JURNAL | SAINS DAN TEKNOLOGI
KEILMUAN DAN APLIKASI TEKNOLOGI INDUSTRI
E-ISSN : 2615-2827 P-ISSN : 1412-5455
Volume 25, Nomor 2 Tahun 2025
https://ejurnalsttind.id/index.php/SainsdanTeknologi

Hubungan Parameter Lingkungan Terhadap Kelimpahan Bakteri *Bacillus* pada Ekosistem Perairan di Sumatra Barat

Suci Handayani[1)*], Suci Fitria Rahmadhani Z[2)], Andi Irawan[3)], Hendri Sawir[4)]

[1,2,3] Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Padang, Sumatera Barat.

sucihandy@gmail.com* ; sucifitria1228@gmail.com.; andiirawan@sttind.ac.id; hendri.sawir@yahoo.com;

ABSTRAK

Ekosistem perairan merupakan komponen penting yang rentan terhadap perubahan lingkungan akibat aktivitas antropogenik yang dapat memengaruhi keberadaan mikroorganisme, termasuk bakteri *Bacillus*. *Bacillus* memiliki peran ekologis penting dalam siklus biogeokimia, sehingga penting untuk memahami keterkaitannya dengan kondisi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter lingkungan dengan kelimpahan *Bacillus* pada sedimen perairan di Sumatra Barat. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif korelasional dengan pengambilan sampel sedimen di 12 titik yang mewakili ekosistem pantai, muara, sungai, dan danau. Parameter lingkungan yang dianalisis meliputi pH, suhu, salinitas, oksigen terlarut (DO), *total organic carbon* (TOC), ammonium, nitrit, nitrat, fosfat, dan sulfat. Identifikasi *Bacillus* dilakukan mengacu pada ISO 7218:2007, sementara analisis statistik menggunakan uji ANOVA/Kruskal-Wallis dan korelasi Pearson/Spearman. Hasil penelitian menunjukkan *Bacillus* terdeteksi di seluruh lokasi dengan variasi kelimpahan. Korelasi positif yang kuat ditemukan antara *Bacillus* dan amonium (r = 0,725; P < 0,05), sedangkan parameter lain seperti pH, salinitas, dan sulfat hanya menunjukkan hubungan positif lemah (r = 0,084-0,473; p >0,05). Sebaliknya, DO, suhu, TOC, nitrit, nitrat, dan fosfat berkorelasi negatif namun tidak signifikan (r = (-0,072) - (-0,321); P > 0,05). Temuan ini menegaskan bahwa dinamika *Bacillus* lebih dipengaruhi oleh ketersediaan senyawa nitrogen, khususnya amonium, dibandingkan parameter lainnya. Berdasarkan penelitian ini, *Bacillus* berpotensi sebagai bioindikator kualitas perairan dan mendukung pengelolaan lingkungan serta aplikasi bioteknologi perairan.

Kata kunci: *Bacillus*, Parameter Lingkungan, Sedimen Perairan, Korelasi

ABSTRACT

Aquatic ecosystems are highly susceptible to environmental alterations driven by anthropogenic activities, which may significantly influence microbial communities, including Bacillus species. Bacillus plays a crucial ecological role in biogeochemical cycles; thus, understanding its association with environmental parameters is essential. This study investigates the relationship between environmental factors and the abundance of Bacillus in aquatic sediments of West Sumatra. A descriptive correlational design was applied, with sediment samples collected from 12 sites representing coastal, estuarine, river, and lake ecosystems. Environmental parameters measured included pH, temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), total organic carbon (TOC), ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, and sulfate. Bacillus was identified following ISO 7218:2007, and data were analyzed using ANOVA/Kruskal-Wallis and Pearson/Spearman correlation tests. Results demonstrated the presence of Bacillus across all sites with spatial variation in abundance. A strong positive correlation was observed between Bacillus and ammonium (r = 0.725; P < 0.05), whereas pH, salinity, and sulfate showed weak positive associations (r = 0.084–0.473; P > 0.05). Conversely, DO, temperature, TOC, nitrite, nitrate, and phosphate displayed weak, non-significant negative correlations (r = –0.072 to –0.321; P > 0.05). These findings indicate that Bacillus dynamics are primarily influenced by nitrogen availability, particularly ammonium. Overall, Bacillus demonstrates potential as a bioindicator of water quality and offers promising implications for environmental management and aquatic biotechnology applications.

Keywords: *Bacillus, Environmental Parameters, Aquatic Sediments, Correlation*

Copyright (c) 2025 Suci Handayani, Suci Fitria Rahmadhani Z , Andi Irawan
DOI: https://doi.org/10.36275/j9aa2w46

PENDAHULUAN

Ekosistem perairan memiliki peranan penting dalam menopang kehidupan, tidak hanya sebagai penyedia air dan habitat biota, tetapi juga sebagai indikator kesehatan lingkungan (Handayani et al. 2024). Salah satu komponen penting dalam ekosistem ini adalah mikroorganisme, termasuk bakteri yang memiliki peran signifikan dalam siklus biogeokimia. Bakteri *Bacillus* dikenal sebagai kelompok mikroorganisme yang mampu beradaptasi di lingkungan ekstrem dan berkontribusi dalam proses dekomposisi bahan organik, daur ulang nutrien, serta penetralan kontaminan (Selvarajan et al. 2024). Di wilayah pesisir dan perairan darat Sumatra Barat, aktivitas antropogenik seperti limbah domestik dan pertanian berpotensi mengubah kondisi lingkungan seperti pH, suhu, kandungan oksigen terlarut (DO), serta konsentrasi senyawa nitrogen dan fosfat (Pu et al. 2023). Perubahan parameter lingkungan tersebut dapat memengaruhi struktur dan kelimpahan komunitas mikroba, termasuk *Bacillus*, sehingga penting untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter lingkungan dengan dinamika mikroorganisme ini pada sedimen perairan (Hlordzi et al. 2020).

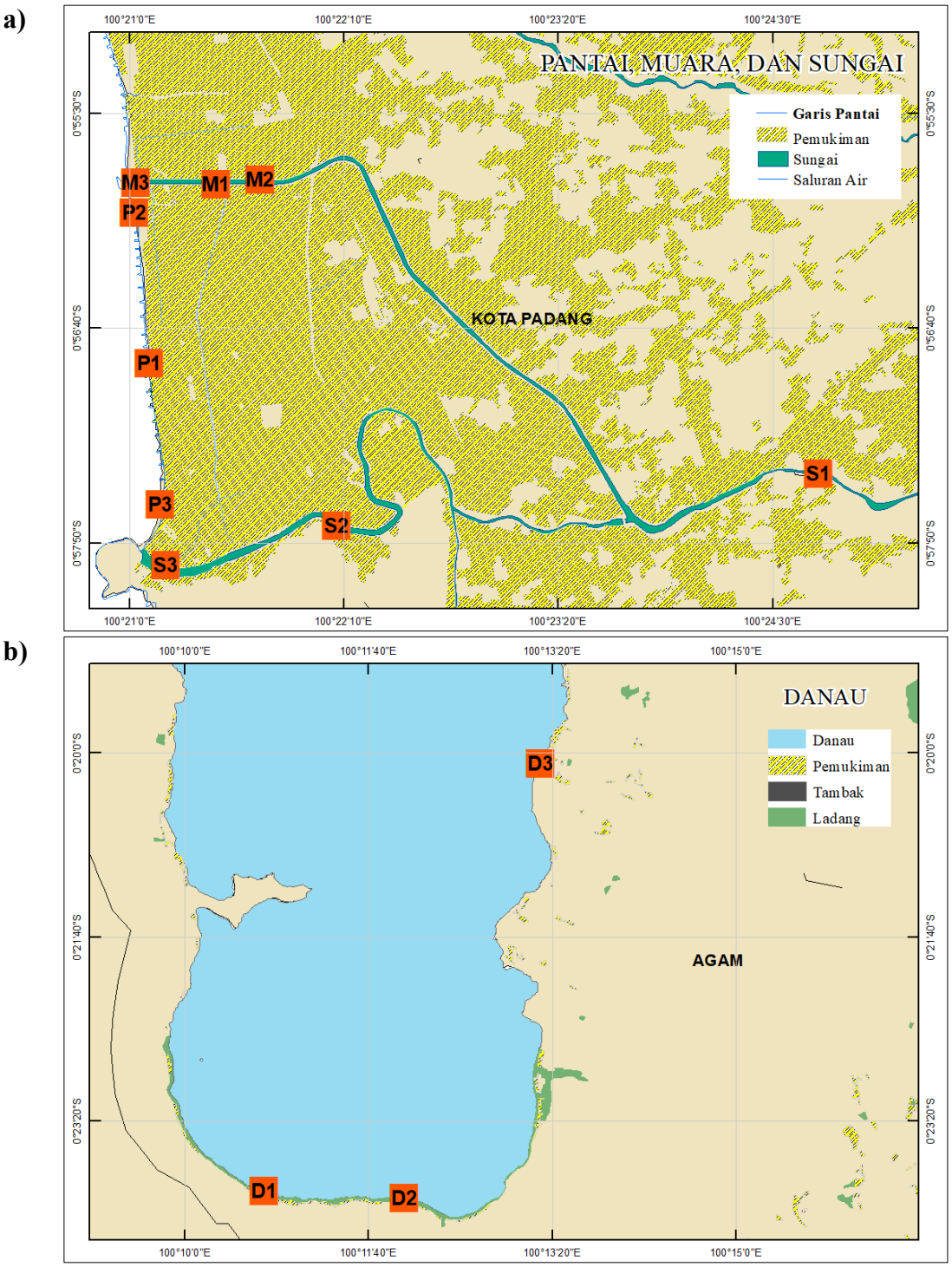
Beberapa penelitian terdahulu telah mengungkap keberadaan *Bacillus* di berbagai perairan, serta potensinya dalam bioremediasi dan aplikasi lingkungan lainnya. Misalnya, penelitian oleh R. Zhang et al. (2022) menunjukkan potensi Bacillus dalam mengurai limbah organik di perairan limbah domestik, namun belum menelaah hubungan yang spesifik antara parameter fisik-kimia perairan dengan kelimpahan bakteri tersebut di sedimen. Sementara itu, studi oleh Handayani, Zulkarnaini, and Komala (2024) menyelidiki keanekaragaman mikroba di Danau Singkarak tetapi tidak menyoroti secara rinci peran spesifik *Bacillus*. Kelemahan dari studi-studi sebelumnya adalah belum adanya integrasi data spasial parameter lingkungan dengan identifikasi kuantitatif bakteri target di berbagai lokasi strategis di Sumatra Barat, serta belum mengkaji kontribusi bakteri tersebut dalam konteks lingkungan sedimen perairan secara lebih menyeluruh. Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan pendekatan korelasi parameter lingkungan (pH, DO, suhu, salinitas, ammonium, nitrat, nitrit, fosfat, dan sulfat) terhadap kelimpahan bakteri *Bacillus* di sedimen perairan dari berbagai lokasi yaitu pada pantai, muara, sungai dan Danau yang ada di Sumatra Barat.

Pendekatan lingkungan dan mikrobiologi pada penelitian ini dikaji untuk memahami faktor-faktor dominan yang memengaruhi distribusi *Bacillus* pada sedimen perairan, yang sebelumnya belum banyak dikaji secara lokal di Sumatra Barat. Studi ini memberikan data yang lebih kontekstual dan spesifik terhadap kondisi ekosistem setempat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter lingkungan dengan kelimpahan bakteri *Bacillus* pada sedimen perairan di Sumatra Barat. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengelolaan kualitas lingkungan perairan serta membuka peluang pemanfaatan bakteri lokal untuk aplikasi bioteknologi lingkungan di masa depan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan eksperimental untuk mengkaji hubungan antara parameter lingkungan dengan kelimpahan bakteri *Bacillus* pada sedimen dari berbagai jenis perairan di Sumatra Barat. Rancangan penelitian ini bersifat deskriptif korelasional, di mana sampel sedimen diambil dari 12 lokasi yang mewakili empat tipe ekosistem perairan alami, yaitu pantai, muara, sungai, dan danau (Gambar 1). Pemilihan lokasi didasarkan pada metode *purposive sampling*, dengan pertimbangan aktivitas antropogenik yang tinggi serta potensi pencemaran lingkungan (Tabel 1). Pengambilan

sampel sedimen dilakukan menggunakan teknik "*Wading Braille*" oleh Ohio EPA, dengan delapan plot pada setiap lokasi, kemudian disatukan menjadi sampel komposit yang homogen. Parameter perairan (pH, suhu, salinitas, dan oksigen terlarut) diukur secara in situ menggunakan alat digital seperti pH meter, DO meter, termometer, dan salinity tester. Sementara itu, parameter kimia sedimen (pH, TOC, ammonium, nitrit, nitrat, fosfat, dan sulfat) dianalisis di laboratorium dengan mengacu pada standar SNI dan ASTM yang relevan, setelah sedimen diekstrak berdasarkan SNI 4819:2013.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel, **a)** Pantai, Muara, Sungai. **b)** Danau

Tabel 1. Aktivitas di Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi	Titik Sampling	Keterangan Aktivitas di Lokasi	Kode Sampel
Pantai Padang	Pasar Ikan	limbah organik dan anorganik menjadi sumber nutrien bagi mikroba.	P1
	Kawasan Wisata	Kepadatan pengunjung berkontribusi terhadap timbulan sampah domestik yang memperkaya sedimen.	P2
	Sekitar Masjid Al-Hakim	Titik ramai wisata religi dan rekreasi; potensi limpasan limbah dari aktivitas manusia.	P3
Muara Lasak	Dekat Sungai	Titik transisi dari air sungai ke laut; perubahan salinitas dan pH mempengaruhi dinamika bakteri.	M1
	Area Permukiman dan Aktivitas	Pembuangan limbah rumah tangga memperkaya bahan organik dalam sedimen.	M2
	Dekat Laut	Zona campuran air tawar dan asin; fluktuasi parameter fisik-kimia yang signifikan.	M3
Sungai Batang Arau	Sebelum Pemukiman	Representasi kondisi awal sungai; relatif minim pengaruh aktivitas antropogenik.	S1
	Area Pemukiman	Limbah domestik dan air lindi dari aktivitas rumah tangga meningkatkan beban pencemar organik.	S2
	Dekat Muara	Titik akumulasi bahan terlarut dari hulu; peningkatan senyawa organik dan nutrien.	S3
Danau Maninjau	Area Wisata	Aktivitas rekreasi dan transportasi air berdampak pada distribusi bahan pencemar.	D1
	Area Keramba Jaring Apung (Eutrofikasi)	Limbah pakan ikan memperkaya nutrien, menyebabkan ledakan populasi mikroorganisme.	D2
	Dekat Pemukiman	Pengaruh limbah domestik dan air larian dari daratan meningkatkan variasi parameter lingkungan.	D3

Jenis data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer berupa hasil pengukuran parameter lingkungan dan kelimpahan bakteri *Bacillus* dari sampel sedimen. Isolasi dan identifikasi bakteri dilakukan dengan protokol ISO 7218:2007 guna menjaga validitas hasil dan mencegah kontaminasi silang. Data hasil pengukuran dianalisis secara statistik untuk mengetahui perbedaan antar ekosistem menggunakan uji ANOVA satu arah atau uji non-parametrik Kruskal-Wallis, tergantung distribusi data. Selanjutnya, untuk menilai hubungan antara kelimpahan *Bacillus* dan parameter lingkungan, digunakan uji korelasi *Pearson* atau *Spearman* sesuai kondisi data. Nilai korelasi r berkisar antara -1 hingga +1. Nilai positif menunjukan hubungan linear positif antara variabel (yaitu, ketika satu variabel meningkat, yang lain juga cenderung meningkat), sementara nilai negatif menunjukkan hubungan linier negatif (yaitu, ketika satu variabel meningkat, yang lain cenderung menurun). Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang komprehensif tentang keterkaitan antara kondisi lingkungan dan kelimpahan *Bacillus* di sedimen perairan alami Sumatra Barat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

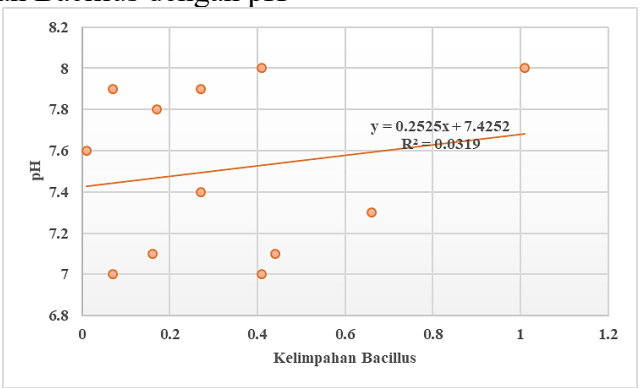
Analisis kelimpahan *Bacillus* pada masing-masing lokasi pengambilan sampel dilakukan bersamaan dengan pengukuran parameter lingkungan perairan. Penyajian data secara komparatif (Tabel 2) bertujuan untuk memperlihatkan variasi spasial maupun kisaran nilai parameter lingkungan yang diduga berpengaruh terhadap keberadaan *Bacillus*.

Tabel 2. Kelimpahan *Bacillus* Dan Parameter Lingkungan

Kode Sampel	% Bacillus	pH	DO (mg/l)	Suhu (°C)	Salinity (ppt)	TOC (%)	Amonium (mg/L)	Nitrit (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Sulfat (mg/L)
P1	0,66	7,3	3,9	28,4	32,3	1,63	1,89	0,28	2,01	1,65	32,33
P2	0,41	8	4,6	27,8	30	2,02	1,02	0,16	1,98	1,68	30,76
P3	0,01	7,6	5	29	31	1,89	0,85	0,19	2,05	0,78	31,89
M1	0,41	7	5,4	27.2	0	0,98	1,64	0,23	1,89	0,87	31,01
M2	0,07	7	4,8	28,1	1,2	1,04	0,89	0,12	1,02	0,92	28,45
M3	0,44	7,1	4,5	29	29,2	1,19	1,36	0,08	1,73	0,81	27,06
S1	0,17	7,8	5,2	28	0	1,89	0,55	0,47	2,23	0,78	27,32
S2	0,16	7,1	4,9	27,9	0	1,67	1,47	0,09	2,15	0,88	25,97
S3	0,27	7,4	4,7	30	0	1,35	1,02	0,09	2,09	1,01	30.07
D1	0,27	7,9	5,2	26,9	0,1	1,76	1,04	0,08	1,82	0,28	40,02
D2	1,01	8	5	27,6	0	0,97	1,64	0,09	0,84	0,87	38,12
D3	0,07	7,7	5,1	28	0	1,24	0,89	0,12	1,83	2,89	30,57
Nilai r		**0,147**	**-0,320**	**-0,184**	**0.084**	**-0,321**	**0,725**	**-0,119**	**-0,316**	**-0,072**	**0,473**
Sig		0,649	0,311	0,556	0,794	0,309	0,008	0,713	0,316	0,825	0,120

Hubungan antara kelimpahan baktei *Bacillus* dengan parameter-parameter lingkungan pada penelitian menunjukkan korelasi negatif untuk parameter DO, Suhu, TOC, Nitrit, Nitrat, dan Fosfat sedangkan parameter pH, Salinits, Amonium dan Sulfat menunjukkan korelasi positif.

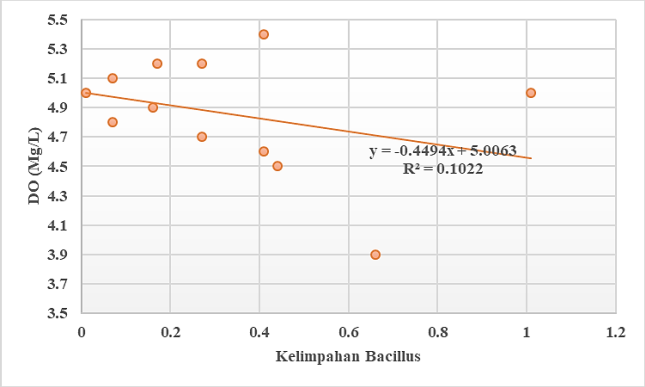
3.1 Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan pH



Gambar 2. Hubungan Kelimpahan *Bacillus* dengan pH

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi positif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan pH (7-8, $r = 0{,}147$, $P > 0{,}05$, n=12), menandakan tidak terdapat hubungan linear yang signifikan. Hasil dari nilai korelasi tidak cukup kuat untuk dijadikan dasar kesimpulan. Hal ini mengindikasikan bahwa pada rentang pH yang relatif sempit (7,0–8,0), variasi kelimpahan *Bacillus* kemungkinan lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan lain selain dari pH (Mosley, Peake, and Hunter 2010; Soetaert et al. 2007). Secara fisiologis, banyak spesies *Bacillus* dikenal sebagai bakteri neutrofil dengan pH optimum pada kisaran netral hingga sedikit asam (Hall et al. 2023; Kessouri et al. 2021). Perubahan pH menuju kondisi basa dapat mengganggu aktivitas enzimatik serta menghambat germinasi spora, sehingga menurunkan peluang kolonisasi (Trunet et al. 2024). Di sisi lain, sejumlah penelitian multi-habitat menegaskan bahwa pH merupakan salah satu pengendali utama struktur komunitas mikroba perairan (Pu et al. 2023). Akan tetapi, respon tiap taksa bakteri seringkali bersifat non-linear dan spesifik lokasi. Studi terbaru bahkan menunjukkan bahwa meskipun pH berperan signifikan terhadap beta-diversity komunitas mikroba, kelimpahan *Bacillus* dapat berfluktuasi karena faktor lingkungan lain, termasuk ketersediaan nutrien, suhu, serta interaksi kompetitif dengan taksa lain seperti *Proteobacteria* dan *Cyanobacteria* (Hlordzi et al. 2020; Pásková et al. 2024; Zheng et al. 2025).

3.2 Hubungan Kelimpahan *Bacillus* dengan DO

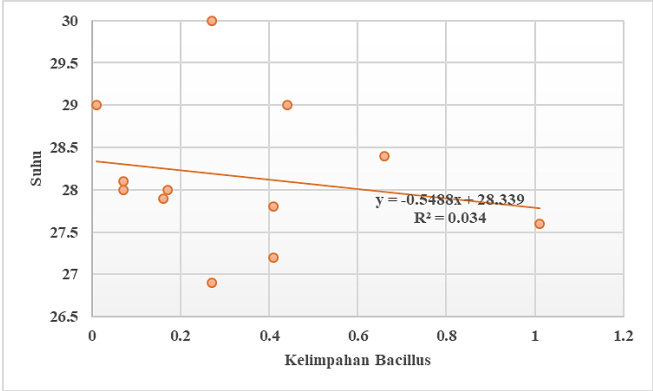


Gambar 3. Hubungan Kelimpahan *Bacillus* dengan DO

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi negatif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan DO (3,9-5 mg/l,4, $r = -0.320$, $P > 0{,}05$, n=12), variasi DO dalam rentang yang relatif sempit kemungkinan tidak cukup kuat untuk memengaruhi dinamika populasi Bacillus secara langsung. Bacillus dikenal sebagai bakteri aerob fakultatif, sehingga mampu bertahan pada kondisi oksigen rendah maupun sedang dengan mengandalkan metabolisme fermentatif atau pembentukan spora (Trunet et al. 2024). Oleh karena itu, fluktuasi DO dalam rentang 3,9–5,4 mg/L masih berada pada kisaran toleransi Bacillus sehingga tidak menimbulkan perubahan signifikan pada kelimpahannya. Penelitian sebelumnya pada ekosistem perairan menunjukkan bahwa DO memang memengaruhi struktur komunitas mikroba, tetapi efeknya lebih nyata pada taksa yang bersifat strikt aerob atau strikt anaerob (Pu et al. 2023). Bacillus, dengan sifat fisiologis yang fleksibel, sering tetap stabil dalam kondisi oksigen rendah sementara bakteri lain lebih sensitif (L. Zhang et al. 2024). Studi akuakultur terbaru juga menegaskan bahwa aplikasi probiotik Bacillus licheniformis dapat meningkatkan DO melalui perbaikan kualitas air, bukan sebaliknya (Zheng et al. 2025). Hal ini menunjukkan

bahwa Bacillus lebih berperan sebagai faktor yang memodulasi DO ketimbang dipengaruhi langsung oleh variasi DO.

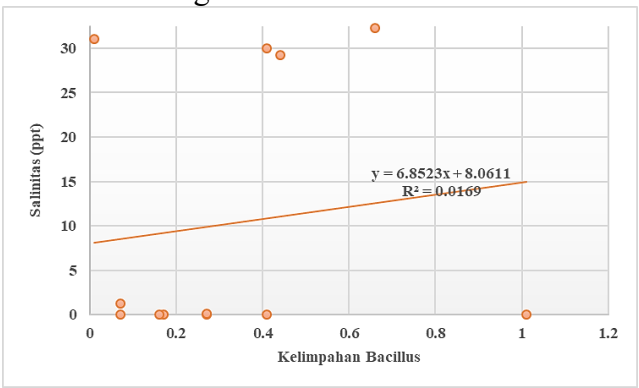
3.3 Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Suhu



Gambar 4. Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Suhu

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi negatif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan suhu (26,9-30ºC, r = -0.184, P > 0,05, n=12), sebagian besar spesies *Bacillus* bersifat mesofilik, dengan kisaran suhu optimal antara 25–37 °C (Paul et al. 2021). Hal ini menjelaskan mengapa variasi suhu dalam rentang 26,9–30 °C masih berada dalam zona nyaman fisiologis bagi *Bacillus*, sehingga tidak terjadi perubahan kelimpahan yang signifikan. Selain itu, penelitian eksperimental menunjukkan bahwa sebagian besar Bacillus kesulitan mengembangkan ketahanan suhu tinggi secara cepat, meskipun terpapar suhu bertahap secara terus-menerus (Hurtado-Bautista et al. 2024). Hal ini memperkuat fakta bahwa dalam rentang suhu yang terukur pada penelitian ini, Bacillus mampu mempertahankan kelimpahan relatifnya tanpa reaksi drastis.

3.4 Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Salinitas

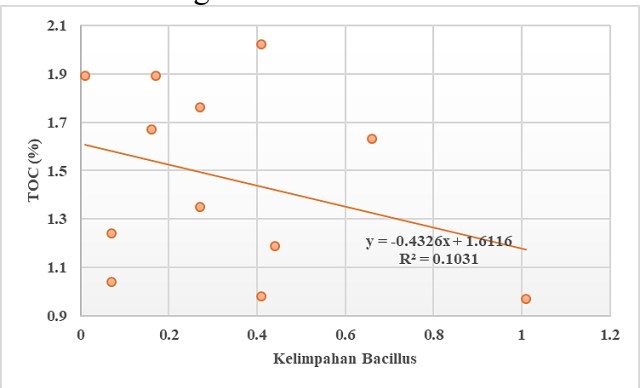


Gambar 5. Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Salinitas

Kelimpahan bakteri Bacillus menunjukkan korelasi positif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan salinitas (0-32,3 ppt, r = 0.084, P > 0,05, n=12). Pada penelitian ini *Bacillus* tidak berkorelasi nyata dengan salinitas, meskipun ada kecenderungan peningkatan kelimpahan pada wilayah dengan salinitas lebih tinggi yaitu pada Pantai dan Muara. Salinitas tertinggi tercatat pada Pantai Padang dan Muara Lasak, sedangkan pada Sungai Batang Arau dan Danau Maninjau tidak ditemukan nilai salinitas. Kondisi ini konsisten dengan sifat ekologi *Bacillus* yang dikenal sebagai bakteri kosmopolitan dan dapat hidup pada berbagai kondisi lingkungan, termasuk habitat air tawar maupun laut (Logan and Vos 2015). Namun, meskipun beberapa strain Bacillus diketahui memiliki kemampuan halotoleran bahkan halofilik, kelimpahannya tidak selalu dipengaruhi langsung oleh kadar garam, melainkan lebih

ditentukan oleh nutrien, kondisi oksigen, dan interaksi dengan mikroba lain (Zheng et al. 2025). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa meskipun salinitas memengaruhi struktur komunitas mikroba perairan secara keseluruhan, genus Bacillus cenderung tetap hadir dalam berbagai kondisi salinitas karena memiliki kemampuan sporulasi dan adaptasi osmotik yang tinggi (Handayani et al. 2024; Sadeghi et al. 2024). Lemahnya korelasi ini kemungkinan besar disebabkan oleh toleransi fisiologis Bacillus terhadap fluktuasi salinitas, sehingga perannya dalam komunitas mikroba lebih stabil dibandingkan mikroorganisme lain yang sensitif terhadap perubahan kadar garam.

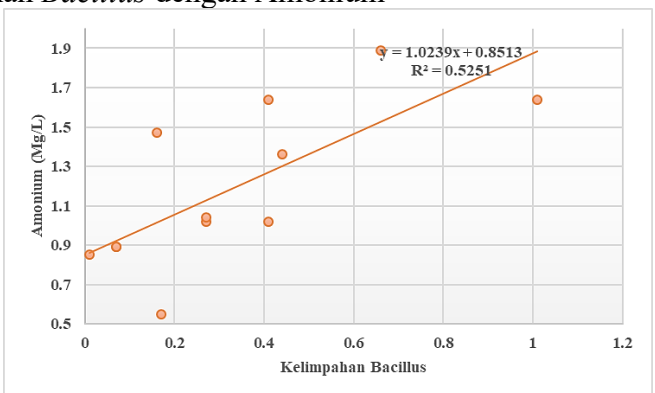
3.5 Hubungan Kelimpahan *Bacillus* dengan TOC



Gambar 6. Hubungan Kelimpahan *Bacillus* dengan TOC

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi negatif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan TOC (0,97-2,02 %, r = -0.321, P > 0,05, n=12). Berdasarkan dari analisis statistik yang didapat *Bacillus* tidak dipengaruhi secara langsung oleh kadar karbon organik terlarut. Bacillus merupakan bakteri heterotrof fakultatif yang dapat memanfaatkan sumber karbon organik untuk pertumbuhan. Namun, lemahnya korelasi ini menunjukkan bahwa peningkatan TOC tidak serta-merta meningkatkan kelimpahan Bacillus. Hal ini didukung oleh penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa tingginya TOC justru dapat meningkatkan dominansi bakteri oportunistik lain, termasuk kelompok Proteobacteria dan Bacteroidetes, yang lebih efisien dalam mendegradasi senyawa organik kompleks (Wu et al. 2024). Variasi TOC seringkali berasosiasi dengan penurunan oksigen terlarut (DO), sebab degradasi bahan organik dapat menguranginya. Kondisi seperti itu, terutama pada area dengan TOC tinggi, bisa menghambat pertumbuhan Bacillus yang cenderung lebih optimal pada lingkungan aerobik (Wu et al. 2024).

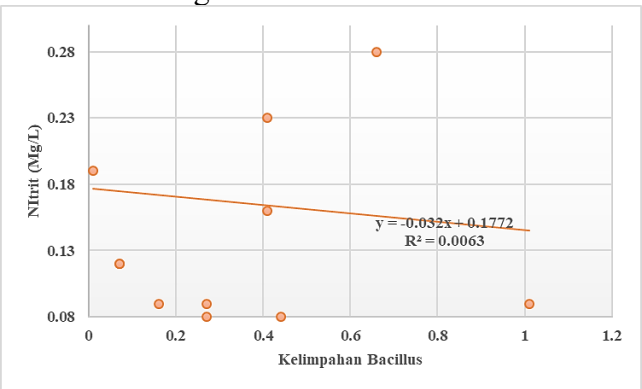
3.6 Hubungan Kelimpahan *Bacillus* dengan Amonium



Gambar 7. Hubungan Kelimpahan *Bacillus* dengan Amonium

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan amonium (0,55-1,89 mg/l, $r = 0.725$, $P < 0,05$, n=12). Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi amonium di perairan dapat mendorong pertumbuhan dan aktivitas bakteri *Bacillus*. Genus *Bacillus* diketahui memiliki kemampuan dalam siklus nitrogen, terutama melalui proses amonifikasi dan nitrifikasi parsial, sehingga keberadaannya sangat erat kaitannya dengan dinamika senyawa nitrogen di lingkungan perairan (R. Zhang et al. 2022). Konsentrasi amonium tertinggi ditemukan pada Sungai Batang Harau (1,89 mg/L), sebagai lingkungan perairan tawar dengan input antropogenik (limbah domestik, pertanian), konsentrasi amonium yang tinggi cenderung mendukung proliferasi *Bacillus*. Ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa Bacillus dapat memanfaatkan amonium sebagai sumber nitrogen melalui proses asimilasi atau denitrifikasi aerobic (Cao et al. 2024; Hlordzi et al. 2020). Kosentrasi ammonium terendah ditemukan pada perairan Pantai Padang (0,55 mg/L), lingkungan dengan arus laut dan pencampuran air yang kuat, konsentrasi amonium lebih rendah dapat mengurangi akumulasi nutrien dan sebaliknya menekan pertumbuhan *Bacillus* (Gogoi et al. 2021). *Bacillus* dapat bertindak sebagai bioindikator kualitas perairan karena mampu bertahan dan beradaptasi pada kondisi perairan yang kaya nutrien, termasuk ammonium (R. Zhang et al. 2022). Kondisi ini relevan dengan temuan lapangan yang menunjukkan kelimpahan Bacillus lebih tinggi pada perairan dengan kandungan amonium yang lebih besar.

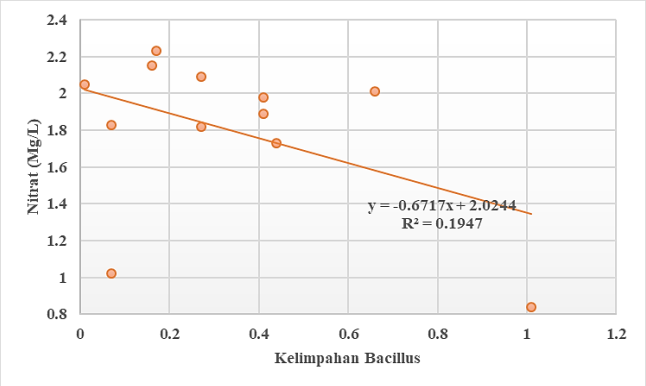
3.7 Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Nitrit



Gambar 8. Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Nitrit

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi negatif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan nitrit (0,08-0,47 mg/l, $r = 0.725$, $P > 0,05$, n=12). Pada penelitian ini nitrit bukan faktor utama kelimpahan *Bacillus* pada suatu perairan, nitrit adalah senyawa antara yang sangat tidak stabil; ia cepat dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrospira* atau *Nitrobacter* (Handayani, Zulkarnaini, and Komala 2024; Hovanec et al. 1998). Oleh karena itu, konsentrasi nitrit di perairan sangat fluktuatif dan tidak selalu sejalan dengan kelimpahan Bacillus (Nowka, Daims, and Spieck 2015). Beberapa genus *Bacillus* memiliki jalur heterotrofik nitrifikasi dan denitrifikasi aerobik (HN-AD), sehingga mampu mengoksidasi amonia sekaligus mereduksi nitrit/nitrat pada kondisi aerob dengan toleransi nitrit yang relatif tinggi. Oleh karena itu, peningkatan kelimpahan *Bacillus* dapat berasosiasi dengan penurunan nitrit. Namun, karena nitrit juga segera dioksidasi oleh *Nitrite-Oxidizing Bacteria* (NOB), fluktuasi nitrit yang teramati sering tidak menunjukkan keterkaitan yang kuat dengan dinamika *Bacillus* (Sun, De Vos, and Willems 2018; Yang et al. 2021). Pada penelitian ini nitrit bukan faktor utama yang mengendalikan kelimpahan *Bacillus*, melainkan bagian dari siklus nitrogen yang kompleks di mana *Bacillus* hanya salah satu aktor pentingnya.

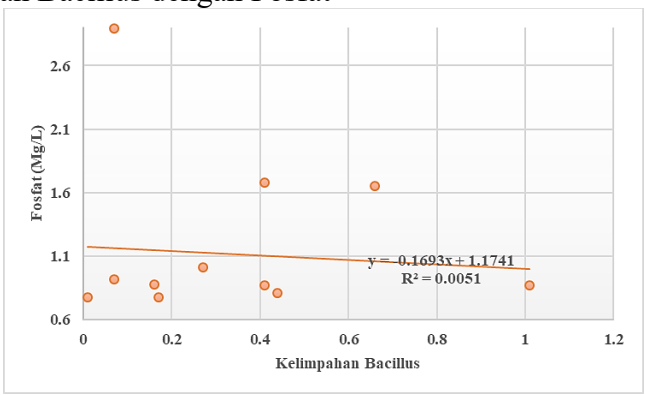
3.8 Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Nitrat



Gambar 9. Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Nitrat

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi negatif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan nitrat (0,84-2,23 mg/l, r = -0,316 , P > 0,05, n=12). Penelitian ini menggambarkan variasi nitrat di perairan tidak secara langsung mengendalikan pertumbuhan *Bacillus.* beberapa spesies *Bacillus* diketahui mampu mereduksi nitrat menjadi nitrit hingga gas nitrogen melalui proses denitrifikasi parsial maupun lengkap (Handayani, Zulkarnaini, and Komala 2024). Oleh karena itu, arah korelasi negatif ini dapat dijelaskan sebagai hasil dari aktivitas metabolik *Bacillus* yang berpotensi menurunkan konsentrasi nitrat pada perairan. Lemahnya hubungan ini sejalan dengan sifat nitrat sebagai bentuk nitrogen paling stabil di perairan, sehingga tidak berfluktuasi secepat amonium atau nitrit (Cuadrat et al. 2018). Transformasi nitrat menjadi gas nitrogen melalui denitrifikasi sangat bergantung pada kondisi lingkungan seperti ketersediaan karbon organik dan rendahnya oksigen terlarut (Selvarajan et al. 2024). Oleh karena itu, dinamika nitrat lebih ditentukan oleh kondisi ekosistem daripada hanya oleh keberadaan *Bacillus*.

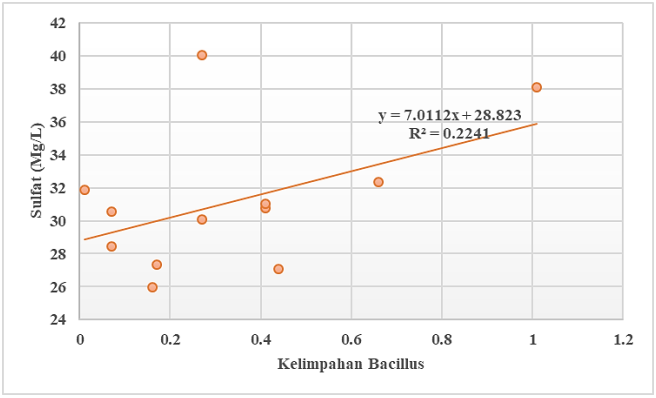
3.9 Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Fosfat



Gambar 10. Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Fosfat

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi negatif yang lemah (tidak berkorelasi) dengan fosfat (0,28-2,89 mg/l, r = -0,072 , P > 0,05, n=12). Variasi fosfat di perairan tidak secara langsung memengaruhi dinamika *Bacillus*. Fosfat memang merupakan nutrien esensial bagi mikroorganisme, tetapi lebih berperan penting bagi produktivitas primer (fitoplankton) daripada bakteri heterotrofik (Selvarajan et al. 2024). Pada penelitian (Hlordzi et al. 2020), Bacillus lebih berhubungan erat dengan siklus nitrogen, khususnya melalui kemampuan nitrifikasi–denitrifikasi aerobik, daripada dengan transformasi fosfor. Hal ini menjelaskan lemahnya korelasi yang ditemukan, karena Bacillus bukan aktor utama dalam dinamika fosfat perairan (Yang et al. 2021).

3.10 Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Sulfat



Gambar 11. Hubungan Kelimpahan Bacillus dengan Sulfat

Kelimpahan bakteri *Bacillus* menunjukkan korelasi positif yang lemah dengan sulfat (25,97-40,02 mg/l, $r = 0{,}473$, $P > 0{,}05$, n=12). Saat konsentrasi sulfat meningkat, kelimpahan Bacillus cenderung sedikit naik, namun hubungan ini tidak kuat secara statistik. Meskipun sulfat merupakan bentuk utama belerang yang tersedia di perairan, *Bacillus* dengan spesies *B. subtilis* dan *B. megaterium* bukan merupakan bakteri pereduksi sulfat (SRB). Akan tetapi, dalam situasi stres seperti kelangkaan nutrien, bakteri ini bisa menghasilkan hidrogen sulfida (H_2S) melalui desulfurisasi senyawa organik seperti sistein sebagai mekanisme perlindungan sel (*stress-induced sulfide production*) (Tyulenev et al. 2024). Korelasi positif lemah ini mungkin mencerminkan kemampuan *Bacillus* memanfaatkan sulfat dalam jalur metabolik tertentu—meskipun bukan sebagai asam sulfat terminal—tetapi fungsi tersebut baru muncul saat kondisi tumbuh menurun atau stres. Dalam kondisi lapangan (air sungai/pantai), konsentrasi sulfat cenderung stabil dan bukan pembatas utama kelimpahan *Bacillus*.

SIMPULAN

Kelimpahan *Bacillus* pada sedimen perairan di Sumatra Barat berkisar antara 0,01–1,01% dari total komunitas mikroba, dengan variasi tertinggi pada Danau Maninjau (D2 = 1,01%) dan terendah pada Pantai Padang (P3 = 0,01%). Analisis korelasi mengungkapkan bahwa hanya amonium yang memiliki hubungan signifikan dengan kelimpahan Bacillus ($r = 0{,}725$, $P = 0{,}008$), di mana konsentrasi amonium tertinggi terdeteksi di Sungai Batang Arau (S1 = 1,89 mg/L) yang sejalan dengan kelimpahan *Bacillus*. Sedangkan, parameter lingkungan lain menunjukkan korelasi lemah, pH ($r = 0{,}147$), DO ($r = -0{,}320$), suhu ($r = -0{,}184$), salinitas ($r = 0{,}084$), TOC ($r = -0{,}321$), nitrit ($r = -0{,}119$), nitrat ($r = -0{,}316$), fosfat ($r = -0{,}072$), dan sulfat ($r = 0{,}473$), dengan nilai $P > 0{,}05$. Hal ini mengindikasikan bahwa Bacillus mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan yang berbeda, namun kelimpahannya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan amonium sebagai sumber nitrogen. Penelitian ini menegaskan potensi *Bacillus* sebagai bioindikator kualitas perairan dengan tekanan nutrien tinggi. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan kajian berbasis molekuler guna mengidentifikasi spesies Bacillus dominan serta uji bioremediasi in situ untuk mengevaluasi perannya dalam pengendalian pencemaran nitrogen di ekosistem perairan.

DAFTAR PUSTAKA

Cao, Ying et al. 2024. "Characteristics and Nitrogen Removal Performance Optimization of Aerobic Denitrifying Bacteria Bacillus Cereus J1 under Ammonium and Nitrate-Nitrogen Conditions." *Water* 16(16): 2231. https://www.mdpi.com/2073-4441/16/16/2231.

Cuadrat, Rafael R. C., Danny Ionescu, Alberto M. R. Dávila, and Hans-Peter Grossart. 2018. "Recovering Genomics Clusters of Secondary Metabolites from Lakes Using Genome-

Resolved Metagenomics." *Frontiers in Microbiology* 9. http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2018.00251/full.
Gogoi, Mandakini et al. 2021. "Aquaculture Effluent Treatment with Ammonia Remover Bacillus Albus (ASSF01)." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(4): 105697. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343721006746.
Hall, Nathan, Jeremy Testa, Ming Li, and Hans Paerl. 2023. "Assessing Drivers of Estuarine <scp>pH</Scp> : A Comparative Analysis of the Continental <scp>U.S.A.</Scp> 's Two Largest Estuaries." *Limnology and Oceanography* 68(10): 2227–44. https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lno.12418.
Handayani, Suci et al. 2024. "Composition of Environmental Parameters Sediments in West Sumatra." 10(8): 6170–80.
Handayani, Suci, Zulkarnaini Zulkarnaini, and Puti Sri Komala. 2024. "Composition of Environmental Parameters in Aquatic Sediments in West Sumatra." *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 10(8): 6170–80. https://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa/article/view/7579.
Hlordzi, Vivian et al. 2020. "The Use of Bacillus Species in Maintenance of Water Quality in Aquaculture: A Review." *Aquaculture Reports* 18: 100503. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352513420305937.
Hovanec, Timothy A., Lance T. Taylor, Andrew Blakis, and Edward F. Delong. 1998. "Nitrospira -Like Bacteria Associated with Nitrite Oxidation in Freshwater Aquaria." *Applied and Environmental Microbiology* 64(1): 258–64. https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.64.1.258-264.1998.
Hurtado-Bautista, Enrique, Africa Islas-Robles, Gabriel Moreno-Hagelsieb, and Gabriela Olmedo-Alvarez. 2024. "Thermal Plasticity and Evolutionary Constraints in Bacillus: Implications for Climate Change Adaptation." *Biology* 13(12): 1088. https://www.mdpi.com/2079-7737/13/12/1088.
Kessouri, Faycal et al. 2021. "Coastal Eutrophication Drives Acidification, Oxygen Loss, and Ecosystem Change in a Major Oceanic Upwelling System." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118(21). https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2018856118.
Logan, Niall A., and Paul De Vos. 2015. "Bacillus." In *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, Wiley, 1–163. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118960608.gbm00530.
Mosley, L.M., B.M. Peake, and K.A. Hunter. 2010. "Modelling of PH and Inorganic Carbon Speciation in Estuaries Using the Composition of the River and Seawater End Members." *Environmental Modelling & Software* 25(12): 1658–63. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815210002033.
Nowka, Boris, Holger Daims, and Eva Spieck. 2015. "Comparison of Oxidation Kinetics of Nitrite-Oxidizing Bacteria: Nitrite Availability as a Key Factor in Niche Differentiation" ed. G. Voordouw. *Applied and Environmental Microbiology* 81(2): 745–53. https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.02734-14.
Pásková, Martina et al. 2024. "Water Pollution Generated by Tourism: Review of System Dynamics Models." *Heliyon* 10(1): e23824. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844023110322.
Paul, Sulav Indra et al. 2021. "Identification of Marine Sponge-Associated Bacteria of the Saint Martin's Island of the Bay of Bengal Emphasizing on the Prevention of Motile Aeromonas Septicemia in Labeo Rohita." *Aquaculture* 545: 737156. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004484862100819X.
Pu, Haiguang, Yuxiang Yuan, Lei Qin, and Xiaohui Liu. 2023. "PH Drives Differences in Bacterial Community β-Diversity in Hydrologically Connected Lake Sediments." *Microorganisms* 11(3): 676. https://www.mdpi.com/2076-2607/11/3/676.

Sadeghi, Javad et al. 2024. “Aquatic Bacterial Community Connectivity: The Effect of Hydrological Flow on Community Diversity and Composition.” *Environments* 11(5): 90. https://www.mdpi.com/2076-3298/11/5/90.

Selvarajan, Ramganesh et al. 2024. “Evaluating the Impact of Environmental Factors on Bacterial Populations in Riverine, Estuarine, and Coastal Sediments.” *Diversity* 16(12).

Soetaert, Karline et al. 2007. “The Effect of Biogeochemical Processes on PH.” *Marine Chemistry* 105(1–2): 30–51.

Sun, Yihua, Paul De Vos, and Anne Willems. 2018. “Influence of Nitrate and Nitrite Concentration on N 2 O Production via Dissimilatory Nitrate/Nitrite Reduction to Ammonium in Bacillus Paralicheniformis LMG 6934.” *MicrobiologyOpen* 7(4). https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mbo3.592.

Trunet, C., N. Vischer, L. Coroller, and S. Brul. 2024. “Germination and Outgrowth of Bacillus Mycoides KBAB4 Spores Are Impacted by Environmental PH, Quantitatively Analyzed at Single Cell Level with Sporetracker.” *Food Microbiology* 121: 104509. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740002024000479.

Tyulenev, Alexey et al. 2024. “Stress-Induced Sulfide Production by Bacillus Subtilis and Bacillus Megaterium.” *Microorganisms* 12(9): 1856. https://www.mdpi.com/2076-2607/12/9/1856.

Wu, Baojian et al. 2024. “Soil Organic Carbon, Carbon Fractions, and Microbial Community under Various Organic Amendments.” *Scientific Reports* 14(1): 25431. https://www.nature.com/articles/s41598-024-75771-w.

Yang, Ting et al. 2021. “Insight into the Denitrification Mechanism of Bacillus Subtilis JD-014 and Its Application Potential in Bioremediation of Nitrogen Wastewater.” *Process Biochemistry* 103: 78–86. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359511321000520.

Zhang, Li et al. 2024. “Response of the Microbial Community Structure to the Environmental Factors during the Extreme Flood Season in Poyang Lake, the Largest Freshwater Lake in China.” *Frontiers in Microbiology* 15(April): 1–15.

Zhang, Rui et al. 2022. “Screening and Characteristics of Ammonia Nitrogen Removal Bacteria under Alkaline Environments.” *Frontiers in Microbiology* 13(August): 1–11.

Zheng, Yi et al. 2025. “Effects of Bacillus Licheniformis on the Water Quality, Growth Performance and Bacterial Community in Penaeus Vannamei Aquaculture System.” *Frontiers in Microbiology* 16. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2025.1595680/full.