

KARAKTERISASI GENOM BAKTERI *Paenibacillus woosongensis* DARI LIMBAH RUMAH SAKIT DI JAKARTA TIMUR

MUHAMAD ILHAM ZAKARIA



**DEPARTEMEN BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Karakterisasi Genom Bakteri *Paenibacillus woosongensis* dari Limbah Rumah Sakit di Jakarta Timur” 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Muhamad Ilham Zakaria
G8401221009



@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.



ABSTRAK

MUHAMAD ILHAM ZAKARIA. Karakterisasi Genom Bakteri *Paenibacillus woosongensis* dari Limbah Rumah Sakit di Jakarta Timur. Dibimbing oleh RAHADIAN PRATAMA dan SUNARNO.

Karakterisasi genom bakteri dari limbah rumah sakit penting untuk menilai potensi adaptasi metabolik dan risiko reservoir zat antimikroba akibat dari perubahan karakter yang terjadi. Penelitian ini bertujuan mengonfirmasi identitas genomik serta mengidentifikasi gen fungsional, *resistome* serta *virulome* pada isolat limbah rumah sakit. Metode penelitian dimulai dengan *sampling* isolat dari titik *outlet* limbah rumah sakit, lalu DNA diekstraksi menggunakan DNA *mini kit* dan dikualifikasi melalui spektrofotometer NanoDrop, elektroforesis dan Quantus fluorometer. Kemudian, sampel dilakukan *sequencing* dengan PromethION 2 Solo dan hasilnya dianalisis dengan *tools* bioinformatika melalui *platform* UseGalaxy. Hasil penelitian mengonfirmasi genom isolat dengan kualitas baik (Q10>75,6%; *contig* tunggal; GC *content* 49,69%; *coverage* 68x) dan berkerabat dekat dengan satu *strain* *Paenibacillus* sp. (ANI, dDDH, AF melampaui ambang batas) dan dua *strain* *P. woosongensis* (dDDH mendekati 70%). Anotasi fungsional mendeteksi ratusan gen CAZyme, gen respons stres, gen biodegradasi dan *mobile genetic elements*. Terdapat gen resistensi yang terdiri dari gen *vanY/vanW/vanT*, *qacJ* dan *LlmA*. Faktor virulensi menunjukkan dominasi gen *adherence*, akuisisi besi, *hlyIII* dan *ndk*. Kesimpulan menunjukkan isolat berpotensi sebagai biodegradator sekaligus reservoir resistensi/virulensi adaptif terhadap tekanan seleksi ekosistem rumah sakit.

Kata kunci: adaptasi, limbah rumah sakit, *Paenibacillus woosongensis*, resistensi antibiotik, *whole-genome sequencing*



ABSTRACT

MUHAMAD ILHAM ZAKARIA. Genome Characterization of the Bacterium *Paenibacillus woosongensis* from Hospital Waste in East Jakarta. Supervised by RAHADIAN PRATAMA and SUNARNO.

Genomic characterization of bacteria from hospital wastewater is important for assessing their potential for metabolic adaptation and risk as reservoirs for antimicrobial substances due to changes in their characteristics. This study aims to confirm genomic identity and identify functional genes, antibiotic resistance genes, and virulence factors in hospital wastewater isolates. Research method began with sampling isolates from hospital wastewater outlets, followed by DNA extraction using DNA Mini Kit and quantification with NanoDrop spectrophotometer, electrophoresis, and Quantus fluorometer. The samples sequenced using the PromethION 2 Solo, and the results were analyzed using bioinformatics tools with UseGalaxy platform. The results confirmed high-quality genome for the isolate (Q10 > 75,6%; single contig; GC content 49.69%; coverage 68x) that is closely related to one strain *Paenibacillus* sp. (ANI, dDDH, AF passed threshold) dan two strain *P. woosongensis*. (dDDH close to 70%) .Functional annotation detect hundreds of CAZyme genes, stress response genes, biodegradation genes and mobile genetic elements. There are resistance genes, included *vanY/vanW/vanT*, *qacJ* and *LlmA* genes. Virulence factor show dominance of adherence, iron acquisition, *hlyIII* and *ndk* genes. In conclusion, the isolate has potential to serve as a biodegradator and a reservoir of adaptive resistance/virulence against the selective pressures of hospital ecosystem.

Keywords: adaptation, antibiotic resistance, hospital wastewater, *Paenibacillus woosongensis*, 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 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 2026
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.

KARAKTERISASI GENOM BAKTERI *Paenibacillus woosongensis* DARI LIMBAH RUMAH SAKIT DI JAKARTA TIMUR

MUHAMAD ILHAM ZAKARIA

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Biokimia

**DEPARTEMEN BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Dimas Andrianto, S.Si., M.Si.
2. Prof. Dr. Waras Nurcholis, S.Si., M.Si.

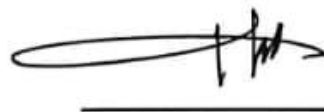
Judul Skripsi : Karakterisasi Genom Bakteri *Paenibacillus woosongensis* dari
Limbah Rumah Sakit di Jakarta Timur
Nama : Muhamad Ilham Zakaria
NIM : G8401221009

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. rer. nat. Rahadian Pratama, S.Si., M.Si.
NIP. 202208198902051001



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Sunarno, M.Si.Med.
NIP. 197704121996031001



Diketahui oleh

DA Ketua Departemen Biokimia
Prof. Dr. Mega Safithri, S.Si., M.Si.
NIP. 197709152005012002



Tanggal Ujian:
9 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@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.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan Mei 2026 ini ialah biomolekul, dengan judul “Karakterisasi Genom Bakteri *Paenibacillus woosongensis* dari Limbah Rumah Sakit di Jakarta Timur”. Keberhasilan penulis untuk menyelesaikan karya ilmiah ini tidak lepas dari bantuan bimbingan dan dukungan semua pihak terkait. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada Dr. rer. nat. Rahadian Pratama, S.Si., M.Si. dan Prof. Dr. Sunarno, M.Si.Med. selaku pembimbing pertama dan kedua penulis yang telah memberikan bimbingan, saran dan juga ilmu yang sangat bermanfaat selama penyusunan karya ilmiah ini. Pihak Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memfasilitasi sampel penelitian yang digunakan untuk analisis *Whole-Genome Sequencing* (WGS) pada karya tulis ilmiah ini. Tim Riset Genomik Biomedis BRIN telah melakukan *sampling* limbah rumah sakit pada sampel penelitian yang digunakan pada karya tulis ilmiah ini dan Dr. Nastiti Intan Permata Sari, S.Si., M.Ked.Trop. yang telah memberikan informasi detail mengenai sampel penelitian yang digunakan pada karya tulis ilmiah ini.

Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada keluarga penulis, mulai dari Ayah, Ibu, Aa dan Teteh yang telah memberikan doa, kasih sayang, perhatian dan memfasilitasi penulis selama melaksanakan studi dan penyusunan karya tulis ilmiah ini. Teman-teman bimbingan pak Rahadian, yaitu Maryam, Sydney, Annisa J, Aulia, Farel, Firli, Dyaning, Tillah, Salsa dan teman-teman sebimbingan lainnya yang telah membantu dan *sharing* ilmunya mengenai substansi penelitian pada karya tulis ilmiah ini. Lalu, teman-teman dekat dan seperjuangan penulis, yaitu Damar, Ghifaari, Husayn, Rafi, Kevin, Thaariq, Elramda, Rizal, Noufal, Syifa, Ergiana, Farah dan Arya yang telah *sharing* ilmu dengan penulis selama melaksanakan studi. Teman-teman angkatan 59 Biokimia (Rubisco) yang telah menjadi teman selama menjalankan studi dan penyusunan karya ilmiah ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Panin Bank dan Yayasan Satriabudi Dharma Setia (YSDS) atas dukungan fasilitas serta pemanfaatan instrumen laboratorium yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi penulis, pembaca, pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan, terutama di bidang biokimia.

Bogor, Juli 2026

Muhamad Ilham Zakaria



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Limbah Rumah Sakit	4
2.2 Komposisi dan Dinamika Komunitas Bakteri Limbah Rumah Sakit	6
2.3 <i>Whole-Genome Sequencing</i>	7
2.4 Analisis Bioinformatika	9
III METODE	17
3.1 Waktu dan Tempat	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Prosedur Kerja Laboratorium Basah (<i>Wet Lab</i>)	18
3.4 Prosedur Kerja Analisis Bioinformatika	21
IV HASIL	25
4.1 Kondisi Sampel	25
4.2 Kemurnian dan Konsentrasi DNA	25
4.3 Integritas DNA	25
4.4 Evaluasi Kualitas Data <i>Sequencing</i>	26
4.5 Evaluasi Hasil dan Kualitas <i>Assembly</i> DNA	28
4.6 Identifikasi Taksonomi dan Filogeni Bakteri	28
4.7 Anotasi Gen Fungsional Bakteri	30
4.8 Anotasi Gen Resistensi	33
4.9 Identifikasi Faktor Virulensi	33
V PEMBAHASAN	36
5.1 Kondisi Sampel, Kemurnian dan Konsentrasi DNA	36
5.2 Integritas DNA	37
5.3 Evaluasi Kualitas Data <i>Sequencing</i>	38
5.4 Evaluasi Kualitas Hasil <i>Assembly</i> DNA	40
5.5 Identifikasi Taksonomi dan Filogeni Bakteri	41
5.6 Anotasi Gen Fungsional Bakteri	44
5.7 Anotasi Gen Resistensi	50
5.8 Identifikasi Faktor Virulensi	53
VI SIMPULAN DAN SARAN	56
6.1 Simpulan	56
6.2 Saran	56

DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	76
RIWAYAT HIDUP	81

DAFTAR TABEL

1	Karakteristik fisik hasil <i>sampling</i> air limbah rumah sakit	25
2	Kemurnian dan konsentrasi hasil ekstraksi DNA	25
3	Metriks evaluasi kualitas hasil <i>sequencing</i>	27
4	Metriks evaluasi hasil kualitas <i>assembly</i>	28
5	Metriks identifikasi taksonomi bakteri berdasarkan GC <i>content</i> , nilai ANI, dDDH dan AF pada sampel isolat yang dibandingkan dengan <i>strain</i> referensi	29
6	<i>Summary</i> hasil anotasi gen fungsional pada sampel isolat yang dibandingkan dengan referensi	32
7	Karakteristik hasil anotasi gen resistensi pada sampel isolat melalui RGI berbasis <i>database</i> CARD	33
8	Hasil faktor virulensi berbasis VFDB pada sampel isolat	34

DAFTAR GAMBAR

1	Kontaminan utama pada limbah rumah sakit, potensi bahayanya dan metode pengolahan yang digunakan	4
2	Prinsip kerja teknologi <i>nanopore</i> dari ONT	8
3	<i>Tools</i> PromethION 2 Solo dengan 24 <i>flow cell bays</i>	9
4	<i>Workflow</i> dasar TYGS	13
5	Pita hasil elektroforesis sampel DNA. M: <i>Marker</i> DNA <i>ladder</i> ; S: Sampel DNA isolat limbah rumah sakit	26
6	Grafik bivariat pada hasil <i>sequencing</i> genomik sampel isolat limbah rumah sakit	27
7	Pohon filogenetik sampel isolat yang berkerabat dekat dengan 4 <i>reference genome</i>	30
8	Visualisasi genom sirkular menggunakan Proksee	31
9	Distribusi kategori fungsional protein berdasarkan <i>database</i> COG pada sampel isolat	32
10	Distribusi kategori fungsional protein berdasarkan <i>database</i> KEGG pada sampel isolat	33
11	Morfologi salah satu bakteri genus <i>Paenibacillus</i>	43
12	Mekanisme toleransi bakteri terhadap logam berat	46
13	Reduksi bertahap gugus nitro melalui dua elektron per tahap	47
14	Toleransi dan resistensi <i>biofilm</i> terhadap antimikroba	49
15	Mekanisme resistensi bakteri terhadap beberapa antibiotik	51
16	Strategi umum akuisisi Fe ³⁺ oleh patogen	54
17	Gugus pengikat Fe ³⁺ yang paling umum dan contoh siderofornya	54



DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram Alir Penelitian	77
2	Dokumentasi penelitian	78
3	<i>NanoStat Report</i>	79
4	Visualisasi Genom Sirkular Sampel Isolat	80

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.