

**Review: Isolat Bakteri Endofit Penghasil Enzim Katalase dari Kelompok
Tanaman Obat**

ARTIKEL ILMIAH

Laporan Tugas Akhir

Yanti Krisdianti

11171033



**Universitas Bhakti Kencana
Fakultas Farmasi
Program Strata I Farmasi
Bandung
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**Review: Isolat Bakteri Endofit Penghasil Enzim Katalase dari Kelompok
Tanaman Obat**

ARTIKEL ILMIAH

Laporan Tugas Akhir

Diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Strata I Farmasi

**Yanti Krisdianti
11171033**

Bandung, 23 Juni 2021

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



(Soni Muhsinin, M.Si)
NIDN. 0421088202

Pembimbing Serta,



(Fenti Fatmawati, M.Si)
NIDN. 0410107902

ABSTRAK

Review: Isolat Bakteri Endofit Penghasil Enzim Katalase dari Kelompok Tanaman Obat

Oleh :

**Yanti Krisdianti
11171033**

Tanaman obat memiliki sifat terapeutik yang bersinergis dengan bakteri endofit. Tanaman obat dapat mengatasi stres abiotik maupun biotik dengan memproduksi metabolit sekunder. Terjadinya stres abiotik menghasilkan ROS, untuk mengatasinya dibantu dengan enzim katalase. Adanya bakteri endofit dapat mengefektifkan isolasi enzim katalase yang digunakan karena waktu yang singkat dan hasil yang diperoleh dalam skala besar. Review artikel ini bertujuan untuk mengetahui kolonisasi, identifikasi, dan isolasi bakteri endofit dari tanaman obat sebagai penghasil enzim katalase. Literatur review menggunakan pustaka primer yang berasal dari original artikel yang diterbitkan pada jurnal ilmiah yang terindeks Scopus, EBSCO, DOAJ, Google scholar dan Web of Science (WoS). Diperoleh sebanyak 63 artikel, 8 diantaranya sebagai pustaka primer. Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan bakteri endofit berkolonisasi dalam akar, batang, daun, bunga, dan biji dari *Thymus vulgaris*, *Curcuma longa*, *Panax ginseng*, *Aloe vera*, dan berbagai jenis tanaman obat lainnya. Isolasi enzim katalase dilakukan dengan mengekstraksi enzim menggunakan ultrasonikasi, kemudian dimurnikan dengan kromatografi penukar anion dan kuantifikasi pemurnian dengan metode Bradford. Spesies bakteri endofit yang teridentifikasi sebagian besar yaitu *Bacillus sp.* dengan aktivitas katalase positif.

Kata Kunci : Bakteri endofit, Katalase, Tanaman obat

ABSTRACT

Review: Isolate of Catalase Enzyme-Producing Endophytic Bacteria from the Medicinal Plant Group

By :

Yanti Krisdianti

11171033

*Medicinal plants have therapeutic properties that synergize with endophytic bacteria. Medicinal plants can overcome abiotic and biotic stress by producing secondary metabolites. The occurrence of abiotic stress produces ROS, to overcome is assisted by the enzyme catalase. The presence of endophytic bacteria can make the isolation of the catalase enzyme effective because of the short time and the results obtained on a large scale. This article review aims to determine the colonization, isolation, and identification of endophytic bacteria from medicinal plants as producers of catalase enzymes. The literature review uses primary literature derived from original articles published in Scopus indexed scientific journals, EBSCO, DOAJ, Google Scholar, and Web of Science (WoS). A total of 63 articles were obtained, 8 of them as main references. Based on the results of a literature review, endophytic bacteria have colonized the roots, stems, leaves, flowers, and seeds of *Thymus vulgaris*, *Curcuma longa*, *Panax ginseng*, *Aloe vera*, and various other medicinal plants. Isolation of the catalase enzyme was carried out by extracting the enzyme using ultrasonication, then purified by anion exchange chromatography and purification quantification by the Bradford method. Most of the endophytic bacterial species identified were *Bacillus* sp. with positive catalase activity.*

Keywords: Catalase, Endophytic bacteria, Medicinal plants

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah berkat rahmat dan hidayahNya, sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Review Isolat Bakteri Endofit Penghasil Enzim Katalase dari Kelompok Tanaman Obat”. Adanya penulisan laporan tugas akhir sebagai syarat kelulusan Program Strata I Farmasi Universitas Bhakti Kencana Bandung. Dalam proses pembuatan laporan tugas akhir ini, memperoleh kritik dan saran yang membangun serta arahan yang sangat berguna dari berbagai pihak khususnya pembimbing utama dan pembimbing serta. Penulis mengucapkan terimakasih yang tidak terhingga kepada :

1. Pembimbing utama yaitu Bapak Soni Muhsinin, M.Si dan pembimbing serta yaitu Ibu Fenti Fatmawati, M.Si yang selalu membimbing, mengarahkan, serta memberikan saran yang membangun dalam penulisan.
2. Seluruh sivitas akademik fakultas farmasi “Universitas Bhakti Kencana Bandung”.
3. Kedua orang tua dan saudara yang selalu mendo’akan, dan memberi dukungan baik secara moril maupun materil.
4. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan do’a, semangat dan *support* kepada penulis sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Rekan seperjuangan kelas FA1 yang telah menemani dan memberikan dukungan serta bantuan selama 4 tahun perkuliahan.

Demikian yang dapat penulis sampaikan. Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini terdapat banyak kesalahan baik sengaja maupun tidak sengaja serta dari segi ilmu yang masih kurang mumpuni, hal tersebut dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi bagi penulis untuk menjadi lebih baik lagi. Harapan kedepannya semoga dapat memberikan kebermanfaatan untuk kedepannya dengan adanya laporan Tugas Akhir ini.

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	9
BAB IV. PROSEDUR PENELITIAN	10
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	11
BAB VI. SIMPULAN DAN SARAN	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN	30

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Bakteri endofit yang diisolasi dari berbagai jenis tanaman obat	6
Tabel V.1 Ringkasan kajian literatur utama	11
Tabel V.2 Parameter kinetik dari katalase heme (Philibert <i>et al.</i> , 2016).....	20

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme meningkatkan pertumbuhan, kolonisasi dan faktor yang mempengaruhi keanekaragaman bakteri endofit pada tanaman inang (Afzal <i>et al.</i> , 2019)	5
Gambar 2. 2 Struktur yang mewakili dari tiga jenis katalase (Lon & Fraaije, 2015)	7

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: <i>Letter of Submitted</i> dan <i>Letter of Accepted The International Organization of Research - Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)</i>	30
Lampiran 2: Format Surat Pernyataan Bebas Plagiasi.....	32
Lampiran 3: Format Surat Persetujuan untuk dipublikasikan di media online	33
Lampiran 4: Hasil plagiarisme turnitin dari LPPM.....	34
Lampiran 5. Cover publish journal review	36
Lampiran 6: Bukti chat dosen pembimbing I dan pembimbing II perizinan penggunaan tanda tangan elektronik.....	37

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	MAKNA
ACC	“1-AminoCyclopropane-1-Carboxylate”
CAT	“Catalase”
ISR	“Induced Systemic Resistence”
NCBI	“National Center Biotechnology Information”
EDTA	“Ethylene Diamine Tetraacetic Acid”
rDNA	“Ribosomal Deoxyribonucleic Acid”
ROS	“Reactive Oxygen Spesies”
SOD	“Superoksida Dismutase”
rRNA	“Ribosomal Ribonucleic Acid”
PCR	“Polymerase Chain Reaction”
NA	“Nutrient Agar”
BLAST	“Basic Local Alignment Search Tool”
NB	“Nutrient Broth”
PGPB	“Plant Growth Promoting Bacteria”
LB	“Luria Bertani”
SDS-PAGE	“Sodium Doedecyl Sulfate-Poliacrylamide Gel”
PGPR	“Plant Growth Promoting Rhizobacteria”

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Tanaman obat telah dimanfaatkan masyarakat luas sebagai pengobatan herbal karena mengandung berbagai senyawa bioaktif dengan khasiat kuratif, selain itu sebagai prekursor untuk produksi atau pengembangan obat (Ogbe *et al.*, 2020; Roy & Roy, 2016). Tanaman obat memiliki sifat terapeutik yang bersinergis dengan bakteri endofit dan dijadikan pilihan terbaik dalam pemeriksaan bakteri endofit (Erjaee *et al.*, 2019; Kaul *et al.*, 2012). Dalam jaringan tanaman terdapat banyak bakteri yang hidup didalamnya, menghasilkan senyawa bioaktif dan memiliki karakteristik sama dengan tanaman inangnya yang disebut bakteri endofit (Hidayat *et al.*, 2018). Tanaman obat bertindak dengan cara tertentu ketika memilih endofit, karena dilihat berdasarkan metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman dan komposisi eksudat akar (Panigrahi *et al.*, 2020). Tanaman obat dapat memerangi kondisi stres salinitas dengan memproduksi senyawa metabolit sekunder yang berperan dalam interaksi antara tumbuhan dengan lingkungan untuk penyesuaian, adaptasi dan pertahanan (Ogbe *et al.*, 2020). Kemampuan tersebut dilakukan dengan adanya bakteri endofit yang memberikan manfaat secara langsung yaitu meningkatkan serapan hara dan memodulasi fitohormon terkait pertumbuhan/stres, seperti modulasi fitohormon auksin, etilen (ACC deaminase), sitokinin dan giberelin (Afzal *et al.*, 2019). Kemudian bakteri endofit secara tidak langsung dapat menghambat hama/patogen, sehingga mempengaruhi kelangsungan hidup tanaman seperti antibiosis (fitopatogen, pestisida), enzim litik (kitinase, protease), komposisi nutrisi (siderofor), dan ISR “(Induced Systemic Resistance)” (Afzal *et al.*, 2019; Kaushal *et al.*, 2018; Mohamad *et al.*, 2020). Contoh bakteri endofit pada tanaman inangnya antara lain *Bacillus sp.* pada tanaman *Thymus vulgaris* (Mohamad *et al.*, 2020), *Enterobacter sp.* pada akar tanaman lidah buaya (*Aloe vera*) (Silva *et al.*, 2020), *B. cereus*, *Pseudomonas putida*, *Clavibacter michiganensis* pada tanaman kunyit (*Curcuma longa*) dengan aktivitas katalase positif (Kumar *et al.*, 2016), *B. amyloliquefaciens* pada tanaman ginseng asia (*Panax ginseng*) (Tian *et al.*, 2018) *Kocuria rhizophila* dan *Cronobacter sakazakii* bermanfaat menghilangkan tekanan abiotik pada tanaman gandum (Afridi *et al.*, 2019). Bakteri endofit memiliki kelebihan dengan siklus hidup yang lebih singkat dari pada inangnya, sehingga sangat efektif digunakan sebagai media produksi enzim dalam skala besar karena waktu panen yang singkat dan tidak memerlukan lahan yang luas (Kuntari *et al.*, 2017).

Radikal bebas atau *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) merupakan hasil samping proses metabolisme alami (Simanjuntak & Zulham, 2020). ROS di produksi sel dengan metabolisme normal yang bereaksi secara kimiawi dengan biomolekul seluler (asam nukleat, protein, dan lipid) menyebabkan kerusakan aktivitas seluler (Nandi *et al.*, 2019). Mekanisme pertahanan antioksidan (sebagai metabolit, vitamin, dan enzim) yang dilakukan oleh sel dapat mengurangi efek berbahaya spesies reaktif yang dihasilkan (Nandi *et al.*, 2019). Katalase berperan penting dalam menghambat terbentuknya ROS dengan memecah H_2O_2 menjadi O_2 dan H_2O (Falade *et al.*, 2019). Selain itu katalase digunakan sebagai indikator kemampuan antioksidan tanaman, karena dapat mendetoksifikasi ROS yang ditimbulkan oleh tekanan abiotik (Yong *et al.*, 2017). Pada umumnya katalase berperan dalam menangani kondisi stres pada tanaman salah satunya stres oksidatif (Anjum *et al.*, 2016).

Katalase dapat ditemukan dalam berbagai organisme hidup. Katalase monofungsional sebagian besar ditemukan di organisme aerob (Zámocký *et al.*, 2010). Katalase peroksidase biasanya ditemukan pada jamur, archae dan bakteri, sedangkan katalase mangan biasanya hanya ditemukan pada bakteri (Glorieux & Calderon, 2017). Katalase pada bakteri berfungsi mengkatalisis H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 (Afridi *et al.*, 2019). Dikarenakan bakteri dalam kondisi tertentu menghasilkan H_2O_2 yang mengganggu dalam sistem metabolisme, jika tidak diuraikan bakteri akan mengalami kematian (Pulungan & Tumangger, 2018). Definisi katalase yaitu hemoprotein yang memiliki empat gugus heme yang bereaksi dengan senyawa peroksida sehingga zat beracun (H_2O_2) dapat diuraikan menjadi oksigen dan air (Glorieux & Calderon, 2017). Saat ini banyak bakteri endofit yang digunakan dalam produksi katalase seperti *Bacillus sp.* memiliki beragam katalase dengan karakteristik enzimatik yang baik (Xu *et al.*, 2014). Salah satu spesies *Bacillus* seperti *Bacillus pumilus* dapat memproduksi katalase dengan aktivitas katalitik tinggi sebesar 55.784 U/mg melalui enzim rekombinan yang di ekspresikan dalam *B. subtilis 168* dibuktikan dalam penelitian (Philibert *et al.*, 2016). Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan review artikel membahas tentang isolat dan karakteristik bakteri endofit penghasil enzim katalase dari kelompok tanaman obat.

1.2 . Rumusan Masalah

1. Bagaimana kolonisasi, identifikasi, dan isolasi bakteri endofit pada inangnya.

2. Tanaman obat apa saja yang memiliki aktivitas enzim katalase.
3. Bagaimana metode uji aktivitas dan isolasi enzim katalase pada bakteri endofit.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penulisan review artikel ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kolonisasi, identifikasi, dan isolasi bakteri endofit yang memiliki aktivitas katalase pada tanaman inang berdasarkan artikel ilmiah yang telah terpublikasi.
2. Mengetahui tanaman obat yang memiliki aktivitas enzim katalase dari beberapa artikel ilmiah yang telah terpublikasi.
3. Mengetahui metode uji aktivitas dan isolasi enzim katalase pada bakteri endofit yang digunakan dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

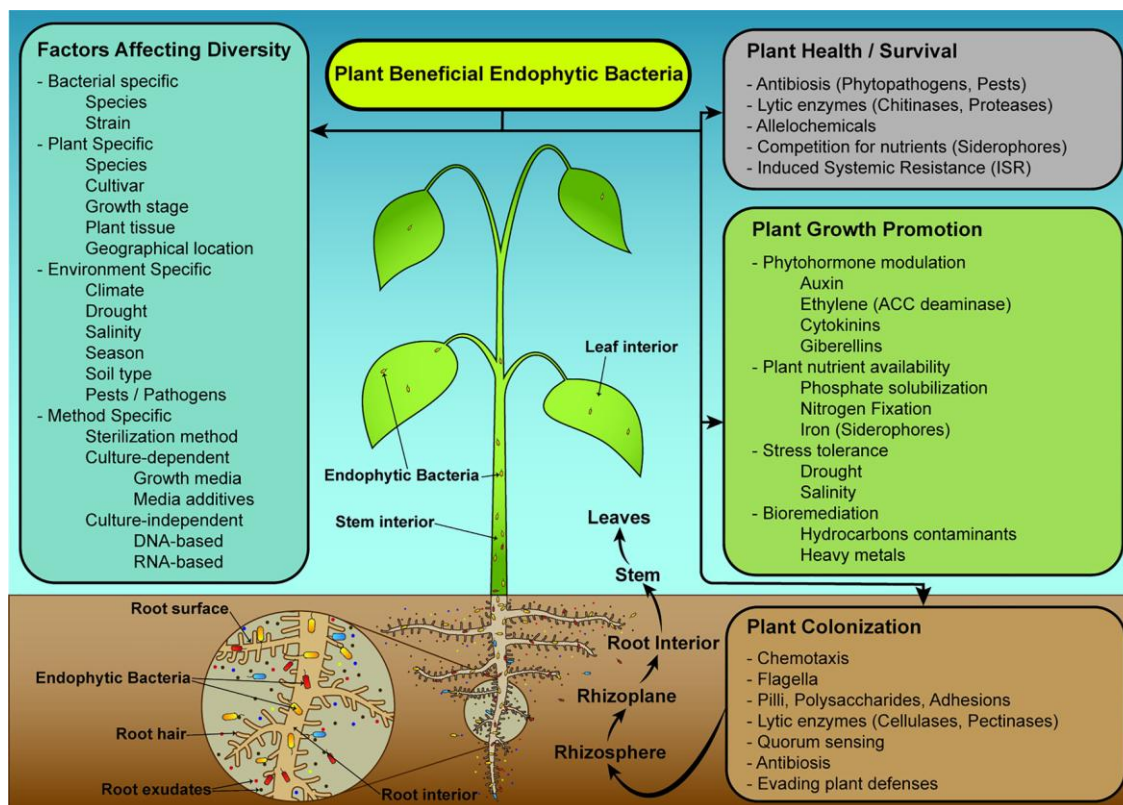
Manfaat review artikel ini dapat menjadi salah satu referensi tentang isolat bakteri endofit penghasil enzim katalase.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bakteri Endofit

Dalam jaringan tanaman terdapat bakteri yang hidup dan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam kondisi normal maupun dalam kondisi stres seperti stres oksidatif disebut bakteri endofit (Afzal *et al.*, 2019). Bakteri endofit memasuki inang melalui zona batang, daun, bunga, akar, dan kotiledon. Pada daerah akar, bakteri endofit menginfeksi jaringan tanaman terdekatnya secara sistemik (Afzal *et al.*, 2019). Bakteri endofit bertindak secara langsung pada perkembangan dan pertumbuhan tanaman melalui fiksasi nitrogen biologis, pelarutan fosfor, produksi fitohormon yang memberikan ketahanan terhadap faktor biotik dan membantu tanaman memperoleh nutrisi (Afzal *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2018). Bakteri endofit secara tidak langsung bermanfaat sebagai *Plant Growth Promoting* dengan mencegah fitopatogen melalui produksi antibiotik dan enzim litik (Afzal *et al.*, 2019).

Mekanisme yang digunakan bakteri endofit dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman memiliki tiga jalur metabolisme yang menghasilkan perkembangan tanaman. Mekanisme tersebut antara lain fitostimulasi, biofertilisasi dan pengendalian biologis (Santos *et al.*, 2018). Fitostimulasi merupakan fitohormon yang bertindak sebagai pengatur pertumbuhan tanaman. Biofertilisasi dalam prosesnya didukung oleh ketersediaan hara secara hayati. Kemampuan bakteri endofit untuk berkoloni pada jaringan akar, batang, dan daun tidak merugikan bakteri lain yang ada dalam tanah sehingga digunakan sebagai alternatif untuk memaksimalkan fiksasi nitrogen biologis oleh tanaman. Proses fiksasi nitrogen biologis bakteri endofit mengkombinasi nitrogen di atmosfer kemudian diubah menjadi amonia, dan mentransfer molekul tersebut ke dalam metabolisme tanaman (Santos *et al.*, 2018).



Gambar 2.1 Mekanisme meningkatkan pertumbuhan, kolonisasi dan faktor yang mempengaruhi keanekaragaman bakteri endofit pada tanaman inang (Afzal *et al.*, 2019)

Berdasarkan gambar 2.1 bakteri endofit memberikan keuntungan pada inang secara langsung dan tidak langsung. Secara langsung meningkatkan serapan hara dan memodulasi fitohormon terkait pertumbuhan/stres yang ditunjukkan (kotak hijau). Secara tidak langsung dengan mencegah hama/patogen menginfeksi tanaman yang ditunjukkan (kotak berwarna abu). Kemudian bakteri endofit memberikan manfaat dengan menyerang bagian dalam tanaman dicapai menggunakan serangkaian ciri kolonisasi yang ditunjukkan (kotak coklat). Kolonisasi diperoleh dari mulai rizosfer tanaman (bakteri endofit merespon eksudat akar tanaman), diikuti oleh *rizoplane* (permukaan akar) dan kolonisasi bagian dalam akar (Afzal *et al.*, 2019).

Metode konvensional yang digunakan untuk isolasi bakteri endofit dengan metode berbasis kultur (Afzal *et al.*, 2019). Kemudian hasil kultur bakteri tersebut diidentifikasi dengan pendekatan morfologi, fisiologis, biokimia, dan molekuler (Bhattacharya *et al.*, 2019; Panigrahi *et al.*, 2020; Pulungan & Tumangger, 2018). Pendekatan molekuler menunjukkan akurasi tinggi dari metode lainnya dan menggunakan penanda molekuler untuk klasifikasi filogenetik (Afzal *et al.*, 2019). Penanda molekuler 16S rRNA yang

sering digunakan dalam menentukan keterkaitan filogenetik (Afzal *et al.*, 2019; Erum *et al.*, 2017; Jia *et al.*, 2017).

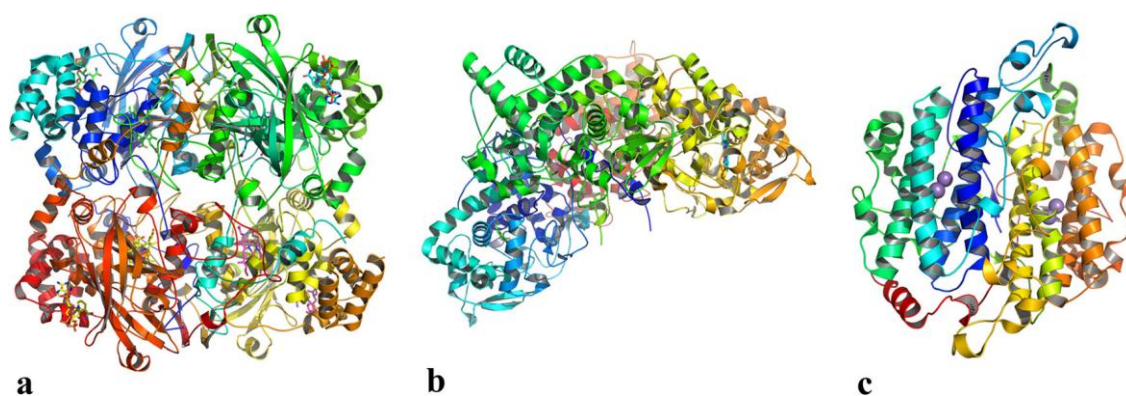
Tabel II.1 Bakteri endofit yang diisolasi dari berbagai jenis tanaman obat.

Tanaman	Bakteri endofit	Referensi
(<i>Thymus vulgaris</i>) Thymes	<i>Bacillus</i> , <i>Micobacterium</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Arthobacter</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Kocuria</i> , <i>dietzia</i> , <i>Lysinibacillus</i> , <i>Blastococcus</i> , <i>Cellulosimicrobium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Micromonospora</i>	(Mohamad <i>et al.</i> , 2020)
(<i>Mentha spicata</i>) Mint	" <i>Bacillus safensis</i> "	(Erjaee <i>et al.</i> ,
(<i>Alhagi maurorum</i>) Alhagi	" <i>Bacillus pumilus</i> "	2019)
(<i>Astragalus gossypimus</i>) Tragacanth	" <i>Bacillus pumilus</i> "	
(<i>Achiella millefolium</i>) Yarrow	" <i>Bacillus safensis</i> "	
(<i>Artemisia vulgaris</i>) Mugwort	" <i>Bacillus pumilus</i> "	
(<i>Solanum nigrum</i>) Black nightshade	" <i>Bacillus safensis</i> "	
(<i>Curcuma longa</i>) Kunyit	<i>Pseudomonas putida</i> , " <i>Bacillus cereus</i> ", " <i>Bacillus thuringiensis</i> ", " <i>Bacillus sp.</i> ", <i>Clavibacter sp.</i> , " <i>Bacillus pumilus</i> ".	(Kumar <i>et al.</i> , 2016)
(<i>Aloevera</i>) Lidah buaya	" <i>Bacillus megaterium</i> ", <i>Enterobacter tabaci</i> , <i>Enterobacter ludwigii</i> , <i>Enterobacter asburiae</i> , <i>Bacillus agri</i> , <i>Microbacterium sp.</i> , <i>Enterobacter sp.</i> , <i>Pantoea sp.</i> , <i>Chryseobacterium sp.</i> , <i>Lelliottia sp.</i> , " <i>Pseudomonas sp.</i> ", <i>Paraburkholderia sp.</i> , " <i>Lysinibacillus macrolides</i> ", dan <i>L. xlanilyticus</i> .,	(Silva <i>et al.</i> , 2020)
(<i>Panax ginseng</i>) Ginseng	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	(Tian <i>et al.</i> , 2018)
(<i>Tinospora cordifolia</i>) Bratawali	<i>Aneurinibacillus sp.</i> , <i>Bacillus sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i>	(Duhan <i>et al.</i> , 2020)
<i>Vernonia anthelmintica</i>	<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Pseudomonas chlororaphis</i> , <i>P. payanii</i> , <i>B. endophyticus</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> , <i>P. ananatis</i> , <i>B. atrophaeus</i> , <i>M. favus</i> , <i>Micrococcus endophyticus</i> .	(Rustamova <i>et al.</i> , 2020)

2.2 Enzim Katalase

Enzim katalase memiliki struktur tetramer yang terdiri dari empat sub-unit dengan ukuran 54-59 kDa dan total massa molekul sekitar 240 kDa (Anjum *et al.*, 2016). Katalase berfungsi untuk menguraikan hidrogen peroksida yang dipicu oleh stres abiotik (Anjum *et al.*, 2016). Mekanisme katalase dalam menguraikan H₂O₂ yaitu dalam

konsentrasi rendah H_2O_2 ($<10^{-6}$ M) katalase akan bekerja dalam mode peroksidatik yakni katalase dapat mengoksidasi sebagian besar donor hidrogen seperti etanol, fenol dan formaldehid, sedangkan dalam konsentrasi tinggi H_2O_2 ($>10^{-6}$ M) katalase akan bekerja sebagai katalitik yakni H_2O_2 yang berfungsi sebagai akseptor dan donor molekul hidrogen (Anjum *et al.*, 2016). Mekanisme katalase dalam mengkatalisis ROS salah satunya yaitu H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 . Pada reaksi pertama, satu molekul H_2O_2 akan mengoksidasi heme dalam katalase menjadi bentuk *oxyferryl*. Penghilangan besi (Fe) setara dengan satu oksidasi dan senyawa I berupa kation porfirin radikal dihasilkan dari satu cincin porfirin (Por). Kemudian reaksi selanjutnya reduktor senyawa I yaitu H_2O_2 sebagai regenerasi enzim “*resting-state*” (Enz(Por-Fe^{III})), air, dan oksigen (Anjum *et al.*, 2016; Lon & Fraaije, 2015). Katalase terkonsentrasi dalam semua jenis peroksisom diantaranya peroksisom daun, akar, kotiledon, glioksisom dan peroksisom yang tidak terspesifikasi (Su *et al.*, 2014).



Gambar 2.2 Struktur yang mewakili dari tiga jenis katalase: a. katalase heme monofungsional dari hati sapi (pdb code 3J7B) memiliki struktur tetramerik, b. Katalase-peroksidase yang mengandung heme dari *Mycobacterium tuberculosis* (pdb code 1SJ2) memiliki struktur dimer dan tetramer, c. katalase mangan (Mn) dari *Thermus thermophiles* (pdb code 2V8U) sebagian besar memiliki struktur dimer (Lon & Fraaije, 2015).

Berdasarkan struktur dan fungsinya katalase diklasifikasikan menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama dan kedua yaitu enzim yang mengandung heme dengan nama katalase monofungsional dan katalase-peroksidase. Sedangkan kelompok tiga, mengandung mangan (non-heme) (Zamocky *et al.*, 2010). Katalase monofungsional sebagian besar adalah homotetramer dengan ukuran 200-340 kDa. Katalase-peroksidase umumnya berupa homodimer dengan ukuran yang bervariasi antara 120-340 kDa, memiliki sensitifitas yang lebih tinggi dari katalase biasa terhadap nilai pH dan suhu. Katalase mangan ditemukan pada bakteri. Katalase mangan menggunakan dua ion

mangan disitus aktifnya dan membentuk struktur oligomer yang berukuran 170-210 kDa (Glorieux & Calderon, 2017).

Tanaman dan bakteri endofit memiliki persamaan menghasilkan sejumlah antioksidan seperti polifenoloksidase (PPO), katalase (CAT) dan superoksida dismutase (SOD) untuk mendukung tanaman dalam kondisi stres dan detoksifikasi logam berat (Ullah *et al.*, 2019). Stres salinitas merupakan salah satu stres abiotik utama yang bertanggungjawab langsung atas terhambatnya pertumbuhan tanaman. Hal itu menyebabkan penurunan produksi tanaman yang berdampak pada kerugian hasil pertanian (Afridi *et al.*, 2019). Enzim antioksidan yang dihasilkan oleh tanaman berfungsi untuk melindungi tanaman dari kerusakan oksidatif (Afridi *et al.*, 2019). Katalase sebagai pengurai H_2O_2 berperan penting dalam pertahanan stres pada tanaman (Yong *et al.*, 2017). Salah satunya sebagai indikator kemampuan antioksidan pada tanaman dengan mendetoksifikasi ROS yang dihasilkan pada respon stres. Selain itu katalase sangat penting untuk menghilangkan H_2O_2 yang diproduksi peroksisom dengan fotorespirasi (Yong *et al.*, 2017).

Penerapan enzim katalase dapat digunakan pada bidang medis, industri makanan, bioremediasi dan yang lainnya. Di bidang medis digunakan sebagai pengobatan stres oksidatif dan diagnosis klinis (Kaushal *et al.*, 2018). Pada industri makanan digunakan dalam pembungkus makanan yang menggunakan pengemasan sistem katalase-glukosa oksidase. Tidak hanya digunakan dalam industri makanan, katalase dalam pengemasan produk dengan cara pengemasan aktif dapat digunakan di bidang farmasi dan produk lain yang membutuhkan jangka waktu simpan lebih lama. Penggunaan enzim katalase dalam bahan kemasan bertujuan untuk menghemat biaya dan ramah lingkungan (Kaushal *et al.*, 2018). Kemudian pada bioremediasi, katalase digunakan sebagai indikator degradasi hidrokarbon dan aktivitas enzim katalase digunakan sebagai parameter terjadinya proses bioremediasi pada daerah tertentu (Kaushal *et al.*, 2018). Selain itu katalase digunakan dalam mengolah limbah pemutihan dari industri tekstil. Limbah industri tekstil banyak mengandung hidrogen peroksida. Katalase digunakan dalam proses bioremediasi yang mana H_2O_2 sebagai sumber oksigen dalam kondisi aerobik kemudian terjadi penguraian H_2O_2 menjadi air dan oksigen. Dalam produksi keju, katalase digunakan untuk menghilangkan spesies oksigen reaktif (H_2O_2) dari susu setelah pasteurisasi dingin (Kaushal *et al.*, 2018).

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu Penelitian

Review artikel ilmiah dilakukan sejak bulan November 2020 hingga Mei 2021.

3.2. Subyek Penelitian

Subjek penelitian dalam review artikel ini adalah bakteri endofit penghasil enzim katalase.

3.3. Metode pengumpulan Data

Literatur review menggunakan pustaka primer yang berasal dari original artikel yang diterbitkan di jurnal ilmiah yang terindeks Scopus, EBSCO, Google Scholar, DOAJ, dan Web of Science (WoS) berdasarkan kata kunci yang meliputi isolasi bakteri endofit, isolasi enzim katalase dan karakterisasi enzim katalase. Dilihat berdasarkan bakteri endofit yang menginfeksi pada tanaman obat kemudian metode isolasi, dan karakterisasi yang digunakannya. Setelah itu, metode pengujian aktivitas enzim katalase, isolasi dan karakteristik enzim katalase. Hal tersebut dapat mengetahui jenis atau spesies bakteri endofit yang memiliki potensi aktivitas enzim katalase yang dihasilkannya. Diperoleh sebanyak 63 artikel, 8 diantaranya sebagai pustaka utama.