

**SKRIPSI**

**DETEKSI GEN MERKURI REDUKTASE (*MerA*) PADA BAKTERI  
*Lactobacillus casei* DAN *Weissella confusa* SEBAGAI BAKTERI  
PEREDUKSI MERKURI**

**Disusun dan diajukan oleh**

**HIJRIANTI**

**H041171020**



**DEPARTEMEN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**DETEKSI GEN MERKURI REDUKTASE (*MerA*) PADA BAKTERI  
*Lactobacillus casei* DAN *Weissella confusa* SEBAGAI BAKTERI  
PEREDUKSI MERKURI**

**Disusun dan diajukan oleh**

**HIJRIANTI**

**H041171020**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 17 Februari 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

Dr. Zaraswati Dwyana, M.Si  
Nip. 1965512091990082001

Dr. Nur Haedar, M.Si  
Nip. 196801291997022001

Ketua Program Studi,



Dr. Nur Haedar, M.Si  
Nip. 196801291997022001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hijrianti  
NIM : H041171020  
Program Studi : Biologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul Deteksi Gen Merkuri Reduktase (*Mer A*) pada Bakteri *Lactobacillus casei* dan *Weissella confusa* sebagai Bakteri Pereduksi Merkuri adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila di kemudian hari Skripsi karya saya ini terbukti bahwa sebagian atau seluruhnya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 02 Februari 2022  
Yang Menyatakan



## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah Subhanahu wa ta'ala berkat rahmat serta nikmat yang telah banyak dilimpahkan oleh penulis, sehingga dapat menyelesaikan penulisan Skripsi yang berjudul Deteksi Gen Merkuri Reduktase (*Mer A*) pada Bakteri *Lactobacillus casei* dan *Weissella confusa* sebagai Bakteri Pereduksi Merkuri yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan di perguruan tinggi sehingga dapat memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulisan Skripsi ini tak lepas dari bantuan banyak orang yang senantiasa memberikan saran, motivasi, serta arahan sehingga skripsi ini dapat selesai dan dapat dipertanggungjawabkan oleh penulis insyaAllah.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah berperan penting dalam membantu terselesaikannya Skripsi ini. Utamanya keempat orang tua penulis yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini, menyemangati, mendoakan serta mantu penulis secara finansial hingga skripsi ini selesai. Kepada suami dan anak penulis yang telah mendoakan, membantu proses pengerjaan skripsi dan menyemangati penulis. Serta kepada dosen pembimbing utama penulis Ibu Dr. Zaraswati Dwyana, M.Si dan Ibu Dr. Nur Haedar, M.Si. selaku dosen pembimbing pertama dan selaku ketua Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu, mengarahkan, membimbing, dan memberi saran kepada penulis selama proses penyelesaian skripsi ini. Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng Amiruddin, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin serta seluruh staf yang telah membantu penulis dalam hal akademik dan administrasi.
2. Ibu Dr. Elis Tambaru, M.Si. selaku dosen Penasehat Akademik (PA) dan selaku penguji serta Ibu Dr. Zohra Hasyim, M.Si. selaku penguji, terima kasih untuk ilmu, saran, kritik serta bimbingannya selama perkuliahan.
3. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Biologi yang telah membimbing dan memberikan ilmunya dengan tulus dan sabar kepada penulis selama proses perkuliahan, serta kepada staf pegawai Departemen Biologi yang telah banyak membantu penulis baik dalam menyelesaikan administrasi maupun memberikan dukungan kepada penulis selama ini.
4. Kepada Sri Rahmawati Umsini selaku teman sepenelitian, terima kasih telah membantu segala kebutuhan penulis selama penelitian, mendengar keluhan dan memberikan solusi, menjadi support system dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan sesuatu yang sudah dimulai dan berjuang menyelesaikan skripsi di tengah keterbatasan penulis.
5. Kepada Fuad Gani, S.Si. selaku laboran laboratorium Mikrobiologi atas bimbingan dan arahnya selama penelitian, begitu pun kepada Heriadi, M.Si., Rihuh Wardani, S.Si, dan Syahdan, S.Si. atas nasihat, ilmu yang diberikan serta kemurahan hatinya.
6. Kepada Juniati Binti Lukman, S.Si., M.Biomed yang telah membimbing dan mengarahkan penulis menyelesaikan penelitian di laboratorium Pengembangan Sains di Science building MIPA.



7. Kepada sahabat penulis Fahira Anggraeni, Nahli Nahal, A. Auliya Utami, dan Zilhayai, Terima kasih selalu memberikan motivasi, doa, semangat, serta dengan sabar mendengar keluh kesah penulis selama menyelesaikan skripsi.
8. Kepada sahabat penulis Olivia Rahman, Syahrah Rahayu, Indah Herdiyanti, Nur Indah Sari, dan St. Nurhalima, Terima kasih selalu memberikan motivasi, doa, semangat,serta selalu menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsi.
9. Teman-teman Biovergent, Biologi 2017 yang tidak sempat saya sebutkan namanya satu persatu. Terimakasih atas kenangan yang telah disematkan dalam diri penulis, atas ilmu yang telah dibagikan serta terima kasih telah menemani langkah penulis hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Kepada segala pihak yang telah membantu penulis selama masa pendidikan semoga menjadi keberkahan atas keikhlasan segala pihak yang telah membantu penulis selama ini.

Penulis mengucapkan terima kasih banyak untuk semua pihak yang mendukung dan terlibat dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini, semoga kedepannya skripsi ini dapat berguna sebagai referensi tambahan bagi banyak orang.

Makassar, 02 Februari 2022

Penulis

## ABSTRAK

Pencemaran logam merkuri dapat dikurangi dengan aktivitas bakteri yakni bakteri yang memiliki kemampuan hidup pada lingkungan yang mengandung merkuri . bakteri ini disebut bakteri resisten merkuri yang dikode oleh gen mer. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi adanya gen Mer A (merkuri reduktase) pada bakteri *Lactobacillus casei* dan *Weissella confusa* yang berperan dalam mereduksi logam Hg<sup>2+</sup> yang bersifat toksik menjadi Hg<sup>0</sup> yang bersifat tidak toksik. Pengujian awal dilakukan dengan uji resistensi bakteri pada media yang mengandung merkuri. Berdasarkan uji resistensi bakteri dapat tumbuh dengan baik pada media yang mengandung merkuri 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, dan 15 ppm. Deteksi gen dilakukan dengan metode Polymerase Chain Reaction (PCR) dengan menggunakan primer MerA-F dan MerA-R, MerA2F dan MerA2R dan A1s-n.F dan A5-n.R. Hasil visualisasi elektroforesis menunjukkan tidak terdeteksi adanya pita ampikon yang menunjukkan lokasi gen Mer A pada kedua Isolat.

**Kata Kunci: MerA, Resistensi, Polymerase Chain Reaction**

## ABSTRACT

Toxicity of metal mercury can be reduced by the activity of bacteria, which is mercury resistant bacteria that can be able growth in mercury containing environment, the bacteria which are encoded by mer gen. This study aims to detection of mer A gene (mercury reductase) in *Lactobacillus casei* and *Weissella confusa* to reducing  $Hg^{2+}$  to be Hg volatile ( $Hg^0$ ). Initial test by resistance test on mercury containing medium. From resistance study, bacteria can grow at concentration 1ppm, 5 ppm, 10 ppm and 15 ppm mercury. Gene detection by polymerase chain reaction (PCR) method, and using some primers. There are MerAF and MerAR, MerA2F and MerA2R, A1s.nF and A5-n.R. The results showed electrophoresis visualization was not detected on amplicon which indicate the location of merA gene in both of the isolates.

**Keys: MerA. Resistance, Polymerase chain Reaction**



## DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Waktu dan Tempat Penelitian .....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
II.1 Bakteri Asam Laktat .....	5
II.2 Probiotik .....	6
II.2.1 Pengertian Probiotik.....	6
II.2.2 Sifat Fisiologi Bakteri Probiotik .....	7
II.2.3 Manfaat Bakteri Probiotik.....	8
II.2.4 Jenis-Jenis Probiotik.....	9
II.3 Toksisitas Hg pada Manusia .....	9
II.3.1 Pengertian Merkuri.....	9
II.3.2 Pencemaran Merkuri .....	10
II.3.3 Jenis-Jenis Merkuri .....	13
II.4 Potensi Bakteri Probiotik dalam Toksisitas Merkuri.....	14
II.4.1 Bakteri Resisten Merkuri .....	14
II.4.2 Gen <i>Mer A</i> dan Gen <i>Mer B</i> .....	15

II.5 Bakteri.....	18
II.5.1 Bakteri <i>Lactobacillus casei</i> .....	18
II.5.2 Bakteri <i>Weissella confusa</i> .....	19
BAB III .....	21
METODOLOGI PENELITIAN.....	21
III.1 Alat .....	21
III.2 Bahan.....	21
III.3 Prosedur Kerja.....	22
III.3.1 Sterilisasi Alat.....	22
III.3.2 Pembuatan Media .....	22
III.3.2 Preserasi Sampel.....	22
III.3.4 Uji Resistensi Bakteri Probiotik pada Beberapa Konsentrasi Merkuri23	
III.3.5 Pembuatan Stok .....	24
III.3.6 Ekstraksi DNA.....	24
III.3.7 Amplifikasi DNA dengan metode PCR.....	25
II.3.8 Deteksi Produk PCR dengan Elektroforesis .....	27
II.3.9 Pengolahan Data.....	27
BAB IV .....	28
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
IV.1 Uji Resistensi Isolat Bakteri <i>Lactobacillus casei</i> dan <i>Weissella confusa</i> pada Media yang Mengandung Beberapa Konsentrasi Hg .....	28
IV.2.1 Perhitungan Nilai <i>Optical Density</i> (OD) .....	28
IV.2.2 Perhitungan Jumlah Populasi <i>Lactobacillus casei</i> dan <i>Weissella</i> <i>confusa</i> .....	32
IV.2 Deteksi Gen Resisten Merkuri dengan Menggunakan Metode PCR.....	33
IV.2.1 Ekstraksi DNA .....	33
IV.2.2 Amplifikasi DNA dan Deteksi produk PCR dengan Elektroforesis .....	34
BAB V.....	39
KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
V.1 Kesimpulan.....	39
V.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA .....	40
LAMPIRAN.....	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Gen yang Mengkode Operon Mer pada Bakteri .....	17
2. Optimasi Amplifikasi PCR .....	27
3. Hasil Nilai <i>Optical density</i> (OD) sebelum dan setelah inkubasi .....	54
4. Tabel Nilai Standard Plate Count (SPC) Sebelum dan Setelah Inkubasi .....	54

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Skema Mekanisme Detoksifikasi Logam .....	16
2. Kultur bakteri <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> pada media yang mengandung beberapa konsentrasi merkuri .....	29
3. Grafik Pertumbuhan <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> Berdasarkan Nilai DO .....	29
4. Grafik Nilai <i>Standard Plate Count</i> <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> .....	32
5. DNA murni (a). <i>Lactobacillus casei</i> dan (b). <i>Weissella confusa</i> .....	34
6. Hasil Elektroforesis dari <i>Lactobacillus casei</i> dan <i>Weissella confusa</i> , .....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja Deteksi Gen Merkuri Reduktase ( <i>MerA</i> ) pada Bakteri <i>Lactobacillus casei</i> dan <i>Weissella confusa</i> sebagai Bakteri Pereduksi Merkuri .....	50
2. Skema Kerja Uji Resistensi Bakteri Probiotik pada Beberapa Konsentrasi Merkuri (Hg) .....	51
3. Skema Kerja Ekstraksi DNA Bakteri .....	52
4. Skema Kerja Amplifikasi DNA dengan Metode PCR .....	52
5. Tabel Nilai <i>Optical Density</i> (OD) sebelum dan setelah inkubasi .....	54
6. Tabel Nilai <i>Standard Plate Count</i> (SPC) sebelum dan setelah inkubasi .....	54
7. Gambar Proses Prekultur <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> dalam media MRSB .....	55
8. Gambar Proses Pembuatan media MRSB .....	55
9. Gambar Proses menimbang Merkuri .....	55
10. Gambar Pertumbuhan Bakteri <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> pada media yang mengandung merkuri Hg .....	56
11. Gambar Hasil Inkubasi <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> pada shaker .....	56
12. Gambar Perhitungan Nilai <i>Optical Density</i> (OD) <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> pada Spektrofotometer .....	56
13. Gambar Penuangan Media MRSA untuk perhitungan SPC .....	57
14. Lampiran Perhitungan Koloni Bakteri <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> dengan metode <i>Standard plate count</i> (SPC) .....	57
15. Lampiran Perhitungan SPC pada <i>L.casei</i> dan <i>W.confusa</i> (T1) .....	62
16. Lampiran Proses Ekstraksi DNA .....	69
17. Gambar Ekstraksi DNA .....	69
18. Gambar tahap Elusi .....	70
19. Gambar Optimasi Amplifikasi PCR .....	70

# BAB I

## PENDAHULUAN

### **I.1 Latar Belakang**

Bahan pencemar pada lingkungan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, peningkatan sumber daya alam secara langsung atau tidak langsung menyebabkan efek negatif dan dampak yang buruk bagi manusia. Bahan pencemar umumnya bersifat toksik, akibat toksisitas tersebut memicu terjadinya pencemaran. Contoh bahan pencemar adalah logam berat seperti merkuri yang memiliki daya racun yang sangat tinggi (Ainuddin dan Widyawati, 2017; Selayar *et al.*, 2015).

Merkuri (Hg) memiliki nama *hydrargyrum* yang berarti perak cair, merkuri telah digunakan secara luas di masyarakat baik di industri, kedokteran gigi, pertanian, laboratorium penelitian maupun rumah sakit. Paparan merkuri dalam waktu singkat dengan kadar merkuri yang tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan antara lain kerusakan paru-paru, muntah, peningkatan tekanan darah serta peningkatan denyut jantung (Prihatini dan Patar, 2018).

Keberadaan merkuri di alam terjadi melalui aktivitas gunung berapi, pelapukan batuan, oleh aktivitas manusia seperti proses pengolahan emas, pertambangan, pembakaran bahan bakar fosil dan lain-lain. Aktivitas tersebut memiliki risiko merusak lingkungan seperti terjadinya erosi dan perubahan bentuk permukaan tanah hingga menyebabkan masalah kesehatan yang bersumber dari ikan yang terkontaminasi paparan merkuri (Adlim, 2016).

Protein ikan mengikat dengan kuat sekitar 90% metil merkuri yang terakumulasi, meski telah dipanaskan dalam waktu lama maupun melalui proses

penggorengan tidak dapat melepaskan senyawa merkuri organik tersebut. Pada ikan dengan ukuran yang lebih besar kemungkinan akumulasi metil merkuri akan semakin besar disebabkan posisinya dalam rantai makanan yang cukup tinggi (Yanuar, 2017). Upaya pencegahan dampak akibat pencemaran merkuri telah dilakukan baik buatan maupun alami dengan menggunakan bakteri (Abdullah *et al.*, 2018). Toksisitas merkuri dapat dikurangi dengan aktivitas bakteri, yakni bakteri yang memiliki kemampuan hidup pada lingkungan yang tercemar logam merkuri yang disebut bakteri resisten merkuri (Khotimah dan Enny, 2014).

Bakteri resisten merkuri berpotensi sebagai probiotik, yang merupakan mikroba usus yang memperbaiki mikroekologi usus dan memiliki dampak positif bagi kesehatan karena mampu menekan pertumbuhan dan perkembangan mikroba patogen usus dan karsinogeniknya (Khalik *et al.*, 2016). Probiotik dapat diisolasi dari bakteri asam laktat, namun tidak semua bakteri asam laktat merupakan probiotik potensial. Probiotik potensial yakni probiotik yang memiliki sifat positif bagi kesehatan (Rambitan *et al.*, 2018). BAL antara lain memiliki ciri-ciri bakteri gram positif, tidak membentuk spora, berbentuk *coccus* atau *basil* dan bersifat katalase negatif (Nudyanto dan Elok, 2015). Menurut Nurhayati (2011) Bakteri asam laktat antara lain dari genus *Lactobacillus* dan *Weissella*. *Lactobacillus* merupakan bakteri gram positif, katalase negatif, berbentuk basil dan bersifat homofermentatif maupun heterofermentatif, sedangkan *Weissella* merupakan bakteri gram positif, katalase negatif, dan berbentuk kokobasil. *Lactobacillus* dan *Weissella* diketahui memiliki kemampuan mereduksi logam berat merkuri.

Bakteri resisten merkuri dikode oleh operon mer yang berada pada transposon, plasmid dan kromosom bakteri (Osborn *et al.*, 1997). Operon mer



memiliki beberapa variasi genetik yang mengkodekan protein fungsional untuk regulasi (*merR*), Transportasi (*merT*, *merP*) dan mereduksi (*merA*) serta *merB* untuk menghasilkan resistensi terhadap banyak organomercuri misalnya *phenylmercuric acetate* (PMA) dengan memutus Ikatan C-Hg sebelum proses reduksi ion merkuri. Operon mer ditemukan pada berbagai bakteri gram positif (Huang *et al.*, 2010).

Beberapa bakteri yang memiliki kemampuan resisten terhadap merkuri adalah bakteri aerob dan fakultatif yang mampu mengkatalis reduksi  $Hg^{2+}$  menjadi  $Hg^0$ . Mikroflora usus memiliki kemampuan dalam detoksifikasi logam berat karena memiliki kemampuan mengikat logam pada dinding selnya terutama bakteri gram positif seperti kelompok utama *Lactobacillus* (Khalik *et al.*, 2016). Menurut Alcantara *et al* (2017), *Lactobacillus casei* cocok dalam mereduksi  $CH_3Hg$  pada konsentrasi yang rendah. Berdasarkan penelitian Esmonda (2019), *Weissella confusa* mampu hidup dalam lingkungan dengan kandungan merkuri hingga 20 ppm.

Berdasarkan latar belakang di atas serta kemampuan resistensi dari isolat *L.casei* dan *W. confusa* terhadap merkuri maka perlu dilakukan penelitian untuk mendeteksi gen merkuri reduktase (*MerA*) pada kedua isolat tersebut.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui kemampuan bakteri *Lactobacillus casei* dan *Weissella confusa* dalam mereduksi merkuri secara in vitro
2. Mendeteksi adanya gen *MerA* pada isolat bakteri *Lactobacillus casei* dan *Weissella confusa*.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai probiotik pada spesies *L. casei* dan *W. confusa* yang memiliki gen *MerA* yang mengkode enzim merkuri reduktase dalam mereduksi  $\text{Hg}^{2+}$  menjadi  $\text{Hg}^0$  yang bersifat tidak toksik pada tubuh.

### **1.4 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2021 sampai Juli 2021. Di Laboratorium Mikrobiologi dan Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Bakteri Asam Laktat**

Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan kelompok bakteri yang telah digunakan ratusan tahun lalu pada makanan dan produk fermentasi alkohol (Saranraj *et al.*, 2013). BAL adalah kelompok bakteri gram positif, katalase negatif dan dapat memproduksi asam laktat dengan memfermentasi karbohidrat. Beberapa ciri yang dimiliki BAL adalah gram positif, tidak membentuk spora, bentuk *coccus* atau *bacil* dan umumnya katalase negatif Nudyanto dan Elok, 2015; Nurhayati, 2011).

BAL memiliki kemampuan mencegah dan menyembuhkan berbagai penyakit sehingga digolongkan sebagai salah satu probiotik (Rambitan *et al.*, 2018). BAL yang umum digunakan sebagai probiotik mayoritas berasal dari genus *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium* yang biasanya diisolasi dari saluran pencernaan manusia yang merupakan mikroflora alami usus (Anindita, 2020). Beberapa genus BAL antara lain *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Carnobacterium*, *Aerococcus*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* dan *Weissella* (Saranraj *et al.*, 2013).

BAL terbagi atas 2 kelompok yakni bakteri asam laktat homofermentatif dan bakteri asam laktat heterofermentatif. BAL homofermentatif menghasilkan dua molekul asam laktat dari fermentasi glukosa, sedangkan BAL heterofermentatif menghasilkan satu molekul asam laktat dan satu molekul etanol serta satu molekul karbon dioksida (Nurhayati, 2011). BAL juga memiliki

kemampuan memproduksi EPS (eksopolisakarida) sebagai bentuk perlindungan sel bakteri terhadap kondisi lingkungan ekstrim dan perlindungan diri dari sel lain dan bakteriofag. Menurut Saranraj *et al* (2013), BAL mampu memproduksi berbagai macam senyawa seperti asam organik, diasetil, hidrogen peroksida, bakteriosin atau bakterisida.

## **II.2 Probiotik**

### **II.2.1 Pengertian Probiotik**

Probiotik merupakan organisme hidup yang mampu hidup dalam tubuh manusia dan diharapkan menguntungkan bagi kesehatan dengan cara memperbaiki sifat-sifat yang dimiliki mikroba alami dalam tubuh (Yuniastuti, 2014). Probiotik merupakan mikroorganisme hidup (bakteri baik) yang terdapat dalam makanan fermentasi atau pada susu kultur yang bermanfaat bagi kesehatan seperti mencegah penyakit usus, intoleransi laktosa, peningkatan sistem imun, menjaga keseimbangan mikroba dalam usus, antihiperkolesterolemik, antihipertensi, dan mengatasi gangguan menopause (Shi *et al.*, 2016).

Probiotik dikembangkan dari sebuah teori yang disebut autointoksikasi oleh seorang ilmuwan Rusia pada tahun 1908 yaitu Elie Metchnikoff, menurut teori tersebut secara perlahan pembusukan (putrefeksi) oleh bakteri dalam usus besar menghasilkan senyawa-senyawa beracun yang masuk ke dalam peredaran darah atau disebut proses 'autointoksikasi' yang menyebabkan penuaan dan beberapa penyakit degeneratif. Bakteri yang dikonsumsi dari produk fermentasi yang mampu hidup dalam usus dan memberikan pengaruh positif terhadap mikroflora usus dengan menurunkan efek toksik dari mikroorganisme yang merugikan di usus (Yuniastuti, 2014).

## II.2.2 Sifat Fisiologi Bakteri Probiotik

Probiotik merupakan mikroorganisme hidup yang menguntungkan bagi kesehatan, menurut Chotiah dan Rini (2018) kriteria mikroorganisme probiotik yang ditetapkan oleh FAO (2002) adalah mikroorganisme harus teridentifikasi fenotip dan genotipnya, mampu bertahan di kondisi asam lambung serta garam empedu pencernaan, mampu memberi keuntungan pada usus, menempel pada mukus atau sel epitel usus, terdapat aktivitas antimikroba terhadap bakteri patogen, termasuk mikroorganisme yang aman atau merupakan mikroorganisme GRAS (*generally recognized as safe*), tidak menghasilkan toksin, memiliki sifat resisten terhadap antibiotik serta bukan termasuk bakteri patogen.

Syarat mikroorganisme sebagai probiotik (Supriatna *et al.*, 2016; Purwandhani dan Endang, 2003):

- a. Termasuk mikroflora alami jalur pencernaan manusia.
- b. Hidup pada makanan sebelum dikonsumsi.
- c. Memiliki resistensi terhadap asam lambung, beberapa antibiotik, dan lisosim.
- d. Mampu memproduksi asam dalam jumlah besar dan cepat.
- e. Menghasilkan komponen antimikroba seperti asam, bakteriosin, hidrogen peroksida, diasetil dan reuterin.
- f. Tidak bersifat patogen bagi konsumen yakni manusia dan hewan lainnya atau tidak mengganggu inang.
- g. Tidak mengganggu keseimbangan ekosistem setempat.
- h. Mikroorganisme dapat dengan mudah dikultur dan diperbanyak.
- i. Mampu hidup dan berkembang biak dalam usus, dan mampu menempel pada sel epitel intestinal manusia.

### II.2.3 Manfaat Bakteri Probiotik

Salah satu efek kesehatan dari probiotik adalah mencegah dan memperbaiki penyakit usus dengan meningkatkan sistem imunitas. Probiotik diketahui mampu menghambat efek *hypocholesterolemic*, berasimilasi kolesterol, ikatan kolesterol dengan permukaan sel, *co-precipitation* kolesterol, mengganggu pembentukan misel dalam proses absorpsi usus, dekonjugasi asam empedu oleh BSH, serta memperbaiki profil lipid. Probiotik diketahui mampu meningkatkan eksim atopik, penyembuhan luka serta bekas luka, dan memperbaiki proses peremajaan kulit. Probiotik dapat menunjukkan efek dermal yang menguntungkan yakni dengan memproduksi senyawa bakteri yang membangkitkan respon imunitas tertentu sehingga dapat meningkatkan fungsi lapisan pelindung kulit. Selain itu probiotik juga telah digunakan dalam pengobatan penyakit mulut dengan memperbaiki atau mencegah karies gigi dan infeksi periodontal dengan menghambat pertumbuhan bakteri karsinogen dan patogen periodon. Selain itu pula probiotik telah terbukti dapat mengurangi produksi oksida nitrat, menekan kadar prostaglandin dan matriks metalproteinase dalam saliva. Bau mulut pada halitosis juga dapat diperbaiki dengan cara menghambat pertumbuhan bakteri penghasil sulfida yang mudah menguap. Probiotik juga penting terkait stress seperti kecemasan dan depresi dengan memodulasi sumbu usus-otak. Namun masih perlu adanya perkembangan secara ilmiah untuk mengetahui lebih dalam mengenai aplikasi potensial probiotik bagi kesehatan manusia melalui perkembangan dan kemajuan yang signifikan (Shi *et al.*, 2016).

#### **II.2.4 Jenis-Jenis Probiotik**

Jenis-jenis probiotik umum meliputi beberapa spesies dari genus *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* dan beberapa genus lain yakni dari *Weissella*, *Streptococcus*, *Bacillus*, serta dari spesies ragi yakni *Saccharomyces*. Beberapa spesies *Bifidobacterium* antara lain *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium longum*. Dari jenis *Lactobacillus* antara lain *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus rhamnosus*. *Lactobacillus bulgaricus* (Yuniastuti, 2014).

Menurut Mutmainnah *et al* (2008), probiotik antara lain dapat berupa bakteri, atau jamur dan yang paling bersifat sebagai probiotik adalah bakteri, namun tidak semua bakteri dapat dengan baik digunakan sebagai probiotik, salah satunya adalah kelompok bakteri asam laktat. Umumnya bakteri asam laktat terdiri dari 4 genus yaitu *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* dan *Streptococcus*. Namun beberapa genus baru dimasukkan dalam kelompok bakteri asam laktat berdasarkan revisi taksonomi terakhir yaitu genus *Streptococcus* yang mencakup *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* dan *Vagococcus*.

### **II.3 Toksisitas Hg pada Manusia**

#### **II.3.1 Pengertian Merkuri**

Merkuri (Hg) merupakan jenis logam yang ditemukan tersebar di alam baik pada batu-batuan, biji tambang, air, udara, tanah dan akibat aktivitas manusia terutama pembangkit listrik tenaga batu bara, proses industri, insinerator limbah dan hasil penambangan merkuri, emas dan logam lainnya (Assa *et al.*, 2019; WHO, 2017). Merkuri atau *Hydrargyrum* merupakan logam berat berbentuk cair,



berwarna putih perak, mudah menguap pada suhu ruang, memadat pada tekanan 7.640 Atm, bersifat larut dalam asam sulfat dan asam nitrit, tetapi tahan terhadap basa. Hg memiliki nomor atom 80, dengan berat atom 200,59 g/mol, titik lebur - 38,9 °C, dan titik didih 356,6 °C (Mardin, 2012). Merkuri terdapat di alam dalam bentuk senyawa anorganik (merkuri klorida) dan senyawa organik (metil merkuri) (WHO, 2015). Merkuri yang dapat berubah menjadi toksik bagi tubuh manusia dalam bentuk metil merkuri (MeHg) (Assa *et al.*, 2019). Merkuri merupakan sejenis merkuri paling berbahaya dan telah lama digunakan oleh masyarakat di berbagai bidang. Metil merkuri diproduksi melalui proses metilasi anorganik senyawa merkuri oleh bakteri metanogenik dalam sedimen air, metil merkuri yang berlebihan di lingkungan akan berbahaya jika masuk ke dalam tubuh makhluk hidup (Dwyana *et al.*, 2019). Merkuri dapat merusak saraf, sistem pencernaan, sistem imunitas, mempengaruhi ginjal, paru-paru, kulit dan mata (WHO, 2015).

### **II.3.2 Pencemaran Merkuri**

Merkuri dalam perairan umumnya oleh aktivitas mikroorganisme akan diubah menjadi metil merkuri yang bersifat racun dengan daya ikat yang kuat dengan kelarutan tinggi pada tubuh hewan air sehingga merkuri terakumulasi melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi pada rantai makanan dalam tubuh biota air. Hal ini menyebabkan kadar merkuri pada hewan air dapat mencapai kadar berbahaya bagi kesehatan manusia yang mengkonsumsi hewan air dengan kandungan merkuri (Ishak, 2017).

Merkuri diklasifikasikan sebagai polutan yang paling berbahaya dan berpengaruh terhadap perairan laut dengan menyebabkan penurunan kualitas perairan (Ishak, 2017). Pada tahun 1950 pencemaran merkuri tingkat tinggi terjadi

di teluk Minamata di Jepang akibat pembuangan merkuri hal ini menjadi perhatian publik (Salam *et al.*, 2010; George, 2001). Akibatnya konsumsi makanan laut dari teluk Minamata menyebabkan kerusakan saraf dan adanya efek teratogenik (Salam *et al.*, 2010). Kejadian keracunan merkuri ini mengakibatkan adanya pencemaran merkuri pada ikan sehingga sekitar 1.000 orang meninggal (Reza *et al.*, 2016). Merkuri masuk ke dalam rantai makanan dalam bentuk metil merkuri akibat aktivitas bakteri yang mengubah bentuk unsur atau mengubah menjadi senyawa anorganik yang berbahaya (Salam *et al.*, 2010).

Toksisitas merkuri berkaitan dengan afinitasnya dalam membentuk ikatan kovalen dengan sulfhidril yang mengganggu sistem enzim dalam organ tubuh. Terjadinya keracunan merkuri disebabkan terbentuknya senyawa yang mudah diserap yaitu merkuri yang teroksidasi atau terikat dengan sulfida. Merkuri diabsorpsi dalam tubuh dengan inhalasi, pencernaan dan melalui permukaan kulit. Inhalasi merupakan jalur utama absorpsi senyawa merkuri dalam tubuh yakni sebesar 8%. Inhalasi terjadi dalam bentuk Hg yang diabsorpsi melalui alveoli paru-paru kemudian akan diubah menjadi bentuk teroksidasi ( $\text{Hg}^{2+}$ ) garam merkuri. Garam merkuri akan berdifusi ke lapisan lemak membran sel dinding alveoli kemudian diangkut oleh darah ke jaringan lainnya. Ion merkuri bersifat larut dalam lemak, hal ini menyebabkan ion akan ditransportasi melalui plasma sementara merkuri yang lebih mudah larut dalam air akan ditransportasi melalui sel darah merah. Absorpsi merkuri melalui kulit disebabkan sifatnya yang mudah larut dalam lemak sehingga memiliki efek kumulatif dan akan di deposit ke jaringan otak, hati, ginjal dan jaringan lainnya (Nonong, 2012).

Paparan jangka pendek dapat menimbulkan toksisitas akut berupa rasa

lemah, mual, muntah, diare disertai lendir dan darah, sakit kepala, sulit berbicara dan menelan, kulit pucat dan dingin, adanya iritasi membran mukosa bronkus, pneumonitis yang diikuti demam dan dispnea, rasa seperti terbakar pada tenggorokan dan perut, penyempitan lapang pandang dan kurang berkemih sampai berhenti sama sekali. Paparan yang terus menerus dapat menimbulkan gejala khas berupa eretisme (sangat mudah terangsang), tremor dan stomatitis. Gejala neurologis dan psikis, adanya gejala dini nonspesifik seperti anoreksia iritabilitas, penurunan berat badan, sakit kepala, cemas, depresi, adanya gangguan daya ingat, dan tidak percaya diri (Nonong, 2012). Pada ibu hamil yang mengkonsumsi ikan untuk pertumbuhan dan perkembangan neurologi janin karena kandungan omega 3 yang terdiri dari *docosahexaenoic* (DHA) dan *eicosapentaenoic* (EPA). Namun akibat akumulasi merkuri ke dalam tubuh ikan yang dikonsumsi dapat mengakibatkan efek toksik pada otak yang rentan terhadap paparan MeHg sehingga akan terjadi kerusakan otak pada bayi, retardasi mental, kebutaan dan kemampuan fungsi komunikasi menurun sampai tidak mampu berbicara (Susanti, 2013).

Pemakaian merkuri digunakan antara lain pada produk kecantikan dan penggunaan amalgam pada penambalan gigi yang telah digunakan ratusan tahun berpotensi menyebabkan keracunan merkuri (Prihatini dan Patar, 2018; Nonong, 2012). Toksisitas merkuri dalam darah akan mulai menunjukkan gejala keracunan jika kadar merkuri yang diserap dalam tubuh berkisar 50-100  $\mu\text{g}\%$ . Kadar normal merkuri dalam bahan pangan, tanah, perairan dan biji-bijian adalah 1-20 ppb, kadar maksimum merkuri yang diizinkan dan boleh untuk dikonsumsi adalah tidak melebihi 0,1 ppm (Prihatini dan Patar, 2018).

### II.3.3 Jenis-Jenis Merkuri

Merkuri dapat digolongkan sebagai merkuri organik dan anorganik. Merkuri organik antara lain senyawa alkil merkuri ( $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ), senyawa aril merkuri ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{HgCl}$ ) dan senyawa alkoksi aril merkuri ( $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{HgCl}$ ). Sedangkan merkuri anorganik antara lain  $\text{Hg}^0$ , Garam merkuri ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) dan garam merkuri ( $\text{HgCl}_2$ ). Merkuri anorganik terdiri dari unsur raksa dan garam merkuri yang terurai, sedangkan merkuri organik bersifat molekul dan terikat dengan atom karbon. Ikatan merkuri-karbon merupakan ikatan yang stabil disebabkan aktivitas merkuri yang rendah terhadap oksigen (Nonong, 2012).

Merkuri organik merupakan senyawa paling beracun dibandingkan dengan merkuri anorganik, merkuri organik seperti mono atau dimetil merkuri memiliki afinitas kuat terhadap gugus tiol pada protein (Adlim, 2016). Merkuri memiliki sifat racun yang kumulatif yang jika sejumlah kecil merkuri terserap dalam tubuh maka dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan gangguan kesehatan. Alkil merkuri merupakan komponen yang sangat beracun dengan sifat-sifat antara lain, mudah melakukan penetrasi dan terkumpul dalam jaringan otak disebabkan komponen ini mudah menembus membran, alkil merkuri memiliki waktu retensi lama dalam tubuh sehingga konsentrasi dalam tubuh semakin lama akan semakin rendah. Diperkirakan komponen ini memiliki waktu masuk dalam tubuh selama 70 hari (Juhriah dan Mir, 2016).

Menurut Yanuar (2017), merkuri terbagi atas 3 bentuk antara lain:

1. Logam Merkuri, berbentuk cair banyak digunakan pada termometer uap merkuri ini jika terhirup dapat mengakibatkan kerusakan pada paru-paru dan otak.
2. Garam Merkuri, garam merkuri atau merkuri anorganik terjadi ketika merkuri

dikombinasikan dengan unsur lain seperti klorin, sulfur atau oksigen. Merkuri anorganik berbentuk bubuk putih atau kristal kecuali merkuri sulfida (chinabar) berwarna merah dan menjadi hitam ketika terkena sinar matahari (Mardin, 2012). Merkuri oksida memiliki sifat hampir tidak larut di dalam air, banyak digunakan pada antiseptik topikal. Garam merkuri contohnya merkuri klorida ( $\text{HgCl}_2$ ).

3. Merkuri Organik, terbentuk ketika merkuri berikatan dengan karbon atau organomerkuri yang paling terkenal adalah metil merkuri ( $\text{CH}_3\text{HgCOOH}$ ). Metil merkuri dihasilkan dari proses mikroorganisme baik bakteri maupun fungi di alam (Mardin, 2012). Metil Merkuri yang secara komersial dipergunakan sebagai fungisida, disinfektan, zat pengalkil pada sintesis organik senyawa organometalik dan sebagai pengawet pada cat.

## **II.4 Potensi Bakteri Probiotik dalam Toksisitas Merkuri**

### **II.4.1 Bakteri Resisten Merkuri**

Bakteri mampu mendetoksifikasi logam berat seperti merkuri dengan mekanisme bioabsorpsi dimana diketahui bahwa dinding sel bakteri memiliki reaksi pertukaran ion dan asam teikoat, pengendapan melalui reaksi nukleasi dan kompleksasi antara ligan nitrogen dan oksigen. Bakteri gram positif memiliki daya serap yang tinggi disebabkan oleh kandungan peptidoglikan dan asam teikoat yang lebih dominan pada dinding selnya sedangkan bakteri gram negatif memiliki komponen yang lebih tipis sehingga penyerapannya terhadap logam lemah (Monachese *et al.*, 2012). Salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan bakteri memiliki daya tahan terhadap merkuri adalah adanya gen resisten merkuri (Dwyana *et al.*, 2019).

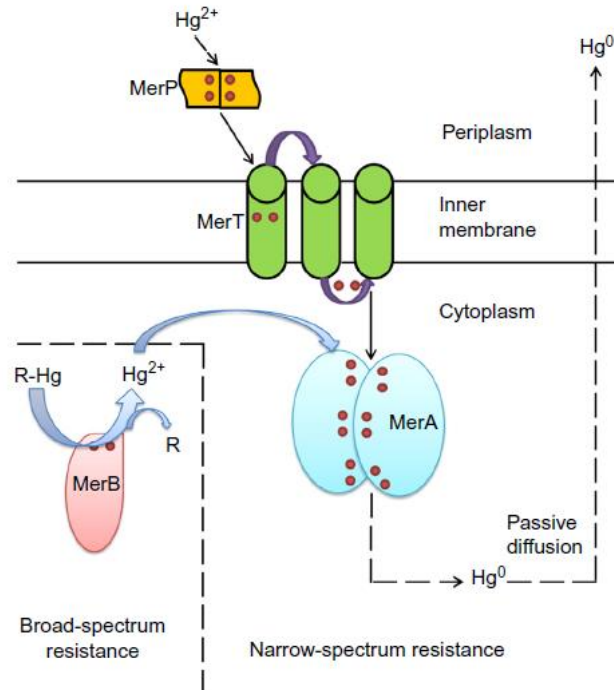
Bakteri resisten merkuri adalah bakteri yang mampu bertahan pada lingkungan yang mengandung merkuri, kemampuan ini disebabkan oleh gen resisten merkuri *mer operon* yang dimiliki oleh bakteri (Ayu, 2015). Dapat dikatakan bakteri resisten merkuri jika bakteri mampu tumbuh pada medium yang mengandung merkuri lebih dari 5 mg/L (Sakinah dan Enny, 2014).

Bakteri memiliki beragam tingkat resistensi terhadap merkuri yang dipengaruhi oleh kecepatan pengambilan nutrisi, kecepatan pertumbuhan mikroorganisme dan metabolismenya. Bakteri resisten merkuri dapat ditemukan baik pada bakteri gram negatif maupun bakteri gram positif, dimana gen resisten merkuri terdapat pada plasmid yang dikode oleh transposon. Gen yang mengkode protein enzim yang disebut operon mer (Gen *mer*) (Kepel *et al.*, 2015).

#### **II.4.2 Gen *Mer A* dan Gen *Mer B***

Salah satu mekanisme detoksifikasi yang banyak dipelajari adalah mekanisme yang dimediasi oleh operon. Operon mer merupakan operon yang dapat diinduksi secara positif dan bertanggungjawab dalam detoksifikasi merkuri dengan cara mengubah bentuk merkuri organik (CHg) menjadi bentuk anorganik ( $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ ) yang dimediasi oleh *merB* atau *organomercurial lyase* dengan cara mengkonversi merkuri anorganik menjadi elemen/ volatile merkuri oleh *merA* atau *mercuric ion reductase*. Bakteri yang mengandung operon mer memiliki banyak gen fungsional seperti *merA*, *merB*, *merT*, *merP*, dan *merF* serta operator dan promotor. (De *et al.*, 2014 and De *et al.*, 2008). Gen *merA* mengkode pembentukan enzim merkuri reduktase untuk detoksifikasi merkuri anorganik (ion merkuri). Sedangkan gen *merB* mengkode pembentukan enzim organomercuri liase (enzim *merB*) dan merkuri reduktase (enzim *merA*) (Kepel *et al.*, 2015).

Gen *mer* operon terdapat pada plasmid, kromosom, transposons dan integron (Sakinah dan Enny, 2014).



**Gambar 1.** Skema Mekanisme detoksifikasi logam (De *et al.*, 2014)

Mekanisme detoksifikasi logam metil merkuri dalam bentuk Hg<sup>2+</sup> dan ion Hg<sup>2+</sup> yang akan berikatan dengan *merC* atau *merT*, sedangkan Hg<sup>2+</sup> di luar bakteri akan masuk ke periplasma bersama dengan sistein residu dari *merP*. *merP* akan mentransfer Hg<sup>2+</sup> ke sisa *mer T* atau *mer C*. selanjutnya ion Hg<sup>2+</sup> akan menembus membran sitoplasma melalui proses reaksi pertukaran ligan ke NADPH yang bergantung pada reduksi merkuri atau gen *merA*. Reduksi merkuri akan memberikan dua elektron kepada NADPH, sehingga Hg<sup>2+</sup> berubah menjadi Hg<sup>0</sup> yang bersifat volatil tanpa memproduksi energi bagi bakteri, selanjutnya Hg<sup>0</sup> dikeluarkan dari sel (Dwyana *et al.*, 2019).



**Tabel 1.** Gen yang Mengkode Operon Mer pada Bakteri (Scheelert, 2006)

Protein	Fungsi
<i>Mer A</i> (Mercury reductase)	Mereduksi $Hg^{2+}$ menjadi $Hg^0$
<i>Mer B</i> (Organomercurial lyase)	Memutus ikatan C-Hg
<i>Mer C</i>	Transport $Hg^{2+}$ ke membran dalam sel
<i>Mer D</i>	Sebagai penekan mer operon
<i>Mer E</i>	Transport $Hg^{2+}$ ke membran dalam sel
<i>Mer F</i>	Protein pengikat yang memfasilitasi volatilisasi $Hg^0$
<i>Mer G</i>	Mencegah penyerapan organomerkuri
<i>Mer P</i>	Protein pengikat $Hg^{2+}$ periplasm
<i>Mer R</i>	Regulator responsif merkuri dari mer operon
<i>Mer T</i>	Protein transport yang memungkinkan dapat menyerap $Hg^{2+}$

*Mer A* (merkuri reduktase) merupakan protein pusat dalam proses reduksi yang dikode oleh lokus *Mer* dan menggunakan NADPH sebagai reduktornya. Namun gen/protein pada lokus ini bervariasi dan ekspresinya diatur oleh regulator  $Hg^{2+}$  pada sitosol dengan bantuan protein integral seperti *merT*, *merP* dalam memfasilitasi penyerapan  $Hg^{2+}$  ke sitosol. *MerA* memiliki domain amino terminal yang bersifat fleksibel dan homolog dengan protein pengikat merkuri (*MerP*). *Mer P* menggunakan dua residu sistein untuk menggantikan nukleofil seperti  $Cl^-$  yang mengkoordinasi  $Hg^{2+}$ . Selanjutnya *merP* mengganti  $Hg^{2+}$  dengan bantuan sistein dari tiga transmembran helix pertama dari *MerT*. Transfer  $Hg^{2+}$  dari *merT* ke sitosol melibatkan pasangan sistein dalam sitosol pada membran dalam. Produk *merC* dan *merF* bertindak sebagai agen dalam sistem transport merkuri. Selain itu terdapat gen fungsional *merG* yang menghasilkan resistensi fenil merkuri, dengan mengurangi permeabilitas sel dari fenil merkuri. *MerA* mengkatalis konversi

thiol-acid  $\text{Hg}^{2+}$  menjadi volatile  $\text{Hg}^0$  dengan afinitas yang kurang signifikan dibandingkan dengan ligan yang lain. Enzim tersebut memerlukan NADPH yang ada pada sitoplasma. Beberapa bakteri diketahui resisten terhadap merkuri organik dan anorganik (bakteri resisten merkuri spektrum luas) dengan struktur dan fungsional lainnya bakteri ini memiliki gen tambahan yang disebut *merB*. *MerB* dikode oleh *Organomercurial lyase* yang berperan dalam melepas ikatan C-Hg agar  $\text{Hg}^{2+}$  terlepas ke sitoplasma untuk dilanjutkan oleh *merA* dan mengubahnya menjadi volatil (De *et al.*, 2014).

## **II.5 Bakteri**

### **II.5.1 Bakteri *Lactobacillus casei***

Spesies *Lactobacillus* banyak ditemukan pada habitat yang kaya akan nutrisi, biasanya berasosiasi dengan tumbuhan, hewan, manusia, maupun pada makanan (Duar *et al.*, 2017). Genus *Lactobacillus* memiliki 261 spesies yang teridentifikasi pada Maret 2020 dengan keberagaman tingkat fenotif, ekologi dan genotif (Zheng *et al.*, 2020). *Lactobacillus* termasuk gram positif, fermentatif, anaerob fakultatif, dan tidak membentuk spora (Zheng *et al.*, 2020). *Lactobacillus* merupakan kelompok besar dari bakteri gram positif yang mampu hidup dalam saluran usus manusia, bakteri ini memiliki potensi dalam mengikat dan mengabsorpsi logam yang masuk ke dalam tubuh manusia (Monachese *et al.*, 2012). *Lactobacillus casei* merupakan bakteri gram positif, bersifat non motil, tidak membentuk spora dan bersifat katalase negatif, sel berbentuk batang dengan ukuran 0,7 - 1,1 x 2,0 – 4,0  $\mu\text{m}$ . Peptidoglikan dan polisakarida, tidak memiliki lapisan asam teikoat pada dinding selnya serta memiliki komponen DNA sekitar 45-47% (Gobbetti dan Minervini, 2014).

*Lactobacillus casei* diketahui tidak mampu untuk memfermentasi laktosa dan sukrosa, serta mampu tumbuh pada suhu 10°C tetapi tidak pada suhu 45°C. *Lactobacillus* memiliki beberapa strain yang mampu menghasilkan asam rasemat karena aktivitas L (+) dan D (-) laktat dehidrogenase (Ginaldi, 2016).

Strain *L. casei* termasuk bakteri probiotik, salah satu dari beberapa mikroorganisme dari kelompok ini adakah *L.casei* Shirota (LcS) yang saat ini digunakan dalam produksi yakult, hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya kemampuan hidup yang tinggi selama pembuatan dan penyimpanan tetapi juga ketahanan yang kuat pada kondisi asam lambung dan empedu. Konsumsi *L.casei* dapat meningkatkan frekuensi buang air besar terlepas dari gejala seperti sembelit, produk susu fermentasi yang mengandung *L.casei* terbukti bermanfaat dalam pengobatan dan pencegahan sembelit karena secara efektif dapat meningkatkan motilitas usus serta mempersingkat waktu transit kolon (Gobbetti dan Minervini, 2014). Menurut Alcantara *et al* (2017) *Lactobacillus casei* dapat secara efisien mengikat Hg(II) dan CH<sub>3</sub>Hg pada dinding selnya. Dalam penelitian Piedra *et a*, (2019). *Lactobacillus casei* secara signifikan memiliki kemampuan dalam mengurangi permeabilitas Hg(II) pada ikan todak. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jyoti and Nainar, (2019) yang mempelajari efek *L.casei* terhadap merkuri pada tikus yang diberi teh yang mengandung merkuri, diketahui bahwa *L.casei* menunjukkan penurunan bioavailabilitas metil merkuri pada tikus yang terpapar merkuri.

## **II.5.2 Bakteri *Weissella confusa***

*Weissella* merupakan anggota dari kelompok bakteri asam laktat, termasuk gram positif, katalase negatif, tidak membentuk endospora dengan bentuk kokus

atau batang, spesies dari *Weissella* bersifat heterofermentatif obligat dimana mampu memfermentasi karbohidrat dengan D (-) - atau campuran D (-) – dan L (+) - hasil akhir berupa produk asam laktat, asam asetat, etanol dan CO<sub>2</sub> sebagai produk akhir utama dari produksi gula (Enan *et al.*,2018; Fusco *et al.*, 2015). Spesies *Weissella* sampai saat ini dideskripsikan ada 19 spesies yang telah diisolasi dari berbagai habitat seperti kulit, pada susu, feses hewan, air liur, ASI, feses dan vagina manusia, dari tumbuhan dan sayuran serta dari berbagai makanan fermentasi. *W.confusa* mampu tumbuh pada suhu 45°C. (Fusco *et al.*, 2015).

Dalam penelitian Rojas *et al* (2015), melaporkan bahwa *Weissella sp.* memiliki kemampuan dalam hal mereduksi merkuri. Penelitian yang dilakukan oleh Esmonda, (2019). Bahwa bakteri *W.confusa* memiliki kemampuan resisten terhadap merkuri, berdasarkan kemampuannya untuk tumbuh pada media yang mengandung merkuri hingga 20 ppm.