

**ISOLASI DAN UJI PENGENDALIAN BAKTERI *Vibrio*
DARI AIR LIMBAH TPI GUDANG LELANG BANDAR LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**NOPA ELIANA SIMANJUNTAK
NPM 2117021040**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ISOLASI DAN UJI PENGENDALIAN BAKTERI *Vibrio* DARI AIR LIMBAH TPI GUDANG LELANG BANDAR LAMPUNG

OLEH

NOPA ELIANA SIMANJUNTAK

Tempat Pelelangan Ikan (TPI) merupakan tempat yang berpotensi menghasilkan limbah cair yang dapat menyebabkan pertumbuhan bakteri patogen, termasuk *Vibrio*, yang berisiko mencemari ikan laut sehingga mengakibatkan ikan laut cepat membusuk dan nilai jualnya menurun serta menimbulkan bahaya penyakit. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri ini adalah pemanfaatan bahan alami (ekstrak jintan hitam) dan bakteriofage sebagai agen biokontrol *Vibrio*. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi bakteri *Vibrio*, menguji kemampuan bahan alami (ekstrak jintan hitam) dalam menghambat pertumbuhan *Vibrio* dan mengetahui keberadaan bakteriofage yang mampu melisis bakteri *Vibrio*. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Januari 2025 hingga Mei 2025 di Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung. Metode penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode observatif. Tahap penelitian meliputi pengambilan sampel dari TPI Gudang Lelang Bandar Lampung, isolasi dan pengayaan bakteri *Vibrio*, karakterisasi bakteri *Vibrio*, uji pengendalian secara kimia (ekstrak jintan hitam) terhadap pertumbuhan *Vibrio*, preparasi sampel, pengayaan sampel, dan uji pengendalian secara biologi (uji plak bakteriofage). Analisis data dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian diperoleh tiga isolat *Vibrio* dengan kode isolat VN1, VN2, VN3, ekstrak jintan hitam mampu menghambat pertumbuhan *Vibrio* dengan diameter zona hambat isolat VN1 sebesar 1,77 mm, isolat VN2 sebesar 1,26 mm, dan isolat VN3 sebesar 1,39 mm yang termasuk dalam kategori daya hambat lemah, dan bakteriofage yang mampu melisis *Vibrio* terdapat pada isolat VN3 dari pengenceran 10^{-4} .

Kata kunci: agen biokontrol, bakteriofage, jintan hitam, TPI Gudang Lelang, *Vibrio*

ABSTRACT

ISOLATION AND TEST OF CONTROL OF *Vibrio* BACTERIES FROM WASTE WATER OF TPI GUDANG LELANG BANDAR LAMPUNG

By

NOPA ELIANA SIMANJUNTAK

The Fish Auction Place is a place that has the potential to produce liquid waste that can cause the growth of pathogenic bacteria, including *Vibrio*, which is at the risk of contaminated marine fish, causing it to rot quickly and decrease its selling value and pose a disease hazard. Efforts can be made to control the growth of these bacteria by utilizing natural ingredients (black cumin extract) and bacteriophage as *Vibrio* biocontrol agents. This study aims to isolate *Vibrio* bacteria, test the ability of natural ingredients (black cumin extract) to inhibit *Vibrio* growth and determine the presence of bacteriophage that can lyse *Vibrio* bacteria. This research was conducted from January 2025 to May 2025 at the Microbiology Laboratory of FMIPA, University of Lampung. This research method was conducted using observational method. The research stages included sampling from TPI Gudang Lelang Bandar Lampung, isolation and enrichment of *Vibrio* bacteria, characterization of *Vibrio* bacteria, chemical control test (black cumin extract) against *Vibrio* growth, sample preparation, sample enrichment, and biological control test (bacteriophage plaque test). Data analysis was carried out using quantitative descriptive methods. The results of the study obtained three *Vibrio* isolates with isolate codes VN1, VN2, VN3, black cumin extract was able to inhibit *Vibrio* growth with the diameter of the inhibition zone of isolate VN1 of 1.77 mm, isolate VN2 of 1.26 mm, and isolate VN3 of 1.39 mm which is included in the category of weak inhibition, and bacteriophage capable of lysing *Vibrio* is isolate VN3 from dilution 10^{-4} .

Keywords: biocontrol agent, bacteriophage, black cumin, TPI Gudang Lelang, *Vibrio*

**ISOLASI DAN UJI PENGENDALIAN BAKTERI *Vibrio*
DARI AIR LIMBAH TPI GUDANG LELANG BANDAR LAMPUNG**

Oleh

NOPA ELIANA SIMANJUNTAK

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

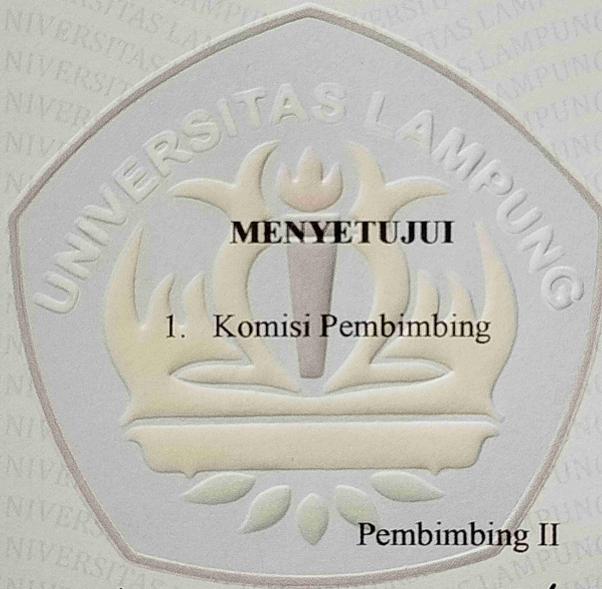
Judul Skripsi : **ISOLASI DAN UJI PENGENDALIAN BAKTERI
Vibrio DARI AIR LIMBAH TPI GUDANG LELANG
BANDAR LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Nopa Eliana Simanjuntak**

NPM : 2117021040

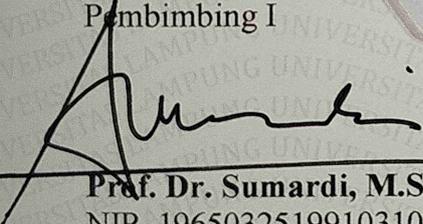
Program Studi : Biologi/S1-Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



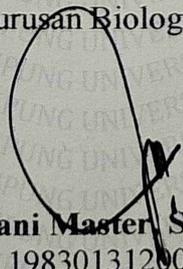
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. Sumardi, M.Si
NIP. 196503251991031003


Dr. Kusuma Handayani, S.Si, M.Si
NIP. 197808192008012018

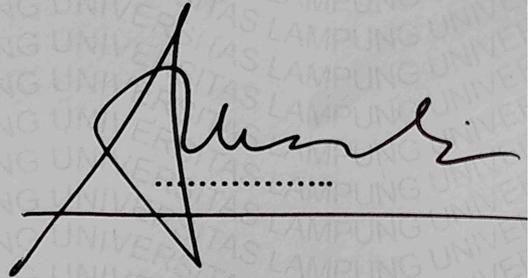
2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Unila


Dr. Jani Master, S.Si, M.Si
NIP. 198301312008121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Sumardi, M.Si.**



.....

Sekretaris : **Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si.**

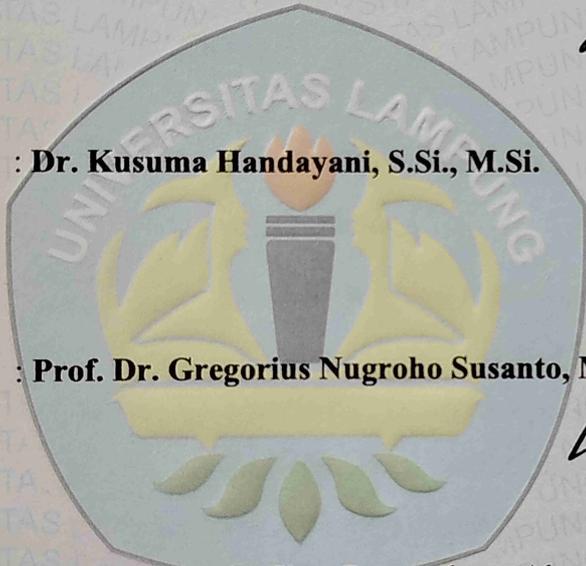


.....

Anggota : **Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc.**



.....



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **26 Agustus 2025**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nopa Eliana Simanjuntak
NPM : 2117021040
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Isolasi dan Uji Pengendalian Bakteri *Vibrio* dari Air Limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung”** merupakan karya tulis ilmiah hasil pemikiran sendiri baik gagasan, data, maupun pembahasannya berdasarkan pengetahuan serta informasi yang telah saya dapatkan, skripsi ini saya susun dengan mengikuti pedoman dan norma akademik yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila pada kemudian hari ditemukan kecurangan dalam karya tulis ilmiah ini, saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 26 Agustus 2025
Yang menyatakan,



Nopa Eliana Simanjuntak
NPM. 2117021040

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Ngabang, Kalimantan Barat, pada tanggal 01 November 2002 dari pasangan Bapak U. Simanjuntak dan Ibu L. Sijabat. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Gg. Kenanga 2 No. 56, Kelurahan Way Kandis, Kecamatan Tanjung Senang, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis bersekolah di SDN 1 Perumnas Way Halim

Bandar Lampung pada tahun 2009. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan ke sekolah menengah pertama di SMPN 19 Bandar Lampung. Setelah lulus dari sekolah menengah pertama, penulis melanjutkan sekolah di SMAN 15 Bandar Lampung pada tahun 2018 hingga lulus 2021, kemudian melanjutkan ke Perguruan Tinggi melalui jalur SNMPTN pada tahun 2021 sebagai mahasiswa di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Unila sebagai anggota Bidang Komunikasi, Informasi, dan Humas periode 2022. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada bulan Januari 2024-Februari 2024 di BRIN Ancol, Jakarta Utara dengan judul **“Uji Potensi Mikroba Pendegradasi Plastik dari Danau Asin Satonda, Flores, NTB”** serta melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode 2 selama 40 hari pada bulan Juni-Agustus 2024 di Desa Braja Dewa, Way Jepara, Lampung Timur. Penulis membuat skripsi dengan judul **“Isolasi dan Uji Pengendalian Bakteri *Vibrio* dari Air Limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung”**.

MOTTO

“Hanya dekat Allah saja aku tenang, dari pada-Nyalah keselamatanku.
Hanya Dialah gunung batuku dan keselamatanku, kota bentengku, aku tidak akan
goyah.”

(Mazmur 62:2-3)

“Tuhan adalah Penolongku. Aku tidak akan takut. Apakah yang dapat dilakukan
manusia terhadap aku?”

(Ibrani 13:6)

“Jika Tuhan bisa merubah siang menjadi malam maka Ia juga bisa merubah
bebanmu menjadi berkat”

-Chatrine Liu –

“No one is you and that is your power”

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Allah Bapa Yang Maha Kuasa
Kupersembahkan hasil karya kecilku ini kepada:

Kedua orang tuaku yang sangat aku sayangi, Bapak U. Simanjuntak dan Ibu
L. Sijabat yang selalu memotivasi, senantiasa memberi dukungan dalam setiap
perjalanan dan langkahku, selalu mencurahkan kasih dan sayangnnya kepadaku
serta tidak pernah berhenti memanjatkan doa untukku.

Kakak-kakakku tersayang, Surtana Dewika, Selly Martina, Nadeta, dan adikku
Nanda Cahyonma yang selalu mendoakan dan mendukung segala usahaku

Bapak dan Ibu dosen yang selalu memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan
membantuku dalam menggapai sebuah kesuksesan selama menjalani studi
S1 Biologi.

Almometer Universitas Lampung tercinta yang telah menyediakan kesempatan
bagi penulis untuk menuntut ilmu dan membangun pengalaman selama masa
studi.

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan Allah Bapa Yang Maha Kuasa atas rahmat dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini tepat pada waktunya dengan judul **“Isolasi dan Uji Pengendalian Bakteri *Vibrio* dari Air Limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung”** yang menjadi salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang sudah memberikan motivasi, bantuan, bimbingan, serta saran kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah sabar dan bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan masukan, saran, perhatian, motivasi, dan semangat dalam penyempurnaan skripsi ini.
4. Ibu Lili Chrisnawati, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan motivasi kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

5. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah sabar dan bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan masukan, saran, perhatian, motivasi dan semangat dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc., selaku Dosen Pembahas yang telah sabar dan bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan kemudahan, motivasi, kritik, dan saran dalam penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan pengalaman belajar yang bermanfaat kepada penulis.
8. Kedua orang tuaku, Bapak U. Simanjuntak dan Ibu L. Sijabat, yang selalu memberikan semangat, mendoakan, memberikan kasih sayang, motivasi, serta kesabaran kepada penulis demi kelancaran dan kemudahan segala urusan.
9. Ketiga kakakku Surtana Dewika, Selly Martina, dan Nadeta, adikku Nanda Cahyonma, yang selalu memberikan semangat, mendoakan, membantu menyelesaikan berbagai permasalahan, dan senantiasa memberikan kebahagiaan kepada penulis.
10. Laboran Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung, Ibu Oni Mastuti, S.Si., dan teman-teman satu tempat penelitian di Laboratorium Mikrobiologi serta Kak Fathiyah Mustina yang telah bekerjasama, saling mendukung, membantu dan menyemangati saat penelitian berlangsung hingga penulisan skripsi.
11. Sahabatku Ladesti Maria Fransiska Manullang, Tiara Anisa Yolanda, Galuh Ayu Pratiwi, Dwi Safitri, Mawaddatul Mutmainnah, Akila Syahla Nauli Nasution, dan Adela Syifa Nauli Nasution yang selalu menyempatkan waktu untuk menyemangati dari awal proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuanganku di kampus Sinta Solehia, Dhefia Putri Mirella, Khomsatun Ba'diyah, Frenita Supiyani, Maya Rizki Alfajar, Martina Widia br Nainggolan, Chika Sri Ariani yang selalu membersamai

dalam setiap suka-duka proses perkuliahan dan penyelesaian skripsi serta teman-teman Biologi Angkatan 2021, terima kasih telah kebersamai selama masa kuliah. Semoga kesuksesan selalu menyertai teman-teman semuanya.

Semoga dengan kebaikan, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan pahala dari Tuhan Allah Bapa Yang Maha Kuasa, dan semoga skripsi ini dapat berguna dan memberikan manfaat bagi para pembaca dan menjadi acuan untuk penelitian yang akan dilakukan di kemudian hari.

Bandar Lampung, 26 Agustus 2025
Penulis

Nopa Eliana Simanjuntak

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Kerangka Pikir.....	4
1.5 Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 TPI Gudang Lelang Bandar Lampung	6
2.2 Jintan Hitam (<i>Nigella sativa</i> L.)	7
2.3 Bakteriofage	8
2.3.1 Karakteristik Bakteriofage.....	8
2.3.2 Mekanisme Fage dalam Menginfeksi Bakteri	10
2.3.3 Keunggulan dan Kelemahan Bakteriofage	12
2.4 <i>Vibrio</i> sp.	13
2.5 Potensi Bakteriofage sebagai Biokontrol Bakteri Patogen.....	17
2.5.1 Bakteriofage dalam Mengontrol <i>E. coli</i>	17
2.5.2 Bakteriofage dalam Mengontrol <i>Bacillus cereus</i>	17
2.5.3 Bakteriofage dalam Mengontrol <i>Salmonella</i>	18
2.5.4 Bakteriofage dalam Mengontrol <i>Staphylococcus aureus</i>	18
2.5.5 Bakteriofage dalam Mengontrol <i>Listeria monocytogenes</i>	19
2.5.6 Bakteriofage dalam Mengontrol <i>Vibrio</i> spp.....	19
2.6 Mekanisme Bakteriofage dalam Mengontrol Bakteri Patogen	20
III. METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Metode Penelitian.....	22
3.3.1 Pengambilan Sampel	22
3.3.2 Isolasi dan Pengayaan Bakteri <i>Vibrio</i>	22
3.3.3 Karakterisasi <i>Vibrio</i>	23

3.3.3.1 Makroskopis	23
3.3.3.2 Mikroskopis	23
3.3.4 Uji Pengendalian secara Kimia (Ekstrak Jintan Hitam) terhadap Pertumbuhan <i>Vibrio</i>	23
3.3.5 Preparasi Sampel.....	24
3.3.6 Pengayaan Sampel	25
3.3.7 Uji Pengendalian secara Biologi (Uji Plak Bakteriofage)	25
3.4 Analisis Data.....	26
3.5 Diagram Alir.....	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Karakter Makroskopis Isolat <i>Vibrio</i>	28
4.2 Karakter Mikroskopis Isolat <i>Vibrio</i>	31
4.3 Hasil Uji Pengendalian Secara Kimia (Ekstrak Jintan Hitam) terhadap Pertumbuhan <i>Vibrio</i>	33
4.4 Hasil Uji Pengendalian Secara Biologi (Uji Plak Bakteriofage)	36
V. KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Spesies <i>Vibrio</i> yang Bersifat Patogen, Non Patogen atau Simbion	15
2. Morfologi Koloni Isolat <i>Vibrio</i>	28
3. Pengamatan Mikroskopis Hasil Isolasi <i>Vibrio</i>	31
4. Uji Daya Hambat Ekstrak Jintan Hitam Konsentrasi 100% terhadap Isolat <i>Vibrio</i>	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. TPI Gudang Lelang Bandar Lampung.....	7
2. Struktur Bakteriofage	9
3. Siklus Litik dan Lisogenik Bakteriofage	11
4. Tiga Titik Pengambilan Sampel Air Limbah	22
5. Cara Pengukuran Diameter Zona Hambat.....	24
6. Diagram Alir Penelitian	27
7. Koloni Hasil Isolasi <i>Vibrio</i> pada Media TCBSA	30
8. Hasil Pengamatan Mikroskopis Isolat VN1	32
9. Hasil Pengamatan Mikroskopis Isolat VN2.....	32
10. Hasil Pengamatan Mikroskopis Isolat VN3.....	32
11. Keberadaan Plak Bakteriofage Pada Isolat VN3.....	37
12. Isolat VN1.....	49
13. Isolat VN2.....	49
14. Isolat VN3.....	49
15. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN1U1)	49
16. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN1U2)	49
17. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN1U3)	49
18. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN2U1)	50
19. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN2U2)	50
20. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN2U3)	50
21. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN3U1)	50
22. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN3U2)	50
23. Dokumentasi Uji Ekstrak Jintan Hitam (VN3U3)	50
24. Penyiapan <i>Cooler box</i> dan sterilisasi botol kaca gelap	50

25. Pengambilan Sampel secara Aseptis.....	50
26. Titik Koordinat Sampel Air 1	51
27. Titik Koordinat Sampel Air 2	51
28. Titik Koordinat Sampel Air 3	51
29. Pengayaan Sampel untuk Isolasi <i>Vibrio</i>	51
30. Resting Media agar TCBSA	51
31. Isolasi Sampel pada Media TCBSA.....	51
32. Pengecatan Bakteri.....	52
33. Inokulasi kultur <i>Vibrio</i> 12 Jam pada Media SWCA	52
34. Meratakan suspensi dengan kapas lidi steril	52
35. Preparasi Sampel.....	52
36. Pengayaan Sampel untuk Filtrat Fage.....	52
37. Suspensi disentrifuse menggunakan <i>Mini centrifuge</i>	52
38. Pembuatan Kultur <i>Vibrio</i> pada Media TSB + CaCl ₂	53
39. Pengenceran Filtrat hasil Pengayaan.....	53
40. Penambahan Kultur <i>Vibrio</i> dalam Media TSB + CaCl ₂	53
41. Memasukkan TSA <i>soft agar</i> berisi suspensi bakteri.....	53

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tempat Pelelangan Ikan (TPI) di Indonesia, seperti TPI Gudang Lelang di Bandar Lampung merupakan tempat yang digunakan untuk berbagai kegiatan jual-beli ikan, termasuk penampungan, pemeliharaan, pengolahan, dan pengangkutan ikan. Namun, TPI dapat menghasilkan limbah yang cukup besar, khususnya limbah cair, yang dapat berdampak buruk pada lingkungan sekitar jika tidak dikelola dengan baik (Kalendesang dkk., 2024). Limbah tersebut dapat menjadi tempat pertumbuhan bakteri patogen seperti *Vibrio* yang menyebabkan penyakit pada ikan maupun manusia.

Salah satu sumber kontaminasi oleh bakteri *Vibrio* adalah air yang mengalir dari aliran air limbah pencucian tempat ikan dijual diduga mengandung berbagai jenis bakteri akibat sanitasi yang kurang memadai, yang dapat menyebabkan kontaminasi pada pangan. Keberadaan *Vibrio* di lingkungan perairan, terutama air limbah di TPI Gudang Lelang, dapat meningkatkan risiko kontaminasi makanan laut yang dikonsumsi. Air limbah di TPI Gudang Lelang sering kali menjadi tempat berkembang biaknya bakteri, termasuk *Vibrio*, karena kondisi lingkungan yang lembap dan adanya sumber nutrisi dari sisa-sisa ikan (Sampaio *et al.*, 2022).

Menurut Mewengkang (2010), pada sampel ikan Cakalang segar di Pasar Pinasungkulan Karombasan Manado, menunjukkan kualitas mikrobiologis sampel ikan Cakalang segar dari pasar tersebut kurang baik, karena sampel

mengandung *Vibrio* dengan total koloni $2,29 \times 10^5$ CFU/gr dibandingkan ikan Cakalang asap. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, *Vibrio* sp. ditemukan pada gonad ikan Cakalang yang masih segar. Hal itu disebabkan karena penanganan pada gonad ikan Cakalang yang tidak higienis, sehingga terkontaminasi dengan lingkungan. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Wagey dkk. (2013) menunjukkan bahwa ikan Kuwe di Teluk Manado terkontaminasi oleh *V. cholerae* dengan angka *Most Probable Number* (MPN) yang cukup tinggi, dikarenakan kondisi lingkungan dan aktivitas manusia di sekitar perairan tersebut. *V. cholerae* ditemukan pada bagian insang dengan nilai $2,4 \times 10^5$ MPN/100 g, daging dengan nilai berkisar $1,8 \times 10^4$ hingga $2,4 \times 10^5$ MPN/100 g, dan perut ikan dengan nilai berkisar $3,3 \times 10^4$ hingga $2,4 \times 10^5$ MPN/100 g.

Vibrio bertanggung jawab atas berbagai kondisi klinis, termasuk kolera, gastroenteritis, septikemia, dan infeksi luka. Sebanyak dua belas spesies *Vibrio* telah diidentifikasi sebagai agen penyakit yang dapat ditularkan melalui makanan kepada manusia, yaitu: *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio furnissi*, *Vibrio fluvialis*, *Vibrio damsela*, *Vibrio mimicus*, *Vibrio hollisae*, *Vibrio cincinnatiensis*, *Vibrio harveyi*, dan *Vibrio metchnikovii* (Al Shabeeb et al., 2016).

Oleh karena meningkatkan jumlah bakteri *Vibrio* yang bersifat patogen, maka perlu dilakukan upaya untuk pengendaliannya. Pengendalian mikroba dapat dilakukan secara fisik, kimia, dan biologi. Pengendalian secara fisik dilakukan dengan pemanasan, penyinaran ultra violet, sinar X, dan lain sebagainya (Ariyadi dan Dewi, 2009). Pengendalian secara kimia dilakukan dengan memanfaatkan senyawa yang ada pada ekstrak tanaman seperti jintan hitam. Jintan hitam memiliki kandungan aktif yaitu *thymoquinone*, *tannin*, dan *thymohidroquinone* yang berfungsi sebagai antibakteri (Sentoso dan Siregar, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Linianti dkk. (2017) menunjukkan ekstrak jintan hitam mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Vibrio harveyi*.

Selain itu pengendalian secara biologi dapat dilakukan dengan penggunaan mikroorganisme, salah satunya adalah bakteriofage. Bakteriofage, atau fage, adalah virus yang hanya dapat menginfeksi bakteri secara spesifik (Takwin *et al.*, 2024) dan berpotensi dalam mengendalikan bakteri patogen, termasuk *Vibrio* spp. (Tan *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al.* (2017) menunjukkan terapi bakteriofage efektif dalam mengendalikan *V. harveyi* pada abalone *greenlip*. Kemudian, penelitian Le *et al.* (2020b) juga menemukan aplikasi bakteriofage litik dapat mengurangi tingkat kematian larva tiram yang disebabkan oleh *V. alginolyticus*. Selain itu, penelitian oleh Le *et al.* (2020a) menunjukkan perlakuan bakteriofage efektif dalam mendekontaminasi *Vibrio* spp. pada mikroalga yang diproduksi secara komersial, yang berfungsi sebagai sumber makanan utama bagi larva tiram selama proses pembenihan. Bakteriofage dapat ditemukan di berbagai tempat yang menjadi habitat bakteri, seperti di saluran pembuangan, tempat limbah, sungai, serta urin dan tinja pasien (Ritonga dan Savira, 2023). Bakteriofage telah diakui sebagai agen biokontrol yang berpotensi dalam pengelolaan patogen di akuakultur, terutama di lingkungan terkontaminasi seperti air limbah di TPI Gudang Lelang (Hardanti dkk., 2018).

Penggunaan bakteriofage dianggap lebih menguntungkan dibandingkan antibiotik, karena bakteriofage hanya menginfeksi patogen yang menjadi target, sehingga tidak mengganggu mikroflora normal di usus. Selain itu, bakteriofage dapat memperbanyak diri pada bakteri dan menghancurkan sel bakteri inang secara efektif melalui proses lisis, yang membunuh bakteri yang terinfeksi. Dengan kelimpahan yang tinggi di alam, keberadaannya sebagai mikroflora alami dalam makanan, serta kemampuannya untuk menginfeksi dan membunuh sel bakteri inang dengan spesifisitas yang tinggi (Hardanti dkk., 2018), sehingga bakteriofage memiliki potensi yang menjanjikan sebagai biokontrol terhadap bakteri patogen, khususnya *Vibrio* sp. Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu dilakukan isolasi *Vibrio* dan uji pengendalian bakteri *Vibrio*

menggunakan bahan alami (ekstrak jintan hitam) dan bakteriofage yang diperoleh dari air limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengisolasi bakteri *Vibrio* dari air limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung.
2. Menguji kemampuan bahan alami (ekstrak jintan hitam) dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Vibrio*.
3. Mengetahui keberadaan bakteriofage yang mampu melisiskan bakteri *Vibrio* dari air limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu menjadi bahan kajian dan informasi ilmiah tentang pemanfaatan bahan alami dan bakteriofage yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen untuk penelitian lebih lanjut maupun aplikasi di bidang mikrobiologis.

1.4 Kerangka Pikir

Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Gudang Lelang di Bandar Lampung berperan dalam berbagai kegiatan jual-beli ikan. TPI ini dapat menghasilkan limbah cair yang dapat mencemari lingkungan apabila limbah tersebut tidak dikelola dengan baik. Limbah ini juga berpotensi menjadi tempat hidup bagi bakteri patogen seperti *Vibrio*, yang dikenal sebagai patogen berbahaya bagi perikanan dan manusia. Keberadaan aliran air limbah pencucian di TPI Gudang Lelang Bandar Lampung yang tidak dibersihkan oleh pihak setempat akan mendukung pertumbuhan bakteri *Vibrio*.

Vibrio dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti kolera, gastroenteritis, septikimia, dan infeksi luka. Spesies *Vibrio* yang sudah

diidentifikasi menjadi patogen berbahaya yaitu *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus*, dan *Vibrio vulnificus*. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan alternatif alami agar tidak merusak lingkungan sekitar TPI. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan bahan alami (ekstrak tanaman) atau penggunaan bakteriofage. Bahan alami yang dapat digunakan yaitu ekstrak jintan hitam. Jintan hitam memiliki senyawa aktif yang berfungsi sebagai antibakteri sedangkan bakteriofage dikenal sebagai virus yang dapat menginfeksi bakteri secara spesifik dan dapat mengendalikan patogen, termasuk *Vibrio*. Bakteriofage telah diakui sebagai agen biokontrol yang efektif dalam mengelola patogen di bidang akuakultur, khususnya perairan terkontaminasi akibat sanitasi yang buruk. Keunggulan dari bakteriofage dibandingkan antibiotik lainnya adalah virus ini dapat menargetkan patogen tertentu tanpa mempengaruhi mikroflora normal di usus. Cara kerja bakteriofage dalam bakteri target dengan berkembangbiak di dalam bakteri dan menghancurkan sel inangnya melalui proses lisis. Keberadaan bakteriofage yang melimpah di alam berdampingan dengan bakteri inangnya serta kemampuannya menginfeksi dan mengeliminasi bakteri, virus ini berpotensi besar sebagai agen biokontrol terhadap patogen, khususnya bakteri *Vibrio*. Oleh karena itu dilakukannya penelitian ini untuk mendapatkan isolat *Vibrio* dan menguji efektivitas ekstrak jintan hitam dan bakteriofage dalam mengendalikan pertumbuhan *Vibrio* dari air limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung.

1.5 Hipotesis

Adapun hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Didapatkan isolat bakteri *Vibrio* dari air limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung.
2. Bahan alami (ekstrak jintan hitam) mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Vibrio*.
3. Bakteriofage yang mampu melisiskan bakteri *Vibrio* terdapat dalam air limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TPI Gudang Lelang Bandar Lampung

Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Gudang Lelang merupakan salah satu tempat pelelangan ikan terbesar di Bandar Lampung, terletak di Jalan Ikan Bawal, Kangkung, Kecamatan Bumi Waras. Sesuai namanya, transaksi jual beli ikan dilakukan melalui sistem lelang (Wiraditama dkk., 2024). Kegiatan lelang dilaksanakan dua kali sehari mulai dari persiapan dan proses lelang, yaitu pada pagi hari dari pukul 04.00 hingga 07.00 WIB, serta pada sore hari antara pukul 15.00 hingga 18.00 WIB. Pengguna atau pelaku di TPI Gudang Lelang Bandar Lampung meliputi nelayan, penjual ikan, konsumen, serta petugas lelang atau pengelola (Simbolon dan Kesuma, 2022). Setelah lelang, pedagang mengangkut hasil lelang ke meja penjualan sambil melayani konsumen secara langsung. Kegiatan lelang ini berperan penting dalam menjaga kestabilan harga ikan bagi nelayan, dan salah satu fungsi TPI adalah memfasilitasi nelayan dalam memasarkan hasil tangkapannya (Wiraditama dkk., 2024).

Selain kegiatan jual beli ikan dan proses lelang, kegiatan lain yang dilakukan oleh nelayan dan penjual ikan berpotensi menghasilkan air limbah, seperti kegiatan dari proses pembersihan ikan yang melibatkan darah dan sisa-sisa ikan. Selain itu, pembuangan sisa hasil tangkapan yang tidak terpakai juga menyumbang air limbah yang perlu dikelola. Aktivitas lelang, yang dilaksanakan dua kali sehari, menambah volume air limbah akibat penggunaan air untuk menjaga kesegaran ikan dan sisa-sisa dari

proses lelang itu sendiri. Kondisi sanitasi di TPI ini juga masih memerlukan perbaikan, khususnya dalam sistem drainase dan penempatan tempat sampah (Simbolon dan Kesuma, 2022). Oleh karena itu, keberadaan air limbah yang tidak dikelola dan sanitasi yang kurang baik di TPI Gudang Lelang Bandar Lampung berpotensi menjadi tempat untuk pertumbuhan bakteri *Vibrio*. Kondisi TPI Gudang Lelang Bandar Lampung dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. TPI Gudang Lelang Bandar Lampung (Dokumentasi pribadi, 2024)

2.2 Jintan Hitam (*Nigella sativa* L.)

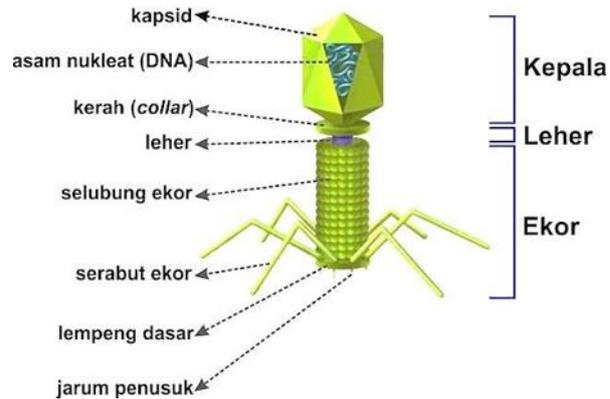
Jintan hitam (*Nigella sativa* L.) adalah herba dari famili Ranunculaceae yang berasal dari Mediterania dan Asia Barat. Di negara-negara Timur Tengah dan Asia, biji jintan hitam digunakan dalam pengobatan tradisional untuk mengatasi berbagai kondisi kesehatan, termasuk infeksi mikroba (Salma dkk., 2025). Biji jintan hitam mengandung senyawa kimia seperti *thymoquinone*, *dithymoquinone*, *thymohydroquinone*, dan *thymol*. Selain itu, ekstrak etanol dari jintan hitam juga terbukti mengandung senyawa alkaloid, saponin, dan steroid (Astika dan Muflihah, 2023). Jintan hitam (*Nigella sativa* L.) dikenal memiliki berbagai efek farmakologis, termasuk antiinflamasi, analgesik, antipiretik, antimikroba, anthelmintik, antikanker, diuretik, bronkodilator, imunostimulator, hepatoprotektor, renoprotektor, antidiare, efek hipoglikemik, antihipertensi, spasmolitik, dan antioksidan (Agistia dkk., 2023).

Minyak atsiri dari biji jintan hitam mengandung senyawa dengan aktivitas farmakologi, antara lain *thymoquinone* dan α -pinen. *Thymoquinone* adalah komponen utama dalam minyak biji jintan hitam yang memiliki aktivitas antibakteri. *Thymoquinone* berfungsi menghambat sintesis RNA dan protein bakteri. Sementara itu, α -pinen memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri Gram positif dan Gram negatif, serta efek yang kuat terhadap jamur. Mekanisme kerja α -pinen sebagai antibakteri adalah dengan memberikan efek toksik pada struktur dan fungsi membran bakteri (Agistia dkk., 2023). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa jintan hitam dapat membunuh berbagai bakteri, termasuk *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhi*, *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pneumoniae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Vibrio harveyi*, serta beberapa bakteri lainnya (Hidayat dkk., 2022).

2.3 Bakteriofage

2.3.1 Karakteristik Bakteriofage

Fage adalah kelompok virus yang secara spesifik menginfeksi organisme prokariot. Fage pertama kali ditemukan oleh ahli patologi Inggris, Frederick William Twort tahun 1915, dan oleh ilmuwan Prancis, Felix Hubert d'Herelle tahun 1917. D'Herelle adalah ilmuwan pertama yang tercatat menggunakan fage untuk mengobati penyakit disentri pada tahun 1919 (Letchumanan *et al.*, 2016). Bakteriofage adalah virus yang menginfeksi bakteri dan dapat membunuh sel bakteri secara langsung. Bakteriofage terdiri dari molekul asam nukleat yang dilindungi oleh lapisan protein yang disebut kapsid. Bakteriofage hidup dan berkembang biak di dalam sel bakteri, berbeda dengan virus lain yang berkembang di dalam tubuh organisme multiseluler (Choliq dkk., 2020). Struktur bakteriofage dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Struktur Bakteriofage (Clara, 2023)

Struktur umum bakteriofage terdiri dari kepala (capsid), ekor, dan serabut ekor. Bagian kepala menyimpan materi genetik (DNA atau RNA) dan umumnya memiliki bentuk *icosahedral*. Kapsid berfungsi untuk melindungi materi genetik dari kerusakan akibat lingkungan. Ekor adalah struktur tubular yang berfungsi untuk mengikat bakteri dan menyuntikkan materi genetik ke dalam sel bakteri. Panjang ekor dapat bervariasi dan bisa bersifat kontraktile atau non-kontraktile. Serabut ekor terletak di ujung ekor dan berfungsi untuk berinteraksi dengan reseptor di permukaan bakteri. Ukuran bakteriofage bervariasi, biasanya antara 24-400 nm, yang dapat memengaruhi kapasitas infeksi dan interaksi dengan bakteri. Bakteriofage dapat memiliki DNA atau RNA sebagai materi genetiknya, dengan panjang genom yang bervariasi. Sebagai contoh, *phage* KVP40 memiliki genom DNA ganda sepanjang 244,835 bp. Genom ini mengandung informasi genetik yang diperlukan untuk replikasi dan produksi bakteriofage baru (Letchumanan *et al.*, 2016).

Bakteriofage dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu bakteriofage virulen (litik) dan bakteriofage lisogenik. Bakteriofage litik mulai bereplikasi segera setelah menginfeksi sel inang dan menghasilkan bakteriofage baru yang keluar dari sel tersebut dengan melisiskannya. Proses lisis ini adalah penyebab utama dari sifat antibakteri bakteriofage. Sebaliknya, bakteriofage lisogenik

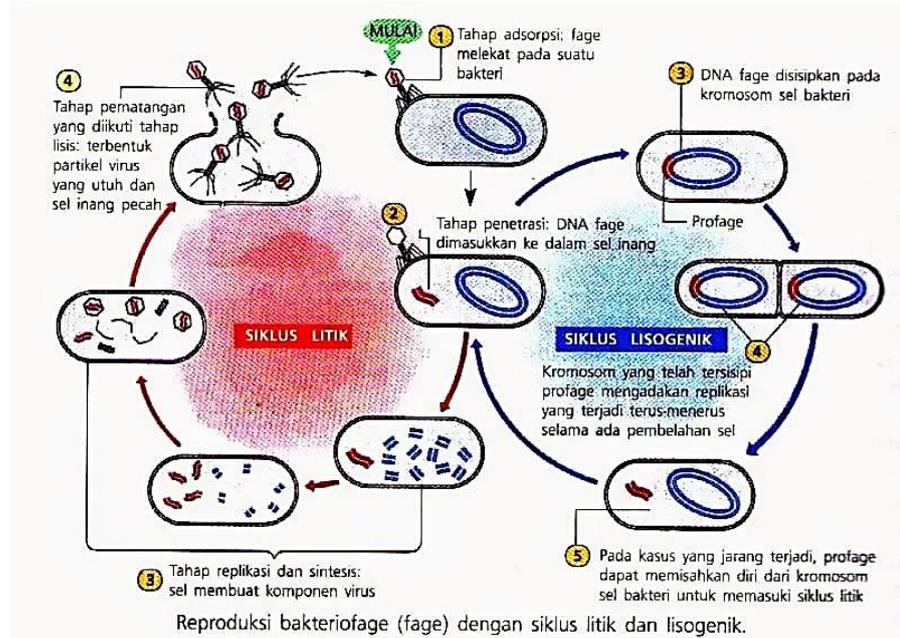
mengintegrasikan genomnya ke dalam genom inang setelah infeksi, sehingga kurang diminati sebagai agen antibakteri. Sebagai virus yang menginfeksi bakteri, bakteriofage merupakan organisme yang paling tersebar dan melimpah di biosfer. Bakteriofage ini sangat spesifik terhadap spesies dan strain bakteri yang menjadi targetnya (Hagens and Loessner, 2007), sehingga saat ini digunakan sebagai alat baru untuk mengendalikan pencemaran air. Di dalam tubuh manusia, bakteriofage berfungsi melindungi dari bakteri patogen (Weber-Dabrowska *et al.*, 2016).

2.3.2 Mekanisme Fage dalam Menginfeksi Bakteri

Fage adalah virus yang khusus menginfeksi bakteri dan dapat menghancurkan sel bakteri secara langsung atau mengintegrasikan DNA ke dalam kromosom bakteri. Fage diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, termasuk fage berekor, fage berfilamen, dan fage ikosahedral, dengan materi genetik berupa DNA atau RNA. Sebagian besar fage memiliki DNA utas ganda (dsDNA), sementara yang lainnya mengandung DNA utas tunggal (ssDNA), RNA utas tunggal (ssRNA), atau RNA utas ganda (dsRNA) (Pratiwi, 2021).

Fage menggunakan sel bakteri sebagai inang untuk bereplikasi. Setelah infeksi, DNA fage dapat terintegrasi ke dalam kromosom inang dalam proses yang disebut siklus lisogenik. Sebaliknya, dalam siklus litik, fage melisis sel inang setelah bereplikasi dan keluar sebagai progeni. Fage virulen (litik) mengambil alih sistem transkripsi dan translasi bakteri untuk memproduksi fage baru (Pratiwi, 2021). Siklus litik dan lisogenik fage dapat dilihat pada

Gambar 3.



Gambar 3. Siklus Litik dan Lisogenik Bakteriofage (Hakim, 2024)

Siklus hidup fage litik meliputi tahap adsorpsi, penetrasi, sintesis, pematangan, dan lisis. Tahap adsorpsi, ujung ekor fage melekat pada dinding sel bakteri melalui reseptor spesifik. Jika reseptor mengalami mutasi, inang bisa menjadi resisten terhadap infeksi, meskipun mutan virus mungkin masih dapat menginfeksi. Adsorpsi bersifat reversibel pada awalnya dan bisa menjadi irreversibel jika cengkraman ekor yang melekat. Setelah melekat, fage melakukan penetrasi ke dalam sel inang, dibantu oleh enzim lisozim yang membuat lubang kecil pada peptidoglikan sel. Fage harus melewati membran luar, peptidoglikan, dan membran dalam untuk menginjeksi genomnya (Pratiwi, 2021).

Setelah penetrasi, asam nukleat virus masuk ke dalam sel inang, meskipun replikasi dapat terhambat oleh berbagai mekanisme pertahanan sel inang. Genom fage diinjeksikan ke dalam sel dengan memanfaatkan energi, dan tahap transkripsi terjadi dalam urutan protein awal, tengah, dan akhir. Protein awal dan tengah terlibat dalam replikasi DNA, sedangkan protein akhir terkait dengan pembentukan kapsid dan ekor serta pelepasan fage dari sel.

Replikasi genom fage dimulai saat kondisi metabolisme inang optimal, dengan transkripsi mRNA segera setelah infeksi. Fage memanfaatkan nukleotida dari penguraian DNA inang untuk mengubah RNA polimerase bakteri, memungkinkan transkripsi gen dari fage. Proses ini juga menghasilkan modifikasi pada DNA fage yang membuatnya resisten terhadap enzim restriksi. Fage akan menghancurkan semua DNA inang yang tidak dimodifikasi dan membentuk komponen fage yang diperlukan untuk replikasi (Pratiwi, 2021).

Setelah proses replikasi selesai, partikel fage baru keluar dari sel inang yang telah mengalami lisis, siap untuk menginfeksi inang lainnya. Endolisin yang terakumulasi di dalam sel inang berfungsi untuk menghancurkan peptidoglikan, menyebabkan lisis sel dan pelepasan virion baru. Keberhasilan infeksi fage tergantung pada peluang pertemuan antara fage dan inang yang rentan, serta keragaman reseptor pada permukaan sel bakteri yang mempengaruhi kemampuan fage untuk menginfeksi (Pratiwi, 2021).

2.3.3 Keunggulan dan Kelemahan Bakteriofage

Beberapa keunggulan bakteriofage yang mendukung keberhasilannya sebagai agen biokontrol meliputi: (1) Bersifat alami dan bersimbiosis dengan manusia serta hewan; (2) Tersedia di alam, dapat ditemukan di berbagai tempat termasuk ekosistem makanan dan mudah diisolasi; (3) Stabil dalam makanan dan dapat bertahan selama proses pengolahan; (4) Pemberian bakteriofage tidak menimbulkan efek samping pada kualitas makanan, tanpa mengubah fisik, bau, atau rasa; (5) Memiliki aktivitas dan spesifisitas tinggi terhadap sel inang atau bakteri yang rentan. Dalam proses adsorpsi, infeksi, dan replikasi, bakteriofage menggunakan strain spesifik untuk mengendalikan spesies target tanpa memengaruhi mikroflora normal di saluran pencernaan; (6) Mampu bertahan dan bereplikasi

di dalam sel inang; (7) Tidak bersifat toksik atau merusak sel eukariot; (8) Efektif terhadap biofilm; (9) Mudah dalam persiapan dan aplikasi; (10) Dapat diterapkan di seluruh rantai makanan sebagai terapi bakteriofage, biosanitasi, atau biopreservasi; (11) Berfungsi sebagai alat deteksi bakteri patogen; dan (12) Menjadi sumber antimikroba potensial karena mengandung endolisin dan hidrolase peptidoglikan.

Namun, terdapat beberapa kelemahan dari bakteriofage dalam aplikasinya, antara lain: (1) Bakteriofage dapat menunjukkan resistensi terhadap bakteri yang mengalami mutasi; (2) Membutuhkan jumlah yang besar untuk mencapai bakteri target di saluran pencernaan hewan ruminansia; (3) Berperan dalam proses transduksi, yang dapat mentransfer sifat tidak diinginkan seperti gen virulen antar organisme; (4) Bakteriofage lisogenik/temperate dapat mengubah bakteri normal menjadi patogen; (5) Dapat menimbulkan antigenisitas (respons imun dan alergenik); dan (6) Pertimbangan konsumen terkait penambahan virus ke dalam makanan (Ariyanti, 2018).

2.4 *Vibrio* sp.

Bakteri dari genus *Vibrio* memiliki beberapa karakteristik, termasuk bentuk batang pendek, sifat Gram negatif, dilengkapi flagel, tidak membentuk spora, tidak memiliki kapsul, bersifat fakultatif aerob, dan berkembang biak melalui pembelahan biner. Bakteri ini dapat tumbuh pada media selektif *Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose Agar* (TCBSA), menghasilkan koloni berwarna kekuningan, oranye, dan hijau (Ihsan dan Retnaningrum, 2017).

Berbagai spesies *Vibrio* dapat ditemukan di berbagai lingkungan akuatik, seperti sungai, muara, air payau, laut, dan perairan laut dalam, dengan salinitas optimal antara 20-40 ppt. Faktor-faktor seperti suhu, pH, salinitas,

dan distribusi nutrisi di kolom air mempengaruhi keberadaan *Vibrio*. Oleh karena itu, banyak spesies ini bersifat musiman dan cenderung terdeteksi lebih sering selama bulan-bulan musim panas ketika suhu lebih tinggi dan curah hujan menurun. *Vibrio* juga dapat ditemukan pada hewan sehat, dalam sistem akuakultur, serta di jaringan hewan (Ihsan dan Retnaningrum, 2017; Valente and Wan, 2021).

Secara ekologis, spesies *Vibrio* berperan sebagai konsumen utama kitin, penting dalam dekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi, serta menjaga keseimbangan karbon dan nitrogen di ekosistem laut. Peran *Vibrio* dalam penguraian kitin sangat penting bagi kesehatan ekosistem laut dan proses biogeokimia di lautan (Tamrin dkk., 2024). Banyak dari bakteri ini bersifat non-patogenik dan merupakan bagian dari mikrobiota alami, sehingga keberadaannya tidak selalu menunjukkan adanya epizootik. Namun, *Vibrio* spp. juga merupakan patogen utama yang dapat membahayakan kesehatan manusia, mampu memproduksi enzim proteolitik dan kitinolitik, serta bersifat halofilik. Beberapa spesies, seperti *V. cholerae*, dapat menyebabkan kolera, yang dalam infeksi parah dapat mengakibatkan diare hingga 20-30 kali sehari dan kehilangan cairan sekitar 18 liter (Ihsan dan Retnaningrum, 2017; Valente and Wan, 2021; Tamrin dkk., 2024). *V. vulnificus* dapat menyebabkan infeksi luka yang serius dan septikemia, sedangkan *V. alginolyticus* dapat menyebabkan infeksi pada luka, telinga, mata, dan jaringan lunak. Manusia dapat terinfeksi melalui kontak langsung dengan air laut atau konsumsi makanan laut. Selain itu, *Vibrio* spp. merupakan patogen utama dalam akuakultur yang berdampak signifikan pada kesehatan organisme akuatik. Infeksi oleh spesies *Vibrio* seperti *V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. harveyi*, *V. owensii*, dan *V. campbelli* dapat menyebabkan vibriosis, yang menjadi masalah besar dalam budidaya ikan dan udang. Vibriosis dapat mengakibatkan kerugian ekonomi yang signifikan karena dampaknya terhadap produktivitas dan kesehatan ikan serta udang yang dibudidayakan (Tamrin dkk., 2024).

Genus *Vibrio* memiliki jumlah spesies yang paling banyak, saat ini telah diidentifikasi 147 spesies dan 4 subspecies, yang kurang dari dua belas di antaranya dikenal sebagai patogen bagi manusia. Spesies *Vibrio* lainnya menginfeksi hewan laut seperti ikan, udang, karang, dan krustasea, tetapi sebagian besar dari spesies *Vibrio* adalah nonpatogen, dan beberapa di antaranya berfungsi sebagai simbion (Sampaio *et al.*, 2022). Spesies *Vibrio* yang telah diketahui bersifat patogen, non patogen ataupun bersifat simbion dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesies *Vibrio* yang Bersifat Patogen, Non Patogen atau Simbion (Sampaio *et al.*, 2022).

Spesies	Habitat	Inang	Penyakit
<i>V. alginolyticus</i>	Air laut, manusia, makanan laut	manusia	Infeksi luka, telinga/mata dan jaringan lunak
<i>V. anguillarum</i>	Air laut, hewan laut	Ikan salmon, bivalvia	Vibriosis, penyakit septikemik
<i>V. carcharine</i>	Salmon, hiu, air tawar dan air payau	Hiu, manusia (gigitan hiu)	Manusia (gigitan hiu)
<i>V. cholerae</i>	Invertebrata, ganggang, hewan air	manusia	Kolera: dehidrasi dan kehilangan elektrolit
<i>V. corallilyticus</i>	coral	zooxanthellae	Pemutihan karang
<i>V. damsela</i>	Air laut, ikan	Ikan, manusia	Infeksi luka
<i>V. fluvialis</i>	Air, tiram	manusia	Diare, gastroenteritis
<i>V. furnissii</i>	Air muara	manusia	Gastroenteritis akut (jarang terjadi di klinik)

<i>V. harveyi</i>	Air laut	Udang, invertebrata, manusia	Vibriosis
<i>V. hollisae</i>	Air, makanan laut	Manusia	diare
<i>V. mediterranei</i>	Air laut, endosimbi on karang	zooxanthellae	Pemutihan karang
<i>V. metschnikovii</i>	Air tawar, air payau, air laut, makanan laut	Manusia (jarang)	Infeksi luka
<i>V. mimicus</i>	Air, makanan laut, burung	manusia	diare
<i>V. parahaemolyticuss</i>	Makanan laut	Manusia	Gastroenteritis akut
<i>V. salmonicida</i>	Air laut, ikan laut	Ikan salmon, ikan trout pelangi	Vibriosis air dingin
<i>V. shiloi</i>	Endosim bion karang	zoovanthellae	Pemutihan karang
<i>V. symbiont</i>	Ikan buntal		Beracun bagi manusia dan hewan
<i>V. tubiashi</i>	Air laut, moluska laut	Tiram pasifik, bivalvia	Vibriosis
<i>V. vulnificus</i>	Muara dan air laut, makanan laut, sedimen	manusia	Septikemia fulminan, infeksi luka

2.5 Potensi Bakteriofage sebagai Biokontrol Bakteri Patogen

Bakteriofage adalah virus yang berperan sebagai parasit bagi bakteri. Fage dapat menghancurkan bakteri secara total dengan cara melisis sel inangnya. Oleh karena itu, bakteriofage dapat digunakan sebagai biokontrol yang ramah lingkungan (Deshanda dkk., 2018). Selain itu, bakteriofage memiliki kemampuan untuk menyerang bakteri secara spesifik dengan tingkat spesifisitas yang tinggi tanpa memengaruhi mikrobiota lainnya (Nurrizkiawan dkk., 2023). Beberapa penelitian berikut menunjukkan pemanfaatan bakteriofage dalam mengendalikan bakteri patogen (Gaffar dan Suryani, 2022).

2.5.1 Bakteriofage dalam Mengontrol *E.coli*

Penggunaan bakteriofage litik terbukti efektif mengurangi jumlah bakteri *Escherichia coli* O157:H7 pada daging sapi hingga 94% dan pada daun selada sebesar 87% (Carter *et al.*, 2012). Selain itu, bakteriofage juga dapat menurunkan jumlah *Escherichia coli* O157:H7 pada mentimun segar hingga 1,97-2,01 log CFU/g pada suhu 25 °C dan 1,16-2,01 log CFU/g pada suhu 4 °C selama 24 jam (Mangieri *et al.*, 2020). Bakteriofage juga diterapkan pada permukaan daging untuk mencegah perkembangan patogen. Sebuah campuran tiga jenis fage diterapkan pada daging sapi yang terkontaminasi dengan 10³ CFU g⁻¹ *Escherichia coli* O157:H7. Pada sebagian besar sampel, tidak ada sel hidup yang dapat ditemukan setelah disimpan pada suhu 37°C (O'Flynn *et al.*, 2004).

2.5.2 Bakteriofage dalam Mengontrol *Bacillus cereus*

Bacillus cereus yang terdapat dalam makanan fermentasi Korea dapat dikendalikan dengan menggunakan bakteriofage JBP901, yang diisolasi dari cheonggukjang, sebuah produk fermentasi kedelai (Shin *et al.*, 2011). Lee dan timnya berhasil mengisolasi dan mengkarakterisasi dua bakteriofage, yaitu FWLBc1 dan FWLBc2, yang dapat mengurangi konsentrasi *Bacillus cereus* dalam kentang

lebih dari 6 log CFU ml⁻¹ dalam waktu 24 jam pada suhu ruang. Karena kedua bakteriofage ini memiliki kisaran inang yang cukup sempit (hanya mencakup beberapa strain *Bacillus cereus*), kedua fage tersebut diusulkan untuk digunakan sebagai bagian dari "koktail bakteriofage" (Lee *et al.*, 2011).

2.5.3 Bakteriofage dalam Mengontrol *Salmonella*

Bakteriofage mampu menghambat pertumbuhan *Salmonella* pada berbagai jenis makanan. Bakteriofage LPSE1, setelah diinkubasi pada suhu 28 °C, dapat mengurangi jumlah *Salmonella* dalam susu sebanyak 1,44 log CFU/mL dan 2,37 log CFU/mL. Selain itu, LPSE1 juga menurunkan jumlah *Salmonella* dalam sosis sebesar 0,52 log CFU/mL, dan pada daun selada hingga 2,02 log CFU/mL, 1,71 log CFU/mL, dan 1,45 log CFU/mL (Huang *et al.*, 2018). Bakteriofage D1-2 efektif dalam menghambat pertumbuhan *Salmonella* yang resisten terhadap berbagai obat pada suhu 4 °C dan 25 °C dalam putih dan kuning telur (Li *et al.*, 2020). Bakteriofage PSDA-2 menunjukkan potensinya sebagai agen pengendali *Salmonella*. Pada suhu 4 °C, bakteriofage PSDA-2 dapat mengurangi jumlah *Salmonella* sebesar 1,7 log CFU/mL dan 2,1 log CFU/mL pada multiplisitas infeksi (MOI) masing-masing 100 dan 10.000 (Sun *et al.*, 2022).

2.5.4 Bakteriofage dalam Mengontrol *Staphylococcus aureus*

Penggunaan bakteriofage pada keju dapat menurunkan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* sebanyak 3,83 log CFU/g (Bueno *et al.*, 2012). Bakteriofage yang ditambahkan ke susu dapat secara cepat mengurangi jumlah *Staphylococcus aureus* selama proses pembuatan dadih. Pada dadih asam, patogen tidak terdeteksi setelah diinkubasi selama 4 jam pada suhu 25 °C, sementara setelah diinkubasi selama 1 jam pada suhu 30 °C, jumlah *Staphylococcus*

aureus menurun yang terlihat dari plaque yang terbentuk lebih bersih (García *et al.*, 2007).

2.5.5 Bakteriofage dalam Mengontrol *Listeria monocytogenes*

Produk komersial ListShield™ yang mengandung bakteriofage *Listeria monocytogenes* dapat menurunkan kontaminasi *Listeria monocytogenes* pada selada sebesar 91%, keju 82%, salmon asap 90%, dan makanan beku 99% (Perera *et al.*, 2015). Bakteriofage A511 dan P100 memiliki kisaran inang yang luas dan sangat efektif untuk mengendalikan bakteri spesifik seperti *Listeria monocytogenes* dalam makanan siap saji yang rentan terhadap kontaminasi (Guenther *et al.*, 2009). Selain itu, bakteriofage Listex P100 dapat mengurangi jumlah strain *Listeria monocytogenes* dalam kaldu sebesar 3,4 log CFU/mL dan dalam susu sebesar 2,9 log CFU/mL (Şanlıbaba and Buzrul, 2022).

2.5.6 Bakteriofage dalam Mengontrol *Vibrio* spp.

Penelitian oleh Vinod *et al.* (2006) menunjukkan bahwa bakteriofage yang diisolasi dari air tambak udang efektif dalam mengontrol *Vibrio harveyi*, penyebab penyakit luminous vibriosis pada udang. Dalam uji laboratorium, penggunaan bakteriofage mengurangi jumlah *Vibrio harveyi* secara signifikan, dengan tingkat kelangsungan hidup larva udang mencapai 80% setelah perlakuan, dibandingkan hanya 25% pada kontrol (Letchumanan *et al.*, 2016). Selain itu, penelitian oleh Tan *et al.* (2021), menunjukkan bahwa dari 134 strain bakteri dari produk *seafood* yang diuji, 61 strain *V. parahaemolyticus* menunjukkan zona lisis (48,4%) oleh bakteriofage, sedangkan tidak ada aktivitas lisis pada strain non-*V. parahaemolyticus*.

2.6 Mekanisme Bakteriofage dalam Mengontrol Bakteri Patogen

Jenis fage dengan siklus hidup litik lebih sering digunakan sebagai agen biokontrol, karena sifat spesifiknya yang mampu melisiskan sel target (bakteri patogen), sehingga berdampak pada penurunan jumlah bakteri. Fage virulen, yang memiliki siklus hidup litik dan menyebabkan lisis pada inang, memiliki kemampuan untuk menyerang spesies sel bakteri tertentu dan tidak memengaruhi spesies sel bakteri lainnya (Pratiwi, 2021). Fage menghasilkan protein tertentu yang berfungsi untuk menginfeksi sel bakteri inang. Beberapa contoh protein yang diproduksi oleh fage litik yaitu Lisin, Holin, dan Endolisin. Lisin adalah enzim yang dihasilkan oleh fage litik yang dapat mendegradasi dinding sel bakteri dengan menyerang ikatan peptidoglikan. Kemampuan ini membuat fage yang memproduksi Lisin efektif dalam melisiskan bakteri Gram positif, karena dinding selnya mengandung lebih banyak peptidoglikan. Beberapa fage litik juga mampu memproduksi Holin dan Endolisin untuk mendegradasi dinding sel bakteri. Holin berfungsi dengan cara melubangi membran sel inang, sedangkan Endolisin menghancurkan struktur peptidoglikan (Deshanda dkk., 2018).

Untuk menginfeksi sel bakteri, fage harus melakukan adsorpsi ke permukaan sel inang, lalu melakukan penetrasi melalui dinding sel bakteri dan menginjeksi materi genetiknya ke dalam sel inang. Mekanisme yang digunakan fage untuk menginisiasi koneksi ke sel bakteri inang hingga injeksi materi genetik bergantung pada struktur yang disebut "ekor" (*tail*). Struktur ekor fage bervariasi, mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks. Struktur yang berfungsi untuk mengenali sel inang terletak di ujung ekor dan berhubungan dengan mekanisme strategi adsorpsi fage terhadap sel inang. Protein-protein pada ekor fage tersebut sangat beragam dan mampu mengenali hampir semua komponen permukaan sel bakteri inang, termasuk komponen protein, polisakarida, dan lipopolisakarida (Deshanda dkk., 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2025 sampai dengan bulan Mei 2025. Pengambilan sampel air limbah berlokasi di TPI Gudang Lelang Bandar Lampung sedangkan pengujian sampel berlokasi di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu cawan petri, tabung reaksi, Erlenmeyer, *micropipette*, *microtip*, *beaker glass*, timbangan analitik, vortex, *cooler box*, *mini sentrifuge*, jarum suntik, *filter micropore* 0,22 μm , botol kaca gelap, pipet tetes, kulkas, *shaker incubator*, jarum ose, *microtube*, lup, *microscope 2 teaching*, pembakar spiritus, pipet volumetrik, bulb, jangka sorong, dan kamera *handphone*.

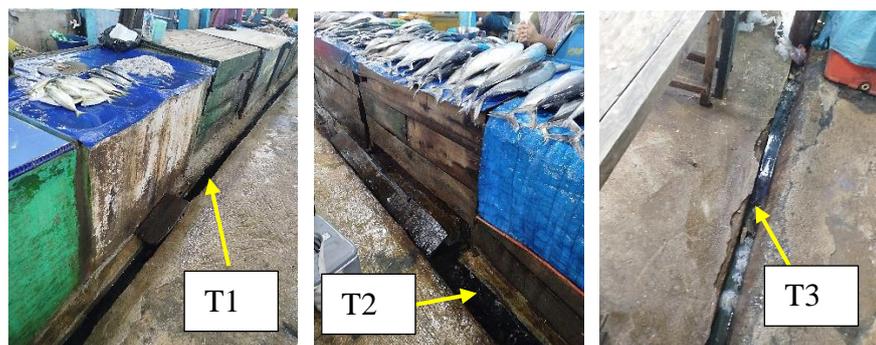
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu air limbah, media *Alkaline Pepton Water* (APW) (10 gr pepton; 5 gr NaCl; 1000 mL *aquadest*), media *Thiosulfate-Citrate-Bile Salts-Sucrose Agar* (TCBS Agar) (5 gr *yeast extract*; 10 gr pepton; 20 gr sukrosa; 10 gr *Sodium sulfate*; 10 gr *Sodium citrate*; 3 gr *Sodium cholate*; 5 gr *oxgall*; 10 gr NaCl; 1 gr *Ferric citrate*; 0,04 gr *Bromthymol blue*; 0,04 gr *Thymol blue*; 15 gr Agar; dan 1000 mL *aquadest*), media *Tryptic Soy Broth* (TSB) (17 gr Pepton dari *casein*; 3 gr Pepton dari *soymeal*; 2,5 gr D (+) *glucose monohydrate*; 5 gr NaCl; 2,5 gr *Dipotassium hydrogen phosphate*; dan

dan 1000 mL *aquadest*), Pepton, SM buffer (5,8 gr NaCl; 2 gr MgSO₄. 7H₂O; 50 mL Tris-HCl; 5 mL gelatin; ditambah *aquadest* hingga 1000 mL; pH 7,5), CaCl₂, media *Tryptic Soy Agar* (TSA) (17 gr *tryptone*; 3 gr soya pepton; 2,5 gr *Dipotassium phosphate*; 12 gr Agar; dan 1000 mL *aquadest*), media *Sea Water Complete Agar* (SWCA) (5 gr *Peptone bacteriological*; 1 gr *yeast extract*; 3 mL gliserol; 15 gr Agar; 750 mL air laut, 250 mL *aquadest*), *Aquadest*, ekstrak jintan hitam, kertas saring, kristal violet, lugol, alkohol 70%, safranin, kloramfenikol, kapas lidi steril, dan tisu.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di tiga titik aliran air limbah pencucian ikan yang berbeda di TPI Gudang Lelang Bandar Lampung yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Sampel air diambil secara aseptis sebanyak 150 mL pada masing-masing aliran kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca gelap yang steril, selanjutnya dimasukkan ke dalam *cooler box* dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.



Gambar 4. Tiga Titik Pengambilan Sampel Air Limbah

3.3.2 Isolasi dan Pengayaan Bakteri *Vibrio*

Sampel sebanyak 5 mL diambil dan dicampurkan dengan 5 mL media APW. Selanjutnya, campuran ini diinkubasi selama 5 jam

pada suhu ruang. Setelah itu, sebanyak 1 ose diambil dari sampel dan diinokulasikan secara *streak plate* ke cawan yang berisi media TCBS, kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang (Tan *et al.*, 2021).

3.3.3 Karakterisasi Bakteri *Vibrio*

3.3.3.1 Makroskopis

Merupakan pengamatan secara morfologi untuk melihat morfologi koloni seperti bentuk koloni, warna, ukuran dan elevasi koloni pada media TCBSA (Hadiwinata dkk., 2023).

3.3.3.2 Mikroskopis

Pengamatan mikroskopis dilakukan untuk mengamati morfologi sel *Vibrio* dengan pengecatan Gram. Teknik pengecatan Gram dilakukan dengan memberikan pewarna Gram A (kristal violet), Gram B (lugol), Gram C (alkohol), dan Gram D (safranin) secara bertahap. Proses dimulai dengan meneteskan akuades pada kaca objek, lalu menambahkan 1 ose biakan sampel, yang kemudian difiksasi di atas api bunsen. Setelah itu, pewarna Gram A, B, C, dan D diberikan secara bergantian. Tahap berikutnya adalah mengamati morfologi bakteri menggunakan mikroskop. Jika hasil pengecatan menunjukkan bakteri berwarna merah, itu berarti bakteri tersebut adalah Gram negatif. Sebaliknya, jika bakteri berwarna ungu, maka termasuk dalam golongan Gram positif (Fajriani dkk., 2018).

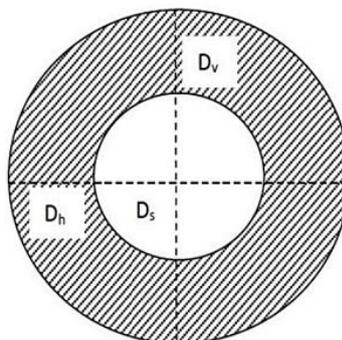
3.3.4 Uji Pengendalian secara Kimia (Ekstrak Jintan Hitam) terhadap Pertumbuhan *Vibrio*

Prosedur kerja menurut Linianti dkk. (2017) dengan modifikasi. Isolat *Vibrio* diambil sebanyak 1 ose lalu dimasukkan ke dalam Erlenmeyer berisi media TSB kemudian diinkubasi dalam *shaker*

incubator selama 12 jam. Selanjutnya suspensi diambil sebanyak 0,1 mL dan disebar (*spread plate*) pada permukaan media SWCA secara merata menggunakan kapas lidi steril. Kertas cakram disk yang telah dipotong menjadi bulatan kecil direndam 24 jam ke dalam ekstrak jintan hitam dengan konsentrasi 100% beserta larutan kontrol positif (kloramfenikol) dan kontrol negatif (*aquadest*), kemudian diletakkan pada permukaan media inokulasi dengan bantuan pinset.

Selanjutnya, diinkubasi dalam pada suhu ruang dan diamati setelah 24 jam. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali.

Diameter zona hambat diukur menggunakan jangka sorong. Cara pengukuran diameter zona hambat dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Cara Pengukuran Diameter Zona Hambat

Diameter zona hambat dapat diukur dengan rumus sebagai berikut (Kipimbob dkk., 2019):

$$\frac{(D_v - D_s) + (D_h - D_s)}{2}$$

Keterangan:

Dv : diameter vertikal

Dh : diameter horizontal

Ds : diameter cakram

3.3.5 Preparasi Sampel

Sampel diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi steril. Selanjutnya, ditambahkan 9 mL air pepton 0,1%, lalu dihomogenkan menggunakan vortex hingga terbentuk suspensi sampel (Hardanti dkk., 2018).

3.3.6 Pengayaan Sampel

Suspensi sampel sebanyak 1 mL diencerkan dalam SM buffer dengan rasio 1:10, lalu divortex selama 5 menit. Suspensi tersebut kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 4°C untuk memungkinkan fage terelusi ke dalam buffer. Selanjutnya, 1 mL aliquot disentrifugasi pada kecepatan 12.000 rpm menggunakan *mini centrifuge* selama 3 menit untuk menghilangkan sisa-sisa sel yang terfragmentasi akibat kematian atau kerusakan sel. Kemudian supernatan yang dihasilkan disaring menggunakan jarum suntik *micropore* berukuran 0,22 µm (Hardanti dkk., 2018).

3.3.7 Uji Pengendalian secara Biologi (Uji Plak Bakteriofage)

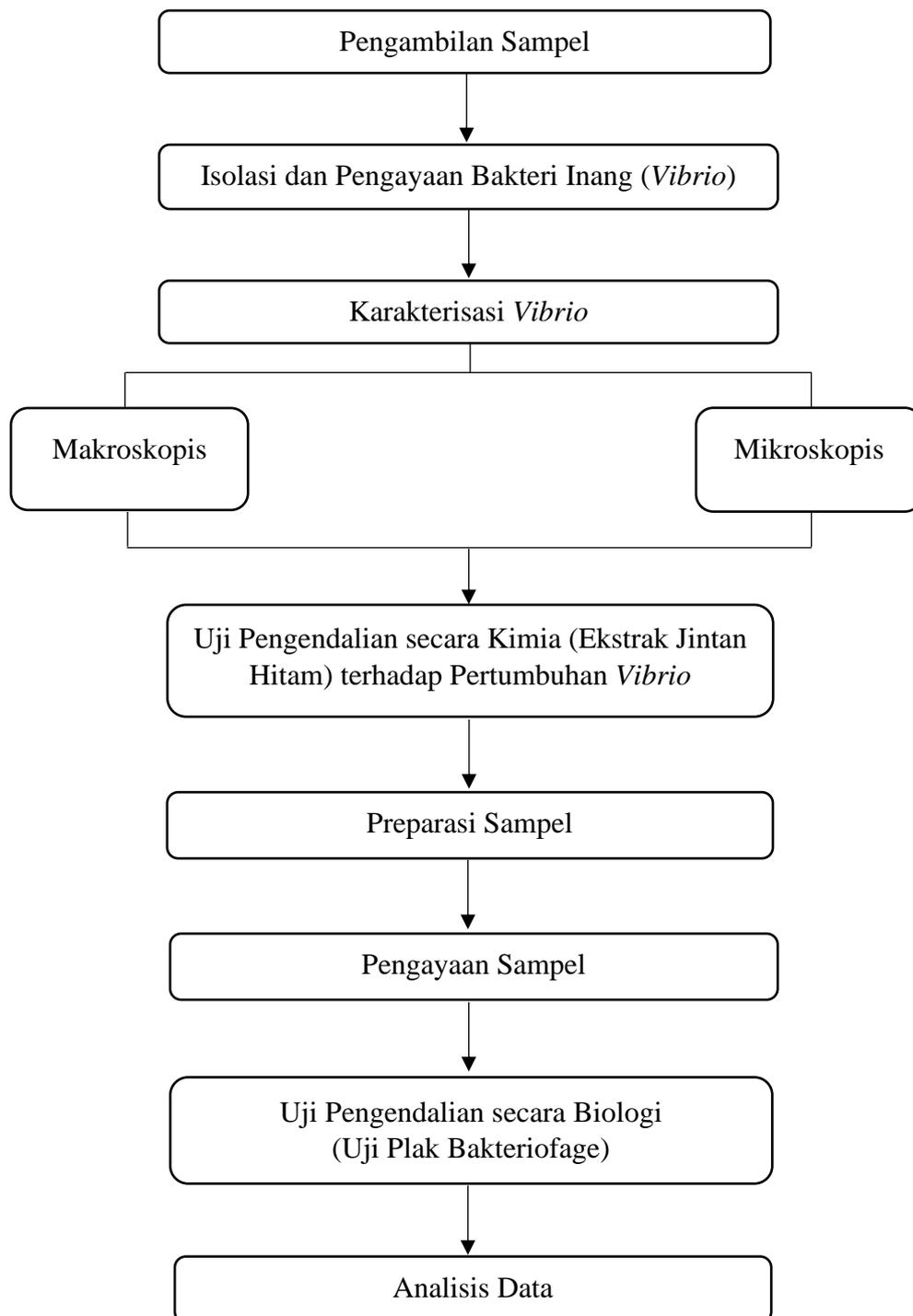
Filtrat sampel hasil pengayaan sebanyak 100 µl diencerkan dalam SM buffer dengan pengenceran 10^{-1} hingga 10^{-5} . Dari setiap tabung hasil pengenceran, diambil 100 µl yang dicampurkan dengan 100 µl kultur *Vibrio* dalam media TSB pada tabung reaksi yang telah ditambahkan CaCl_2 hingga mencapai konsentrasi 10 mM, lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 20 menit. Setelah itu, ditambahkan 4 mL TSA (*soft agar*) yang telah dipanaskan hingga 47°C, dan tabung reaksi digoyangkan untuk mencampur semua komponen. Campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam cawan petri yang telah berisi TSA (*hard agar*) dan dibiarkan hingga memadat. Cawan petri diinkubasi 24 jam pada suhu ruang untuk mengamati pembentukan plak dari bakteriofage. Untuk tabung kontrol, tabung reaksi berisi bakteri *Vibrio* dan TSA (*soft agar*) tanpa filtrat diinokulasikan di atas TSA (*hard agar*) dalam cawan petri. Plak yang terbentuk diamati dan didokumentasikan menggunakan kamera *handphone* (Hardanti dkk., 2018)

3.4 Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk karakterisasi *Vibrio* meliputi morfologi koloni, morfologi sel (sifat Gram), hasil perhitungan diameter zona hambat (dalam satuan mm), dan hasil uji plak bakteriofage berupa visualisasi *clear plaque*. Data tersebut disajikan dalam bentuk gambar dan tabel yang menunjukkan nilai rerata.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahap penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Didapatkan 3 isolat bakteri *Vibrio* dari air limbah TPI Gudang Lelang Bandar Lampung dengan kode isolat VN1, VN2, dan VN3.
2. Bahan alami berupa ekstrak jintan hitam memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Vibrio* dengan diameter zona hambat isolat VN1 sebesar 1,77 mm, isolat VN2 sebesar 1,26 mm, dan isolat VN3 sebesar 1,39 mm yang termasuk dalam kategori daya hambat lemah.
3. Bakteriofage yang mampu melisis bakteri *Vibrio* terdapat pada isolat VN3 dari pengenceran 10^{-4} yang ditunjukkan melalui terbentuknya plak.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini yaitu perlu dilakukannya uji pengendalian menggunakan bahan alami lain terhadap bakteri *Vibrio* dan plak bakteriofage yang didapatkan perlu dilakukan isolasi serta uji stabilitas pH dan suhu terhadap pertumbuhan *Vibrio*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agistia, N., Novita, G., dan Nofriyanti, N. 2023. Formulasi dan Uji Aktivitas Antibakteri Facial Foam Minyak Biji Jintan Hitam (*Nigella sativa* Oil). *JPPIE*. 2(1): 128-136.
- Al Shabeeb, S. S., Ibrahim, M. M., and Ramadhan, G. A. 2016. A Comparative Microbial Quality Assessment Among Fishes, Prawns and Cuttlefishes Collected From Dammam Fish Market. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 5(9): 405-418.
- Ambat, K. N., Abida, I. W., dan Maherlina, R. 2022. Kelimpahan Bakteri *Vibrio* sp. Pada Sampel Air Tambak di UPT Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan Pasuruan Jawa Timur. *Juvenil*. 3(3): 66-72.
- Ampou, E. E., Triyulianti, I., dan Nugroho, S. C. 2015. Bakteri Asosiasi pada Karang *Scleractinia* Kaitannya dengan Fenomena La-Nina di Pulau Bunaken. *J.Kel.Nas*. 10(2): 55-63.
- Aris, M., Samadan, G. M., dan Ane, M. O. 2024. Perbandingan Kepadatan Bakteri *Vibrio* spp. pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Lokasi Berbeda. *Juvenil*. 5(3): 214-222.
- Ariyadi, T., dan Dewi, S. S. 2009. Pengaruh Sinar Ultra Violet terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp. sebagai Bakteri Kontaminan. *J.Kes*. 2(2): 20-25.
- Ariyanti, T. 2018. Pemanfaatan Bakteriofaga untuk Deteksi dan Biokontrol Foodborne Pathogen. *Wartazoa*. 28(1): 33-40.
- Asniyah. 2009. Efek Antimikroba Jintan Hitam (*Nigella sativa*) Terhadap Pertumbuhan *Escherichia coli* in Vitro. *J.Biomedlam*. 1(1): 25-30.
- Astika, F., dan Mufliah, C. H. 2023. Aktivitas Antibakteri Ekstrak dan Fraksi Jintan Hitam (*Nigella sativa*) Terhadap Bakteri *Shigella sonnei* dan *Bacillus cereus* serta Bioautografinya. *Usadha Journal of Pharmacy*. 2(1): 45-59.

- Bueno, E., García, P., Martínez, B., and Rodríguez, A. 2012. Phage Inactivation of *Staphylococcus aureus* in Fresh and Hard-Type Cheeses. *Int.J.Food.Microbiol.* 158(1): 23-27.
- Carter, C. D., Parks, A., Abuladze, T., Li, M., Woolston, J., Magnone, J., and Sulakvelidze, A. 2012. Bacteriophage Cocktail Significantly Reduces *Escherichia coli* O157: H7 Contamination of Lettuce and Beef, But Does Not Protect Against Recontamination. *Bacteriophage.* 2(3): 178-185.
- Choliq, F. A., Martosudiro, M., Istiqomah, I., dan Nijami, M. F. 2020. Isolasi dan Uji Kemampuan Bakteriofag sebagai Agens Pengendali Penyakit Layu Bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada Tanaman Tomat. *Viabel.* 14(1): 8-20.
- Clara, T. 2023. Bakteriofage Adalah Virus Parasit Yang Menginfeksi Sel Organisme. <https://homecare24.id/bakteriofage-adalah-virus-parasit-yang-menginfeksi-sel-organisme/> diakses pada 8 November 2024 pukul 17.30 WIB.
- Daris, U. S., Syam, H., dan Sukainah, A. 2023. Uji Daya Hambat serta Penentuan Minimum Inhibitor Concentration (MIC) dan Minimum Bactericidal Concentration (MBC) Ekstrak Daun Bidara Terhadap Bakteri Patogen. *J.Pend.Tekno.Pertanian.* 9(2): 223-234.
- Davis, W. W., and Stout, T. R. 1971. Disc Plate Method of Microbiological Antibiotic Assay: I. Factors Influencing Variability and Error. *App.Microbiol.* 22(4): 659-665.
- Deshanda, R. P., Lingga, R., Hidayati, N. A., Sari, E., dan Hertati, R. 2018. Fag *Salmonella* Asal Limbah Pasar Ikan dan Air Sungai di Sekitar Kampus Universitas Bangka Belitung. *Ekotonia.* 3(2): 45-49.
- Fajriani, B., Budiharjo, A., dan Pujiyanto, S. 2018. Isolasi dan Identifikasi Molekuler Bakteri Antagonis Terhadap *Vibrio parahaemolyticus* Patogen pada Udang *Litopenaeus vannamei* dari Produk Probiotik dan Sedimen Mangrove di Rembang. *J.Aka.Bio.* 7(1): 52-63.
- Gaffar, A., dan Suryani, E. M. 2022. Bakteriofag dan Aplikasi Dalam Mengendalikan Bakteri Patogen Untuk Meningkatkan Keamanan Pangan. *Bioma.* 18(2): 42-48.
- García, P., Madera, C., Martínez, B., and Rodríguez, A. 2007. Biocontrol of *Staphylococcus aureus* in Curd Manufacturing Processes Using Bacteriophages. *Int.Dair.J.* 17(10): 1232-1239.

- Guenther, S., Huwylar, D., Richard, S., and Loessner, M. J. 2009. Virulent Bacteriophage for Efficient Biocontrol of *Listeria monocytogenes* in Ready-To-Eat Foods. *App.Envi.Microbiol.* 75(1): 93-100.
- Hadiwinata, B., Sabariyah, N., Aulia, D., dan Ritonga, R. A. 2023. *Vibrio parahaemolyticus* Pada Produk Perikanan dan Akuakultur. Bekasi: Arjuna Indonesia Mendunia.
- Hagens S., and Loessner, M. J. 2007. Application of Bacteriophages For Detection and Control of Foodborne Pathogens. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 76(3): 513-522.
- Hakim, L. 2024. Siklus Lisogenik Adalah: Pengertian, Konsep dan Tahapan. <https://deepublishstore.com/blog/siklus-lisogenik/> diakses pada 12 Juni 2025 pukul 15.40 WIB.
- Hardanti, S., Wardani, A. K., dan Rukmi, W. D. 2018. Isolasi dan Karakterisasi Bakteriofag Spesifik *Salmonella typhi* dari Kulit Ayam. *J.Tekno.Pertanian.* 19(2): 107-116.
- Hasan, E. 2016. Pengaruh Pemberian Ekstrak Kasar Jintan Hitam (*Nigella sativa*) Terhadap Daya Hambat Bakteri *Vibrio harveyi* Secara In Vitro. *Skripsi.* Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya: Malang.
- Hidayat, A. S. 2014. Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Vibrio* sp. dari Ikan Kerapu Sunu (*Plectropomus leopardus*). *Teknosains.* 8(2): 209-216.
- Hidayat, L. N. R., Riyadi, S. A., Gustiani, S., dan Dwicahya, A. 2022. Aplikasi Ekstrak Jintan Hitam (*Nigella sativa* L.) sebagai Zat Antibakteri pada Kain Kapas dengan Variasi Metode. *Indo.J.Indus.Res.* 37(1): 9-18.
- Hikmawati, F., Susilowati, A., dan Setyaningsih, R. 2019. Deteksi Jumlah dan Uji Patogenitas *Vibrio* spp. pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Kawasan Wisata Pantai Yogyakarta. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon.* 5(2): 334-339.
- Hikmawati, F., Susilowati, A. R. I., and Setyaningsih, R. 2019. Colony Morphology and Molecular Identification of *Vibrio* spp. on Green Mussels (*Perna viridis*) in Yogyakarta, Indonesia Tourism Beach Areas. *Biodiv.J.Biol.Diver.* 20(10): 2891-2899.
- Huang, C., Virk, S. M., Shi, J., Zhou, Y., Willias, S. P., Morsy, M. K., Abdelnabby, H. E., Liu, J., Wang, X., and Li, J. 2018. Isolation, Characterization, and Application of Bacteriophage LPSE1 Against *Salmonella enterica* in Ready To Eat (RTE) Foods. *Front.Microbiol.* 9: 1046.

- Ihsan, B., dan Retnaningrum, E. 2017. Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Vibrio* sp. Pada Kerang Kapah (*Meretrix meretrix*) di Kabupaten Trenggalek. *J.Harp. Borneo*. 10(1): 23-27.
- Ilmiah., Sukenda., Widanarni., dan Harris, E. 2012. Isolasi dan Karakterisasi *Vibrio* patogen pada Ikan Kerapu Macan *Epinephelus fuscoguttatus*. *J.Akuakul.Indo*. 11(1): 28-37.
- Jatmiko, Y. D., Purwanto, A. P., dan Ardyati, T. 2018. Uji Aktivitas Bakteriofage Litik dari Limbah Rumah Tangga terhadap *Salmonella typhi*. *J.Biodjati*. 3(2): 134-147.
- Kalendesang, Y. A., Legrans, R. R., dan Mangangka, I. R. 2024. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Tumumpa Kota Manado. *TEKNO*. 22(87): 317-326.
- Kipimbob, E., Bara, R., Wowor, P. M., dan Posangi, J. 2019. Uji Efek Antibakteri *Chromodoris diana* terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *J.eBiomedik*. 7(1): 61-66.
- Klau, A., Salosso, Y., dan Tobuku, R. 2021. Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Vibrio harveyi* yang Menginfeksi Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) pada Tambak Udang di Desa Timor Tengah Utara. *J.Aquatik*. 4(2): 73-82.
- Le, T. S., Southgate, P. C., O'Connor, W., Abramov, T., Shelley, D. V., Vu, S., and Kurtböke, D. İ. 2020a. Use of Bacteriophages to Control *Vibrio* Contamination of Microalgae Used as a Food Source For Oyster Larvae During Hatchery Culture. *Curr. Microbiol*. 77: 1811–1820.
- Le, T. S., Southgate, P. C., O'Connor, W., Vu, S. V., and Kurtböke, D. İ. 2020b. Application of Bacteriophages to Control *Vibrio alginolyticus* Contamination in Oyster (*Saccostrea glomerata*) Larvae. *Antibiotics*. 9(415): 1-13.
- Lee, W. J., Billington, C., Hudson, J. A., and Heinemann, J. A. 2011. Isolation and Characterization of Phages Infecting *Bacillus cereus*. *Lett.App.Microbiol*. 52(5): 456-464.
- Letchumanan, V., Chan, K. G., Pusparajah, P., Saokaew, S., Duangjai, A., Goh, B. H., Ab Mutalin, N. S., and Lee, L. H. 2016. Insights Into Bacteriophage Application In Controlling *Vibrio* Species. *Front.Microbiol*. 7(1114): 1-15.
- Li, Z., Ma, W., Li, W., Ding, Y., Zhang, Y., Yang, Q., and Wang, X. 2020. A Broad-Spectrum Phage Controls Multidrug-Resistant *Salmonella* in Liquid Eggs. *Food.Res.Int*. 132: 109011.

- Linianti, L., Nur, I., Maulidiyah, M., dan Yusnaini, Y. 2017. Potensi Ekstrak Etanol Biji Jintan Hitam (*Nigella sativa*) untuk Pengendalian Bakteri *Vibrio harveyi* Penyebab Penyakit pada Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*). *JSIPi*. 1(1): 25-29.
- Mahulauw, F. R., Lamadi, A., dan Mulis, M. 2022. Patogenitas Bakteri *Vibrio* sp. pada Udang Vanamei di Kabupaten Pohuwato. *Nikè*. 10(1): 31-40.
- Makmun, A., Surdam, Z., dan Gunawan, A. M. 2020. Uji Efektivitas Ekstrak Jintan Hitam (*Nigella sativa*) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* pada Medium MHA (Mueller Hinton Agar). *Window of Health*. 3(1): 1-9.
- Mangieri, N., Picozzi, C., Cocuzzi, R., and Foschino, R. 2020. Evaluation of a Potential Bacteriophage Cocktail for the Control of Shiga-Toxin Producing *Escherichia coli* in Food. *Front.Microbiol.* 11(1801): 1-9.
- Masri, M., Djamal, A., dan Putra U. G. 2015. Uji Efek Antibakteri Minyak Jintan Hitam (*Nigella sativa*) dalam Kapsul yang Dijual Bebas Selama Tahun 2012 di Kota Padang Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* Secara in Vitro. *J.Kes.Andalas*. 4(2): 387-391.
- Mewengkang, H. W. 2010. Identifikasi *Vibrio* sp. pada Gonad Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis* L). *JPKT*. 6(1): 18- 21.
- Nurrizkiawan, Z., Brahmanti, A. A., dan Wardani, A. K. 2023. Isolasi Bakteriofag dan Aplikasinya untuk Mengontrol Bakteri Patogen: Bakteriofag untuk Mengontrol Bakteri Patogen. *Trop.Microbio*. 1(1): 1-12.
- O'Flynn, G., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., and Coffey, A. 2004. Evaluation of A Cocktail of Three Bacteriophages For Biocontrol of *Escherichia coli* O157:H7. *App.Enviro.Microbiol.* 70(6): 3417-3424.
- Perera, M. N., Abuladze, T., Li, M., Woolston, J., and Sulakvelidze, A. 2015. Bacteriophage Cocktail Significantly Reduces or Eliminates *Listeria monocytogenes* Contamination on Lettuce, Apples, Cheese, Smoked Salmon and Frozen Foods. *Food Microbiology*. 52: 42-48.
- Pramono, H., Noor, H. M., Fatimah, S. S., Harahap, N. A., and Selia, A. A. 2015. Isolasi dan Identifikasi *Vibrio* sp. pada Produk Seafood Tradisional Area Timur Kota Surabaya. *JIPK*. 7(1): 25-30.
- Pratiwi, R. H. 2021. Virus Bakteri sebagai Terapi untuk Penyakit Infeksi. *BIOEDUSAINS*. 4(2): 193-204.

- Putra, S. F., Tumbol, R. A., Undap, S. L., Kreckhoff, R. L., dan Pangemanan, P. N. 2024. Identifikasi Bakteri *Vibrio* spp. Penyebab Vibriosis Pada Udang Vanname (*Litopenaeus vannamei*) di PT. Pilar Persada Parigi. *e-JBP*. 12(2): 80-91.
- Rahman, M. A. 2014. Uji Efektivitas Ekstrak Jintan Hitam (*Nigella sativa*) Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Streptococcus pyogenes*. *Laporan Penelitian*. Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta: Jakarta.
- Rahman, A. N. M., Sabdoningrum, E. K., Lokapirnasari, W. P., Chusniati, S., Yunus, M., dan Srianto, P. 2017. Isolasi dan Identifikasi *Vibrio* sp. Sebagai Agen Penyebab Vibriosis pada Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) di Kabupaten Banyuwangi. *Veterinaria Medika*. 10(1): 1-6.
- Rakhim, L. N., Widyorini, N., dan Ayuningrum, D. 2024. Hubungan Kelimpahan Bakteri *Vibrio* sp dengan Bahan Organik Pada Ekosistem Mangrove di Desa Tapak Tugurejo, Semarang. *MAQUARES*. 11(1): 26-35.
- Ritonga, B. F., dan Savira, M. 2023. Isolasi Bakteriofag Dari Limbah Cair Dengan Aktivitas Litik Terhadap *Escherichia coli*. *JKSK*. 23(1): 68-73.
- Salma, A., Prajawanti, K. N., Aristia, B. F., Nisyak, K., dan Soeratri, W. 2025. Potensi Jintan Hitam (*Nigella sativa*) sebagai Agen Antibakteri terhadap Bakteri Patogen Klinis. *JRIKUF*. 3(3): 146-155.
- Sampaio, A., Silva, V., Poeta, P., and Aonofriesei, F. 2022. *Vibrio* spp.: Life Strategies, Ecology, and Risks In A Changing Environment. *Diversity*. 14(2): 1-26.
- Şanlıbaba, P., and Buzrul, S. 2022. Control of *Listeria monocytogenes* in Milk by Using Phage Cocktail. *Scientia Agropecuaria*. 13(1): 7-14.
- Sarkar, S., Das, M., Bhowmick, T. S., Koley, H., Atterbury, R., Chakrabarti, A. K., and Sarkar, B. L. 2018. Isolation and Characterization of Novel Broad Host Range Bacteriophages of *Vibrio cholerae* O1 From Bengal. *JGID*. 10(2): 84-88.
- Sentoso, A. B., dan Siregar, T. A. P. 2017. Uji Efektivitas Antibiotik Ekstrak Jintan Hitam (*Nigella sativa* Linn) Terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus* Secara In Vitro. *JISB*. 1(2): 89-101.
- Shin, H., Bandara, N., Shin, E., Ryu, S., and Kim, K. P. 2011. Prevalence of *Bacillus cereus* Bacteriophages In Fermented Foods and Characterization of Phage JBP901. *Res.Microbiol*. 162(8): 791-797

- Simbolon, L., dan Kesuma, Y. 2022. Pasar Ikan Higienis berdasarkan Pola Aktivitas Pengguna, Studi Kasus Pasar Ikan di Bandar Lampung. *Losari*. 7(2): 253-267.
- Siregar, T., Siswoyo, B. H., dan Syafitri, E. 2021. Isolasi dan Identifikasi *Vibrio parahaemolyticus* pada Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Penyebab Penyakit Vibriosis. *J.Aquacul.Indo*. 1(1): 7-14.
- Sun, Z., Mandla, M., Wen, H., Ma, L., and Chen, Z. 2022. Isolation, Characterization and Application of Bacteriophage PSDA-2 Against *Salmonella typhimurium* in Chilled Mutton. *PLoS ONE*. 17(1): 1-17.
- Takwin, B. A., Wahjuningrum, D., Widanarni, W., and Nasrullah, H. 2024. The Potential of Bacteriophage For Controlling *Vibrio parahaemolyticus* As In-Vitro. *J.Akuakul.Indo*. 23(2): 122-133.
- Tamrin, T., Schadu, J. N. W., Sambali, H., Wantasen, A. S., Mantiri, D. M. H., Kepel, R. C., Mingkid, W. M., Kalesaran, O. J., Wahidin, N., Aris, M., and Abdullah, T. 2024. Kelimpahan *Vibrio* spp. di Perairan Pesisir Kabupaten Halmahera Barat. *Juvenil*. 5(3): 260-265.
- Tan, C. W., Rukayadi, Y., Hasan, H., Abdul-Mutalib, N. A., Jambari, N. N., Hara, H., Thung, T. Y., Lee, E., and Radu, S. 2021. Isolation and Characterization of Six *Vibrio parahaemolyticus* Lytic Bacteriophages From Seafood Samples. *Front.Microbiol*. 12(616548): 1-13.
- Valente, C. D. S., and Wan, A. H. L. 2021. *Vibrio* and Major Commercially Important Vibriosis Diseases In Decapod Crustaceans. *J.Invert.Pathol*. 181(107527): 1-18.
- Van, T. T. B., Anh, N. T. L., Vo, V. T., and Thi, N. P. A. 2025. Isolation and Characterization of A Novel Bacteriophage ST1749 and Its Effectiveness Against *Vibrio parahaemolyticus* and *Salmonella* spp. *Virus Research*. 356: 1-10.
- Vinod, M. G., Shivu, M. M., Umesha, K. R., Rajeeva, B. C., Krohne, G., Karunasagar, I., and Karunasagar, I. 2006. Isolation of *Vibrio harveyi* Bacteriophage with A Potential for Biocontrol of Luminous Vibriosis in Hatchery Environments. *Aquaculture*. 255(1-4): 117-124.
- Wagey, I. N., Ijong, F. G., dan Palenewen, J. C. 2013. Tingkat Kontaminasi *Vibrio cholerae* Resisten Merkuri Diisolasi Dari Ikan Kuwe (*Caranx sexfasciatus*). *MTHP*. 1(1): 21-25.
- Wang, Y., Barton, M., Elliott, L., Li, X., Abraham, S., O'Dea, M., and Munro, J. 2017. Bacteriophage Therapy For The Control of *Vibrio harveyi* In Greenlip Abalone (*Haliotis laevigata*). *Aquaculture*. 473: 251-258.

- Weber-Dabrowska, B., Jonczyk-Matysiak, E., Zaczek, M., Łobocka, M., Łusiak-Szelachowska, M., and Górski, A. 2016. Bacteriophage Procurement for Therapeutic Purposes. *Front.Microbiol.* 7(1177): 1-14.
- Wiraditama, A. P., Handayani, M., & Putri, A. S. 2024. Assesment Mutu Ikan Tongkol di Tempat Pelelangan Ikan Gudang Lelang, Kota Bandar Lampung. *Jurnal Marshela.* 2(1): 41-49.
- Yasmine, C., Setiawan, A. W., dan Handoko, Y. A. 2023. Isolasi Bakteriofag *Xanthomonas oryzae* dari Lahan Sawah di Kelurahan Kecandran, Kecamatan Sidomukti, Salatiga dan Stabilitasnya Terhadap Berbagai pH. *J.Agro.Trop.* 11(3): 401-408.