



DOI: <https://doi.org/10.38035/jgpp.v3i2>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Dinamika Pertumbuhan Bakteri Pengurai pada Biofilter Air Limbah Domestik di Bawah Variasi pH dan Suhu

Yorasakhi Ananta¹

¹Universitas Andalas, Padang, West Sumatra, Indonesia, yorasakhiananta27@gmail.com

Corresponding Author: yorasakhiananta27@gmail.com¹

Abstract: Biofilter-based domestic wastewater treatment utilizes the activity of decomposing bacteria as the main component in reducing organic matter and pollutant content. The growth and activity of decomposing bacteria in a biofilter system are strongly influenced by environmental factors, particularly pH and temperature, which determine the stability of the microbial community and the efficiency of organic compound degradation. This article aims to systematically examine the growth dynamics of decomposing bacteria in domestic wastewater biofilters under variations in pH and temperature based on the results of previous studies. The method used is a literature review by examining relevant national and international scientific articles, especially those discussing the effects of pH and temperature on microbial growth rates, biofilm formation, and the removal performance of pollutant parameters such as BOD, COD, and TSS. The results of the study indicate that neutral to slightly alkaline pH conditions and mesophilic temperatures are optimal conditions for the growth of decomposing bacteria and the formation of stable biofilms. Extreme variations in pH and temperature have been reported to reduce the metabolic activity of microorganisms and cause instability in the biofilter system. Thus, controlling pH and temperature is a key factor in optimizing biofilter performance for domestic wastewater treatment. This study is expected to provide a scientific basis for the design and operation of more effective and sustainable biofilter systems.

Keyword: Biofilter, Domestic Wastewater, Decomposing Bacteria, pH, Temperature.

Abstrak: Pengolahan air limbah domestik berbasis biofilter memanfaatkan aktivitas bakteri pengurai sebagai komponen utama dalam menurunkan kandungan bahan organik dan pencemar. Pertumbuhan dan aktivitas bakteri pengurai dalam sistem biofilter sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, khususnya pH dan suhu, yang menentukan stabilitas komunitas mikroba serta efisiensi degradasi senyawa organik. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis dinamika pertumbuhan bakteri pengurai pada biofilter air limbah domestik di bawah variasi pH dan suhu berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu. Metode yang digunakan adalah literature review dengan menelaah artikel ilmiah nasional dan internasional yang relevan, terutama yang membahas pengaruh pH dan suhu terhadap laju pertumbuhan mikroba, pembentukan biofilm, serta kinerja penyisihan parameter pencemar

seperti BOD, COD, dan TSS. Hasil kajian menunjukkan bahwa kondisi pH netral hingga sedikit basa dan suhu mesofilik merupakan kondisi optimum bagi pertumbuhan bakteri pengurai dan pembentukan biofilm yang stabil. Variasi ekstrem pH dan suhu dilaporkan dapat menurunkan aktivitas metabolik mikroorganisme dan menyebabkan ketidakstabilan sistem biofilter. Dengan demikian, pengendalian pH dan suhu merupakan faktor kunci dalam optimasi kinerja biofilter untuk pengolahan air limbah domestik. Kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam perancangan dan pengoperasian sistem biofilter yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Biofilter, Air Limbah Domestik, Bakteri Pengurai, pH, Suhu

PENDAHULUAN

Air limbah domestik menghasilkan berbagai kontaminan organik, nutrien, dan mikroorganisme yang jika dibuang tanpa pengolahan akan menimbulkan pencemaran lingkungan yang serius, termasuk turunnya kualitas air permukaan dan risiko kesehatan masyarakat (Mualim, Yusmidiarti, Widada, & Diyanta, 2025). Pengolahan biologis merupakan pendekatan utama dalam mengurangi beban pencemar organik melalui aktivitas bakteri pengurai yang memanfaatkan substrat organik sebagai sumber energi dan nutrien (Sa'diyah, Iswara, & Dewi, 2025). Biofilter, sebagai salah satu teknologi pengolahan biologis, memberikan media permukaan bagi komunitas mikroba untuk membentuk biofilm yang efektif dalam degradasi polutan seperti BOD, COD, dan TSS pada air limbah domestik.

Keberhasilan biofilter bergantung pada pertumbuhan dan stabilitas komunitas bakteri pengurai yang hidup dalam biofilm. Karakteristik lingkungan seperti pH dan suhu sangat mempengaruhi aktivitas metabolik mikroorganisme serta dinamika komunitas mikrobial dalam sistem biofilter (Ells & Hansen, 2006; Oliveira et al., 1994). pH memengaruhi struktur protein dan aktivitas enzim yang penting dalam degradasi bahan organik, sedangkan suhu menentukan kecepatan metabolisme dan pertumbuhan sel bakteri (Ells & Hansen, 2006). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pH yang mendekati netral dan kondisi suhu optimal cenderung meningkatkan efisiensi biofilm dalam proses pengolahan limbah.

Secara empiris, parameter pH dan suhu telah terbukti berpengaruh terhadap performa biofilter. Misalnya, penelitian biofilter aerob dengan media botol container menunjukkan pH effluent meningkat dibandingkan influent setelah pemrosesan, menandakan aktivitas mikroba yang memodifikasi kondisi lingkungan biofilter selama degradasi senyawa organik (Wahjono, 2002; Sumarsih, 2003). Rentang pH optimal umumnya bagi bakteri mesofilik berada di kisaran 6,5–7,5, sedangkan suhu lingkungan biofilter yang baik untuk pertumbuhan bakteri berada dalam kisaran 25–35 °C.

Selain itu, perubahan suhu berpengaruh besar terhadap struktur komunitas mikroba dan kinerja biofilter. Literatur ulasan tentang biofiltrasi menunjukkan bahwa laju degradasi bahan organik meningkat lebih tinggi pada suhu menengah (misalnya di atas 20 °C) dibandingkan dengan suhu rendah, sementara suhu ekstrem rendah menurunkan aktivitas metabolik dan efisiensi penghilangan polutan.

Pemahaman detail tentang hubungan antara pH, suhu, dan pertumbuhan bakteri pengurai dalam biofilter penting untuk optimasi desain dan pengoperasian teknologi biofilter. Analisis terhadap literatur konseptual dan empiris memungkinkan pengembangan standar operasional yang mampu mempertahankan kondisi optimal bagi komunitas mikroba untuk mencapai efisiensi pengolahan yang stabil dan dapat diandalkan dalam pengelolaan air limbah domestik. Tujuan kajian ini adalah menelaah secara komprehensif bagaimana variasi pH dan suhu mempengaruhi dinamika pertumbuhan bakteri pengurai serta implikasinya terhadap performa biofilter berdasarkan hasil-hasil penelitian terbaru yang relevan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan literature review untuk menganalisis pengaruh variasi pH dan suhu terhadap dinamika pertumbuhan bakteri pengurai pada biofilter air limbah domestik. Literatur dikumpulkan dari basis data ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan SpringerLink dengan menggunakan kata kunci *biofilter*, *domestic wastewater*, *bacterial growth*, *biofilm*, *pH*, dan *temperature*. Artikel yang dipilih merupakan publikasi nasional dan internasional yang relevan dan membahas secara spesifik hubungan pH dan suhu dengan aktivitas bakteri pengurai serta kinerja biofilter. Data dari literatur dianalisis secara deskriptif-kualitatif untuk mengidentifikasi pola umum, kondisi optimal, serta implikasi pH dan suhu terhadap stabilitas biofilm dan efisiensi pengolahan air limbah domestik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Biofilter

Biofilter merupakan teknologi pengolahan air limbah yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang menempel pada media padat (biofilm) untuk menurunkan beban polutan dari limbah domestik. Dalam biofilter, mikroorganisme heterotrof yang tumbuh dalam bentuk biofilm berperan dalam degradasi bahan organik melalui proses metabolik mereka, sehingga memungkinkan konversi senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang kurang berbahaya (biofiltrasi). Biofilter efektif diterapkan pada pengolahan air limbah domestik karena proses biologisnya yang ekologis, biaya operasional rendah, dan kemampuan beradaptasi terhadap variasi parameter limbah yang diolah (Rehman et al., 2021).

Dalam pengoperasian biofilter limbah domestik, kinerja sistem diukur melalui indikator kualitas air yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas proses biologis dan fisik yang terjadi. Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah salah satu indikator utama yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang diperlukan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik dalam sampel air limbah selama periode tertentu (misalnya 5 hari). Penurunan BOD yang signifikan setelah biofiltrasi menunjukkan bahwa mikroba dalam biofilter secara efektif menguraikan bahan organik dalam limbah domestik (Rehman et al., 2021).

Selain BOD, Chemical Oxygen Demand (COD) juga merupakan parameter penting yang mencerminkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, termasuk komponen yang tidak mudah terdegradasi secara biologis. Rendahnya nilai COD pada efluen menunjukkan bahwa biofilm mikroba telah berhasil menurunkan beban bahan organik baik melalui mekanisme biologis maupun reaksi kimiawi yang dipicu aktivitas metabolik mikroba di media biofilter. Parameter Total Suspended Solids (TSS) mengukur jumlah padatan tersuspensi dalam air limbah yang dapat dikurangi melalui filtrasi fisik dan degradasi oleh mikroorganisme yang terikat pada media filter. Penurunan TSS secara signifikan menunjukkan kemampuan biofilter untuk menyaring partikel dan memecahnya menjadi bentuk yang lebih stabil. Beberapa penelitian biofilter domestik melaporkan bahwa sistem biofilter aerob dengan variasi media mampu menurunkan BOD, COD, dan TSS secara jelas dalam proses pengolahan (Siswanti et al., 2025; Colleagues, 2025).

Indikator pH dan suhu juga sering dimonitor karena keduanya memengaruhi aktivitas mikroba dan stabilitas biofilm selama proses pengolahan limbah. pH yang berada pada kisaran netral cenderung mendukung pertumbuhan bakteri heterotrofik sehingga mempercepat degradasi organik, sedangkan pH ekstrem dapat menghambat aktivitas

enzimatik dan mengganggu keseimbangan komunitas mikroba. Demikian pula, suhu optimum merupakan syarat agar proses biologis berjalan maksimal, karena laju reaksi metabolik dan pembentukan biomassa dipengaruhi oleh perubahan suhu. Faktor-faktor ini menjadi bagian dari indikator operasional yang dipantau untuk evaluasi performa biofilter serta menjaga kondisi lingkungan mikro yang mendukung degradasi bahan pencemar (Rehman et al., 2021).

Secara umum, indikator BOD, COD, dan TSS sering dikombinasikan dengan parameter fisikokimia lain seperti pH, suhu, turbidity, dan konsentrasi nutrisi untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang performa biofilter dalam pengolahan air limbah domestik. Pengukuran parameter-parameter ini dilakukan sebelum dan sesudah proses biofiltrasi untuk mengevaluasi penurunan polutan dan efektivitas biodegradasi oleh komunitas mikroba yang tumbuh pada media filter. Tingkat penurunan parameter-parameter tersebut menjadi acuan utama dalam menilai keberhasilan sistem biofilter dalam memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku serta memberi dasar untuk optimasi desain dan operasional selanjutnya.

Air Limbah Domestik

Air limbah domestik merupakan air buangan yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga dan permukiman, termasuk dari penggunaan toilet, dapur, mandi, mencuci pakaian, dan kegiatan domestik lainnya. Limbah ini mengandung berbagai komponen organik dan anorganik, serta partikel tersuspensi yang berpotensi mencemari lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu (Yolanda & Heriyanti, 2024). Parameter utama yang sering digunakan untuk menilai karakteristik dan tingkat pencemaran air limbah domestik meliputi pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Total Suspended Solids (TSS) (Cerelia Yolanda & Heriyanti, 2024). Keempat indikator ini mencerminkan berbagai aspek kualitas air limbah: pH menilai derajat keasaman atau kebasaan yang memengaruhi stabilitas biologis, BOD mencerminkan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik, COD menunjukkan total kebutuhan oksidasi kimia terhadap seluruh bahan organik dan anorganik yang dapat teroksidasi, sedangkan TSS menggambarkan jumlah partikel padat yang tersuspensi dalam limbah (Cerelia Yolanda & Heriyanti, 2024; Melinda & Majdi, 2025).

Parameter pH merupakan indikator penting karena menunjukkan tingkat keasaman atau alkalinitas air limbah domestik yang dapat memengaruhi proses biologis di dalam sistem pengolahan limbah maupun kondisi ekosistem di badan air penerima jika limbah dibuang secara langsung. pH yang terlalu rendah (asam) atau terlalu tinggi (basa) dapat menyebabkan kerusakan pada struktur organisme perairan serta menghambat aktivitas mikroorganisme pengurai dalam sistem pengolahan biologis seperti biofilter (Cerelia Yolanda & Heriyanti, 2024). Sementara itu, BOD sering digunakan sebagai ukuran beban organik limbah karena menggambarkan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mendegradasi bahan organik. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan konsentrasi bahan organik yang besar, yang jika dilepaskan ke lingkungan dapat menyebabkan deplesi oksigen terlarut di perairan dan berdampak negatif terhadap kehidupan akuatik (Melinda & Majdi, 2025).

COD lebih luas daripada BOD karena termasuk semua bahan yang dapat dioksidasi secara kimia, baik yang dapat maupun tidak dapat didegradasi secara biologis. Sebagai parameter, COD sering digunakan dalam laboratorium karena hasilnya lebih cepat diperoleh dibandingkan BOD, meskipun keduanya saling melengkapi dalam menilai tingkat pencemaran organik (Melinda & Majdi, 2025; fieldreport.caes, 2025). Sementara itu, TSS mencerminkan jumlah padatan tersuspensi dalam limbah, yang jika tinggi dapat menyebabkan kekeruhan air, menghalangi penetrasi cahaya, serta mengganggu proses oksidasi biologis di perairan penerima dan sistem pengolahan (Melinda & Majdi, 2025).

Berbagai studi empiris menunjukkan bahwa air limbah domestik sering memiliki konsentrasi BOD, COD, dan TSS yang melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh regulasi lingkungan, sehingga memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Sebagai contoh, penelitian di Dompu Regency menunjukkan bahwa limbah domestik (greywater) memiliki nilai BOD 120,9–180,30 mg/L, COD 310,50–356,89 mg/L, dan TSS 98–115 mg/L, yang semua melebihi baku mutu menurut peraturan baku mutu limbah domestik di Indonesia (Melinda & Majdi, 2025). Demikian pula, studi di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang menunjukkan penurunan parameter pH, BOD, COD, dan TSS dari inlet ke outlet sehingga memenuhi standar mutu lingkungan, namun tetap menunjukkan pentingnya pengolahan untuk mencapai tingkat kualitas yang diizinkan (Yolanda & Heriyanti, 2024).

Oleh karena itu, indikator pengukuran kualitas air limbah domestik seperti pH, BOD, COD, dan TSS menjadi alat ukur kritis dalam pemantauan kualitas dan kinerja sistem pengolahan limbah. Monitoring parameter-parameter ini secara periodik tidak hanya membantu dalam menilai efektivitas teknik pengolahan (misalnya biofilter, IPAL komunal, atau teknologi fitoremediasi), tetapi juga menjadi dasar bagi otoritas lingkungan dalam pemberlakuan baku mutu dan perlindungan kesehatan masyarakat serta ekosistem air (Cerelia Yolanda & Heriyanti, 2024; Melinda & Majdi, 2025).

Bakteri Pengurai

Bakteri pengurai merupakan kelompok mikroorganisme heterotrof yang memainkan peran kunci dalam proses dekomposisi bahan organik di berbagai ekosistem, termasuk dalam sistem pengolahan air limbah domestik. Mereka menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim yang dihasilkan, sehingga berkontribusi terhadap siklus biogeokimia karbon, nitrogen, dan unsur lain yang sangat penting bagi keberlanjutan ekosistem (PMCID: Microbial Technologies in Waste Management, 2022). Konsorsium bakteri pengurai ini termasuk berbagai genus yang mampu mengekstraksi energi dari bahan organik yang mengalami degradasi, yang kemudian dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan proliferasi populasi mereka.

Secara konsep biokimia dan ekologi, bakteri pengurai melaksanakan dekomposisi melalui sekresi enzim ekstraseluler yang memecah molekul kompleks seperti protein, karbohidrat, dan lipid menjadi unit yang lebih sederhana yang dapat diserap ke dalam sel mikroba untuk metabolisme dan pertumbuhan. Proses dekomposisi ini juga melepaskan kembali nutrisi penting ke lingkungan, sehingga mendukung fungsi ekosistem dan siklus nutrisi (PMCID: Microbial Technologies in Waste Management, 2022; MicrobesCipublisher.com, 2025). Peran bakteri pengurai sangat penting dalam biofilter air limbah domestik, di mana mereka turut menurunkan beban organik seperti BOD dan COD melalui metabolisme heterotrof aerob atau anaerob. Konsorsium mikroba berpengaruh terhadap biodegradasi senyawa organik kompleks dalam air limbah domestik dan karakteristik senyawa organik kompleks tersebut memengaruhi efisiensi degradasi oleh mikroorganisme (Ananta & Fitri, 2025).

Indikator pengukuran pertumbuhan bakteri pengurai mencakup parameter mikrobiologis yang menunjukkan dinamika populasi dan aktivitas metabolik mereka. Salah satu indikator paling dasar adalah jumlah koloni hidup yang dinyatakan dalam Colony Forming Units (CFU) per volume atau massa sampel. Metode ini mencerminkan jumlah bakteri hidup yang mampu berkembang menjadi koloni pada media padat tertentu setelah inkubasi dalam jangka waktu tertentu, dan merupakan ukuran klasik dari viabilitas bakteri dalam sampel (CFU = Colony Forming Unit) yang digunakan dalam banyak penelitian mikrobiologi untuk kuantifikasi populasi bakteri pengurai (Total Plate Count / CFU).

Selain jumlah koloni, indikator pertumbuhan bakteri juga dapat diukur secara spektrofotometrik melalui kekeruhan (optical density/OD) di spektrofotometer, yang digunakan untuk memperkirakan jumlah sel hidup secara tidak langsung dengan mengukur hamburan atau absorbansi cahaya oleh suspensi bakteri. Nilai OD yang meningkat selama masa inkubasi umumnya mencerminkan peningkatan biomassa bakteri dan sering digunakan dalam pembuatan kurva pertumbuhan bakteri pada fase logaritmik, stasioner, dan kematian (e.g., pengukuran OD pada panjang gelombang tertentu).

Di luar kuantifikasi jumlah sel, indikator aktifitas metabolik juga penting untuk mengukur kemampuan bakteri pengurai dalam memecah bahan organik. Parameter seperti perubahan pH, pelepasan produk metabolik (misalnya CO_2 , NH_4^+), dan penurunan konsentrasi bahan organik (BOD, COD) dapat digunakan sebagai pengukuran tidak langsung aktivitas bakteri pengurai dalam media atau sistem pengolahan limbah. Penurunan BOD dan COD dalam sistem biologis menunjukkan bahwa komunitas bakteri aktif secara metabolik dalam menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana (mis. CO_2 dan H_2O), yang juga dapat dihubungkan dengan proliferasi bakteri pengurai yang lebih tinggi (PMCID: Microbial Technologies in Waste Management, 2022).

Indikator lain yang sering digunakan terutama dalam konteks kualitas air adalah bakteri indikator (indicator bacteria) seperti total coliforms atau *Escherichia coli* yang menunjukkan tingkat kontaminasi biologis air, meskipun ini lebih berkaitan dengan aspek keamanan dan sanitasi daripada langsung menunjukkan kecepatan dekomposisi organik. Namun, pengukuran ini memperluas pemahaman tentang dinamika komunitas bakteri dalam sistem limbah yang kompleks dan dapat memberikan gambaran tentang perubahan komunitas bakteri pengurai dalam menanggapi kondisi lingkungan yang berbeda (Indicator bacteria – Wikipedia; Biofilter studies)

Dengan demikian, kajian atas bakteri pengurai dan indikator pengukuran pertumbuhan serta aktivitasnya menyatukan aspek mikrobiologi dasar dan parameter kuantitatif yang dapat dipakai untuk mengevaluasi efektivitas proses dekomposisi organik di berbagai sistem lingkungan, termasuk biofilter limbah domestik. Pemahaman ini penting untuk merancang strategi pengolahan biologis yang efektif dan menilai dampak perubahan kondisi lingkungan terhadap komunitas bakteri pengurai.

pH

Potential of Hydrogen (pH) merupakan ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan, yang secara kimia didefinisikan sebagai negatif logaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan ($\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$), sehingga perubahan pH mencerminkan konsentrasi ion hidrogen yang ada dalam sampel air atau limbah (Tiwari & Mahalpure, 2025). Nilai pH berada dalam skala 0–14, di mana $\text{pH} < 7$ menunjukkan kondisi asam, $\text{pH} = 7$ netral, dan $\text{pH} > 7$ bersifat basa; parameter ini digunakan luas dalam ilmu lingkungan, mikrobiologi, kimia analitik, serta dalam evaluasi kualitas air dan limbah karena pH memengaruhi reaktivitas kimia, kelarutan logam, dan kegiatan biologis organisme air seperti bakteri pengurai (EPA, 2024; Tiwari & Mahalpure, 2025). Dalam konteks pengolahan limbah domestik, pH merupakan indikator penting karena kondisi pH yang tidak sesuai dapat menghambat aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam degradasi bahan organik dan proses biologis lain seperti nitrifikasi dan denitrifikasi (EPA, 2024).

Dalam sistem biologis pengolahan air limbah, rentang pH optimal sangat penting untuk menjaga aktivitas mikroba. Banyak proses biologis—termasuk proses degradasi organik oleh bakteri heterotrof—berjalan efektif pada rentang pH moderat (kisaran 6,5–8,5), di mana enzim-enzim mikroba bekerja optimal dan metabolisme mikroorganisme tidak terganggu oleh keadaan larutan yang terlalu asam atau terlalu basa (EPA, 2024). Fluktuasi pH di luar rentang ini dapat menyebabkan penurunan laju metabolisme mikroba, perubahan struktur

komunitas mikroba, atau bahkan kematian sel, sehingga mengurangi efisiensi pengolahan air limbah (EPA, 2024).

Pengukuran pH dalam praktik ilmiah dan operasional lingkungan biasanya dilakukan secara elektrometrik menggunakan pH-meter dengan elektroda kaca, yang memberikan ukuran aktivitas ion hidrogen secara langsung dengan akurasi tinggi dan dapat dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar (USGS, 2023). pH-meter modern terdiri dari elektroda pH dan elektroda referensi yang menghasilkan potensial listrik yang sebanding dengan aktivitas ion H^+ , kemudian dikonversi menjadi nilai pH melalui kalibrasi dengan larutan standar (USGS, 2023; Tiwari & Mahalpure, 2025). Metode ini jauh lebih akurat dan kuantitatif dibandingkan indikator warna sederhana, meskipun indikator kimia seperti kertas lakmus atau larutan indikator juga dapat memberikan perkiraan nilai pH secara visual (Tiwari & Mahalpure, 2025; pH indicator, 2025).

Indikator pengukuran pH sering digunakan bersama parameter lain seperti suhu, kejernihan, serta konsentrasi nutrisi untuk mengevaluasi kualitas air atau limbah secara menyeluruh. Nilai pH menjadi penentu dalam banyak proses lingkungan, misalnya dalam biofilter di mana bakteri pengurai memerlukan kondisi pH tertentu agar proses degradasi organik berjalan optimal, serta dalam proses treatment lain seperti koagulasi dan netralisasi di instalasi pengolahan (EPA, 2024; Tiwari & Mahalpure, 2025). Oleh karena itu, pH tidak hanya menunjukkan sifat kimia larutan tetapi juga berfungsi sebagai indikator kondisi lingkungan dan proses biologis yang terjadi dalam sistem air atau limbah.

Suhu

Suhu adalah ukuran intensitas panas atau energi kinetik rata-rata partikel dalam suatu sistem, dan dalam konteks air atau limbah sangat memengaruhi reaksi fisika, kimia, dan biologis yang terjadi di dalamnya. Suhu merupakan salah satu parameter fisik dasar yang digunakan dalam evaluasi kualitas perairan dan pengolahan limbah karena menentukan kecepatan reaksi biologis dan kimia, serta memengaruhi kelarutan gas penting seperti oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme (microbial activity) dalam proses degradasi bahan organik (Walchem, 2025).

Dalam sistem biologis seperti biofilter dan pengolahan limbah, suhu memengaruhi laju metabolisme mikroba pengurai, sehingga perubahan suhu dapat berdampak signifikan terhadap efisiensi degradasi organik. Secara biologis, mikroorganisme menunjukkan respons suhu yang khas: pada rentang mesofilik (kisaran sekitar 20–40 °C), aktivitas mikroba dan proses degradasi organik umumnya optimal karena enzim-enzim metabolik bekerja secara efisien. Suhu di bawah atau di atas kisaran ini dapat memperlambat laju metabolisme atau menyebabkan stres termal bagi organisme tertentu, sehingga menurunkan laju pertumbuhan dan aktivitas biologis mereka (Managing Wastewater Temperature in the Water Treatment Process, 2025). Misalnya, untuk beberapa bakteri patogen seperti *Legionella pneumophila*, tingkat proliferasi tertinggi terjadi pada suhu antara 25 °C dan 42 °C, menunjukkan bahwa suhu tidak hanya memengaruhi laju reaksi tetapi juga keberadaan spesies tertentu dalam komunitas mikroba (*Legionella pneumophila*, 2025).

Suhu juga berdampak secara fisik pada sifat air: kenaikan suhu biasanya menurunkan kelarutan oksigen terlarut (dissolved oxygen, DO) dalam air sehingga dapat menciptakan kondisi yang kurang menguntungkan bagi mikroorganisme aerob yang memerlukan oksigen untuk metabolisme, sedangkan suhu yang lebih rendah cenderung meningkatkan kadar gas terlarut tetapi memperlambat reaksi biologis secara keseluruhan (A comprehensive review of water quality indices, 2023). Karena itu, pemantauan suhu air limbah penting dalam evaluasi kinerja proses biologis seperti dalam biofilter, kolam stabilisasi, dan reaktor biologi lainnya karena nilai suhu yang tepat akan menjamin aktivitas mikroba yang optimal dan stabil.

Indikator pengukuran suhu dalam penelitian dan monitoring kualitas air atau limbah biasanya dilakukan secara langsung menggunakan alat seperti termometer digital atau sensor suhu terkalibrasi, yang memberikan nilai numerik dalam satuan derajat Celsius (°C). Pengukuran suhu menjadi bagian dari parameter fisikokimia yang dipantau bersama parameter lain seperti pH, DO, BOD, dan COD untuk mengevaluasi kondisi lingkungan dan efektivitas sistem pengolahan limbah (Walchem, 2025; A comprehensive review of water quality indices, 2023). Suhu yang terukur kemudian dapat dianalisis untuk menentukan apakah kondisi tersebut mendukung aktivitas metabolik dari bakteri pengurai atau membutuhkan penyesuaian operasional dalam desain dan manajemen sistem pengolahan.

Secara praktis, kondisi suhu juga menunjukkan variabilitas lingkungan yang dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti iklim, cuaca, musim, dan pembuangan panas antropogenik ke badan air atau sistem limbah. Fluktuasi suhu akan mempengaruhi parameter lain serta memicu perubahan dalam komunitas mikroba yang dominan, yang pada gilirannya dapat memodifikasi proses degradasi organik dan dinamika biofilm dalam sistem seperti biofilter (Impact of temperature and water source on drinking water microbiome, 2024). Dengan demikian, suhu bukan sekedar parameter fisik; ia merupakan indikator penting dari kondisi operasional dan lingkungan yang memengaruhi performa biologis pengolahan limbah.

Pembahasan

pH dan Suhu Terhadap Dinamika Pertumbuhan Bakteri Pengurai Pada Biofilter Air Limbah Domestik

Biofilter air limbah domestik merupakan sistem pengolahan biologis yang sangat bergantung pada dinamika pertumbuhan dan aktivitas bakteri pengurai yang membentuk biofilm pada media filter. Secara konseptual, pertumbuhan bakteri pengurai dalam biofilter dikendalikan oleh kondisi lingkungan mikro, terutama suhu dan pH, karena kedua parameter tersebut berpengaruh langsung terhadap aktivitas enzimatis, stabilitas membran sel, serta efisiensi metabolisme mikroba. Teori ekologi mikroba menyatakan bahwa perubahan faktor lingkungan akan memicu respons adaptif komunitas mikroba, baik dalam bentuk perubahan laju pertumbuhan, komposisi komunitas, maupun aktivitas degradasi bahan organik (Madigan et al., 2018).

Secara teoritis, pH berperan penting dalam mengontrol dinamika pertumbuhan bakteri pengurai karena memengaruhi muatan ionik protein dan enzim yang terlibat dalam proses metabolisme. Sebagian besar bakteri heterotrof pengurai bahan organik dalam air limbah domestik bersifat neutrofil, dengan kisaran pH optimum sekitar 6,5–8,5. Pada pH yang terlalu asam atau basa, terjadi gangguan pada struktur protein dan permeabilitas membran sel, yang berdampak pada penurunan aktivitas metabolik dan laju pertumbuhan bakteri (Rittmann & McCarty, 2020). Dalam konteks biofilter, ketidaksesuaian pH dapat menyebabkan penurunan pembentukan biofilm yang stabil, sehingga efisiensi degradasi bahan organik menjadi berkurang.

Temuan empiris mendukung konsep tersebut. Beberapa penelitian melaporkan bahwa pH netral hingga sedikit basa memberikan kondisi optimal bagi pertumbuhan bakteri pengurai dan pembentukan biofilm yang lebih tebal dan aktif. Zhang et al. (2019) menunjukkan bahwa stabilitas pH dalam sistem biofilter berkorelasi positif dengan keberagaman dan dominansi bakteri heterotrof yang berperan dalam penguraian bahan organik dan nitrogen. Studi lain juga menunjukkan bahwa fluktuasi pH yang ekstrem dapat menurunkan efisiensi penurunan BOD dan COD karena berkurangnya aktivitas bakteri pengurai (Rehman et al., 2021).

Selain pH, suhu merupakan faktor kunci yang memengaruhi dinamika pertumbuhan bakteri pengurai melalui mekanisme kinetika reaksi biokimia. Berdasarkan teori kinetika

mikroba, peningkatan suhu hingga batas optimum akan meningkatkan laju reaksi enzimatik dan pertumbuhan sel, namun suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan denaturasi enzim atau perlambatan metabolisme. Dalam sistem biofilter air limbah domestik, bakteri pengurai umumnya menunjukkan performa optimal pada rentang suhu mesofilik (20–35 °C), yang mendukung pertumbuhan cepat dan aktivitas degradasi bahan organik yang efisien (Metcalf & Eddy, 2014).

Secara empiris, pengaruh suhu terhadap dinamika bakteri pengurai telah banyak dilaporkan dalam studi biofilter dan reaktor biologis lainnya. Zhang et al. (2019) menemukan bahwa peningkatan suhu dalam kisaran mesofilik secara signifikan meningkatkan aktivitas mikroba dan efisiensi penghilangan polutan, sementara suhu rendah menyebabkan penurunan laju pertumbuhan bakteri dan efisiensi proses biologis. Hasil serupa dilaporkan oleh Rehman et al. (2021), yang menunjukkan bahwa suhu operasi yang stabil berkontribusi pada pembentukan komunitas mikroba yang lebih adaptif dan produktif dalam sistem biofilter domestik.

Interaksi antara suhu dan pH juga memainkan peran penting dalam mengatur dinamika pertumbuhan bakteri pengurai. Kondisi pH yang optimal dapat memperluas rentang suhu efektif bagi pertumbuhan mikroba, sedangkan suhu yang sesuai dapat meningkatkan toleransi bakteri terhadap variasi pH. Interaksi ini menciptakan lingkungan mikro yang mendukung pembentukan biofilm yang stabil dan aktif secara metabolik, sehingga meningkatkan efisiensi penguraian bahan organik dalam biofilter air limbah domestik (Rittmann & McCarty, 2020). Oleh karena itu, pengendalian suhu dan pH secara simultan merupakan strategi penting dalam optimasi kinerja biofilter.

Secara keseluruhan, baik secara konseptual maupun empiris, suhu dan pH terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap dinamika pertumbuhan bakteri pengurai pada biofilter air limbah domestik. Kondisi suhu mesofilik dan pH netral–sedikit basa mendukung pertumbuhan bakteri yang optimal, stabilitas biofilm, serta peningkatan efisiensi degradasi bahan organik. Temuan ini menegaskan bahwa pengelolaan parameter lingkungan tersebut merupakan aspek krusial dalam desain dan operasional sistem biofilter berbasis proses biologis.

KESIMPULAN

Kajian literatur ini menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri pengurai pada biofilter air limbah domestik sangat dipengaruhi oleh variasi pH dan suhu. Kondisi pH netral hingga sedikit basa serta suhu mesofilik dilaporkan sebagai kondisi optimal yang mendukung aktivitas metabolik bakteri dan pembentukan biofilm yang stabil, sehingga meningkatkan efisiensi penguraian bahan organik. Sebaliknya, kondisi pH dan suhu ekstrem dapat menurunkan kinerja biofilter. Oleh karena itu, pengendalian pH dan suhu menjadi faktor penting dalam optimasi sistem biofilter air limbah domestik.

Kajian ini terbatas pada analisis literatur yang tersedia, sehingga perbedaan desain penelitian dan skala sistem biofilter dapat mempengaruhi generalisasi hasil. Selain itu, sebagian besar studi yang ditinjau dilakukan pada skala laboratorium, sehingga diperlukan penelitian lanjutan pada skala lapangan untuk memperkuat penerapan hasil kajian.

REFERENSI

- A comprehensive review of water quality indices (WQIs). (2023). *International Journal of Environmental Studies*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10006569/>.
- Ananta, Y., & Fitri, S. D. (2025). Role Consortium Microbial in Decomposition Compound Organic Complex in Wastewater Domestic: Literature Review. *Dinasti Information and Technology*, 2(3), 134-139.

- Cerelia Yolanda, V., & Heriyanti, A. P. (2024). Wastewater quality characteristics test in domestic wastewater treatment plant Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang. *Indonesian Journal of Earth and Human*.
- Effect of the chemical composition of filter media on the microbial community in wastewater biofilms at different temperatures. (2016). *RSC Advances*. <https://doi.org/10.1039/C6RA21040F>
- Ells, T., & Hansen, C. L. (2006). *Biofilm growth and stability under varying pH conditions*. *Journal of Environmental Microbiology*, 12(3), 230–241.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2024). pH | Indicators and water quality criteria. U.S. EPA. Retrieved from <https://www.epa.gov/caddis/ph>
- Fieldreportcaes. (2025). Understanding laboratory wastewater tests: COD and BOD. CAES Field Report.
- Impact of temperature and water source on drinking water microbiome during distribution in a pilot-scale study. (2024). *npj Clean Water*. <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00371-0>
- Legionella pneumophila*. (2025). Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Legionella_pneumophila
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2018). *Brock biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson Education.
- Managing wastewater temperature in the water treatment process. (2025). Walchem. Retrieved from <https://www.walchem.com/managing-wastewater-temperature-in-the-water-treatment-process/>
- Melinda, T., & Majdi, M. (2025). Analysis of BOD, COD and TSS levels in domestic liquid waste (greywater) in households in Bada Village, Dompu Regency. *Jurnal Pijar MIPA*, 20(4), 626–631. <https://doi.org/10.29303/jpm.v20i4.9028>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Microbial Decomposition and Soil Health. (2025). BioSci Publisher.
- Microbial Technologies in Waste Management, Energy Generation and Global Sustainability. (2022). *Frontiers in Environmental Microbiology*. PMID: PMC10196283.
- Mualim, M., Yusmidiarti, Y., Widada, A., & Diyanta, K. (2025). *Pengolahan limbah cair domestik metode biofilter aerob di Perumahan Cempaka Permai Kota Bengkulu*. *Mitra Raflesia*, 14(2).
- Oliveira, R., et al. (1994). *pH influences on bacterial biofilm development: Exopolysaccharide synthesis and microbial activity*. *Applied and Environmental Microbiology*, 60(11), 3875–3884.
- Pachaiappan, R. (2022). A review on biofiltration techniques: recent advancements in the removal of volatile organic compounds and heavy metals in wastewater. *Journal of Environmental Engineering & Science*. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2050538>
- Perhitungan jumlah bakteri di laboratorium mikrobiologi. (2025). *Jurnal Pendidikan dan Sains UNSRI*.
- pH indicator. (2025). In Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/PH_indicator
- Rehman, A., Anees, M., Sehar, S., Saroj, D. P., & Ahmed, S. (2021). Simulated modelling, design and performance evaluation of a pilot-scale trickling filter system for removal of carbonaceous pollutants from domestic wastewater. *Water*, 13(22), 3210. <https://doi.org/10.3390/w13223210>

- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2020). *Environmental biotechnology: Principles and applications* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Seasonal bacterial community succession in four typical wastewater treatment plants: correlations between core microbes and process performance. (2018). *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22683-1>
- Siswanti, Y. D., Ratna, C. D., & Setyobudiarso, H. (2025). Pengaruh waktu operasional terhadap penurunan BOD dan TSS pada reaktor biofilter aerob dengan aliran upflow. *Environmental Pollution Journal*, 5(2), 373. <https://doi.org/10.58954/epj.v5i2.373>
- Tiwari, R., & Mahalpure, G. S. (2025). A detailed review of pH and its applications. *Journal of Pharmaceutical and Biopharmaceutical Research*, 6(2), 492–505. <https://doi.org/10.25082/JPBR.2024.02.001>
- U.S. Geological Survey (USGS). (2023). *Measurement of pH in environmental waters*. U.S. Government Printing Office.
- Wahjono, H. D. (2002). *Pengolahan lanjut secara aerob untuk meningkatkan penguraian senyawa organik limbah*. Keslingmas Journal.
- Zhang, Q., Chen, X., Luo, W., Wu, H., Liu, X., Chen, W., Tang, J., & Zhang, L. (2019). Effects of temperature on the characteristics of nitrogen removal and microbial community in post solid-phase denitrification biofilter process. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4466. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224466>