

Literature Review: Pengolahan Data Statistik dan Uji Signifikansi pada Persentase Penurunan BOD, COD, dan TSS Limbah Cair dengan Penambahan Bakteri Probiotik

Indra Firmansyah*, Budi Utomo, Cahyono Ikhsan

Universitas Sebelas Maret

Abstrak: Limbah cair merupakan salah satu penyebab utama pencemaran lingkungan yang dapat mengancam ekosistem, sehingga diperlukan proses pengolahan yang efektif untuk mengurangi dampaknya. Berbagai upaya pengendalian telah dilakukan, dan salah satu alternatif teknologi terbaru adalah penambahan bakteri probiotik ke dalam proses pengolahan. Bakteri probiotik terbukti memiliki kemampuan menurunkan kadar parameter kualitas air limbah, yaitu BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solids*). Berdasarkan hasil telaah, ditemukan tiga jenis probiotik yang paling banyak digunakan, yaitu *Lactobacillus*, *Bacillus*, dan kombinasi keduanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah data dan menguji apakah penurunan nilai parameter BOD, COD, dan TSS setelah penambahan bakteri probiotik signifikan secara statistik, mengklasifikasikan persentase penurunan nilai tersebut ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi, serta menguji perbedaan signifikan dalam penurunan parameter antara ketiga jenis bakteri secara statistik. Metode yang digunakan adalah pengolahan data sekunder yang diperoleh dari jurnal-jurnal relevan, kemudian diproses menggunakan IBM SPSS Statistics. Analisis dilakukan melalui statistik deskriptif, uji normalitas, dan ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) penambahan bakteri probiotik berhasil menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS secara signifikan berdasarkan uji Wilcoxon Rank-Test ($p < 0,05$), dengan BOD turun dari 2.100 mg/L menjadi 70 mg/L dan COD dari 132 mg/L menjadi 38,1 mg/L. (2) Distribusi nilai persentase penurunan menunjukkan bahwa mayoritas data untuk ketiga parameter (BOD, COD, dan TSS) berada pada kategori sedang, yang mencerminkan efektivitas pengolahan yang baik secara umum. Namun, beberapa data di kategori rendah menunjukkan perlunya optimalisasi, sementara kategori tinggi menunjukkan potensi hasil optimal. (3) Hasil uji ANOVA menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antar jenis bakteri (*Lactobacillus*, *Bacillus*, dan kombinasi keduanya) terhadap penurunan BOD, COD, dan TSS ($p > 0,05$), yang mengindikasikan bahwa pemilihan jenis bakteri tidak mempengaruhi efektivitas, sehingga fokus sebaiknya diarahkan pada pengelolaan proses pengolahan limbah cair.

Kata Kunci: Bakteri Probiotik, Parameter BOD, COD, TSS, Limbah cair

DOI:

<https://doi.org/10.47134/scbmej.v2i3.3947>

*Correspondence: Indra Firmansyah

Email: indrafir2000@gmail.com

Received: 30-05-2025

Accepted: 30-06-2025

Published: 30-07-2025



Copyright: © 2025 by the authors. "Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license" (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Liquid waste is one of the main causes of environmental pollution that can threaten ecosystems, so an effective treatment process is needed to reduce its impact. Various control efforts have been made, and one of the latest technological alternatives is the addition of probiotic bacteria to the treatment process. Probiotic bacteria have been proven to have the ability to reduce the levels of wastewater quality parameters, namely BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), and TSS (*Total Suspended Solids*). Based on the review, three types of probiotics were found to be the most widely used, namely *Lactobacillus*, *Bacillus*, and a combination of both. This study aims to analyze data and test whether the reduction in BOD, COD, and TSS values after adding probiotic bacteria is statistically significant, classify the percentage of reduction into low, moderate, and high categories, and test for statistically significant differences in parameter reduction among the three types of bacteria. The method used was secondary data processing obtained from relevant journals, which was then processed using IBM SPSS Statistics. The analysis was conducted using descriptive statistics, normality tests, and ANOVA. The results of the study indicate that: (1) the addition of probiotic bacteria successfully reduced BOD, COD, and TSS levels significantly based on the Wilcoxon Rank-Test ($p < 0.05$), with BOD decreasing from 2,100 mg/L to 70 mg/L and COD from 132 mg/L to 38.1 mg/L. (2) The distribution of percentage reduction values indicates that the majority of data for the three parameters (BOD, COD, and TSS) fall into the moderate category, reflecting overall good treatment effectiveness. However, some data in the low category suggest the need for optimization, while the high category indicates potential for optimal results. (3) The results of the ANOVA test showed no significant differences between bacterial types (*Lactobacillus*, *Bacillus*, and their combination) in terms of BOD, COD, and TSS reduction ($p > 0.05$), indicating that the selection of bacterial types does not affect effectiveness, so the focus should be directed toward managing the wastewater treatment process.

Keywords: Probiotic bacteria, BOD, COD, TSS parameters, liquid waste.

Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Seiring dengan hal itu, aktivitas domestik dan produksi dari berbagai sektor industri menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar. Tak jarang, limbah tersebut dibuang langsung ke badan sungai tanpa melalui proses pengolahan yang memadai. Kondisi ini memperburuk pencemaran air dan menimbulkan masalah lingkungan yang semakin kompleks dan mendesak untuk segera diatasi. Air sungai yang tercemar mengakibatkan penurunan kualitas air secara fisik, kimia, dan biologi. Pencemaran ini tidak hanya berdampak pada makhluk hidup yang bergantung pada ekosistem perairan, tetapi juga membahayakan kesehatan manusia yang menggunakan air tersebut untuk kebutuhan sehari-hari. Banyak wilayah di Indonesia yang mengalami penurunan kualitas air sungai akibat akumulasi limbah organik, senyawa kimia, dan partikel padatan dari aktivitas manusia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang efektif dan berkelanjutan dalam pengelolaan limbah cair guna menjaga keseimbangan ekosistem dan kelayakan air.

Kondisi kualitas air limbah umumnya dinilai berdasarkan parameter tertentu, seperti Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Total Suspended Solids (TSS). Dalam banyak laporan ilmiah, nilai-nilai parameter tersebut sering ditemukan dalam kondisi melebihi batas baku mutu yang ditetapkan. Selain itu, parameter pendukung lain seperti pH dan Dissolved Oxygen (DO) juga menjadi indikator penting dalam menilai sejauh mana air limbah dapat dianggap layak buang atau perlu diolah lebih lanjut. Nilai-nilai parameter tersebut memberikan gambaran tentang beban pencemaran yang harus dikurangi dalam proses pengolahan. Kementerian Lingkungan Hidup telah melakukan pemantauan kualitas air bersih di 32 sungai tahun 2004 dan 30 sungai tahun 2005 di Indonesia dengan frekuensi pengambilan dua kali dalam setahun. Hasilnya menunjukkan bahwa lebih dari 50 persen parameter oksigen terlarut (DO), BOD (*biochemical oxygen demand*), COD (*chemical oxygen demand*), koliform fekal dan total coliform sudah tidak memenuhi kriteria mutu air kelas II sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 (WALHI, 2009). Padahal, air kelas II diperuntukkan bagi kegiatan seperti rekreasi air, budidaya ikan air tawar, hingga irigasi pertanian. Fakta ini menggambarkan ancaman serius terhadap kesehatan masyarakat dan keberlanjutan ekosistem perairan.

Berbagai pendekatan teknologi telah dikembangkan sebagai solusi untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar. Upaya-upaya tersebut dilakukan oleh banyak kalangan melalui pengembangan metode fisik, kimia, maupun biologis. Dalam proses pengolahan biologis, perhatian mulai tertuju pada penggunaan mikroorganisme tertentu yang dapat membantu menurunkan kandungan zat pencemar dalam limbah. Salah satu pendekatan yang kini mulai banyak diterapkan adalah pemanfaatan bakteri probiotik yang memiliki kemampuan mendegradasi senyawa organik dalam air limbah. Awalnya dikenal dalam dunia medis sebagai pengatur mikrobiota usus, kini beberapa jenis bakteri probiotik juga mulai digunakan dalam pengolahan air limbah. Penambahan probiotik menjadi suatu upaya dalam menjaga kondisi kualitas air dan dapat menekan pertumbuhan bakteri patogen (Padmavathi et al., 2012). Dampak ini muncul dari kemampuan bakteri dalam

memecah zat organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang lebih ramah lingkungan. Namun, tidak semua jenis bakteri probiotik dapat digunakan untuk keperluan pengolahan limbah cair. Hanya jenis-jenis tertentu yang telah melalui tahap pengujian dan terbukti memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS secara efektif. Jenis bakteri seperti *Lactobacillus* dan *Bacillus*, merupakan contoh mikroorganisme yang telah banyak digunakan dalam proses pengolahan biologis. Pemilihan jenis bakteri menjadi krusial, mengingat setiap spesies memiliki kemampuan yang berbeda dalam merespons lingkungan limbah yang kompleks.

Dalam berbagai publikasi, penggunaan bakteri probiotik menunjukkan kecenderungan yang menjanjikan, namun hasil yang dilaporkan belum sepenuhnya konsisten. Terdapat perbedaan efektivitas penurunan parameter limbah antar studi yang menyebabkan ketidakpastian dalam menentukan seberapa besar kontribusi dari jenis bakteri tertentu. Beberapa hasil menunjukkan penurunan yang tinggi, sementara lainnya mencatat hasil yang sedang atau bahkan rendah. Di sisi lain, belum banyak telaah yang secara sistematis membandingkan tingkat penurunan tersebut dalam kategori kuantitatif seperti rendah, sedang, dan tinggi, atau yang mengevaluasi apakah terdapat perbedaan bermakna antar jenis bakteri yang digunakan. Poin-poin tersebut dapat diungkapkan melalui pendekatan statistik terhadap data yang tersedia dalam kajian terdahulu. Teknik statistik digunakan sebagai alat bantu untuk mengukur sejauh mana perbedaan nilai yang diamati bersifat acak atau memiliki makna tertentu secara matematis. Penggunaan metode statistik memungkinkan pembaca untuk memperoleh gambaran yang lebih objektif tentang pola penurunan parameter kualitas air limbah. Hal ini memberikan landasan yang kuat dalam pengambilan keputusan teknis, bukan sekadar opini naratif.

Untuk menjawab kebutuhan tersebut, digunakan pendekatan kajian literatur, yaitu metode penelusuran dan pengolahan data sekunder dari berbagai sumber ilmiah terpercaya yang relevan dengan topik yang dibahas. Melalui pendekatan ini, dikumpulkan data-data primer dari jurnal-jurnal terdahulu yang melaporkan hasil penggunaan bakteri probiotik dalam pengolahan limbah cair. Data tersebut kemudian diolah secara statistik untuk memperoleh informasi mengenai besar penurunan parameter, tingkat signifikansi, serta perbedaan efektivitas antar jenis bakteri. Melakukan pendekatan ini menjadi penting karena memberikan informasi yang lebih kuat dalam pengambilan keputusan teknis di bidang pengolahan limbah. Dengan mengetahui apakah penurunan BOD, COD, dan TSS bersifat signifikan atau tidak, serta apakah hasilnya termasuk dalam kategori rendah, sedang, atau tinggi, maka pemilihan jenis bakteri dan metode pengolahan dapat dilakukan dengan lebih tepat sasaran. Dalam konteks pengelolaan lingkungan, pendekatan berbasis data yang terukur menjadi salah satu kunci dalam memastikan bahwa strategi yang diambil benar-benar memberikan dampak positif bagi kualitas lingkungan perairan secara nyata. Adapun penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk 1) Mengolah data untuk menunjukkan apakah penurunan nilai parameter BOD, COD, dan TSS pada limbah cair setelah penambahan bakteri probiotik signifikan secara statistik. 2) Mengklasifikasikan persentase penurunan nilai parameter BOD, COD, dan TSS ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan data literatur. 3) Menguji signifikansi perbedaan rata-rata

persentase penurunan parameter BOD, COD, dan TSS antara perlakuan menggunakan ketiga jenis bakteri (*Lactobacillus*, *Bacillus*, dan kombinasi keduanya) dengan metode ANOVA.

Metodologi

Penelitian ini merupakan studi literatur dengan pendekatan kuantitatif yang berfokus pada pengumpulan dan analisis data sekunder dari jurnal-jurnal ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Data yang diperoleh dari jurnal-jurnal tersebut kemudian diolah dan dianalisis secara statistik menggunakan perangkat lunak SPSS untuk memperoleh hasil yang objektif dan terukur. Dengan demikian, metode ini memungkinkan mengevaluasi tren, hubungan, dan perubahan pada parameter yang menjadi fokus kajian berdasarkan data empiris yang telah dipublikasikan sebelumnya. Pendekatan ini menggabungkan tinjauan sistematis terhadap literatur dengan analisis data kuantitatif guna memberikan pemahaman yang komprehensif dan berbasis data tentang topik yang diangkat. Setiap artikel yang ditemukan kemudian dievaluasi berdasarkan judul dan abstrak untuk menentukan relevansi dan kecocokan dengan kriteria inklusi dan eksklusi.

Kriteria Inklusi:

- Studi yang membahas penggunaan bakteri probiotik dalam pengolahan limbah cair.
- Jurnal yang ditulis dalam bahasa Inggris dan Indonesia.
- Studi dengan metode eksperimen, review, atau modelisasi yang valid.

Kriteria Eksklusi:

- Jurnal yang tanpa data lengkap.
- Studi yang tidak fokus pada bakteri probiotik atau pengolahan limbah cair.
- Jurnal yang ditulis dalam bahasa selain Inggris dan Indonesia.
- Studi dengan desain penelitian yang tidak valid atau data yang tidak dapat diverifikasi.

Setelah jurnal-jurnal yang relevan dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, tahap berikutnya adalah pengumpulan data sekunder dari masing-masing literatur tersebut. Data yang dikumpulkan difokuskan pada informasi yang sesuai dengan fokus kajian, yaitu nilai parameter kualitas air limbah berupa BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solids*). Selain itu, data mengenai jenis bakteri probiotik yang digunakan dalam perlakuan juga dicatat, khususnya *Lactobacillus*, *Bacillus*, dan kombinasi dari keduanya. Pengumpulan dilakukan secara sistematis dengan cara mengekstraksi informasi numerik yang tersedia pada bagian hasil atau tabel dari jurnal terpilih, agar dapat diolah lebih lanjut pada tahap berikutnya.

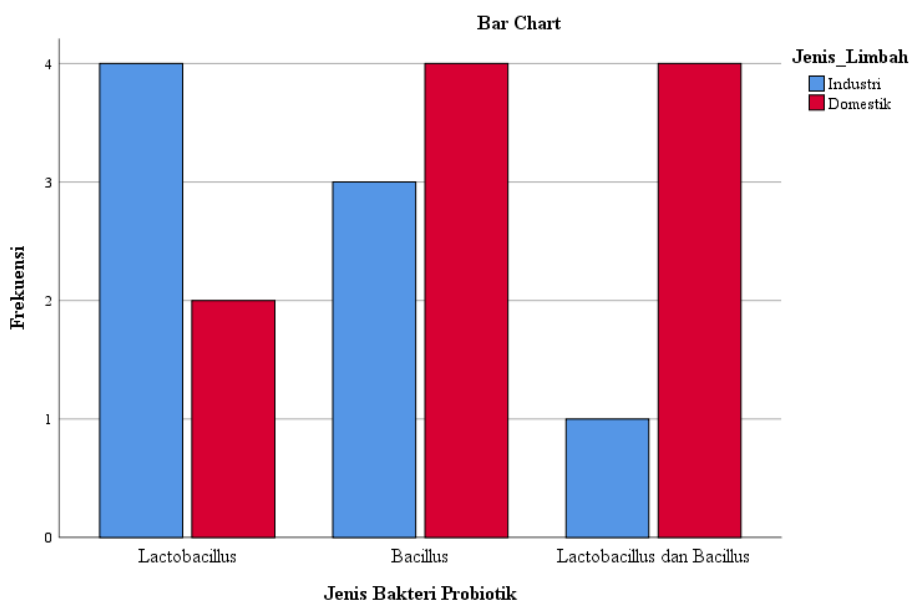
Data dari berbagai literatur diolah menggunakan SPSS untuk menjawab tiga permasalahan utama melalui uji statistik yang sesuai. Pertama, signifikansi penurunan BOD, COD, dan TSS sebelum–sesudah penambahan probiotik diuji dengan Paired t-test jika data normal atau Wilcoxon Signed Rank Test jika tidak normal. Kedua, persentase penurunan dianalisis secara deskriptif (min, maks, rata-rata, standar deviasi), kemudian dikelompokkan ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi serta divisualisasikan dalam diagram. Ketiga, perbedaan rata-rata penurunan antar jenis bakteri (*Lactobacillus*, *Bacillus*, dan kombinasi *Lactobacillus* dan *Bacillus*) diuji menggunakan uji ANOVA dengan syarat

normalitas dan homogenitas terpenuhi. Seluruh tahapan ini bertujuan menghasilkan informasi yang sistematis, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan secara statistik.

Hasil dan Pembahasan

Dalam studi literatur ini, pembahasan data dilakukan secara bertahap untuk menjawab rumusan masalah yang telah diajukan sebelumnya. Setiap tahap dilakukan dengan pendekatan sistematis untuk menilai efektivitas penurunan parameter BOD, COD, dan TSS, serta menguji signifikansi perbedaan yang muncul antara perlakuan dengan tiga jenis bakteri probiotik. Selanjutnya, data sekunder yang diperoleh dari jurnal-jurnal tersebut disajikan dalam bentuk diagram batang yang menggambarkan jumlah bakteri dan jenis limbah yang ditemukan dalam studi-studi tersebut. Diagram ini memberikan gambaran umum mengenai distribusi jumlah bakteri dan jenis limbah yang terkandung dalam ke-17 jurnal yang ditinjau. Adapun dalam diagram ini, total jumlah data yang ditampilkan adalah 18, karena terdapat satu jurnal yang menguji dua jenis limbah dengan satu jenis bakteri. Dalam analisis ini, limbah yang terdapat dalam jurnal-jurnal yang dianalisis umumnya terdiri dari dua kategori utama: limbah domestik dan limbah industri. Limbah industri, meskipun beragam jenisnya (termasuk limbah dari industri tahu, susu, restoran, dan lain-lain), disederhanakan menjadi kategori "limbah industri" demi efisiensi analisis. Mengingat adanya variasi spesies, bakteri dikelompokkan dalam dua genus, yaitu *Lactobacillus* dan *Bacillus*, berdasarkan klasifikasi genusnya. Hal ini dilakukan karena tidak semua jurnal secara eksplisit menyebutkan spesies bakteri yang digunakan. Selain itu, pengelompokan berdasarkan genus juga dilakukan untuk mempermudah pengolahan data dalam software *IBM SPSS Statistics 26*. Jika spesies bakteri dimasukkan secara terpisah, maka jumlah kategori data akan menjadi lebih banyak dan semakin rumit, yang dapat mempersulit analisis statistik. Oleh karena itu, untuk menjaga kesederhanaan dan keteraturan data, serta agar analisis menjadi lebih efisien, diputuskan untuk menggunakan genus sebagai kategori utama, yakni *Lactobacillus* dan *Bacillus*.

Pada Gambar 1. merupakan diagram batang yang menunjukkan jumlah bakteri dan jenis limbah yang tercatat dalam ke-18 jurnal yang dianalisis. Diagram ini memperlihatkan bahwa sebagian besar jurnal meneliti bakteri dalam genus *Lactobacillus*, dengan limbah yang digunakan adalah limbah domestik dan limbah industri. Sementara itu, pada beberapa jurnal, ditemukan bahwa bakteri dalam genus *Bacillus* juga cukup dominan, meskipun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan *Lactobacillus*.



Gambar 1. Diagram Jumlah Bakteri dan Jenis Limbah

Berdasarkan diagram batang yang disajikan pada Gambar 4.1 memberikan distribusi data jenis limbah (Industri dan Domestik) berdasarkan jenis bakteri yang digunakan, yaitu *Lactobacillus*, *Bacillus*, serta kombinasi keduanya (*Lactobacillus* dan *Bacillus*). Jumlah data yang dianalisis adalah 18, meskipun terdapat 17 jurnal, karena terdapat satu jurnal yang dimana jurnal tersebut menguji 2 sampel limbah yang berbeda dengan satu bakteri yang sama, sehingga total data menjadi 18. Secara spesifik, *Lactobacillus* digunakan dalam 4 jurnal untuk mengolah limbah industri, 2 jurnal untuk limbah domestik, sementara *Bacillus* ditemukan dalam 3 jurnal untuk limbah industri dan 4 jurnal untuk limbah domestik. Kombinasi *Lactobacillus* dan *Bacillus* diterapkan pada 1 jurnal untuk limbah industri dan 4 jurnal untuk limbah domestik. Diagram batang ini memberikan visualisasi mengenai jumlah dan distribusi bakteri yang digunakan dalam pengolahan limbah industri dan domestik. Jumlah total setiap kelompok jenis bakteri menunjukkan pembagian data yang cukup seimbang, yang relevan untuk mengamati pola atau perbedaan hasil berdasarkan kombinasi jenis bakteri yang diterapkan pada limbah domestik dan industri.

Dari analisis ini kemudian dilakukan analisis lanjutan sesuai tujuan penelitian yaitu 1) Mengolah data untuk menunjukkan apakah penurunan nilai parameter BOD, COD, dan TSS pada limbah cair setelah penambahan bakteri probiotik signifikan secara statistik. 2) Mengklasifikasikan persentase penurunan nilai parameter BOD, COD, dan TSS ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan data literatur. 3) Menguji signifikansi perbedaan rata-rata persentase penurunan parameter BOD, COD, dan TSS antara perlakuan menggunakan ketiga jenis bakteri (*Lactobacillus*, *Bacillus*, dan kombinasi keduanya) dengan metode ANOVA.

1. Analisis Perbandingan Penurunan Kadar Polutan Sebelum dan Sesudah Penambahan Bakteri Probiotik

Sebagai langkah awal, analisis dimulai dengan Uji Normalitas untuk menentukan karakter distribusi data. Uji Normalitas dilakukan untuk menentukan apakah data memiliki distribusi normal, yang merupakan syarat penting dalam memilih metode statistik yang

digunakan. Data yang berdistribusi normal memungkinkan penggunaan uji parametrik, sedangkan data yang tidak normal memerlukan pendekatan non-parametrik. Hasil Uji Normalitas digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode statistik yang sesuai untuk menguji perbedaan signifikan antara kedua kondisi tersebut. Data utama yang digunakan berasal dari Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Perbandingan Parameter Kualitas Air Limbah Sebelum dan Setelah Penambahan Probiotik Berdasarkan Hasil Literatur

NO	Penulis jurnal	Parameter Kualitas Air Limbah Sebelum ditambah Probiotik			Parameter Kualitas Air Limbah Setelah ditambah Probiotik		
		BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
1	Morikawa dkk, 2013	2100	-	-	70	-	-
2	Safitri dkk, 2015	52,1	132,33	266,7	15,07	38,1	60
3	Lamia dkk, 2003	-	17	-	-	7,5	-
4	Vyalkova dkk, 2020	-	5260	-	-	770	-
5	Meekwamdee dkk, 2013	31,87	-	-	2,96	-	-
6	Hendrasarie dkk, 2023	-	440	380	-	12,01	0
7	Fatmawati dkk, 2019	250,25	530,25	420	95,56	362,14	372
8	Jahruddin dkk, 2022	87,83	283,33	130	50,63	163,3	112,7
9	Sannikova dkk, 2019	931	1803	-	50	755	-
10	Teow dkk, 2020	11,43	90	31,33	0	22,1	25,93
		335	7900	290	0	0	290
11	Sari, 2015	48,2	97,85	171	22,4	56,24	12,71
12	Sulaeman dkk, 2022	1957,56	4550,4	-	299,62	758,4	-
13	Pratiwi dkk, 2019	-	10283	-	-	925,48	-
14	Akhiruliawati dkk, 2006	-	801,6	-	-	229,6	-
15	Strelkov dkk, 2020	-	514	-	-	48	-
16	Sidorenko dkk, 2018	-	341	-	-	139	-
17	Fidiastuti dkk, 2020	700	980	105	250	470	30

Berdasarkan data sekunder yang disajikan dalam **Tabel 1.1**, terlihat bahwa probiotik mampu mempercepat proses biodegradasi bahan organik dan memperbaiki kualitas air limbah. Misalnya, pada penelitian Morikawa dkk. (2013), kadar BOD awal sebesar 2100 mg/L berhasil diturunkan menjadi 70 mg/L, sementara penelitian lain seperti Teow dkk. (2020) menunjukkan penurunan COD dari 132 mg/L menjadi 38,1 mg/L. Selain itu, penurunan TSS secara signifikan juga tercatat pada penelitian Safitri dkk. (2015), dari 77 mg/L menjadi 20 mg/L.

Berdasarkan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov pada **Tabel 1.2**, diperoleh nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* masing-masing parameter sebagai berikut: BOD sebelum 0,028, BOD sesudah 0,040, COD sebelum 0,000, COD sesudah 0,037, TSS sebelum 0,200, dan TSS sesudah 0,084. Dengan batas signifikansi 0,05, data BOD dan COD baik sebelum maupun sesudah perlakuan tidak berdistribusi normal, sedangkan TSS sebelum dan sesudah perlakuan berdistribusi normal. Selain itu, rata-rata dan standar deviasi dihitung untuk menggambarkan kecenderungan pusat dan sebaran data. Secara keseluruhan, hanya parameter TSS yang memenuhi asumsi normalitas, sedangkan lainnya tidak, sehingga analisis selanjutnya menggunakan metode non-parametrik, yaitu uji Wilcoxon Rank-Test, karena tidak memerlukan asumsi normalitas dan efektif untuk membandingkan data berpasangan.

Selanjutnya, analisis statistik memperkuat temuan ini. Pada uji Wilcoxon didapatkan data yaitu nilai Z dan *Asymp. Sig. (2-tailed)* untuk masing-masing parameter.

Untuk BOD, nilai Z adalah -2.934 dengan *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,003. Karena nilai *Asymp. Sig.* lebih kecil dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar BOD sebelum dan sesudah penambahan dengan bakteri probiotik.

Tabel 2 Hasil Uji Normalitas Data

<i>One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test</i>							
		BOD sebelum	BOD sesudah	COD sebelum	COD sesudah	TSS sebelum	TSS sesudah
<i>N</i>		11	11	16	16	8	8
<i>Normal Parameters</i> <i>a, b</i>	<i>Mean</i>	591.3855	77.8400	2126.4850	297.3044	224.2538	112.9175
	<i>Std. Deviation</i>	770.74289	102.69136	3162.25213	330.52760	137.24769	140.66998
<i>Most Extreme Differences</i>	<i>Absolute</i>	.267	.258	.329	.220	.151	.272
	<i>Positive</i>	.267	.258	.329	.220	.151	.272
	<i>Negative</i>	-.226	-.224	-.252	-.184	-.122	-.211
<i>Test Statistic</i>		.267	.258	.329	.220	.151	.272
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>		.028 ^c	.040 ^c	.000 ^c	.037 ^c	.200 ^{c,d}	.084 ^c

Pada parameter COD, nilai Z adalah -3.516 dengan *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,000. Nilai ini juga lebih kecil dari 0,05, yang mengindikasikan adanya perbedaan signifikan antara kadar COD sebelum dan sesudah perlakuan. Sementara itu, untuk parameter TSS, nilai Z adalah -2.366 dengan *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,018. Nilai ini juga lebih kecil dari 0,05, yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada kadar TSS sebelum dan sesudah perlakuan. Secara keseluruhan, hasil analisis ini menunjukkan bahwa perlakuan dengan penambahan bakteri probiotik berhasil menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS secara signifikan. Hasil ini ditunjukkan melalui Tabel 3. berikut ini:

Tabel 3. Uji Willcoxon Signed Rank test

	BOD sesudah – BOD sebelum	COD sesudah – COD sebelum	TSS sesudah – TSS sebelum
Z	-2.934 ^b	-3.516 ^b	-2.366 ^b
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>	.003	.000	.018

Hasil uji signifikansi dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa penurunan kadar BOD, COD, dan TSS memiliki nilai signifikansi masing-masing sebesar 0,003, 0,000, dan 0,018. Nilai-nilai tersebut lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan dengan penambahan bakteri probiotik memberikan perubahan yang signifikan terhadap parameter-parameter tersebut. Penurunan kadar BOD dan COD yang signifikan menunjukkan bahwa probiotik mampu mengurai senyawa organik kompleks, sementara penurunan TSS mengindikasikan peningkatan sedimentasi partikel tersuspensi dalam air limbah.

2. Klasifikasi Tingkat Persentase Penurunan Parameter BOD, COD, dan TSS ke dalam Kategori Rendah, Sedang, dan Tinggi

Dilakukan klasifikasi tingkat efektivitas pengolahan limbah cair menggunakan bakteri probiotik terhadap tiga parameter utama, yaitu *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) dari data sekunder yang dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai Persentase Penurunan Parameter Kualitas Air Limbah (BOD, COD, dan TSS)

No	Penulis Jurnal	Jenis Bakteri Probiotik	Persentase Penurunan BOD (%)	Persentase Penurunan COD (%)	Persentase Penurunan TSS (%)
1	Morikawa dkk, 2013	Lactobacillus	96.67	-	-
2	Safitri dkk. 2015	Bacillus	71.07	71.21	77.50
3	Fatmawati dkk. 2019	Lactobacillus	61.81	31.70	11.43
4	Jahruddin dkk. 2022	Lactobacillus	42.35	42.36	13.31
5	Teow dkk. 2020	Bacillus	100.00	75.44	17.24
			100.00	100.00	0.00
6	Sari. 2015	Lactobacillus & Bacillus	53.53	42.52	92.57
7	Fidiastuti dkk. 2020	Lactobacillus	64.29	52.04	71.43
8	Hendrasarie dkk. 2023	Lactobacillus	-	97.27	100
9	Sannikova dkk, 2019	Bacillus	94.63	58.13	-
10	Sulaeman dkk, 2022	Lactobacillus	84.69	83.33	-
11	Lamia dkk. 2003	Lactobacillus	-	55.88	-
12	Vyalkova dkk. 2020	Bacillus	-	85.36	-
13	Pratiwi dkk. 2019	Lactobacillus & Bacillus	-	91.00	-
14	Akhiruliawati. 2006	Lactobacillus & Bacillus	-	71.36	-
15	Strelkov dkk. 2020	Lactobacillus & Bacillus	-	90.66	-
16	Sidorenko dkk. 2018	Lactobacillus & Bacillus	-	59.24	-
17	Meekwamdee dkk, 2013	Bacillus	90.71	-	-

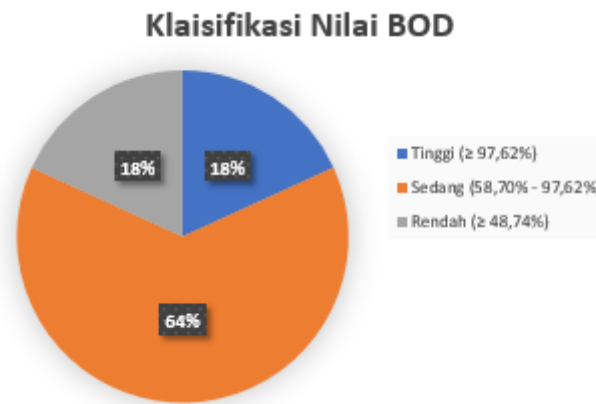
Proses klasifikasi ini bertujuan untuk memahami distribusi dan efektivitas pengolahan berdasarkan kategori rendah, sedang, dan tinggi yang ditentukan menggunakan statistik deskriptif dengan pendekatan nilai rata-rata (\bar{x}) dan standar deviasi (σ). Nilai rata-rata memberikan gambaran umum mengenai pusat distribusi data, sedangkan standar deviasi mencerminkan tingkat penyebaran atau variasi data terhadap rata-rata.

1. Parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Berdasarkan analisis, nilai rata-rata persentase penurunan parameter BOD adalah 78,16% dengan standar deviasi sebesar 19,46. Hasil klasifikasi data menunjukkan:

- Kategori Tinggi, mencakup nilai persentase di atas 97,62%. ($\bar{x} + \sigma$). (2 data)
- Kategori Sedang, mencakup nilai persentase antara 58,70% hingga 97,26%. ($\bar{x} - \sigma$ hingga $\bar{x} + \sigma$) (7 data)
- Kategori Rendah, mencakup nilai persentase di bawah 58,70%. ($\bar{x} - \sigma$). (2 data)

Hasil klasifikasi kemudian diilustrasikan ke dalam diagram lingkaran yang tertera pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Grafik Klasifikasi Nilai Penurunan Parameter BOD

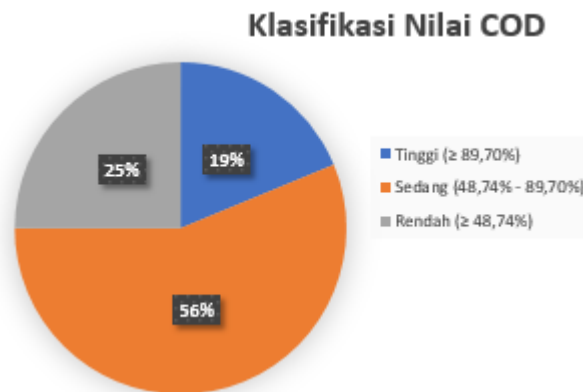
Mayoritas data (64%) berada dalam kategori sedang, yang menunjukkan efektivitas pengolahan limbah cair pada tingkat yang cukup baik. Dua data pada kategori tinggi mengindikasikan keberhasilan optimal dalam menurunkan parameter BOD, sedangkan dua data pada kategori rendah.

2. Parameter Chemical Oxygen Demand (COD)

Analisis menunjukkan nilai rata-rata persentase penurunan parameter COD adalah 69,22% dengan standar deviasi sebesar 20,48. Hasil klasifikasi data adalah sebagai berikut:

- Kategori Tinggi, mencakup nilai persentase di atas 89,70% ($\bar{x} + \sigma$). (3 data)
- Kategori Sedang, mencakup nilai persentase antara 48,74% hingga 89,70%. ($\bar{x} - \sigma$ hingga $\bar{x} + \sigma$) (9 data)
- Kategori Rendah, mencakup nilai persentase di bawah 48,74%. ($\bar{x} - \sigma$). (4 data)

Hasil klasifikasi kemudian diilustrasikan ke dalam diagram lingkaran yang tertera pada Gambar 3 sebagai berikut



Gambar 3. Grafik Klasifikasi Nilai Penurunan Parameter COD

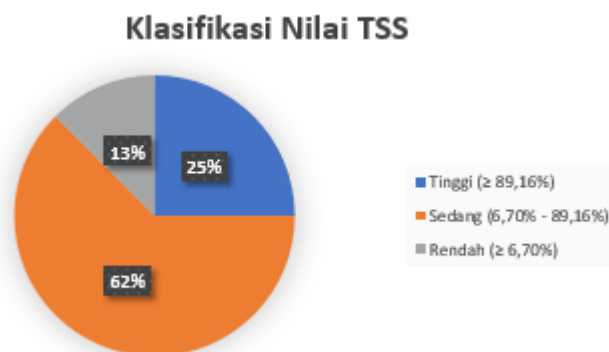
Sebagian besar data (56%) berada dalam kategori sedang, menandakan efektivitas yang cukup baik dalam menurunkan nilai COD. Namun, keberadaan empat data dalam kategori rendah menunjukkan bahwa metode pengolahan ini belum sepenuhnya optimal pada beberapa sampel.

3. Parameter Total Suspended Solids (TSS)

Hasil Klasifikasi: Untuk parameter TSS, nilai rata-rata persentase penurunan adalah 47,93% dengan standar deviasi sebesar 41,23. Data hasil klasifikasi adalah:

- Kategori Tinggi, mencakup nilai persentase di atas 89,16% ($\bar{x} + \sigma$). (2 data).
- Kategori Sedang, mencakup nilai persentase antara 6,70% hingga 89,16% ($\bar{x} - \sigma$ hingga $\bar{x} + \sigma$). (5 data).
- Kategori Rendah, mencakup nilai persentase di bawah 6,70%. ($\bar{x} - \sigma$). (1 data).

Hasil klasifikasi kemudian diilustrasikan ke dalam diagram lingkaran yang tertera pada Gambar 4 sebagai berikut



Gambar 4. Grafik Klasifikasi Nilai Penurunan Parameter TSS

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa hanya satu (13%) nilai yang berada dalam kategori “rendah”, sedangkan lima (62%) nilai termasuk ke dalam kategori “sedang”. Dua nilai tertinggi diklasifikasikan sebagai kategori “tinggi”. Dari persebaran data tersebut, mengindikasikan bahwa nilai persentase penurunan nilai parameter TSS pada air limbah

yang ditambahkan bakteri probiotik secara keseluruhan memiliki tingkat efektivitas yang cukup baik.

Sebagian besar data (62,50%) berada dalam kategori sedang, yang menunjukkan efektivitas pengolahan cukup baik meskipun belum mencapai optimal. Data pada kategori rendah (0,00%) perlu ditinjau lebih lanjut untuk mengidentifikasi kendala yang menyebabkan rendahnya efektivitas. Keberadaan dua data pada kategori tinggi mengindikasikan bahwa pengolahan limbah cair menggunakan bakteri probiotik dapat mencapai hasil optimal dengan pengelolaan proses yang tepat.

3. Uji Signifikansi Perbedaan Rata-rata Persentase Penurunan Nilai Parameter Kualitas Air Limbah (BOD, COD, dan TSS)

Dilakukan analisis lebih mendalam untuk menjawab rumusan masalah ketiga, yaitu menguji perbedaan rata-rata persentase penurunan nilai parameter kualitas air limbah (BOD, COD, dan TSS) dalam sampel limbah cair yang diberikan tambahan bakteri probiotik. Data sekunder yang digunakan bersumber dari **Tabel 1.4**, yang mencakup variabel variabel seperti jenis bakteri probiotik.

Pada parameter BOD, hasil uji ANOVA menghasilkan nilai F sebesar 1,688 dengan nilai signifikansi 0,245 ($p > 0,05$), seperti yang tertera pada **Tabel 1.5**. Hasil ini mengindikasikan bahwa perbedaan rata-rata penurunan nilai BOD antar kelompok bakteri probiotik tidak signifikan.

Tabel 5. Hasil Uji One Way ANOVA untuk Nilai BOD

ANOVA					
Penurunan BOD (%): Y2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1236.682	2	618.341	1.688	.245
Within Groups	2930.274	8	366.284		
Total	4166.956	10			

Sumber: Data Diolah dengan SPSS 26

Hal serupa juga ditemukan pada parameter COD, dengan nilai F sebesar 2,165 dan nilai signifikansi 0,154 ($p > 0,05$), seperti yang tertera pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Hasil Uji One Way ANOVA untuk Nilai COD

ANOVA					
Penurunan COD (%): Y2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1677.381	2	838.691	2.165	.154
Within Groups	5035.488	13	387.345		
Total	6712.869	15			

Sumber: Data Diolah dengan SPSS 26

Pada nilai parameter TSS didapatkan nilai F sebesar 2,179 dan nilai signifikansi 0,209 ($p > 0,05$), seperti yang tertera pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji One Way ANOVA untuk Nilai

ANOVA					
Penurunan TSS (%): Y3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5542.022	2	2771.011	2.179	.209
Within Groups	6358.582	5	1271.716		
Total	11900.605	7			

Sumber: Data Diolah dengan SPSS 26

Ketiga parameter ini menunjukkan bahwa meskipun ada perbedaan rata-rata antar kelompok bakteri probiotik, perbedaan tersebut tidak cukup besar untuk dianggap signifikan secara statistik.

Simpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan bakteri probiotik secara statistik terbukti efektif menurunkan nilai BOD, COD, dan TSS pada sampel air limbah yang diinkubasi, sehingga meningkatkan kualitas pengolahan limbah. Berdasarkan hasil uji Wilcoxon Rank-Test, nilai signifikansi untuk BOD adalah 0,003, untuk COD 0,000, dan untuk TSS 0,018 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan penurunan yang signifikan pada ketiga parameter tersebut.
2. Berdasarkan klasifikasi yang dilakukan, penurunan parameter BOD, COD, dan TSS dapat dibagi ke dalam tiga kategori: rendah, sedang, dan tinggi. Mayoritas data untuk ketiga parameter berada pada kategori sedang, yang menunjukkan efektivitas pengolahan limbah cair yang cukup baik secara umum. Untuk BOD, 63,64% data berada pada kategori sedang, sementara 56,25% data untuk COD dan 62,50% untuk TSS juga berada dalam kategori sedang. Namun, terdapat data pada kategori rendah, yang menunjukkan perlunya optimalisasi dalam proses pengolahan pada beberapa sampel. Sementara itu, data pada kategori tinggi menunjukkan potensi hasil pengolahan yang optimal.
3. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata persentase penurunan parameter BOD, COD, dan TSS antar kelompok bakteri probiotik tidak signifikan secara statistik. Nilai signifikansi untuk BOD adalah 0,245, untuk COD 0,154, dan untuk TSS 0,209 ($p > 0,05$), yang mengindikasikan bahwa pemilihan jenis bakteri probiotik tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap efektivitas pengolahan limbah cair.

Daftar Pustaka

- Aguilar-Ascón, E. (2020). Efficiency of electrocoagulation method to reduce COD, BOD and TSS in tannery industry wastewater: Application of the box-behnen design. *Leather and Footwear Journal*, 20(3), 217-228, ISSN 1583-4433, <https://doi.org/10.24264/lfj.20.3.1>
- Akhirruliawati, M. S., & Amal, S. (2012). Pengolahan Limbah Cair Pati Secara Aerob Menggunakan Mikroba Degra Simba. *Universitas Diponegoro*, 2(1), 1-7.
- Fatmawati, W, L. R., & Tahir, A. (2020). Utilization of Probiotic Bacteria as an Effort to Handle Liquid Waste from the Palm Oil Processing Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 437, 1-7. doi:10.1088/1755-1315/473/1/012115
- Fidiastuti, H. R., Lathifah, A. S., Amin, M., & Utomo, Y. (2020). Studies of *Bacillus subtilis* NAP1 to degrade BOD, COD, TSS, and pH: The indigenous bacteria in Indonesia batik wastewater. *Journal of Physics: Conference Series*, 1511(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1511/1/012060>
- Hanurawaty, N.Y. (2022). Waste treatment of milk using aerobic and anaerobic honeycomb waste processing system to reduce COD, Bod, NH3-N, TSS, oil, fat and pH. *Global Nest Journal*, 24(3), 445-450, ISSN 1790-7632, <https://doi.org/10.30955/gnj.004356>
- Hardyanti, N. (2020). Analysis of the Impact of Industrial Activities towards River Vacancy Viewed from BODS, CODS, and TSS Using the QUAL2KW Software Method Approach (Case Study: Klampok River, Semarang District. *E3s Web of Conferences*, 202, ISSN 2555-0403, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020204008>
- Hendrasarie, N., Romadon, S., & Putro, R. K. H. (2023). Use of *Lactobacillus* Bacteria to Degrade Oil and Grease in Restaurant Wastewater. *Technium*, 16.
- Jahrudin, J., Zaman, B., & Sumiyati, S. (2021). Effectiveness of Liquid Probiotics from Organic Waste to Treat Hotel Domestic Waste. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1), 2617–2625. <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3823>
- Lamia, A., & Moktar, H. (2003). Fermentative decolorization of olive mill wastewater by *Lactobacillus plantarum*. *ProcessBiochemistry*, 39, 59-65.
- Meekwamdee, B., & Suebsaiprom, W. (2023). Study on Effective of *Bacillus subtilis* for Domestic Wastewater Treatment in the Royal Thai Army Chemical Department Area. *Journal of Namibian Studies*, 34.
- Morikawa-Sakura, M. S., Casco-Robles, M. M., Kim, M., Shimizu, K., Yang, Y., Sugiura, N., & Zhang, Z. (2013). Application of *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 for Wastewater Treatment in Fisheries Industry Processing. *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, 1–10.
- Padmavathi, P., K, S., & Veeraiah, K. (2012, December 25). Efficacy of Probiotics in Improving Water Quality and Bacterial Flora in Fish Ponds. *African Journal of Microbiology Research*, 6(49), 7471-7478. doi:10.5897/AJMR12.496.
- Pratiwi, N. T. M., Hariyani, S., Puspa Ayu, I., Apriadi, T., Iswantari, A., & Yuni Wulandari, D. (2019). Pengelolaan Kandungan Bahan Organik pada Limbah Cair Laboratorium ProlingMSP-IPB dengan Berbagai Kombinasi Agen Bioremediasi. *Jurnal Biologi Indonesia*, 15(1), 89–95. <https://doi.org/10.47349/jbi/15012019/89>

- Risgiyanto, A. (2023). Study of Water Quality of Way Umpu River, Way Kanan Regency, Lampung Province, Indonesia, Based on Differences of TSS, DO, BOD, COD, and Phosphate Levels in Mining Locations. *Aip Conference Proceedings*, 2540, ISSN 0094-243X, <https://doi.org/10.1063/5.0105993>
- Safitri, R., Priadie, B., & Hawadish, A. (2015). Domestic Waste Water Bioremediation By Consortium of Bacteria. *Scientific Papers-Animal Science Series: Lucrări Științifice - Seria Zootehnie*, 63(5), 134–141.
- Sannikova, N., & Kovaleva, O. (2019). Use of Probiotic Preparations in Waste Waters Cleaning of Agricultural Enterprises. *International scientific and practical conference 'AgroSMART- Smart solutions for agriculture'*, 136-144. doi:10.18502/kl.v4i14.5598.
- Sari, W. M. (2015, June). Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Muhammadiyah Palembang (RSMP) Dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob. *Jurnal Distilasi*, 1(1), 7-18.
- Strelkov, A. K., Bazarova, A. O., & Teplykh, S. Y. (2020). Purification of fat-containing effluents with probiotic substances. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 962(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/3/032013>
- Sulaeman, N., & Lambayu, N. (2022, March 19). Teknik pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Penambahan Bakteri Biotreatment. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan II (SENASTITAN II)*, 2, 19-25.
- Teow, Y. H., Zaimi, N. A. A. B. M., Mazuki, N. I. M., Chun, H. K., & Al-Rajabi, M. M. H. (2020). Innovation with the use of probiotics as an eco-friendly tool for sewage and palm oil mill effluent treatment. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 13(Special Issue ISSTE2019), 267–276.
- Vialkova, E. I., Sidorenko, O. V., & Glushenko, E. S. (2020). Influence of Probiotic Products on the Quality of Waste Water Treatment in Dairy Industries. *Urban Construction and Architecture*, 10(1), 47–55. <https://doi.org/10.17673/vestnik.2020.01.7>