



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

APLIKASI *WHOLE GENOME SEQUENCING* DAN PENGHAMBATAN BIOFILM BAKTERI INDUSTRI PENGOLAHAN IKAN MENGGUNAKAN KOMBINASI ENZIM-DISINFEKTAN

EVIRA LISNAINA



**PROGRAM STUDI MAGSITER TEKNOLOGI HASIL PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Aplikasi *Whole Genome Sequencing* dan Penghambatan Biofilm Bakteri Industri Pengolahan Ikan Menggunakan Kombinasi Enzim-Disinfektan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Evira Lisnaina
C3501251019



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

EVIRA LISNAINA. Aplikasi *Whole Genome Sequencing* dan Penghambatan Biofilm Bakteri Industri Pengolahan Ikan Menggunakan Kombinasi Enzim-Disinfektan. Dibimbing oleh ASADATUN ABDULLAH dan TATI NURHAYATI.

Biofilm merupakan salah satu permasalahan utama dalam industri pengolahan pangan karena dapat meningkatkan persistensi mikroba pada permukaan peralatan serta menurunkan efektivitas proses sanitasi. Keberadaan matriks *extracellular polymeric substances* (EPS) menyebabkan bakteri di dalam biofilm lebih toleran terhadap berbagai agen antimikroba dibandingkan sel planktonik. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi komunitas bakteri pembentuk biofilm pada unit pengolahan ikan menggunakan pendekatan *Whole Genome Sequencing* (WGS) serta menentukan kombinasi disinfektan dengan enzim yang paling efektif dalam menghambat biofilm bakteri.

Penelitian diawali dengan pengambilan sampel pada produk dan lingkungan produksi dari tiga unit pengolahan ikan yang berbeda. Sampel biofilm kemudian dikultur, dan dilakukan simulasi pembentukan biofilm pada permukaan *stainless steel*, lalu dilakukan ekstraksi DNA dan dianalisis menggunakan pendekatan WGS. Analisis bioinformatika dilakukan untuk mengidentifikasi komposisi komunitas bakteri dan berbagai gen yang berperan dalam pembentukan biofilm. Pengujian efektivitas penghambatan biofilm dilakukan menggunakan perlakuan tunggal dan kombinasi α -amilase 2 U/mL, tripsin 0,1 U/mL, klorin 200 ppm. Jumlah bakteri pada biofilm setelah perlakuan ditentukan menggunakan metode *total plate count* (TPC), kemudian dihitung jumlah reduksinya.

Hasil analisis komunitas bakteri menunjukkan bahwa biofilm yang terbentuk memiliki karakteristik yang berbeda pada setiap lokasi pengambilan sampel. Analisis WGS berhasil merakit genom bakteri yang dominan pada masing-masing sampel, yaitu *Enterococcus faecalis* pada sampel PT A, *Bacillus licheniformis* pada sampel PT B, dan *Pseudomonas aeruginosa* pada sampel PT C. Analisis genom menunjukkan keberadaan berbagai gen yang berperan dalam sintesis EPS, adhesi, stabilitas, dan regulasi biofilm. Selain itu, terdeteksi gen resistensi disinfektan yang didominasi oleh mekanisme pompa efluks terhadap senyawa *quaternary ammonium compound* (QACs) dan natrium hipoklorit. Keberadaan gen tersebut menunjukkan potensi adaptasi bakteri terhadap tekanan sanitasi pada lingkungan pengolahan pangan. Pengujian efektivitas perlakuan menunjukkan bahwa kombinasi α -amilase, tripsin, dan klorin merupakan perlakuan yang paling efektif dalam menghambat biofilm dengan nilai reduksi 2,46 log CFU, nilai ini lebih tinggi dibandingkan perlakuan tunggal maupun kombinasi lainnya. Peningkatan efektivitas tersebut diduga berkaitan dengan kemampuan α -amilase dan tripsin dalam mendegradasi komponen polisakarida dan protein matriks biofilm sehingga meningkatkan efektivitas kerja klorin terhadap sel bakteri.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi enzim dan disinfektan berpotensi dikembangkan sebagai strategi pengendalian biofilm yang lebih efektif pada industri pengolahan pangan.

Kata kunci: Biofilm, disinfektan, enzim, industri pengolahan ikan, *whole genome sequencing*



SUMMARY

EVIRA LISNAINA. Characterization of Biofilm-Forming Bacteria in Fish Processing Industries Using Whole Genome Sequencing and Evaluation of Biofilm Inhibition by Enzyme-Disinfectant Combinations. Supervised by ASADATUN ABDULLAH and TATI NURHAYATI.

Biofilms are a major concern in food processing industries because they enhance microbial persistence on equipment surfaces and reduce the effectiveness of sanitation procedures. The presence of an extracellular polymeric substances (EPS) matrix enables biofilm-associated bacteria to tolerate antimicrobial agents more effectively than their planktonic counterparts. This study aimed to characterize biofilm-forming bacterial communities in fish processing facilities using a Whole Genome Sequencing (WGS) approach and to determine the most effective combination of disinfectant and enzymes for biofilm inhibition.

Samples were collected from products and processing environments of three different fish processing facilities. Biofilm-forming bacteria were cultured, and biofilm formation was simulated on stainless steel surfaces. Genomic DNA was subsequently extracted and analyzed using WGS. Bioinformatics analyses were performed to identify bacterial community composition and genes associated with biofilm formation. The antibiofilm efficacy of single and combined treatments consisting of α -amylase 2 U/mL, trypsin 0.1 U/mL, and chlorine 200 ppm was evaluated. Viable biofilm-associated bacteria were enumerated using the total plate count (TPC) method, and log reductions were calculated.

The results revealed distinct biofilm bacterial communities among sampling locations. WGS analysis successfully reconstructed the genomes of the dominant bacterial species from each sample, namely *Enterococcus faecalis* from PT A, *Bacillus licheniformis* from PT B, and *Pseudomonas aeruginosa* from PT C. Genomic analysis identified various genes involved in EPS synthesis, adhesion, biofilm stability, and biofilm regulation. In addition, disinfectant resistance genes were detected, predominantly associated with efflux pump mechanisms against quaternary ammonium compounds (QACs) and sodium hypochlorite. The presence of these genes suggests an adaptive capacity of biofilm-associated bacteria to withstand sanitation pressures in food processing environments. Among all treatments, the combination of α -amylase, trypsin, and chlorine exhibited the highest antibiofilm activity, resulting in a 2.46 log CFU reduction, which exceeded those achieved by single treatments or other treatment combinations. This enhanced efficacy was likely attributable to the ability of α -amylase and trypsin to degrade polysaccharide and protein components of the biofilm matrix, thereby improving chlorine penetration and antimicrobial activity against biofilm-embedded cells.

These findings demonstrate that WGS is a valuable tool for elucidating the genetic characteristics of biofilm-forming bacteria in food processing environments. Furthermore, the combined application of α -amylase, trypsin, and chlorine shows potential as an effective strategy for biofilm control in the food processing industry.

Keywords: Biofilm, disinfectant, enzyme, fish processing industry, whole genome sequencing



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



APLIKASI *WHOLE GENOME SEQUENCING* DAN PENGHAMBATAN BIOFILM BAKTERI INDUSTRI PENGOLAHAN IKAN MENGUNAKAN KOMBINASI ENZIM-DISINFEKTAN

EVIRA LISNAINA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Teknologi Hasil Perairan

**PROGRAM STUDI MAGSITER TEKNOLOGI HASIL PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

- 1 Rizfi Fariz Pari S.T., M.Si., Ph.D.
- 2 Prof. Dr. Kustiariyah, S.Pi., M.Si.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Aplikasi *Whole Genome Sequencing* dan Penghambatan Biofilm Bakteri Industri Pengolahan Ikan Menggunakan Kombinasi Enzim-Disinfektan

Nama : Evira Lisnaina

NIM : C3501251019

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Asadatun Abdullah, S.Pi., M.S.M., M.Si.



Pembimbing 2:

Prof. Dr. Tati Nurhayati, S.Pi., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr.Eng. Uju, S.Pi, M.Si.

NIP. 19730612 200012 1 001



Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:

Dr. Beginer Subhan, S.Pi., M.Si.

NIP. 19800118 200501 1 003



Tanggal Ujian:
(31 Juli 2026)

Tanggal Lulus:
(11Agustus 2026)



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2025 sampai bulan April 2026 ini ialah analisis genomik dalam mikrobiologi industri pangan dengan judul “Aplikasi *Whole Genome Sequencing* dan Penghambatan Biofilm Bakteri Industri Pengolahan Ikan Menggunakan Kombinasi Enzim-Disinfektan”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. Asadatun Abdullah, S.Pi., M.S.M., M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing, dan memberikan motivasi serta arahan kepada penulis baik selama menjalani studi dan penyelesaian tesis ini
2. Prof. Dr. Tati Nurhayati, S.Pi., M.Si. selaku dosen pembimbing II sekaligus ketua Divisi Bahan Baku Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University yang telah membimbing dan banyak memberi saran kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini
3. Rizfi Fariz Pari S.T., M.Si., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran untuk penyelesaian tesis ini
4. Prof. Dr. Kustiariyah, S.Pi., M.Si. selaku dosen penelaah gugus mutu yang telah membimbing format penulisan untuk menyempurnakan tesis ini
5. Prof. Dr. Eng. Uju, S.Pi., M.Si. selaku Ketua Program Studi S2 Teknologi Hasil Perairan, IPB University
6. Roni Nugraha, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University.
7. Ayah, mama, kakak, dan adik yang selalu memberikan doa, dukungan dan kasih sayang kepada penulis.
8. Kakak-kakak tingkat, teman-teman, dan para staf laboratorium yang telah memberikan bantuan, dukungan dan semangat dalam menyelesaikan proposal penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih memiliki kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran, serta semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Evira Lisnaina



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Hipotesis	4
II METODE	5
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	5
2.2 Alat dan Bahan	5
2.3 Prosedur Kerja	6
2.4 Analisis data	11
III HASIL DAN PEMBAHASAN	13
3.1 Karakteristik Biofilm Bakteri	13
3.2 Karakteristik Taksonomi Bakteri Pembentuk Biofilm	15
3.3 Karakteristik <i>Assembly</i> dan Evaluasi Kualitas Genom	18
3.4 Gen Penyandi Biofilm	23
3.5 Penyandi Gen Resistensi Disinfektan	27
3.6 Gen Penyandi Resistensi Antibiotik	30
3.7 Gen Penyandi Virulensi	33
3.8 Aktivitas Enzim	39
3.9 <i>Minimum Dispersive Concentration</i> Enzim Tripsin	41
3.10 Efektivitas Kombinasi Enzim-Disinfektan Terhadap Biofilm Bakteri	42
3.11 Hubungan Profil Genomik dengan Biosintesis EPS dan Efektivitas Kombinasi Enzim-Disinfektan	46
IV SIMPULAN DAN SARAN	50
4.1 Simpulan	50
4.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	65
RIWAYAT HIDUP	77

DAFTAR TABEL

1	Karakteristik taksonomi bakteri pembentuk biofilm dari masing-masing isolat	16
2	Karakteristik genom <i>assembly</i> isolat bakteri pembentuk biofilm	18
3	Gen penyandi pembentukan biofilm pada masing-masing isolat	24
4	Gen penyandi resistensi disinfektan yang teridentifikasi pada masing-masing isolat	28
5	Profil gen penyandi resistensi antibiotik pada masing-masing isolat	30
6	Gen penyandi faktor virulensi yang teridentifikasi pada masing-masing isolat	35
7	Karakteristik aktivitas enzim tripsin dan α -amilase	39

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian	6
2	Biofilm bakteri dari isolat swab pada produk dan lingkungan produksi unit pengolahan ikan	13
3	Morfologi sel bakteri biofilm setelah pewarnaan Gram pada perbesaran 1000 $\times$	14
4	Peta sirkular genom isolat bakteri pembentuk biofilm	21
5	Kelengkapan genom isolat bakteri berdasarkan analisis BUSCO	23
6	Persentase inhibisi biofilm oleh enzim tripsin pada berbagai konsentrasi (0,025–0,1 U/mL) setelah waktu kontak selama 1 jam	41
7	Jumlah bakteri biofilm (log CFU/cm ²) setelah perlakuan α -amilase, tripsin, klorin, dan kombinasi perlakuan pada permukaan <i>stainless steel</i>	42
8	Rekonstruksi jalur pembentukan biofilm <i>P. aeruginosa</i> berdasarkan analisis KEGG Mapper	47
9	Jalur biosintesis eksopolisakarida alginat dan Pel pada <i>P. aeruginosa</i> berdasarkan analisis KEGG Mapper	48

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir tahapan ekstraksi DNA bakteri dengan Geneaid Presto Mini gDNA Bacteria Kit	66
2	Diagram alir tahapan ekstraksi DNA bakteri dengan FastPure Blood/Cell/Tissue/Bacteria DNA Isolation Mini	67
3	Titik sampling pengambilan sampel pada masing-masing industri	68
4	Ilustrasi teknik pengumpulan sampel	69
5	Pengukuran <i>quality control</i> kualitas DNA	70
6	Spesies terdeteksi pada <i>filter reads</i> isolat PT A	71
7	Spesies terdeteksi pada <i>filter reads</i> isolat PT B	71
8	Spesies terdeteksi pada <i>filter reads</i> isolat PT C	72
9	Contoh perhitungan aktivitas enzim tripsin usus tuna	73
10	Kurva standar <i>Bovine Serum Albumin</i> (BSA)	73
11	Laporan hasil uji perhitungan jumlah bakteri	74
12	Hasil analisis statistik	76