibat pengaruh iklim. Selain itu bangunan candinya juga terancam oleh kerusakan. Dengan masuknya Indonesia menjadi anggota PBB, maka secara otomatis Indonesia menjadi anggota UNESCO. Melalui lembaga UNESCO tersebut, Indonesia mulai mengimbau kepada dunia internasional untuk ikut menyelamatkan bangunan yang sangat bersejarah tersebut. Usaha tersebut berhasil, dengan dana dari Pelita dan dana UNESCO, pada tahun 1975 mulailah dilakukan pemugaran secara total.

Kawasan Candi Borobudur selalu dilakukan monitoring dalam konservasinya. Namun, Candi Borobudur setelah selesai dipugar tidak

berarti selesai sudah perawatan terhadap candi tersebut. Tidak ada jaminan kalau Candi Borobudur terbebas dari proses kerusakan dan pelapukan.

Balai Konservasi Borobudur adalah unit pelaksana teknis Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan di bidang konservasi dan pelestarian Candi Borobudur yang berada dibawah dan tanggung jawab kepada Direktur Jenderal Kebudayaan. Balai Konservasi mengembangkan berbagai metode konservasi dan kajian konservasi baik dari batu, bata, kayu, dan lainnya. Selain itu juga digunakan untuk uji coba bahan konservasi sebagai bahan pengganti yang lebih aman, efektif dan efisien (Ihwan, 2011: 1).

## **2. Proses Pelapukan Batu 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. Beberapa organisme penyebab pelapukan yaitu bakteri dan jamur. Bakteri merupakan salah satu jasad renik yang berbentuk seperti batang, peluru, dan sekrup. Bakteri termasuk makhluk hidup yang kasat mata. Untuk dapat mengamati dan mengenal bakteri secara seksama diperlukan mikroskop. Berdasarkan hasil penelitian di Candi Borobudur, bakteri dan jamur dapat mempercepat proses pelapukan. Batuan Candi Borobudur yang kaya mineral penting, merupakan tempat yang tepat bagi tumbuhnya organisme saprofit. Mineral-mineral batuan tersebut bereaksi dengan bahan-bahan organik dan makhluk hidup saprofit sehingga terjadilah pelapukan. Mikroorganisme penyebab kerusakan yang ditemukan di Candi Borobudur adalah bakteri, alga, dan jamur. Bakteri yang tumbuh di Candi Borobudur termasuk jenis 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*. (Riyanto, 2014: 5).

### **3. Bakteri Penyebab Biopatina**

Berdasarkan proses terbentuknya, biopatina dapat menyebabkan perubahan warna, komposisi dan struktur pada permukaan batuan. Namun proses ini memerlukan waktu 50 - 100 tahun agar terlihat jelas perubahan yang terjadi. Dalam beberapa benda cagar budaya, umum terjadi secara alami. Pertumbuhan ini dipengaruhi oleh keadaan iklim di sekitar benda cagar budaya tersebut. Dalam beberapa jajak pendapat, keterdapatannya pada suatu benda cagar alam (khususnya pada batuan) dapat menunjukkan nilai klasik yang lebih tinggi. Keberadaan biopatina pada suatu batuan menunjukkan bahwa benda tersebut tidak mengalami gangguan (pengikisan) permukaan dalam waktu yang lama (mencapai ratusan tahun). Hal ini disebabkan pertumbuhan mikroorganisme pada suatu batuan membutuhkan waktu yang sangat lama seiring dengan umur benda tersebut dan menunjukkan bahwa pada permukaan batuan tersebut terjadi pengikisan namun dalam waktu yang lama. Warna yang ditimbulkan dari proses bergantung pada jenis mikroorganisme, jenis pigmen yang dihasilkan, dan komposisi media tumbuhnya. Mikroorganisme yang berperan dalam proses biopatina diantaranya adalah mikroorganisme golongan bakteri, jamur, alga dan lichene. Keempat golongan mikroorganisme ini memiliki jalur metabolisme tertentu yang mampu menghasilkan pigmen untuk proses biosintetiknya (Dani Gatot H, 2011: 24-25).

### **4. Penyebab Biopatina Pada Batu Cagar Budaya**

Perubahan warna pada permukaan batuan dapat terjadi akibat sisa pigmen mikroorganisme yang ada pada permukaan batuan. Warna yang terbentuk tersebut bergantung pada jenis dan jalur metabolisme mikroorganisme yang tumbuh pada batuan tersebut. Setiap pigmen akan memiliki penampakan warna tertentu, pigmen klorofil akan

memberikan penampakan warna hijau. Pigmen karotenoid akan memberikan penampakan warna jingga atau kuning sedangkan pigmen melanin akan memberikan penampakan hitam. Ketika mikroorganisme tersebut mati di permukaan batuan maka pigmen warna tersebut akan tetap ada pada batuan tersebut hingga akhirnya membentuk lapisan kerak pada batuan. Aktifitas mikroorganisme pada batuan memungkinkan terjadi perubahan komposisi pada permukaan batuan.

Metabolit sekunder (zat sekret) dan sisa metabolisme yang dihasilkan oleh mikroorganisme mampu menyebabkan reaksi pada komposisi yang ada di permukaan batuan (misalnya batuan andesit). Komposisi biopatina yang ada pada batuan andesit memiliki kandungan mineral yang berguna untuk proses biosintetik sel, seperti kalsium, natrium, fosfat, besi, dan magnesium (Chaerun, 2010: 3). Namun unsur tersebut memiliki formasi oksida di alam. Agar sel dapat mengekstrak unsur tersebut sel akan menghasilkan senyawa biosintetik yang mampu mengionisasi senyawa (pada umumnya melalui reaksi redoks) tersebut sehingga dapat diserap sel melalui *channel protein*. Perubahan komposisi tersebut dapat menyebabkan penggaraman pada batuan sehingga akan terjadi perubahan warna. Garam tersebut dapat larut dan terkikis bersama air, bergantung pada koefisien kelarutannya garam yang dihasilkan. Namun dalam keadaan tertentu (misalnya panas-kering), garam tersebut dapat membantu dalam penutupan pori batuan sehingga mampu menghalangi air dan udara masuk ke dalam. Masuknya air dan udara pada pori batuan dapat menyebabkan pelapukan secara kimiawi, fisika, dan biologi. Keberadaan air dan udara pada pori batuan akan memberikan suasana aerob sehingga mikroorganisme dapat tumbuh lebih cepat pada bagian dalam batuan. Perubahan komposisi dan bilangan oksidasi pada unsur batuan dapat menyebabkan perubahan struktur geometri pada kristal mineral batuan. Perubahan struktur ini mampu menyebabkan perubahan morfologi makroskopik pada permukaan batuan bergantung pada struktur geometrinya.



Pada umumnya Danni Gathot Harbowo (2011: 25) mengatakan bahwa akan terjadi pembentukan pada batuan yang kemudian akan membentuk cekungan, proses ini lebih dikenal dengan *biopitting* yaitu pembentukan cekungan yang disebabkan oleh aktifitas mikroorganisme. Selain itu, aktifitas mikroorganisme pada batuan mampu menyebabkan pembentukan kerak. Pembentukan kerak tersebut dalam jangka waktu yang lama dapat merubah penampakan stuktur batuan yang berbeda.

## 5. Minyak Atsiri

Indonesia mempunyai keanekaragaman hayati tanaman penghasil minyak atsiri seperti sereh dapur minyak cengkeh (*Eugenia aromatica*), minyak sereh wangi (*Andropogon nardus*) dan minyak kayu manis (*Cinnamomum spp.*), yang mengandung senyawa pestisida berbasis minyak atsiri telah lolos registrasi dari EPA (*Environmental Protection Agency*) dan dinyatakan aman dari GRAS (*Generally Recognized as Safe*) (Koul *et al.*, 2008: 63) sehingga ramah terhadap manusia dan lingkungan.

Penyusun minyak atsiri dari kelompok terpenoid dapat berupa terpena-terpena. Terpena yang paling sering terdapat sebagai komponen penyusun minyak atsiri adalah monoterpena. Sebagai contoh adalah geraniol (asiklik monoterpena), limonene (monosiklik monoterpena), dan  $\alpha$ -pinena (bisiklik monoterpena). Terpena lain di bawah monoterpena yang berperan penting sebagai penyusun minyak atsiri adalah seskuiterpena dan diterpena. Sebagai contoh adalah kadinena (bisiklik seskuiterpena),  $\beta$ -kariofilena (bisiklik seskuiterpena), dan asam abietat (trisiklik seskuiterpena) (Gunawan, 2010: 106-107). Aktivasnya yang menghambat bakteri dimungkinkan karena kemampuannya untuk berikatan dengan protein ekstraseluler dan dinding sel bakteri. Semakin bersifat lipofilik, maka semakin dia melakukan disrupsi terhadap membran sel bakteri. Mekanisme penghambatannya diduga melalui perusakan lipid bilayer membran sel

akibat gugus hidrofobik yang dimilikinya. Kelompok besar lain dari komponen penyusun minyak atsiri adalah senyawa golongan fenil propana. Senyawa ini mengandung cincin fenil C6 dengan rantai samping berupa propana C3. Sebagai contoh senyawa golongan fenil ini adalah sinamilaldehyda, anetol, eugenol, feniletil, anisaldehyda, dan metil salisilat (Gunawan, 2010: 106-107). Selain itu menurut Putra dalam (Diastrri, 2015: 11-12) sifat daya hambat senyawa fenol terhadap mikroba disebabkan karena gugus hidroksil yang dimilikinya dapat berinteraksi dengan protein membran sel mikroba melalui ikatan hidrogen sehingga protein tersebut kehilangan fungsinya. Gugus hidroksil dapat menjadi donor hidrogen yang sangat baik untuk membentuk ikatan hidrogen dengan gugus karbonil pada protein. Protein dan fosfolipid merupakan senyawa penting yang menyusun membran sel mikroba, yang mana protein di sini berfungsi sebagai pengatur keluar-masuknya material dari dan ke dalam sel.

Menurut Bakkali *et al.* (dalam Diastrri, 2015: 12) mekanisme kerja minyak atsiri dalam membunuh bakteri adalah dengan cara mengubah permeabilitas membran sel, menghilangkan ion-ion dalam sel, menghalangi proton-*pump*, dan menurunkan produksi adenosin trifosfat (ATP). Minyak atsiri bersifat lipofilik yang dapat melewati dinding bakteri karena dinding bakteri terdiri atas polisakarida, asam lemak, dan fosfolipid. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan dinding sel sehingga dapat membunuh bakteri. Mekanisme kerja minyak atsiri adalah dengan menghambat stabilitas membran sel bakteri dan menyebabkan material sitoplasma menghilang. Adesegun *et al.* (dalam Diastrri, 2015: 13) menyatakan bahwa minyak atsiri *C. citratus* dapat menghambat pertumbuhan bakteri *S. sonnei* dengan cara menjadi inhibitor kompetitif enzim protease ekstraseluler bakteri *S. sonnei* dikarenakan adanya gugus prostetik ion logam seperti  $Hg^{2+}$ ,  $CO_2^{+}$ , dan  $Ba^{2+}$  pada minyak atsiri.

a. Minyak Atsiri Temulawak

Berdasarkan penelitian sebelumnya di Balai Konservasi Borobudur mengenai analisis komponen senyawa minyak atsiri menggunakan Kromatografi Gas Spektro Massa (KG-SM), dihasilkan kromatogram dari minyak atsiri temulawak. Hasil kromatogram 30 puncak yang terdeteksi. Masing-masing puncak memiliki waktu retensi dan % komponen. Berikut ini disajikan komponen senyawa minyak atsiri temulawak menggunakan KG-SM.

Tabel 1. Kandungan senyawa kimia minyak atsiri temulawak

Puncak	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Area (%)
1	4,599	$\alpha$ -Pinene	0,94
2	4,820	Champene	2,07
3	5,201	$\beta$ -Pinene	0,25
4	5,275	$\beta$ -Mycrene	0,25
5	5,898	Limonene	0,48
6	5,959	Eucalyptol	0,31
7	7,742	Camphor	9,79
8	7,804	Linalool	0,57
9	7,914	Isoborneol	1,01
10	8,040	Borneol	0,47
11	11,245	Zingiberene	0,32
12	11,345	$\beta$ -Elemene	0,71
13	11,447	Zingiberene	1,98
14	11,638	Zingiberene	0,34
15	11,834	Trans- Caryophyllene	0,66
16	11,914	Germacrene	0,26
17	12,082	$\beta$ -Farnese	3,10
18	12,549	$\alpha$ -Curcumene	20,55

19	12,671	$\alpha$ -Copaene	1,96
20	12,804	Curzerene	2,57
21	12,937	Longipinene	27,15
22	13,088	$\beta$ - Sesquiphellandrene	0,41
23	13,468	$\alpha$ -Cendrol	1,16
24	13,708	$\beta$ -Elemene	2,47
25	13,951	$\beta$ -Himachalene	0,33
26	14,202	Tidak Ada Senyawa	2,82
27	14,325	$\alpha$ -Longipinene	0,41
28	14,943	$\alpha$ -Cendrol	0,75
29	15,443	Germacrone	2,53
30	15,856	Phenol	13,37

Berdasarkan tabel 1 tersebut komponen utama senyawa minyak atsiri temulawak adalah Longipinene 27,15% area,  $\alpha$ -Curcumene 20,55% area, Phenol 13.37% area, dan Camphor 9,79% area (Sri Wahyuni dkk, 2015: 17-18).

b. Minyak Atsiri Nilam

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai kandungan minyak atsiri nilam yang digunakan untuk penelitian di laboratorium mikrobiologi Balai Konservasi Borobudur., hasil kromatogram terlihat 25 puncak yang terdeteksi. Masing-masing puncak memiliki waktu retensi dan % komponen. Oleh karena itu dapat dilihat kandungan senyawa kimia dari minyak atsiri nilam.

Tabel 2. Kandungan Senyawa Kimia Minyak Atsiri Nilam

Puncak	Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Area (%)
1	1,803	Ethyl Alkohol	0,30
2	5,202	$\beta$ -Pinen	0,25

3	11,327	$\beta$ -Patchoulene	4,63
4	11,772	Seychellene	0,86
5	11,841	Trans-Caryophyllene	4,32
6	12,035	$\alpha$ -Guaiene	13,62
7	12,252	$\alpha$ -Patchoulene	8,01
8	12,316	$\alpha$ -Humulene	0,82
9	12,425	$\alpha$ -Patchoulene	8,76
10	12,516	Aromadendren	1,91
11	12,566	$\Delta$ -Guaiene	1,00
12	12,748	$\beta$ – Seychellene	0,82
13	12,861	$\alpha$ – Guaiene	4,42
14	12,978	$\Delta$ -Guaiene	17,07
15	13,182	$\alpha$ -Panasinsene	0,36
16	13,812	Cyclohexanone	0,73
17	13,867	Tidak ada senyawa	0,11
18	14,046	Caryophyllene	0,80
19	14,408	Valerenol	0,26
20	14,526	$\beta$ – Seychellene	0,91
21	14,650	Globulol	0,36
22	14,917	$\Delta$ -Guaiene	2,96
23	15,152	Patchouli alkohol	24,62
24	15,542	2H-Pyran	1,93
25	15,849	Cycloheptan	0,19

Berdasarkan tabel 2. Komponen senyawa utama minyak atsiri nilam adalah patchouli alkohol 24,62% area,  $\Delta$ -Guaiene 17,07% area,  $\alpha$  – Guaiene 13,62% area,  $\alpha$ -Patchoulene 8,76% area. Senyawa Patchouli alkohol merupakan komponen utama minyak nilam bersama dengan  $\alpha$ -Patchoulene (Sonwa dalam Sri Wahyuni, 2015: 15-16).

c. Minyak Atsiri Daun Cengkeh

Minyak atsiri daun cengkeh merupakan minyak yang diambil khusus dari ekstrak daunnya. Komponen kandungan dari minyak daun cengkeh dapat dibagi menjadi 2 kelompok. Kelompok pertama yang memiliki komponen paling besar merupakan senyawa fenolat dan eugenol. Senyawa ini mudah diisolasi dengan NaOH kemudian dinetralkan dengan asam mineral. Kelompok kedua mengandung senyawa-senyawa non fenolat yaitu  $\beta$ -kariofilen,  $\alpha$ -kubeben,  $\alpha$ -kopaen, humulen,  $\delta$ -kadien, dan kadina 1,3,5-trien (Sastrohamidjojo, 2004).

## 6. Uji Sensitivitas Bakteri Terhadap Antibakteri

Pada uji sensitivitas dapat dilakukan dengan metode difusi secara *paper disk*, atau menggunakan kertas cakram yang mengandung antibakteri diletakkan di atas permukaan media agar yang telah ditanam mikroba uji, setelah itu hasilnya dianalisis. Sedangkan media difusi menggunakan kertas cakram yang berisi antibakteri dan telah diketahui konsentrasinya. Ada beberapa cara pada metode difusi, yaitu:

a. Cara Kirby-Bauer

Cara Kirby-Bauer merupakan suatu metode uji sensitivitas bakteri yang dilakukan dengan membuat suspensi bakteri pada media *Brain Heart Infusion (BHI)* cair dari koloni pertumbuhan kuman 24 jam. Selanjutnya disuspensikan dalam 0,5 ml BHI cair (diinkubasi 4–8 jam pada suhu 37°C. Hasil inkubasi bakteri diencerkan sampai sesuai dengan standar konsentrasi kuman 10<sup>9</sup> CFU/ml (CFU = Colony Forming Unit). Suspensi bakteri diuji sensitivitas dengan meratakan suspensi bakteri tersebut pada permukaan media agar. Cakram antibiotik diletakkan di atas media tersebut dan kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 19–24 jam, kemudian dibaca hasilnya (Wasitaningrum, 2009: 25). Zona hambat dibagi menjadi zona radikal

dan iradikal. Zona radikal merupakan suatu daerah di sekitar cakram yang sama sekali tidak ditemukan adanya pertumbuhan bakteri. Potensi antibiotik diukur dengan mengukur diameter zona radikal. Sementara itu, zona iradikal adalah suatu daerah di sekitar cakram yang menunjukkan pertumbuhan bakteri dihambat oleh antibiotik tersebut. Di zona iradikal ini akan terlihat adanya pertumbuhan kurang subur atau lebih jarang disbanding dengan daerah di luar pengaruh antibiotik tersebut (Wasitaningrum, 2009: 25).

b. Cara sumuran

Suspensi bakteri 10<sup>8</sup> CFU/ml diratakan pada media agar, kemudian agar tersebut dibuat sumuran dengan garis tengah tertentu menurut kebutuhan. Larutan antibiotik yang digunakan diteteskan ke dalam sumuran. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 18–24 jam, kemudian dibaca hasilnya sama seperti cara *Kirby Bauer* (Wasitaningrum, 2009: 26).

c. Cara *Pour Plate*

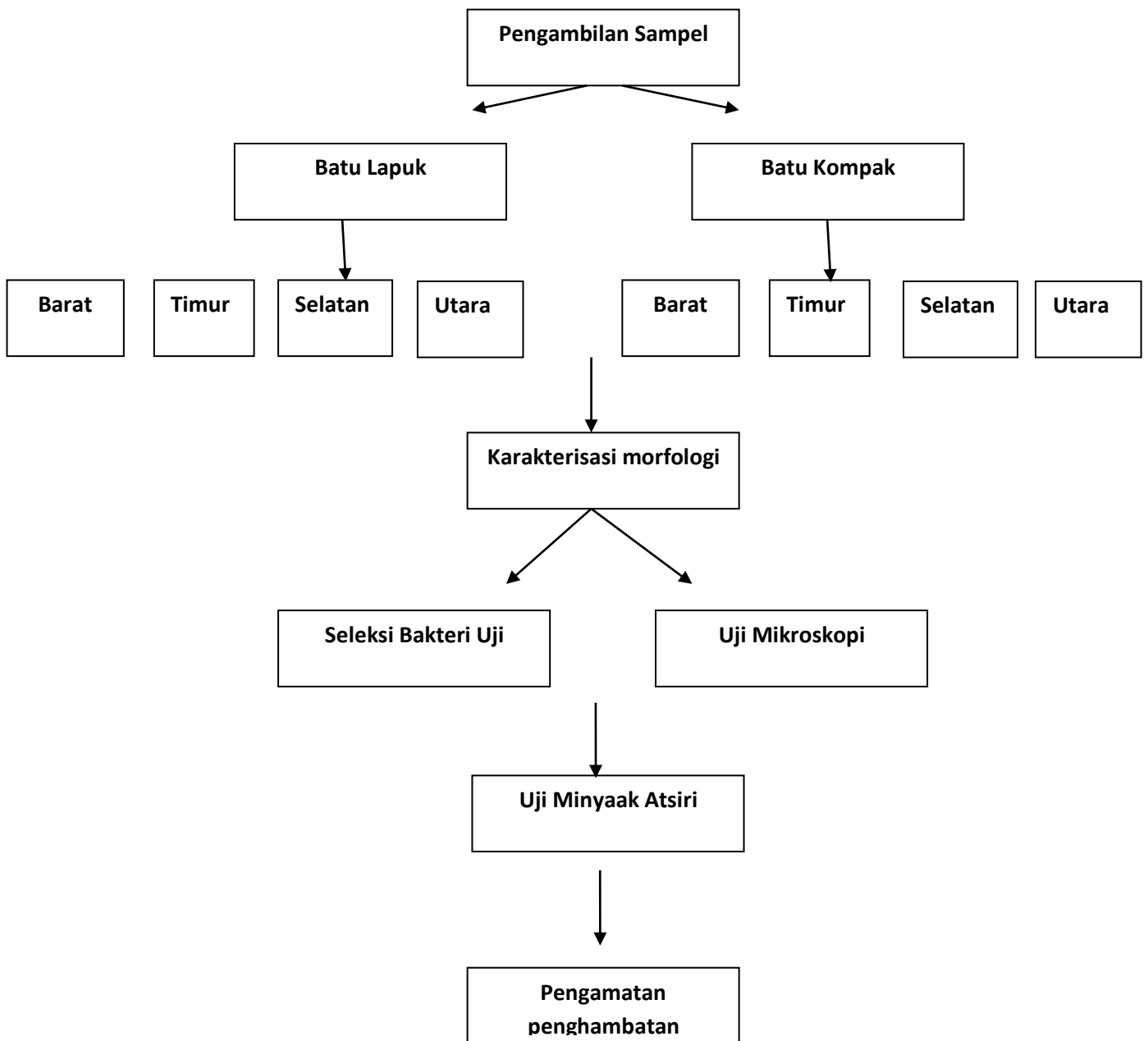
Setelah dibuat suspensi kuman dengan larutan BHI sampai konsentrasi standar 10<sup>8</sup> CFU/ml, kemudian diambil satu mata ose dan dimasukkan ke dalam 4 ml agar *base* 1,5% dengan temperatur 50°C. Suspensi kuman tersebut dibuat homogen dan dituang pada media agar *Mueller Hinton*. Setelah beku, dipasang cakram antibiotic (diinkubasi 15–20 jam pada suhu 37°C) dibaca dan dibersihkan dengan standar masing-masing antibiotik (Wasitaningrum, 2009: 27).

## B. Kerangka Berfikir Teoritis

Candi Borobudur merupakan salah satu warisan budaya yang perlu dijaga kelestariannya. Balai Konservasi Borobudur adalah instansi yang bertanggungjawab dalam penelitian dan konservasi Candi. Salah satu penelitiannya adalah tentang bakteri batu yang terdapat pada dinding relief candi. Kondisi

batuan yang lembab dapat menyebabkan tumbuhnya mikroorganisme baru yang dapat menyebabkan pelapukan. Maka pengendalian dan pembasmian maupun penghambatan pertumbuhan bakteri perlu dilakukan. Setelah dilakukan uji sampel pada batuan terdapat banyak jenis bakteri yang ditemukan. Beberapa bakteri yang pernah ditemukan pada batuan Candi Borobudur adalah *Amonifiri sp*, *Aceutobacteur* dan *Fictobacteur fixing*. Bakteri ini mendominasi dengan kecepatan tumbuh yang tinggi dan mendominasi pada batu yang lapuk dibandingkan dengan yang lain. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai penghambatan pertumbuhan bakteri dengan anti bakteri yaitu pemberian ekstrak minyak atsiri dengan perbandingan 3 jenis minyak atsiri yaitu minyak cengkeh, nilam, dan temulawak dengan masing-masing pemberian konsentrasi 10%, 20%, dan 30% untuk mengetahui potensi dari jenis minyak atsiri yang paling potensial dalam menghambat bakteri batu Candi Borobudur.





Gambar 1. Bagan Kerangka Berpikir

### **C. HIPOTESIS**

Hipotesis dari penelitian ini adalah :

1. Adanya pengaruh minyak atsiri jenis tertentu yang berpotensi dalam menghambat pertumbuhan isolat bakteri yang ditemukan di Candi Borobudur.
2. Adanya konsentrasi tertentu yang potensial dalam menghambat pertumbuhan isolat bakteri yang ditemukan di Candi Borobudur.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Desain Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen.

#### **B. Waktu dan Lokasi Penelitian**

1. Waktu : 9 Oktober – 9 November
2. Lokasi Penelitian : Balai Konservasi Borobudur di Laboratorium Mikrobiologi.

#### **C. Objek Penelitian**

1. Subjek penelitian

Subjek penelitiannya adalah isolat bakteri batu Candi Borobudur.

2. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah ekstrak minyak atsiri.

#### **D. Variabel Penelitian**

1. Variabel kontrol : Kertas cakram dengan akuades, alkohol 96% dan pemberian *chloramfenikol* sebagai kontrol.
2. Variable terikat : Pertumbuhan bakteri pada medium NA padat.
3. Variable bebas : 3 jenis minyak atsiri dengan 3 beda konsentrasi yang digunakan sebagai perlakuan.

#### **E. Rancangan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan pemberian percobaan 3 jenis minyak atsiri yaitu minyak cengkeh, nilam, dan temulawak. Perlakuan di atas masing-masing terdiri dari 4 kali ulangan pada masing-masing cawan petri. Terdiri dari 12 perlakuan pemberian kertas cakram

dengan uji chloroform, akuades, alkohol 96% dan minyak atsiri yang memiliki 3 konsentrasi yang berbeda yaitu 10%, 20%, dan 30%.

## **F. Instrumen Penelitian**

### **1. Alat**

Alat yang digunakan dalam inokulasi dan subkultur bakteri adalah: Inkubator (*Mold Fungi Incubator MFI-250*), Autoklaf (*TOMY ES-215*), Timbangan digital (*AND GR-200*), Erlenmeyer (*IWAKI PYREX 250 ml*), Sendok kecil, Cawan petri (*IWAKI PYREX*), Kapas penutup, Jarum ose, Kompor listrik, Pembakar spiritus, Korek api, Karet gelang, LAF (*ESCO*), Gelas ukur (*IWAKI PYREX 10 ml*), Labu ukur (*IWAKI PYREX 5ml*), jangka sorong (*Tricle Brand*), kaca preparat, *drygalsky*, mikroskop.

### **2. Bahan**

Bahan yang digunakan adalah:

NA (*Nutrient Agar*), NB (*Nutrient Broth*), Akuades, Bakteri isolat Candi Borobudur, Ekstrak cair minyak atsiri nilam, temulawak, dan cengkeh, alkohol 96%, *chloramfenikol*, kapas, *plastic wrap*,

## **G. Prosedur Kerja**

Rancangan penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian adalah mengenai pengaplikasian minyak atsiri sebagai antibakteri untuk menghambat pertumbuhan bakteri yang tumbuh pada batu Candi Borobudur. Alasan pengaplikasian dari minyak atsiri karena, minyak ini memiliki potensi sebagai anti bakteri yang ramah lingkungan dan merupakan bahan yang tidak membahayakan baik bagi manusia dan lingkungan. Minyak atsiri (nilam, cengkeh, temulawak) dengan masing-masing 3 jenis konsentrasi berbeda yaitu 10%, 20%, dan 30% akan diberikan pada bakteri uji yang didapat dari pertumbuhan populasi bakteri terbesar pada batu relief yang lapuk di daerah batuan Candi Borobudur.

## H. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode observasi dan pengambilan sampel langsung di lapangan yaitu di Candi Borobudur.

## I. Prosedur Penelitian

### 1. Pengambilan sampel

Sampel bakteri diambil pada relief candi dipilih pada daerah relief yang memiliki struktur batu kompak dan struktur batu lapuk. Pengambilan sampel dilakukan di lantai 2 Candi Borobudur pada tiap sisi. Yaitu sisi Barat blok F, sisi Utara blok C, sisi Selatan blok C, dan sisi Timur blok C batu kompak dan sisi Timur blok D batu lapuk. Teknik pengambilan sampel bakteri dilakukan dengan *cotton bud* yang telah disterilkan sebelumnya. Kemudian metode *swept* yang dilakukan diberikan lampu Bunsen dibawahnya untuk mengurangi tingkat kontaminasi. *Cotton bud* diusapkan pada bagian yang diduga terdapat bakteri pada batu relief yang lapuk dan kompak. Pengolesan dilakukan dengan maksimal luasan  $100\text{cm}^2$  pada luasan daerah relief. selama kurang lebih 5 detik kemudian menyimpan sampel pada plastik untuk menghindari kontaminan.

### 2. Sterilisasi Alat

Menyiapkan semua alat dan media yang akan digunakan untuk menanam sampel bakteri dan pengujian kemudian pada medium padat NA. Diawali dengan mencuci dan membersihkan semua alat dengan menyemprotkan dengan alkohol 70% dan mengelap dengan *tissue* pada alat, kemudian membungkus dengan kertas penutup dan memasukkan pada autoklaf dengan suhu  $121^\circ\text{C}$  selama 15 menit. Menurut Suswati dkk (2011: 26) semua alat yang akan dipakai dalam

penelitian dicuci bersih sebelumnya. Kemudian dikeringkan, dan disterilkan dengan autoklaf. Sedangkan bahan media disterilkan dalam autoklaf selama 20 menit dengan suhu 121°C. Tujuan sterilisasi alat adalah untuk menghindarkan dari kontaminasi.

### **3. Pembuatan Medium untuk Menumbuhkan Bakteri**

Menyiapkan dan menimbang media Agar NA 9,75 gram pada timbangan digital. Menuangkan pada Erlenmeyer yang diberikan akuades sebanyak 250 ml. Memanaskan medium di atas kompor listrik dengan suhu 100°C sambil diaduk sampai merata pelarut dengan medium. Menunggu kurang lebih 10 menit kemudian diangkat. Setelah terlihat homogen pada medium maka segera dimasukkan ke autoklaf untuk melakukan sterilisasi medium yang akan digunakan. Suhu dan waktu autoklaf di atur pada suhu 121°C selama 15 menit. Kemudian menunggu sampai 15 menit, dan menuangkan pada cawan petri setelah medium sudah berkurang panasnya. Penuangan medium pada cawan petri membutuhkan sterilisasi yaitu dengan menuang di dekat api bunsen yang telah dinyalakan untuk menghindari dari kontaminasi. Setelah dituangkan maka ditunggu selama 10 menit untuk menunggu sampai agar mengeras dan siap digunakan untuk inokulasi bakteri.

### **4. Inokulasi Bakteri**

Inokulasi bakteri dilakukan dengan cara steril yaitu mempersiapkan api bunsen. Inokulasi dilakukan di dalam LAF. Menyiapkan media agar yang telah siap dan menyiapkan sampel bakteri pada *cotton bud*. Metode yang dilakukan adalah dengan cara *sweep*, yaitu mengusapkan *cotton bud* dengan sampel bakteri langsung pada media dengan metode *strike*. Caranya adalah dengan membuka tutup cawan petri di dekat cawan agar, kemudian langsung melakukan *strike cotton bud* dengan cepat kemudian menutupnya kembali dan menutup dengan kertas. Kemudian dimasukkan kedalam inkubator dengan suhu 37°C.

Menunggu kurang lebih 4 hari dan melihat perkembangan dan dilakukan identifikasi jenis bakteri yang ditemukan.

## 5. Karakterisasi bakteri

Setelah diketahui bakteri telah tumbuh pada media maka dapat dilakukan karakterisasi pada bakteri yang ditemukan. Karakterisasi dibagi menjadi beberapa uji salah satunya adalah uji morfologi dan uji mikroskopi bakteri. Langkah awal yaitu dengan membuat preparat mengambil secara steril menggunakan jarum ose dan didekatkan lampu bunsen, selanjutnya diletakkan pada preparat dan menutup dengan *cover glass*. Kemudian dilakukan pengecatan gram kemudian pengamatan di bawah mikroskop sampai perbesaran 1000 kali. Mencatat dan mencocokkan dengan buku identifikasi yang ada.

Pengenalan bentuk mikroba (morfologi) secara mikroskopi, khususnya bakteri dapat dilakukan dengan pewarnaan terlebih dahulu agar memudahkan pengamatan. Pengecatan gram dapat dilakukan dengan 4 cara yaitu:

- a. Pemberian cat warna utama (cairan Kristal violet) berwarna ungu.
- b. Pengintensifan zat warna utama dengan penambahan larutan mordan.
- c. Pencucian (dekolorisasi) dengan larutan alkohol asam.
- d. Pemberian cat warna lawan yaitu safranin (Khairunnisa, 2016: 4-8).

## 6. Subkultur bakteri

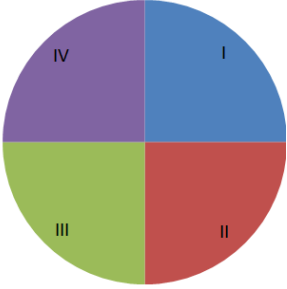
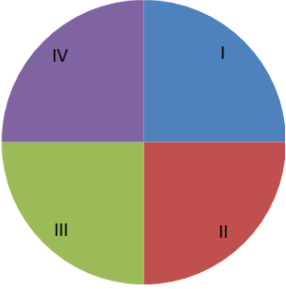
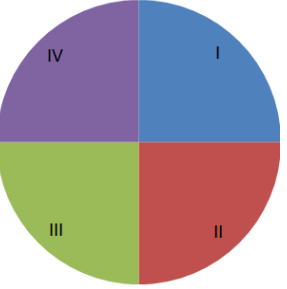
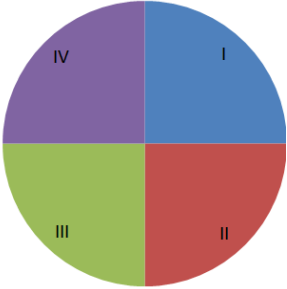
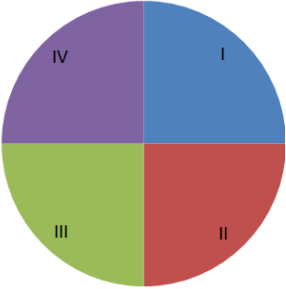
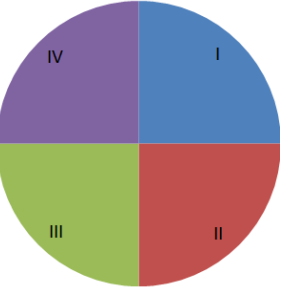
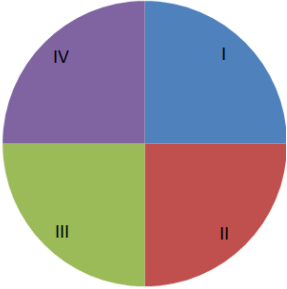
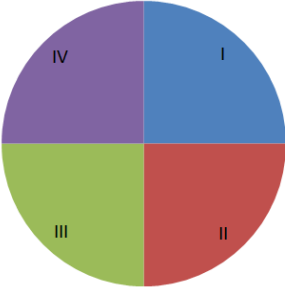
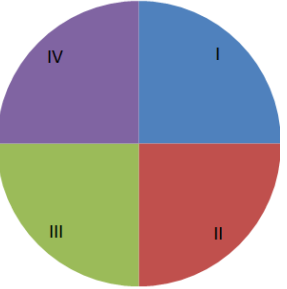
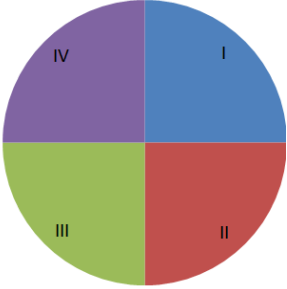
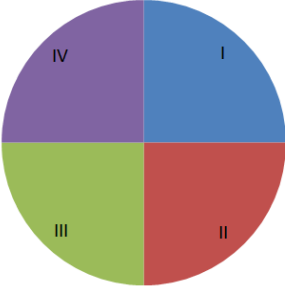
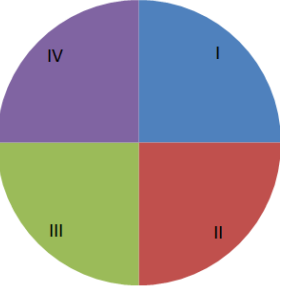
Subkultur bakteri adalah langkah untuk memisahkan dari satu jenis bakteri dengan jenis lainya pada medium di cawan petri atau tabung reaksi. Sehingga hanya didapatkan 1 jenis bakteri yang akan diuji dengan menggunakan 3 jenis minyak atsiri.

## 7. Inokulasi Bakteri pada Medium Cair (*Pour Plate*)

Menginokulasi dengan medium agar NB cair bertujuan untuk mendapatkan bakteri yang dapat tumbuh menyebar pada seluruh permukaan media. Caranya adalah mengambil sampel bakteri dengan jarum ose dan langsung memasukkan pada medium agar NB cair dan mengaduknya agar tercampur. Kultur bakteri pada NB cair kemudian di shaker selama 24 jam. Kemudian ketika akan diaplikasikan untuk uji antibakteri dapat dipindahkan kultur yang telah jadi sebanyak 1ml dengan mikro pipet pada cawan petri berisi agar NA padat dan diratakan dengan *drygalsky* secara steril kemudian menutup kembali cawan petri dan dibiarkan dingin. Menyimpan pada inkubator dan disimpan pada suhu 27°C -30°C. Menunggu sampai 24 hingga 48 jam kemudian diamati pertumbuhannya.



## 8. Desain Penelitian Uji Minyak Atsiri pada Bakteri

 <p>Uji Kontrol Positif <i>Chloramfenicol</i></p>	 <p>Uji Kontrol Negatif Aquadas</p>	 <p>Uji kontrol Negatif Alkohol 96%</p>
 <p>temulawak 10%</p>	 <p>temulawak 20%</p>	 <p>temulawak 30%</p>
 <p>nilam 10%</p>	 <p>nilam 20%</p>	 <p>nilam 30%</p>
 <p>Cengkeh 10%</p>	 <p>Cengkeh 20%</p>	 <p>Cengkeh 30%</p>

## **9. Menanam Kertas Cakram Steril pada Rendaman Minyak Atsiri**

Merendam cakram kertas steril pada masing-masing 3 jenis minyak atsiri dengan perbedaan konsentrasi 10%, 20%, 30%. Minyak atsiri sebelumnya dimasukkan ke dalam labu ukur yang dilarutkan pada 10 ml alkohol 96%. Direndam selama 15 menit. Kemudian dituang ke dalam cawan petri. Selanjutnya adalah melakukan penanaman pada cawan petri yang berisi medium dengan bakteri. Diletakkan pada permukaan agar yang telah padat dengan 4 kertas cakram yang berada pada 4 kuadran yang berbeda sebagai pengulangan. Satu cawan petri dengan 4 kuadran diisi dengan kertas cakram steril yang direndam dengan 12 jenis cairan yang berbeda yaitu akuades, alkohol 96% sebagai kontrol negatif, larutan chloramfenikol 200mg/ml sebagai kontrol positif, dan larutan rendaman minyak atsiri nilam, cengkeh, dan temulawak dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 10%, 20%, 30%.

## **10. Pengamatan Zona Penghambat Pada Medium**

Uji aktifitas minyak atsiri dilakukan mengikuti standar AATCC 147-1998 dan AATCC 100-1999. Pengamatan zona hambat dapat diketahui dengan mengamati diameter zona kertas cakram dan diameter zona bening yang telah direndam dengan minyak atsiri. Daya hambat material uji ini diketahui dengan mengukur lebar zona bening di sekitar kertas cakram (dalam millimeter), sedangkan penentuan antibakteri secara kuantitatif dilakukan dengan cara menghitung presentase reduksi biakan bakteri (Tatang Wahyudi, 2011: 56).

## **J. Teknik Analisis Data**

Teknik analisis data yang digunakan adalah deskriptif kualitatif.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Karakterisasi Bakteri Isolat Candi Borobudur

Hasil karakterisasi morfologi dari jenis bakteri yang ditemukan pada saat pengambilan sampel di area sisi Barat blok F, Timur Blok D, Selatan blok C, dan Utara blok C pada lantai 2 Candi Borobudur diantaranya ditemukan 5 jenis bakteri yang ditemukan di relief batu lapuk. Sedangkan pada relief batu kompak ditemukan 10 jenis bakteri. Sehingga jenis bakteri keseluruhan yang ditemukan adalah 15 jenis bakteri. Berikut terdapat tabel hasil pengamatan morfologi dari jenis bakteri yang ditemukan diantaranya adalah:

Tabel 3. Hasil Karakterisasi Morfologi Bakteri Batu Lapuk

No	Kode tempat	Form/ bentuk	Elevasi	Margin	Kontur
1	Barat (BL)	Ireguler	Crateriform	Lobate	Smooth
2	Utara (UL1)	Ireguler	Umbonate	Lobate	Contoured
3	Utara (UL2)	Ireguler	Crateriform	Lobate	Smooth
4	Selatan (SL)	Ireguler	Crateriform	Lobate	Smooth
5	Timur (TL)	Ireguler	Crateriform	Undulate	Smooth

Berdasarkan karakterisasi morfologi sampel bakteri pada batu lapuk, dihasilkan data terdapat 3 sampel yang memiliki karakteristik sama dan 2 jenis bakteri yang memiliki karakteristik berbeda. Tiga jenis bakteri tersebut adalah yang ditemukan pada lokasi barat, satu sampel pada sisi Utara sampel ke 2, dan satu sampel pada sisi selatan. Memiliki karakteristik bentuk ireguler, elevasi crateriform, margin lobate, dan kontur smooth. Sedangkan 1 jenis bakteri yang ditemukan pada sisi Utara sampel ke 1 memiliki karakteristik bentuk ireguler, elevasi umbonate, margin lobate, dan kontur contoured, dan satu sampel pada daerah timur ditemukan satu jenis yang berbeda dengan ciri-ciri Ireguler, Crateriform, Undulate, *smooth*.

Sedangkan pada sampel batu kompak yang ditemukan terdapat 8 jenis bakteri, hasil karakterisasi secara morfologi adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Karakterisasi Morfologi Bakteri pada Batuan Kompak

No	Kode tempat	Form/bentuk	Elevasi	Margin	Kontur
1	Barat (BK1)	Ireguler	Flat	Undulate	Contoured
2	Barat (BK2)	Ireguler	Flat	Undulate	Smooth
3	Barat (BK3)	Ireguler	Convex	Undulate	Wrinkled
4	Selatan (SK1)	Circuler	Pulvinet	Entire	Smooth

5	Selatan (SK2)	Ireguler	Ubonate	Undulate	Smooth
6	Selatan (SK3)	Ireguler	Convex	Lobate	Smooth
7	Selatan (SK4)	Ireguler	Convex	Filamentous	Smooth
8	Utara (UK1)	Filamentous	Convex	Lobate	Smooth
9	Timur (TK1)	Spindle	Crateriform	Entire	Smooth
10	Timur (YK2)	Ireguler	Pulvinet	Undulate	Smooth

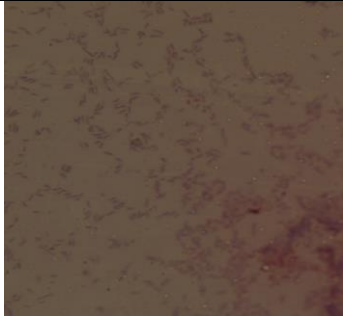

Berdasarkan karakterisasi morfologi pada sampel yang diambil dari relief batu kompak dihasilkan 9 jenis bakteri yang berbeda-beda karakteristiknya dan tidak terdapat jenis bakteri yang sama. Hal ini membuktikan bahwa jenis bakteri pada batu kompak lebih banyak jenis keanekaragaman bakterinya dibandingkan dengan jenis bakteri yang terdapat pada relief batu lapuk. Namun berdasarkan pengamatan pada batu lapuk ditemukan bakteri yang sama pada beberapa sampel yang diambil. Hal ini menunjukkan terdapat bakteri dominan pada relief batu yang lapuk. Sedangkan berdasarkan pengamatan pula, bakteri yang ditemukan pada relief batu lapuk tidak ada yang sama dengan bakteri yang ditemukan pada batu kompak. Oleh karena itu dapat dijadikan sebagai acuan penelitian dalam pemilihan bakteri

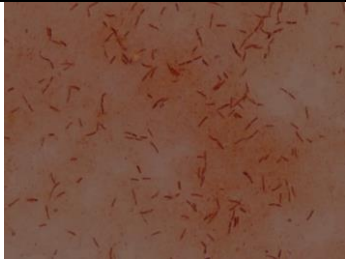

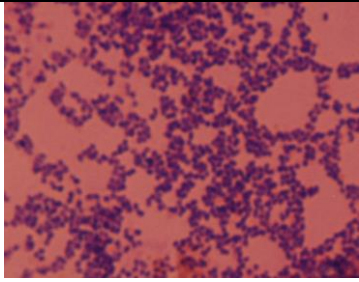
yang akan diujikan selanjutnya menggunakan minyak atsiri. Uji penghambatan dengan minyak atsiri akan dipilih jenis bakteri dominan yang tumbuh pada batu lapuk dan tidak terdapat pada batu kompak. Yaitu bakteri yang ditemukan pada sampel yang diambil di sisi Barat, Utara, dan Selatan dengan kode BL, UL2, dan SL.

#### B. Hasil Uji Mikroskopi Bakteri

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, setelah didapatkan data mengenai ciri morfologi bakteri isolat yang diambil dari relief batu Candi Borobudur, kemudian dilakukan pengamatan secara mikroskopi untuk melengkapi ketepatan data dari pengamatan secara morfologi selain itu untuk mengetahui karakteristik bentuk dan jenis bakteri merupakan bakteri positif atau negatif. Berdasarkan data yang dihimpun didapatkan sebagai berikut:

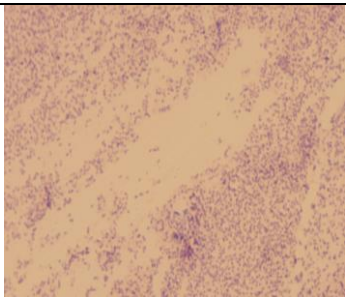
Tabel 5. Kenampakan Mikroskopi Bakteri Batu Lapuk

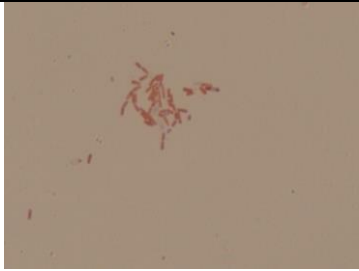
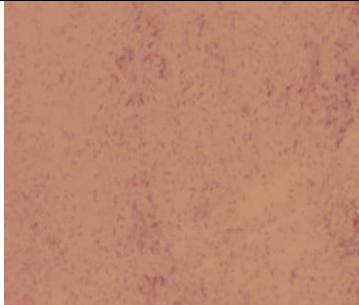
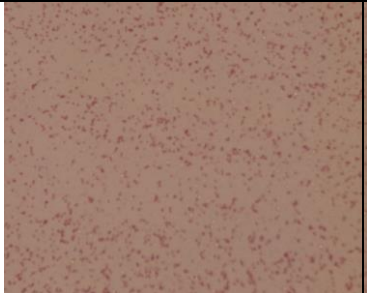
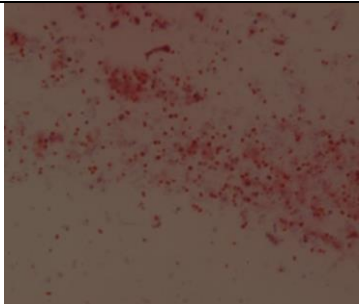
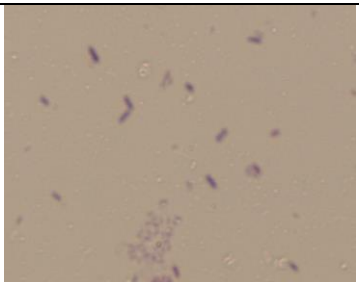
No	Kode Isolat	Kenampakan Mikroskop 1000 kali	Warna Gram	Bentuk	Bakteri Gram
1	BL		Merah	Basil	(-)
2	UL1		Ungu	Basil	(+)

3	UL2		Merah	Basil	(-)
4	SL		Merah	Basil	(-)
5	TL		Ungu	Strepto coccus	(+)

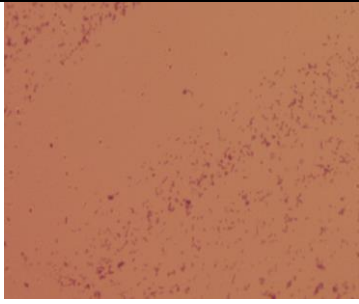
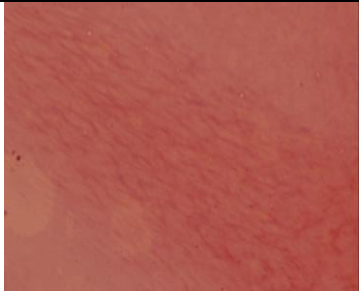
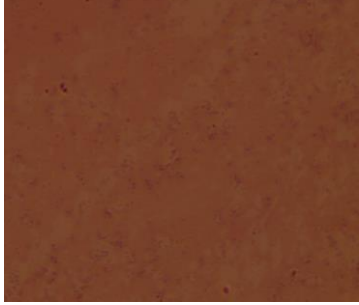

Sedangkan pengamatan mikroskopi yang dilakukan pada bakteri yang terdapat pada batu kompak dihasilkan data sebagai berikut:

Tabel 6. Kenampakan Mikroskopi Bakteri Batu Kompak

No	Kode Isolat	Kenampakan Mikroskop 1000 kali	Warna Gram	Bentuk	Bakteri Gram
1	BK1		Ungu	Coccus	(+)

2	BK2		Merah	Diplobasil	(-)
3	BK3		Ungu	Basil	(+)
4	SK1		Merah	Coccus	(-)
5	SK2		Merah	Coccus	(-)
6	SK3		Ungu	Diplobasil	(+)



7	SK4		Merah	Streptococcus	(-)
8	UK1		Merah	Basil	(-)
9	TK1		Merah	Streptococcus	(-)
10	TK2		Ungu	Coccus	(+)

Berdasarkan teori yang dikatakan oleh Khairunnisa (2016: 8) mengatakan bahwa ciri-ciri bakteri gram negatif adalah sebagai berikut:

1. Struktur dinding selnya tipis, sekitar 10-45nm, berlapis tiga atau multi layer
2. Dinding selnya mengandung lemak lebih banyak (11-12%), peptidoglikan terdapat pada lapisan kaku, sebelah dalam dengan

jumlah sedikit 10% dari berat kering, tidak mengandung asam laktat.

3. Kurang rentan terhadap senyawa penisilin.
4. Tidak resisten terhadap gangguan fisik.

Sedangkan ciri-ciri bakteri gram positif diantaranya adalah:

1. Struktur dindingnya tebal
2. Dinding selnya mengandung lipid yang lebih normal
3. Bersifat lebih rentan terhadap penisilin.
4. Pertumbuhan dihambat secara nyata oleh zat-zat seperti ungu Kristal.
5. Komposisi yang dibutuhkan lebih rumit.
6. Lebih resisten terhadap gangguan fisik

Dalam hal ini banyak zat warna yang digunakan untuk mengamati bakteri secara mikroskopik digunakan untuk tujuan:

1. Mengamati dengan baik morfologi bakteri secara kasar
2. Mengidentifikasi bagian-bagian structural sel mikroorganisme
3. Membantu mengidentifikasi atau membedakan organisme yang serupa.

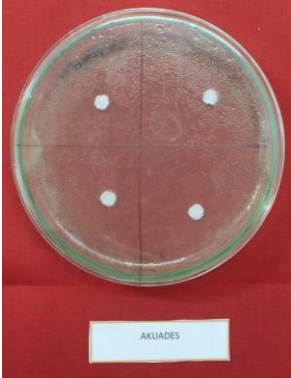
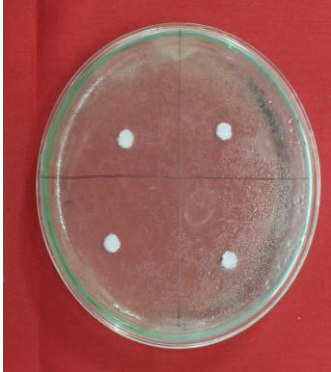
Berdasarkan teori yang ada dapat disimpulkan bahwa pengamatan secara morfologi dan mikroskopi menunjukkan bahwa bakteri yang ditemukan pada batu lapuk memiliki ciri berbeda baik dari penampakan morfologi maupun mikroskopi. Oleh karena itu penetapan bakteri yang akan diuji yang diduga dapat mengakibatkan pelapukan adalah bakteri dengan kode isolat yang ditemukan pada sampel yang diambil di sisi Barat, Utara, dan Selatan dengan kode BL, UL2, dan SL. Yaitu jenis bakteri berwarna merah, bentuk basil, dan termasuk bakteri negatif.


### C. Hasil Pengujian Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri

#### C1. Hasil Pengujian Penghambatan Bakteri dengan Kontrol Positif dan Negatif

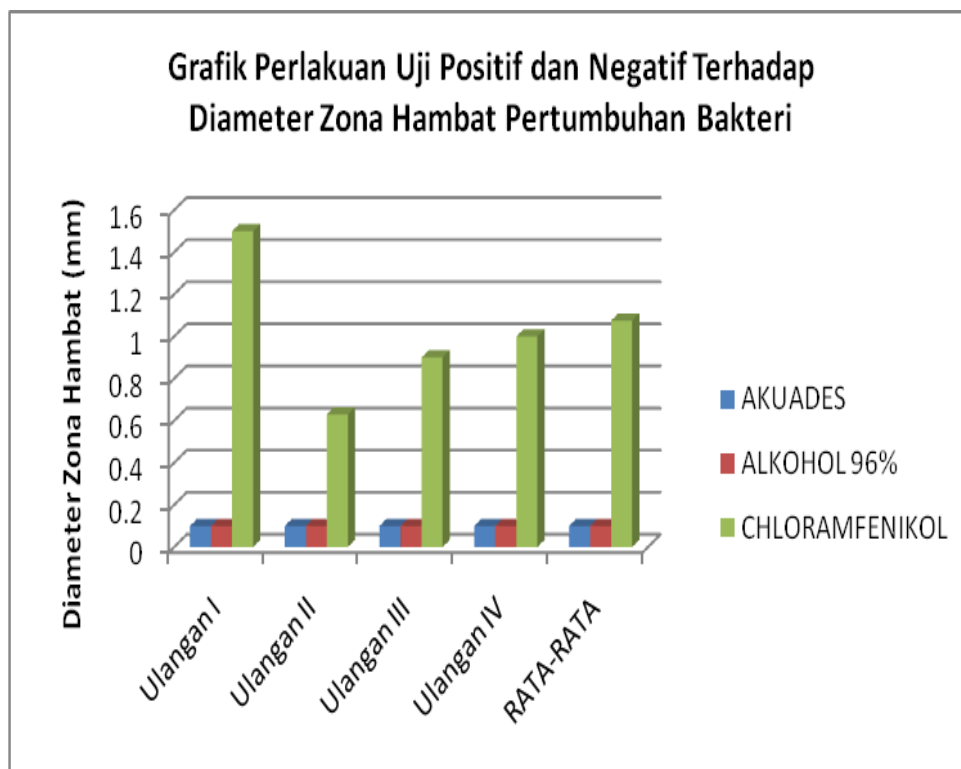
Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada pengujian minyak atsiri dalam menghambat pertumbuhan bakteri, telah dihasilkan data sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Kontrol

NO	Konsentrasi Minyak	Diameter Zona Hambat (mm)				
		I	II	III	IV	Rata-rata
1	Kontrol (-) Aquades 	0	0	0	0	0
2.	Alkohol 96% 	0	0	0	0	0

3.	Kontrol (+) Chloramfenikol					
		1,5	0,6 3	0,9	1	1,00 75

Pengujian efektifitas uji positif dan negatif terhadap daya hambat bakteri disajikan dalam grafik sebagai berikut :



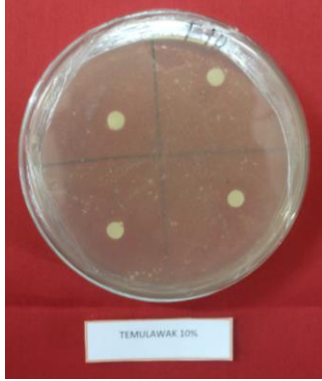
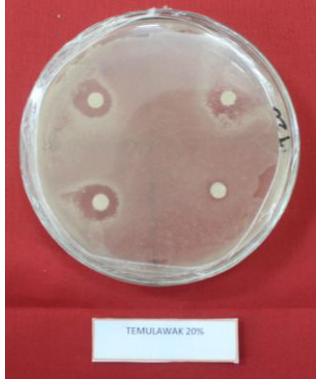
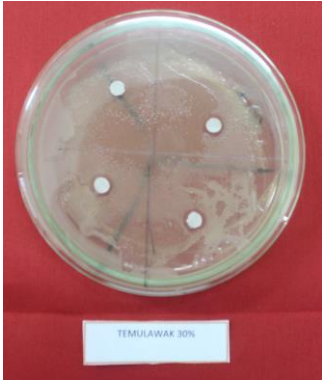
Grafik 1. Grafik Perlakuan Uji Positif dan Negatif Terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Bakteri

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan dihasilkan data bahwa sebelum dilakukan uji minyak atsiri terhadap penghambatan pertumbuhan bakteri maka dilakukan uji kontrol terlebih dahulu. Uji kontrol yang dilakukan adalah dengan menggunakan kontrol positif dan uji kontrol negatif yang disamakan perlakuan dan pengulangnya. Yaitu uji positif menggunakan cairan *chloramfenikol* 2000 mg/ml yang dilarutkan dengan aquades steril 10ml, kemudian uji kontrol negatif yaitu pengujian kertas cakram yang direndam pada aquades steril dan alkohol 96%. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada uji negatif menggunakan akuades dan alkohol 96% yang digunakan sebagai pearut minyak atsiri, tidak terdapat penghambatan sedikitpun, hal ini membuktikan bahwa pengujian negatif berhasil dilakukan dan membuktikan akuades steril tidak memiliki kemampuan dalam penghambatan bakteri. Sedangkan pengujian positif menggunakan *chloramfenikol* yang dikenal sebagai antibakteri membuktikan bahwa terdapat penghambatan yang cukup signifikan dengan pemberian *chloramfenikol* sebagai uji positif penghambatan bakteri uji. Pengamatan terhadap efektifitas uji positif dan negatif ini dilakukan pengamatan skala laboratorium pada saat penanaman umur 1 hari. Cara pengukuran diameter zona hambat dengan menggunakan jangka sorong sebanyak 4 kali pengulangan.

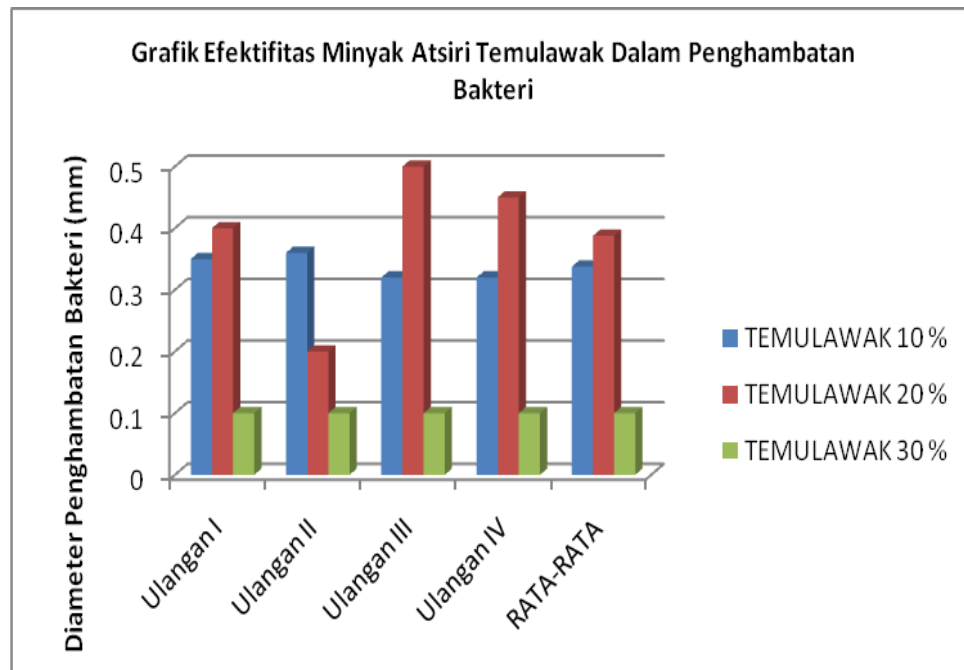
## C2. Hasil Pengujian Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri Temulawak

Hasil pengujian efektifitas antijamur minyak atsiri temulawak dengan berbagai variasi konsentrasi menggunakan metode difusi agar terhadap bakteri yang ditemukan di Candi Borobudur, disajikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 8. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri

NO	Konsentrasi Minyak	Diameter Zona Hambat (mm)				
		I	II	III	IV	Rata-rata
1.	Temulawak 10% 	0,35	0,3 6	0,3 2	0,3 2	0,3375
2.	Temulawak 20% 	0,4	0,2	0,5	0,4 5	0,3875
3.	Temulawak 30% 	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Pengujian efektifitas uji minyak atsiri temulawak terhadap daya hambat bakteri disajikan dalam grafik sebagai berikut :




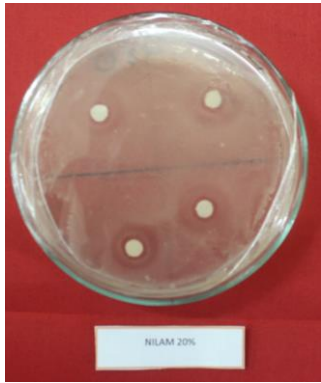
Grafik 2. Grafik Efektifitas Minyak Atsiri Temulawak Terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Bakteri

Berdasarkan pengamatan laboratorium dengan pengukuran sebanyak 4 kali ulangan dari tiap diameter zona hambat didapatkan data seperti yang ada pada tabel dan grafik. Minyak atsiri yang digunakan salah satunya adalah temulawak, minyak temulawak dengan konsentrasi 20% lebih baik karena dapat menghambat sampai 0,3875 mikrometer. Sedangkan pada konsentrasi 10% tidak jauh berbeda dengan rata-rata penghambatan adalah 0,3375 mikrometer. Sedangkan pada temulawak dengan konsentrasi 30% menghasilkan penghambatan terkecil diantaranya adalah 0,1 mikrometer. Hasil percobaan ini sebanding dengan hasil analisis kandungan dalam minyak atsiri temulawak terdapat senyawa kurkumin sebanyak 20,55 % yang memiliki gugus hidroksi fenolik dan gugus  $\beta$ -diketon yang berfungsi sebagai antibakteri.

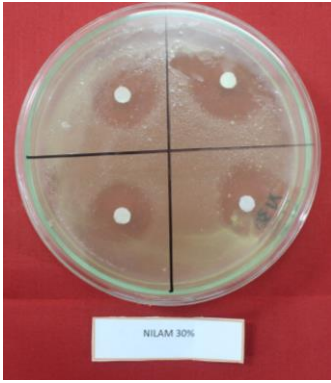
## C2. Hasil Pengujian Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri Nilam

Hasil pengujian efektifitas antijamur minyak atsiri nilam dengan berbagai variasi konsentrasi menggunakan metode difusi agar terhadap bakteri yang ditemukan di Candi Borobudur, disajikan pada tabel di bawah ini :

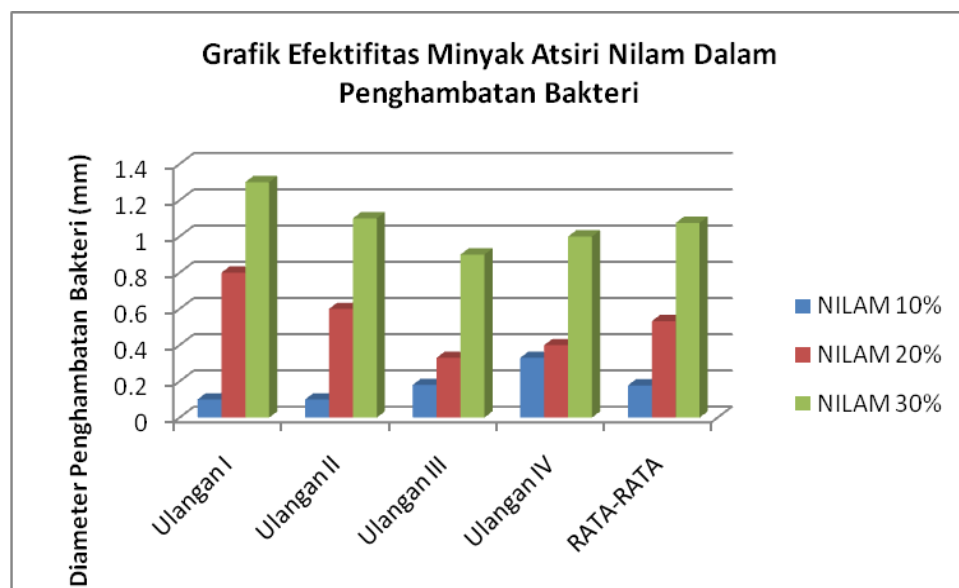
Tabel 9. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri Nilam

NO	Konsentrasi Minyak	Diameter Zona Hambat (mm)				
		I	II	III	IV	Rata-rata
1.	<p>Nilam 10%</p> 	0,1	0,1	0,1 8	0,3 3	0,17 75
2.	<p>Nilam 20%</p> 	0,8	0,6	0,3 3	0,4	0,53 25



3.	<p style="text-align: center;">Nilam 30%</p> 	1,3	1,1	0,9	1	1,07 5
----	--	-----	-----	-----	---	-----------

Pengujian efektifitas uji minyak atsiri temulawak terhadap daya hambat bakteri disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Grafik 3. Grafik Efektifitas Minyak Atsiri Nilam Terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Bakteri

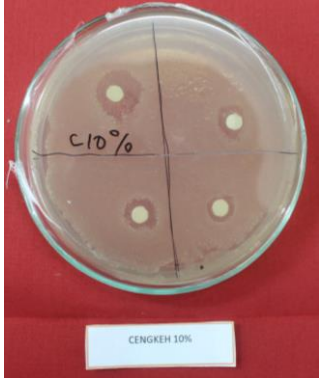
. Penjelasan hasil uji yang telah dilakukan diantaranya adalah minyak atsiri nilam konsentrasi 10% memiliki kemampuan penghambatan rata-rata sebesar 0,1775 mikrometer. Minyak atsiri nilam konsentrasi 20% memiliki kemampuan penghambatan rata-rata sebesar 0,17 mikrometer. Sedangkan minyak nilam dengan konsentrasi 30% memiliki penghambatan rata-rata sebesar 1,075 mikrometer yang menunjukkan bahwa nilam merupakan



minyak atsiri yang paling efektif untuk menghambat bakteri. Hasil ini hampir sama dengan penghambatan yang dihasilkan oleh *chloramfenikol* yang menghambat rata-rata 1,0075 mikrometer terhadap bakteri. Urutan potensi minyak nilam yang pertama adalah konsentrasi 30%, 10%, dan 20%.

### C3. Hasil Pengujian Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri Cengkeh

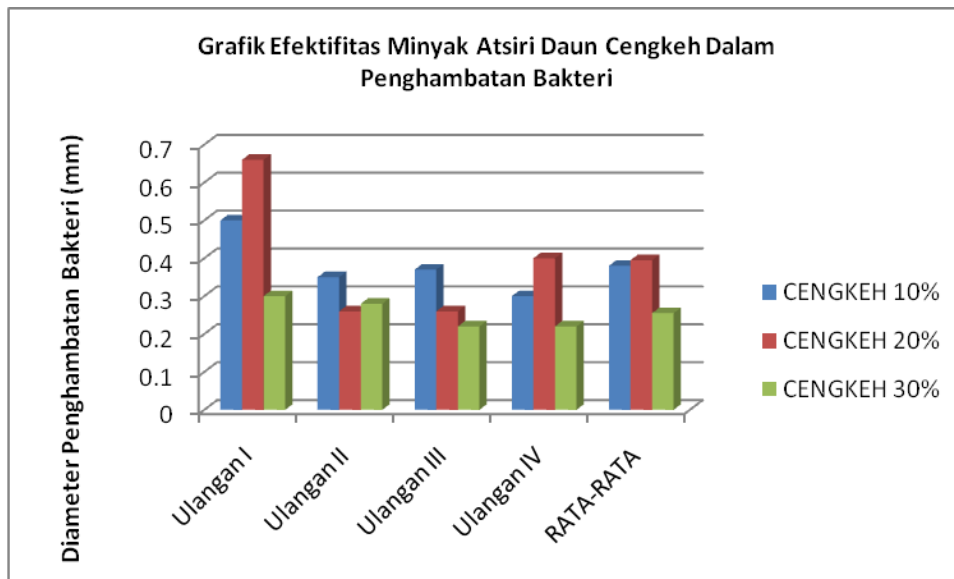
Hasil pengujian efektifitas antijamur minyak atsiri nilam dengan berbagai variasi konsentrasi menggunakan metode difusi agar terhadap bakteri yang ditemukan di Candi Borobudur, disajikan pada tabel di bawah ini

Tabel 10. Hasil Uji Penghambatan Bakteri dengan Minyak Daun Cengkeh

NO	Konsentrasi Minyak	Diameter Zona Hambat (mm)				
		I	II	III	IV	Rata-rata
1.	<p>Cengkeh 10%</p> 	0,5	0,35	0,37	0,33	0,38

2.	<p style="text-align: center;">Cengkeh 20%</p> 	0,66	0,2 6	0,2 6	0,4	0,39 5
3.	<p style="text-align: center;">Cengkeh 30%</p> 	0,3	0,2 8	0,2 2	0,2 2	0,25 5

Pengujian efektifitas uji minyak atsiri temulawak terhadap daya hambat bakteri disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Grafik 4. Grafik Efektifitas Minyak Atsiri Daun Cengkeh Terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Bakteri

Sedangkan potensi minyak atsiri cengkeh dalam menghambat pertumbuhan bakteri diantaranya adalah konsentrasi cengkeh 10% dan 20% memiliki rata-rata penghambatan yang lebih baik yaitu rata-rata 0,38 mikrometer dan 0,395 mikrometer dibandingkan dengan pemberian cengkeh konsentrasi 30% yang menghambat rata-rata 0,255 mikrometer. Sehingga dapat diurutkan potensi minyak atsiri yang efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri candida diantaranya adalah nilam, cengkeh, kemudian temulawak. Selain itu kontrol yang diujikan yaitu akuades, *chloramfenikol*, dan alkohol 96% berhasil diaplikasikan sebagai uji positif dan negatif

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dibandingkan dengan teori yang ada, penghambatan pertumbuhan bakteri oleh minyak atsiri merupakan salah satu alternatif pemanfaatan bahan alam yang tidak berbahaya untuk diaplikasikan bagi manusia sendiri dibandingkan dengan zat kimia berbahaya sebagai antibakteri. Proses penghambatan bakteri oleh minyak atsiri terjadi dikarenakan kemampuannya untuk berikatan dengan protein ekstraseluler dan dinding sel bakteri. Semakin bersifat lipofilik, maka semakin dapat melakukan disrupsi terhadap membran sel bakteri. Mekanisme penghambatannya diduga

melalui perusakan lipid bilayer membran sel akibat gugus hidrofobik yang dimilikinya. (Gunawan, 2010: 106-107). Sedangkan menurut Bakkali *et al.* (dalam Diastri, 2015: 12) mekanisme kerja minyak atsiri dalam membunuh bakteri adalah dengan cara mengubah permeabilitas membran sel, menghilangkan ion-ion dalam sel, menghalangi *proton-pump*, dan menurunkan produksi adenosin trifosfat (ATP). Minyak atsiri bersifat lipofilik yang dapat melewati dinding bakteri karena dinding bakteri terdiri atas polisakarida, asam lemak, dan fosfolipid. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan dinding sel sehingga dapat membunuh bakteri. Mekanisme kerja minyak atsiri adalah dengan menghambat stabilitas membran sel bakteri dan menyebabkan material sitoplasma menghilang.

Kandungan yang ada pada minyak atsiri nilam, temulawak, dan cengkeh sebagian besar memiliki kandungan unsur yang hampir sama yang berpotensi sebagai antibakteri. Berdasarkan pendapat dari Gunawan (2010) mengatakan bahwa sebagian besar komponen penyusun minyak atsiri adalah senyawa golongan fenil propana. Senyawa ini mengandung cincin fenil C6 dengan rantai samping berupa propana C3. Sebagai contoh senyawa golongan fenil ini adalah sinamilaldehida, anetol, eugenol, feniletil, anisaldehida, dan metil salisilat. Berdasarkan uji kandungan unsur pada minyak atsiri dihasilkan komponen utama senyawa minyak atsiri temulawak adalah Longipinene 27,15% area,  $\alpha$ -Curcumene 20,55% area, Phenol 13,37% area, dan Camphor 9,79% area (Sri Wahyuni dkk, 2015: 17-18). Dan komponen senyawa utama minyak atsiri nilam adalah patchouli alkohol 24,62% area,  $\Delta$ -Guaiene 17,07% area,  $\alpha$ -Guaiene 13,62% area,  $\alpha$ -Patchoulene 8,76% area. Senyawa Patchouli alkohol merupakan komponen utama minyak ilam bersama dengan  $\alpha$ -Patchoulene (Sonwa dalam Sri Wahyuni, 2015: 15-16). Sedangkan menurut teori terpena lain di bawah monoterpena yang berperan penting sebagai penyusun minyak atsiri adalah seskuiterpena dan diterpena. Sebagai contoh adalah kadinena (bisiklik seskuiterpena),  $\beta$ -kariofilena (bisiklik seskuiterpena), dan asam abietat (trisiklik seskuiterpena) (Gunawan, 2010: 106-107).

Selain itu menurut Putra dalam (Diastri, 2015: 11-12) sifat daya hambat senyawa fenol terhadap mikroba disebabkan karena gugus hidroksil yang

dimilikinya dapat berinteraksi dengan protein membran sel mikroba melalui ikatan hidrogen sehingga protein tersebut kehilangan fungsinya. Gugus hidroksil dapat menjadi donor hidrogen yang sangat baik untuk membentuk ikatan hidrogen dengan gugus karbonil pada protein. Protein dan fosfolipid merupakan senyawa penting yang menyusun membran sel mikroba, yang mana protein di sini berfungsi sebagai pengatur keluar-masuknya material dari dan ke dalam sel.

Oleh karena itu, kandungan yang dimiliki oleh ketiga jenis minyak atsiri yaitu nilam, cengkeh, dan temulawak terbukti berpotensi sebagai antibakteri. Karena memiliki beberapa kandungan utama seperti fenol yang dapat memberikan efek sebagai antibakteri pada bakteri uji hasil isolate dari Candi Borobudur.

#### D. Keterbatasan Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian diantaranya adalah pengambilan sampel yang hanya dilakukan pada satu tingkat lantai di Candi Borobudur sehingga keanekaragaman bakteri masih kurang, kemudian uji karakterisasi yang dilakukan masih belum mencapai tahap spesies sehingga belum dapat diketahui nama spesifik bakteri yang telah diuji.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil Karakterisasi Morfologi Bakteri Isolat Candi Borobudur ditemukan 3 jenis bakteri yang memiliki karakteristik sama dan 2 jenis berbeda pada sampel relief batu lapuk, dan 10 sampel bakteri dengan karakteristik morfologi berbeda pada batu kompak.
2. Hasil Uji Mikroskopi bakteri ditemukan 3 jenis bakteri dominan merupakan bakteri negatif (-) dan 2 jenis lainnya merupakan jenis bakteri gram positif (+) pada batu lapuk. Sedangkan pada batu kompak juga ditemukan 4 jenis bakteri gram positif dan 6 jenis bakteri gram negatif.
3. Hasil Pengujian Penghambatan Bakteri dengan Minyak Atsiri yang paling berpotensi menghambat adalah minyak nilam dengan konsentrasi 30% dengan rata-rata penghambatan 1,075 mikro meter. Sedangkan urutan minyak atsiri yang berpotensi dalam penghambatan pertumbuhan bakteri Candi Borobudur adalah minyak atsiri Nilam, Cengkeh, kemudian Temulawak.

#### **B. SARAN**

Saran yang dapat dilakukan selanjutnya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai identifikasi bakteri yang lebih lengkap dari isolat yang didapatkan di Candi Borobudur.
2. Perlu dilakukan pengujian menggunakan jenis minyak atsiri yang lain untuk mengetahui potensi yang lebih baik sebagai antibakteri.

## DAFTAR PUSTAKA

- AATCC Technical Manual. (2004). *AATCC Test Method 100-1999, Antibacterial Finishes on Textile Materials*,
- AATCC Technical Manual. (2004). *AATCC Test Method 147-1998, Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials*.
- Arrachman, Khairunnisa. (2016). *Mikrobiologi Pewarnaan*. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Chaerun, S.K. (2010). *Presentasi Kuliah Biomineralogi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Danni, G.H. (2011). *Proses Pembentukan Biopatina Pada Batuan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Daud Aris Tanudirjo. (2007). Borobudur yang Inspirational. *Jurnal*. Volume 1, Nomor 1. Hlm.: 1-4.
- Diastri, N.S.D. (2015). Aktivitas Antibakteri Minyak Atsiri Batang Sereh (*Cymbopogon Citratus*) Terhadap *Propioni bacterium Acnes* Secara *In Vitro*. *Skripsi*. Jember: UNJ.
- Golan, Oded. (2011). *Organic Chemistry, 5 Eth Prinsip dan Mekanisme Biomineralisasi The Authenticity of the James Ossuary and the Jehoash Tablet Inscriptions – Summary of Expert Trial Witnesses*. Rangkuman Testimoni, Israel Antiquities Authority: Tel Aviv.
- Gunawan Didik, Sri Mulyani. (2010). *Ilmu Obat Alam (Farmakognosi)* jilid I. Jakarta: Penebar Swadaya. Hal 106-107.
- Ihwan. (2011). Balai Konservasi Borobudur profil. <http://konservasiborobudur.org/balai-konservasi-borobudur.html>. diakses pada 1 Oktober 2017.
- \_\_\_\_\_. (2014). Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur. *Jurnal*. Volume 8, Nomor 2, Desember 2014, Hal 4-10.
- Koul, O., S. Walia, and G. S. Dhaliwal. (2008). *Essential oils as green pesticides: Potential and constrains. Biopesticides*. Int. 4 (1): 63-84.



- Krumbein, Wolfgang E. (1997). *Cultural Heritage – a Geomicrobiologist's Perspective. Biotechnologies in Cultural Heritage Protection and Conservation: Biodeterioration and its control Patina.*
- Madigan, Michael T; Martinko, John M; Dunlap, Paul V; dan Clark, David P. (2009). *Brock: Biology of Microorganism 12th editon.* Pearson Benyamin Cummings: San Francissco.
- Pratiwi, Arini Eka. (2015). Isolasi Seleksi dan Uji Aktivitas Antibakteri Mikroba Endofit dari Daun Tanaman *Garcinia benthami* Piere Terhadap *S. aureus*, *B. subtilis*, *E. coli*, *S. dysenteriae*, dan *S. typhimurium*. *Skripsi.* Jakarta: UIN.
- Pratiwi, Sylvia T. (2008). *Mikrobiologi Farmasi.* Gelora Aksara Pratama. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Riyanto. (2014). Minyak Atsiri sebagai Bahan Aktif Konservasi Benda Cagar Budaya. *Journal.* Volume 1, Nomor 1, Hal 4-10.
- Sastrohamidjojo, H. 2004. *Kimia Minyak Atsiri.* FMIPA Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sudaryani, T dan Sugiharti, E. (1992). *Budidaya dan Penyulingan Nilam.* Jakarta: Penebar Swadaya.
- Sri Wahyuni, dkk. (2015). Minyak Atsiri untuk Cagar Budaya Berbahan Batu. *Journal.* Volume 1, Nomor 1, Hal 15-18.
- Sri Wahyuni, dkk. (2016). Minyak Atsiri untuk Cagar Budaya Berbahan Batu. *Journal.* Volume 2, Nomor 2, Hal 17.
- Tatang Wahyudi dkk. (2011). Sintesis Nano Partikel Perak dan Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. *Journal.* Volume 1, Nomor 1, Hal 56.
- Undri Rastuti dkk. (2013). Aktivitas Antibakteri Minyak Atsiri Daun Pala Dari Banyumas Terhadap *Staphylococcus Aureus* dan *Escherichia Coli* Serta Identifikasi Senyawa. *Skripsi.* UNSOED: FMIPA.
- Wasitaningrum, Ika Dyah Ayu. (2009). Uji Resistensi Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* dari Isolat Susu Sapi Segar Terhadap Beberapa Antibiotik. *Skripsi.* Surakarta: UMS.
- Winda Diah P, Hari Setyawan, Dian Eka Puspita. (2010). *Kearsitekturan Candi Borobudur Seri-3.* Balai Konservasi Borobudur hal 1-2.