

Efisiensi Pengolahan Limbah Pewarna *Sumifix Blue* Menggunakan Lumpur Aktif dengan Penambahan *Enterococcus faecalis* pada Kondisi Anaerob-Aerob

Yulia Mesak¹, dan V. Irene Meitiniarti^{2*}

¹Program studi S1 Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

²Program studi Magister Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga;

*e-mail: irene.meitiniarti@uksw.edu

ABSTRAK

Sumifix blue (SB) merupakan salah satu pewarna golongan azo yang terdapat dalam limbah tekstil. Pembuangan limbah yang mengandung pewarna tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat memunculkan masalah bagi lingkungan dan membahayakan makhluk hidup di sekitarnya. Pengolahan dengan proses lumpur aktif dalam kondisi aerob umum digunakan dalam mengatasi limbah pewarna. Proses lumpur aktif dapat ditingkatkan dengan penggunaan mikroba pengurai pewarna. Dalam penelitian ini ingin diketahui efisiensi lumpur aktif dalam pengolahan limbah pewarna dengan penambahan *E. faecalis* yang telah terbukti mampu mendekolorisasi pewarna jenis azo. Selain mengkombinasikan lumpur aktif dengan *E. faecalis*, proses juga diuji dalam kondisi aerob, anaerob dan campuran (anaerob-aerob). Penelitian ini didesain menggunakan limbah cair sintetik yang mengandung pewarna SB dengan konsentrasi warna yang disesuaikan dengan limbah aslinya (absorbansi warna diukur pada λ 536 nm). Pengolahan dilakukan dengan proses lumpur aktif dan kombinasi lumpur aktif dengan *E. faecalis* pada kondisi aerob, anaerob dan campuran (anaerob-aerob) dengan sistem batch. Pengambilan sampel dilakukan setiap selang waktu 24 jam selama 96 jam. Parameter yang diamati adalah konsentrasi warna, COD dan TS. Efisiensi pengurangan parameter tersebut dibandingkan pada semua perlakuan. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengolahan SB terbaik pada proses pengolahan dengan kondisi campuran menggunakan lumpur aktif tanpa atau dengan penambahan *E. faecalis*. Efisiensi pengurangan konsentrasi SB, COD, dan TS pada pengolahan SB dengan lumpur aktif tanpa atau dengan penambahan *E. faecalis* pada kondisi campuran berturut-turut adalah sebesar 81; 80,48; 29% (lumpur aktif saja) dan 66,5; 70,9; 22,4% (lumpur aktif dengan penambahan *E. faecalis*). Pada penelitian ini, penambahan *E. faecalis* belum meningkatkan kemampuan lumpur aktif mendegradasi SB. Penambahan gula sebagai sumber mediator redoks kemungkinan dapat meningkatkan kemampuan *E. faecalis* dalam degradasi SB.

Kata Kunci: Aerob, anaerob, *E. faecalis*, lumpur aktif, *Sumifix blue*

ABSTRACT

Sumifix blue (SB) is one of the azo dyes found in textile wastewater. Disposal of waste containing dyes without prior treatment can create problems for the environment and endanger living things in the vicinity. Treatment with an activated sludge process under aerobic conditions is commonly used to treat dye waste. The activated sludge process can be improved by the use of dye-degrading microbes. In this study, we want to know the efficiency of activated sludge in processing dye wastewater with the addition of *E. faecalis* which has been proven to be able to decolorize azo dyes. In addition to combining activated sludge with *E. faecalis*, the process was also tested under aerobic, anaerobic, and mixed (anaerobic-aerobic) conditions. This research was designed using synthetic wastewater containing SB dye with a color concentration adjusted to the original wastewater (color absorbance measured at λ 536 nm). The treatment is carried out by an activated sludge process and a combination of activated sludge with *E. faecalis* under aerobic, anaerobic, and mixed (anaerobic-aerobic) conditions with a batch system. Sampling was carried out every 24 hours for 96 hours. The parameters observed were color concentration, COD, and TS. The efficiency of the reduction of these parameters was compared in all treatments. From the result of this study, it can be concluded that the best SB treatment is obtained from the treatment process using activated sludge under mixed conditions (anaerobic-aerobic) with or without *E. faecalis*. The efficiency of reducing SB, COD, and TS concentration with a percentage of 81, 80.48, 29% (only activated sludge), and 66.5, 70.9, 22.4% (activated sludge with *E. faecalis* addition). In this study, the addition of *E. faecalis* did not increase the ability of activated sludge to degrade SB. processing. The addition of sugar as a source of redox mediator might increase the ability of *E. faecalis* to degrade SB.

Keywords: Aerobic, anaerobic, *E. faecalis*, activated sludge, *Sumifix blue*

Citation: Mesak, Y. dan Meitiniarti, V. (2023). Efisiensi Pengolahan Limbah Pewarna *Sumifix Blue* Menggunakan Lumpur Aktif dengan Penambahan *Enterococcus faecalis* pada Kondisi Anaerob-Aerob. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 907-913, doi:10.14710/jil.21.4.907-913

1. Pendahuluan

Peningkatan permintaan dan aktivitas industri tekstil dewasa ini mengakibatkan adanya peningkatan buangan limbah industri tekstil yang mengandung pewarna. Keberadaan limbah tekstil yang mengandung pewarna terutama pewarna azo dapat menimbulkan masalah serius bagi lingkungan (Liu *et al.*, 2020). Keberadaan pewarna di lingkungan perairan, dapat menyerap sinar matahari sehingga intensitas cahaya yang dibutuhkan oleh organisme perairan seperti tanaman air dan fitoplankton menurun (Yuanita, 2014). Apabila intensitas cahaya matahari berkurang dalam ekosistem perairan maka DO (*Dissolve Oxygen*) akan menurun dan berakibat pada peningkatan nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) (Yuanita, 2014). Peningkatan nilai BOD dan COD ini dapat membahayakan hidup biota dalam perairan. Selain itu, jika air limbah yang mengandung pewarna dikonsumsi manusia dapat menimbulkan resiko mutagenik, genotoksik dan karsinogenik (Liu *et al.*, 2021).

Salah satu pewarna yang umum digunakan dalam industri tekstil adalah *Sumifix Blue* (SB). Pewarna SB termasuk dalam jenis pewarna azo dengan ikatan azo berjumlah tiga atau disebut triazo (Yan, 2003, dalam Permatasari *et al.*, 2018). Dalam proses pengolahan, pewarna azo dapat mengalami degradasi melalui pemutusan ikatan azo didalam struktur kimianya. Proses tersebut menyebabkan pemudaran warna (dekolorisasi) dan umumnya terjadi pada kondisi anaerob. Menurut Wang *et al.* (2022), pemutusan ikatan azo terjadi oleh aktivitas enzim non-spesifik.

Untuk mengurangi kandungan zat pewarna dalam limbah tekstil, diperlukan pengolahan limbah agar zat pewarna terdegradasi. Secara umum biodegradasi dapat diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan kebutuhan oksigennya, yaitu aerob, anaerob dan anoksik (kondisi dimana tidak ada molekul oksigen bebas, tetapi bisa terdapat oksigen terikat dalam bentuk nitrat atau nitrit). Pada kondisi anaerob atau anoksik, beberapa bakteri mampu menghilangkan pewarna dengan memproduksi *azo reductase* yang dapat memutus ikatan azo (-N=N-) dan menghasilkan senyawa intermediet tidak berwarna seperti amina aromatik. *Azo reductase* juga dapat terlibat dalam degradasi pewarna azo secara anaerob oleh bakteri (Chen *et al.*, 2021) melalui proses penerimaan elektron dari donor sehingga dapat meningkatkan degradasi pewarna azo (Wang *et al.*, 2022). Penghilangan zat pewarna dalam pengolahan limbah umumnya melibatkan kombinasi proses keduanya yaitu anaerob-aerob untuk memaksimalkan dekolorisasi (Kiruthika dan Rajendran, 2020). Selain itu, memanfaatkan keberadaan mikroba *Enterococcus faecalis* juga dapat dijadikan alternatif dalam menangani permasalahan limbah pewarna. Pada penelitian-penelitian sebelumnya bakteri tersebut telah terbukti mampu mendekolorisasi beberapa pewarna seperti *Amaranth*, *Reactive Red*, *Yellow*, dan *Blue* (Meitiniarti dan Timotius, 2003, dalam

Meitiniarti *et al.*, 2007). Dalam penelitian ini diharapkan pengolahan limbah tekstil SB yang dilakukan dengan mengkombinasikan lumpur aktif dan *E. faecalis* pada kondisi anaerob-aerob akan dapat memaksimalkan dekolorisasi yang terjadi.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpur aktif yang diambil dari Unit Pengolahan Limbah (UPL) salah satu pabrik air minum di Salatiga, kultur bakteri *E. faecalis* dari Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana dan limbah sintetik SB dengan konsentrasi 80 mg/L.

2.2 Metode

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental-laboratoris, dimana penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan limbah sintetik yang mengandung pewarna *Sumifix Blue* dengan konsentrasi 80 mg/L.

2.2.1 Persiapan air limbah dan lumpur aktif

Air limbah dibuat dengan melarutkan 80 mg pewarna SB kedalam 1000 ml akuades. Sebelum digunakan, dilakukan pengukuran karakteristik awal meliputi absorbansi warna (pada λ 536 nm) dan kadar COD. Lumpur aktif diperoleh dari salah satu perusahaan air minum di Salatiga. Lumpur aktif dicuci terlebih dahulu dengan air selama satu minggu agar bersih dan tidak terkontaminasi dengan zat lain yang tidak diperlukan. Proses aklimatisasi dilakukan dengan penambahan urea, fosfat dan gula sebagai nutrisi untuk bakteri yang terkandung didalamnya (Noerwahju *et al.*, 2019). Pemberian nutrisi dilakukan selama satu minggu, setelah itu lumpur aktif siap untuk digunakan.

2.2.2 Persiapan kultur *Enterococcus faecalis*

E. faecalis diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga. *E. faecalis* tersebut telah ditumbuhkan dan dipelihara pada kultur miring media TSA (*Trypticase Soy Agar*) dengan suhu ruang dan dilakukan sub-cultured setiap 2 minggu sekali. Bakteri tersebut diperbanyak pada medium TSB (*Trypticase Soy Broth*) dengan cara membuat prekultur *E. faecalis* terlebih dahulu. Prekultur dibuat dengan menginokulasikan satu ose kultur miring *E. faecalis* pada media TSA miring usia 48 jam ke dalam 50 ml medium TSB. Kemudian kultur diinkubasi 24 jam pada *shaker* dengan pengadukan 100 rpm untuk mencapai OD₆₀₀ = 0,3.

Prekultur kemudian diinokulasikan ke 450 ml media TSB steril lalu diinkubasi pada *shaker* inkubator dengan kecepatan 100 rpm pada suhu 37°C selama 24-48 jam atau hingga nilai OD₆₀₀ = 1 (setara dengan 10⁸ CFU/ml). Sel dipanen dengan cara disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 10 menit dan dilarutkan dengan larutan garam fisiologis untuk digunakan dalam perlakuan.

2.2.3 Proses biologi dengan lumpur aktif dan *Enterococcus faecalis*

Untuk menjawab tujuan penelitian ini, percobaan dipersiapkan menggunakan limbah sintetik yang mengandung pewarna SB 80 mg/L, lumpur aktif dan suspensi sel *Enterococcus faecalis* 10⁸ CFU/ml dengan total *working* volume penelitian 100 ml. Proses aerob dilakukan dengan meletakkan sampel pada *shaker* 100 rpm dan proses anaerob dilakukan dengan meletakkan sampel pada inkubator statis. Desain penelitiannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain penelitian

Perlakuan	Kondisi	Lumpur aktif	<i>E. faecalis</i>
A1	Aerob 96 jam (A)	10%	-
A2		5%	5%
B1		10%	-
B2	Anaerob 96 jam (B)	5%	5%
C1		10%	-
C2	anaerob 48 jam - aerob 48 jam (C)	5%	5%

Pengambilan sampel dimulai dari jam ke-0 dan setiap selang waktu 24 jam selama 96 jam. Parameter yang ditentukan setiap pengambilan sampel adalah absorbansi warna secara spektrometrik pada panjang gelombang serapan maksimum maksimum (λ 536 nm) dan kadar COD. Pada awal, pertengahan dan akhir waktu perlakuan dilakukan pengukuran TS.

2.2.4 Analisis sampel dan data

Analisis untuk mengukur konsentrasi pewarna (Bach *et al.*, 2003) dan COD dilakukan secara spektrofotometri (Alaerts dan Santika, 1984), sedangkan pengukuran TS dilakukan dengan metode pemanasan cawan (Rodger *et al.*, 2017). Dari data-data yang diperoleh tersebut kemudian dianalisis menggunakan ANOVA dua arah yang dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Jujur untuk mengetahui faktor yang paling memberikan beda nyata signifikan terhadap parameter konsentrasi warna, kadar COD dan TS diantara perlakuan penambahan lumpur aktif atau kombinasi lumpur aktif dengan *E faecalis* dalam tiga kondisi berbeda (aerob, anaerob dan campuran). Untuk analisis efisiensi dilakukan dengan membandingkan konsentrasi awal masing-masing parameter dengan konsentrasi setelah proses pengolahan. Efisiensi dihitung sebagai berikut (Noerwahju *et al.*, 2019):

$$E = \frac{Co - Ca}{Ca} \times 100\%$$

Keterangan:

Co : konsentrasi sebelum perlakuan (mg/L)

Ca : konsentrasi sesudah perlakuan (mg/L)

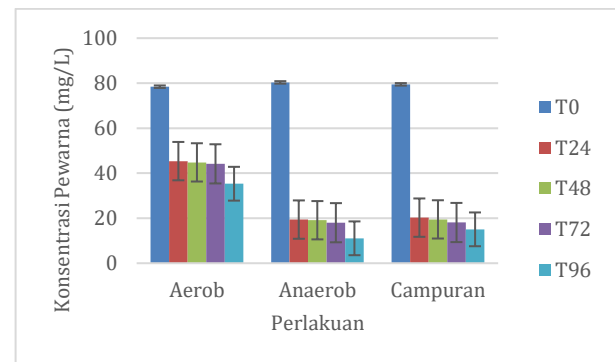
E : efisiensi (%).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Proses pengolahan dengan lumpur aktif

Hasil pengolahan limbah pewarna SB dengan menggunakan lumpur aktif dalam tiga kondisi (aerob, anaerob dan campuran (anaerob-aerob)) memberikan pengaruh terhadap konsentrasi

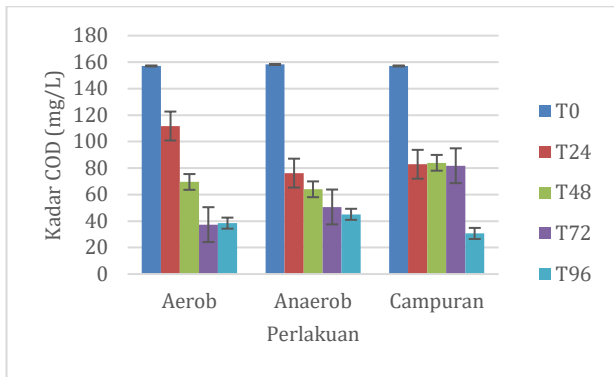
pewarna SB. Konsentrasi SB mengalami penurunan terbesar pada waktu 24 jam pertama terutama pada kondisi anaerob dan hasil akhir di waktu 96 jam menunjukkan nilai akhir konsentrasi yang terendah juga didapati pada kondisi anaerob (Gambar 1). Degradasi awal (dekolorisasi) pewarna SB ini terjadi sebagai akibat dari pemutusan ikatan azo sehingga terjadi pemudaran warna (Bagewadi, 2011) dan biasanya membutuhkan kondisi anaerob (Srivatsav, 2019). Menurut Sarkar *et al.* (2017) degradasi pada kondisi anaerob dinilai lebih efisien daripada aerob karena azoreduktase adalah enzim yang peka terhadap oksigen. Pada kondisi aerob, enzim bertemu dengan oksigen secara langsung sehingga mediator redoks untuk pewarna azo menjadi berkurang. Enzim azoreduktase mampu memutus ikatan azo (-N=N-) dan mentransfer empat elektron sebagai ekivalen pereduksi. Dalam setiap tahap, dua elektron berpindah ke pewarna azo dan bertindak sebagai akseptor elektron sehingga terjadi dekolorisasi karena terbentuknya produk yang tidak berwarna (Sarkar *et al.*, 2017).



Gambar 1. Konsentrasi pewarna pada proses lumpur aktif dengan kondisi aerob, anaerob dan campuran

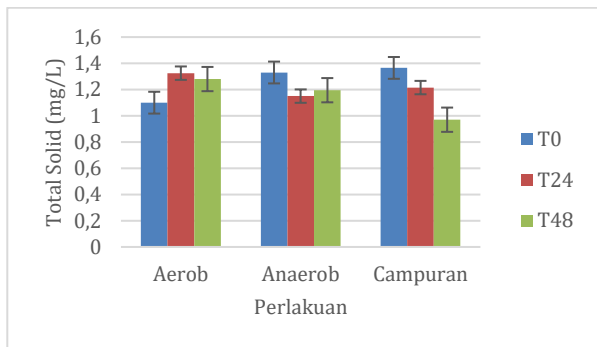
Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran COD pada kondisi anaerob selama 24 jam pertama, penurunan yang dihasilkan memiliki pola yang sama dengan pola penurunan konsentrasi SB. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadinya dekolorisasi bersamaan dengan terjadinya degradasi bahan organik. Namun produk dekolorisasi berupa amina aromatis bersifat toksik bagi mikroba yang berakibat pada matinya mikroba (Srivatsav, 2019). Matinya mikroba ini memberi sumbangan pada kadar bahan organik. Kondisi bahan organik yang tinggi ini menyebabkan kondisi menjadi anaerob. Pada kondisi campuran (anaerob-aerob) dimana kadar oksigen meningkat karena adanya aerasi, kadar COD setara pada kondisi aerob. Proses degradasi sempurna bahan organik terjadi pada kondisi aerob yang menunjukkan hasil penurunan kadar COD paling signifikan di setiap waktunya (Gambar 2). Kondisi aerob ini banyak diterapkan dalam pengolahan lumpur aktif karena mikroba yang terkandung di dalam lumpur aktif bekerja mengurangi kandungan bahan organik di dalam air limbah baik melalui proses

oksidasi maupun adsorpsi sehingga terjadi penurunan kandungan COD (Atima, 2015).



Gambar 2. Kadar COD pada proses lumpur aktif dengan kondisi aerob, anaerob dan campuran

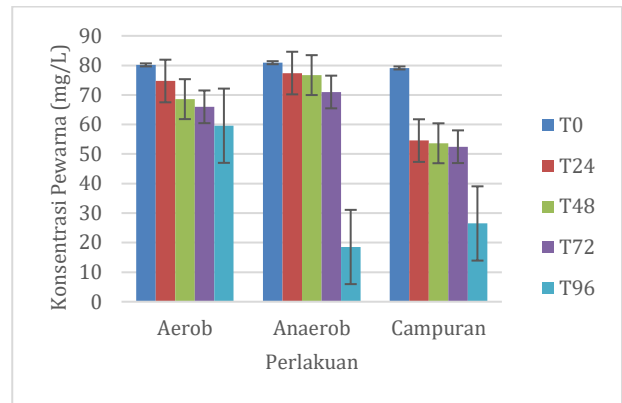
Nilai padatan total (*Total Solid*) pada kondisi aerob memberikan hasil yang meningkat selama 24 jam pertama, sedangkan pada kondisi anaerob dan campuran cenderung memberikan hasil yang menurun (Gambar 3). Pada kondisi aerob pertumbuhan mikroba semakin tinggi sehingga berdampak pada kenaikan jumlah padatan total.



Gambar 3. Nilai total solid pada proses lumpur aktif dengan kondisi aerob, anaerob dan campuran

3.2 Proses pengolahan dengan kombinasi lumpur aktif dan *E. faecalis*

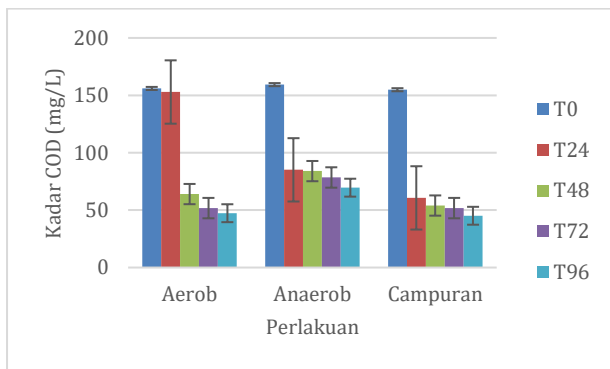
Penurunan konsentrasi pewarna pada pengolahan kombinasi lumpur aktif dan *E. faecalis* memberi hasil akhir paling efektif pada kondisi anaerob. Pada kondisi anaerob, konsentrasi SB menurun secara signifikan setelah inkubasi di atas 72 jam (Gambar 4). Kebutuhan waktu dekolorisasi dalam penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Wang *et al.* (2022) menggunakan *E. faecalis* untuk mengolah beberapa pewarna azo. Dalam penelitian Wang *et al.* (2022) *E. faecalis* secara efektif mampu memecah struktur kimia pewarna azo setelah pengolahan selama 48 jam dengan efisiensi dekolorisasi yang menurun seiring banyak ikatan yang dimiliki oleh pewarna yang diuji. Penurunan laju dekolorisasi dapat disebabkan oleh peningkatan efek toksik pewarna pada bakteri atau terhambatnya aktivitas enzim karena tidak tersedianya situs aktif bagi bakteri untuk bekerja (Patel *et al.*, 2012).



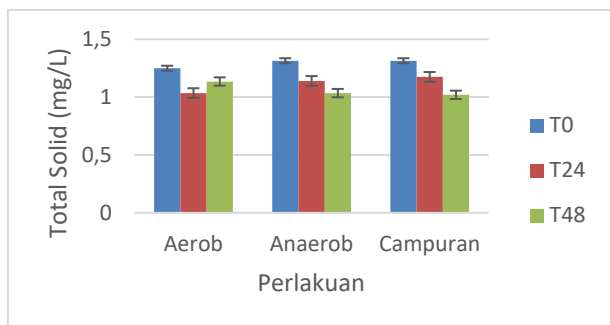
Gambar 4. Konsentrasi pewarna pada proses lumpur aktif + *E. faecalis* dengan kondisi aerob, anaerob dan campuran

Pada kondisi aerob juga menunjukkan hasil yang menurun tiap retensi waktunya, namun pada akhir pengamatan konsentrasi SB masih menunjukkan nilai yang lebih besar dibanding pada kondisi anaerob. Jumlah ikatan azo yang ada dalam pewarna azo juga menentukan mudah tidaknya pewarna azo terdegradasi. Menurut Ameenudeen *et al.* (2021), ikatan azo pada dasarnya relatif kebal terhadap degradasi sehingga semakin banyak ikatan azo akan semakin stabil dan sulit didegradasi. Pewarna SB yang tergolong triazo (memiliki tiga ikatan azo) kemungkinan menyebabkan *E. faecalis* kurang mampu dalam mendekolorisasi pewarna. Hasil tersebut berbeda dengan hasil penelitian Permatasari *et al.* (2018) yang menunjukkan bahwa kecepatan dan efisiensi dekolorisasi pewarna triazo SB lebih tinggi daripada pewarna monoazo *Reactive Red 2* yang ditelitinya. Selain itu, flavoprotein azoreduktase yang diisolasi dari *E. faecalis* telah terbukti hanya spesifik untuk NADH (Punj, 2008) dan aktivitas *E. faecalis* dapat terjadi secara maksimal apabila terdapat molekul tersebut. Kemungkinan diperlukan adanya kosubstrat molekul NADH yang akan digunakan sebagai donor elektron untuk pemutusan ikatan azo pada kondisi aerob (Macwana *et al.*, 2009) sehingga dekolorisasi pewarna SB dapat terjadi lebih optimal. Penambahan kosubstrat dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya.

Dari hasil pengukuran COD diperoleh bahwa hasil akhir penurunan COD terbesar berada di kondisi campuran (anaerob-aerob) dan disusul oleh kondisi aerob. Adanya oksigen pada kondisi aerob ini menyebabkan peningkatan aktivitas mikroba sehingga degradasi bahan organik dapat terjadi secara maksimal. Kandungan *Total Solid* pada kondisi anaerob dan campuran cenderung menurun, sedangkan pada kondisi aerob mengalami peningkatan. Pada kondisi aerob pertumbuhan mikroba semakin tinggi sehingga berdampak pada kenaikan jumlah padatan total.



Gambar 5. Kadar COD pada proses lumpur aktif + *E. faecalis* dengan kondisi aerob, anaerob dan campuran



Gambar 6. Nilai total solid pada proses lumpur aktif + *E. faecalis* dengan kondisi aerob, anaerob dan campuran

3.3 Efisiensi penurunan konsentrasi warna, COD dan TS pada perlakuan lumpur aktif dan kombinasi lumpur aktif dengan *E. faecalis*

Penurunan warna, COD, dan TS selama proses pengolahan dapat dilihat pada Tabel 2-4. Terdapat perbedaan yang nyata pada konsentrasi SB antar perlakuan, kondisi, maupun antar waktu (Tabel 2). Walaupun ada perbedaan antar waktu, namun dari analisis statistik tampak bahwa pemberian *E. faecalis* tidak nyata menurunkan konsentrasi SB setelah proses berlangsung 24 jam pada kondisi anaerob. Hasil ini jauh lebih lama dibanding kemampuan kultur murni *E. faecalis* pada dekolonisasi Orange II (Meitiniarti *et al.* 2007; Meitiniarti *et al.* 2008) yang hanya berlangsung dalam waktu 8-10 jam dan pada dekolonisasi SB (Permatasari *et al.* 2018) yang berlangsung dalam waktu 12 jam. Dalam penelitian ini pemberian *E. faecalis* tidak meningkatkan kemampuan lumpur aktif dalam dekolonisasi SB. *E. faecalis* bersama mikroba lumpur aktif butuh waktu lebih lama dalam dekolonisasi SB dibanding kultur murni *E. faecalis* kemungkinan karena kondisi nutrisi medium dekolonisasi bersama lumpur aktif lebih rendah dibanding dalam kultur murni. Kemungkinan lain, sel *E. faecalis* justru berkompetisi dengan mikroba di lumpur aktif sehingga tampak tidak berbeda nyata dengan kemampuan dekolonisasi SB oleh lumpur aktif. Diperlukan data jumlah sel *E. faecalis* selama penelitian agar dapat dipastikan keberadaan *E. faecalis* selama penelitian. Kekurangan lain dalam penelitian ini adalah tidak adanya perlakuan dekolonisasi SB oleh kultur *E. faecalis*.

Dalam semua perlakuan kondisi anaerob menghasilkan reduksi warna paling besar. Menurut Sarkar *et al.* (2017) dan Srivatsav (2019), reduksi ikatan azo membutuhkan kondisi anaerob karena enzim azoreduktase peka terhadap oksigen. Walaupun terjadi reduksi pewarna, namun tidak selalu terjadi penurunan kandungan bahan organik dalam limbah. Nilai COD juga menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan, kondisi, dan waktu (Tabel 3). Penurunan nilai COD paling baik terjadi pada kondisi anaerob dengan lumpur aktif saja atau dengan penambahan *E. faecalis*. Walaupun penambahan *E. faecalis* tidak memberikan pengaruh nyata, namun turunnya nilai COD ini menunjukkan bahwa lumpur aktif mengandung mikroba yang mampu mengoksidasi bahan organik dalam kondisi anoksik. Bastviken *et al.* (2004) menunjukkan bahwa pada kondisi anoksik degradasi bahan organik berlangsung lebih cepat daripada oksik. Kurang berpengaruhnya penambahan *E. faecalis* ini kemungkinan disebabkan tidak tersedianya sumber mediator redoks (NADH) pada penelitian ini.

Hasil analisis statistik untuk kandungan padatan total (TS) menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata antar perlakuan, namun ada beda antar waktu (Tabel 4). Nilai TS umum digunakan sebagai parameter pertumbuhan mikroba dalam reaktor, namun dalam penelitian skala lab (kecil) kurang dapat menggambarkan pertumbuhan mikroba.

Hasil analisis efisiensi pengurangan konsentrasi warna, COD, dan TS dapat dilihat dari Tabel 5. Efisiensi pengurangan warna terbesar diperoleh dari pengolahan pada kondisi anaerob, baik dengan proses lumpur aktif saja maupun kombinasi lumpur aktif dengan *E. faecalis*. Berbeda halnya dengan efisiensi penurunan COD dimana efisiensi penurunan COD pada kondisi anaerob atau aerob tidak lebih besar dari efisiensi yang dihasilkan oleh kondisi campuran (anaerob-aerob). Efisiensi pengurangan *Total Solid* (TS) juga didapati nilai tertinggi pada pengolahan dengan kondisi campuran (anaerob-aerob), baik dengan proses lumpur aktif maupun kombinasi lumpur aktif dan *E. faecalis*. Pada kondisi aerob pertumbuhan mikroba semakin tinggi sehingga dihasilkan padatan total yang lebih tinggi. Peningkatan jumlah padatan umum terjadi pada pengolahan secara aerob, sehingga perlu ditambahkan unit *Clarifier Settling* untuk mengendapkan kelebihan padatan atau mikroba yang dihasilkan (Lee, 2022). Secara keseluruhan dari analisis efisiensi ini menunjukkan bahwa pengolahan dengan kondisi campuran lebih efektif digunakan untuk mendegradasi sempurna bahan organik yang terkandung didalam limbah. Kondisi campuran (anaerob-aerob) paling sering diterapkan dalam sistem pengolahan air limbah karena dinilai efektif untuk degradasi pewarna secara total (Patil, 2013).

Tabel 2. Hasil rata-rata penurunan konsentrasi warna SB

Waktu (jam)	Rata-rata konsentrasi pewarna (mg/L)					
	Aerob (LA)	Aerob (LA + <i>E. faecalis</i>)	Anaerob (LA)	Anaerob (LA + <i>E. faecalis</i>)	Campuran (LA)	Campuran (LA + <i>E. faecalis</i>)
T0	78,442 ± 0,006 ^a	80,173 ± 0,004 ^a	80,346 ± 0,007 ^a	80,905 ± 0,005 ^a	79,481 ± 0,002 ^a	79,134 ± 0,005 ^a
T24	45,368 ± 0,005 ^s	74,719 ± 0,022 ^b	19,394 ± 0,006 ^k	77,403 ± 0,003 ^{ab}	20,260 ± 0,007 ^k	54,545 ± 0,007 ^f
T48	44,805 ± 0,002 ^s	68,571 ± 0,04 ^c	19,108 ± 0,006 ^k	76,71 ± 0,004 ^{ab}	19,481 ± 0,007 ^k	53,636 ± 0,008 ^f
T72	44,156 ± 0,007 ^s	65,974 ± 0,01 ^d	18,009 ± 0,006 ^k	70,996 ± 0,007 ^c	18,095 ± 0,005 ^k	52,468 ± 0,007 ^f
T96	35,325 ± 0,009 ^h	59,576 ± 0,005 ^e	11,082 ± 0,006 ^m	18,528 ± 0,006 ^k	15,065 ± 0,005 ^l	26,494 ± 0,005 ⁱ

Keterangan:

Huruf subscript yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata (p<0,05) dengan menggunakan uji Tukey

Tabel 3. Hasil rata-rata penurunan kadar COD

Waktu (jam)	Rata-rata Konsentrasi COD (mg/L)					
	Aerob (LA)	Aerob (LA + <i>E. faecalis</i>)	Anaerob (LA)	Anaerob (LA + <i>E. faecalis</i>)	Campuran (LA)	Campuran (LA + <i>E. faecalis</i>)
T0	157,111 ± 18,359 ^a	156,000 ± 14,530 ^a	158,222 ± 13,878 ^a	159,333 ± 13,334 ^a	157,111 ± 10,715 ^a	154,889 ± 1,528 ^a
T24	111,778 ± 11,706 ^c	152,889 ± 22,690 ^b	76,222 ± 8,389 ^e	85,111 ± 2,169 ^d	82,889 ± 2,457 ^d	60,667 ± 3,334 ^f
T48	69,555 ± 13,472 ^{ef}	63,991 ± 15,275 ^f	63,999 ± 5,774 ^f	84,000 ± 8,819 ^d	83,000 ± 5,774 ^d	54,000 ± 2,404 ^g
T72	37,333 ± 12,018 ^g	51,778 ± 10,183 ^g	50,667 ± 8,819 ^g	78,445 ± 3,717 ^e	81,778 ± 5,092 ^d	51,778 ± 1,388 ^g
T96	38,445 ± 6,939 ^j	47,333 ± 6,667 ^h	45,111 ± 7,698 ^h	69,556 ± 9,623 ^f	30,667 ± 14,529 ^k	45,111 ± 3,849 ^h

Keterangan:

Huruf subscript yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata (p<0,05) dengan menggunakan uji Tukey

Tabel 4. Hasil rata-rata penurunan kandungan TS

Waktu (jam)	Rata-rata Konsentrasi Total Solid (mg/L)					
	Aerob (LA)	Aerob (LA + <i>E. faecalis</i>)	Anaerob (LA)	Anaerob (LA + <i>E. faecalis</i>)	Campuran (LA)	Campuran (LA + <i>E. faecalis</i>)
T0	1,100 ± 0,057 ^c	1,250 ± 0 ^a	1,330 ± 0,071 ^a	1,315 ± 0,106 ^a	1,365 ± 0,035 ^a	1,315 ± 0,106 ^a
T48	1,325 ± 0,177 ^a	1,035 ± 0,078 ^c	1,15 ± 0,071 ^b	1,14 ± 0,127 ^{ab}	1,215 ± 0,021 ^b	1,175 ± 0,106 ^b
T96	1,280 ± 0,028 ^b	1,135 ± 0,035 ^b	1,195 ± 0,049 ^b	1,035 ± 0,07 ^b	0,970 ± 0,071 ^c	1,020 ± 0,014 ^c

Keterangan:

Huruf subscript yang berbeda dalam satu kolom menunjukkan perbedaan nyata (p<0,05) dengan menggunakan uji Tukey

Tabel 5. Efisiensi pengurangan konsentrasi warna, COD dan TS pada perlakuan lumpur aktif dan kombinasi lumpur aktif dengan *E. faecalis*

Perlakuan	Efisiensi pengurangan konsentrasi warna (%)		Efisiensi pengurangan COD (%)		Efisiensi pengurangan TS (%)	
	LA	LA + <i>E. faecalis</i>	LA	LA + <i>E. faecalis</i>	LA	LA + <i>E. faecalis</i>
Aerob	54,97	25,69	75,53	69,66	TD	9,20
Anaerob	86,21	77,10	71,49	56,35	10,15	21,29
Campuran	81,05	66,52	80,48	70,87	28,94	22,43

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, penambahan *E. faecalis* tidak terbukti meningkatkan pengolahan SB. Perlu diteliti kemungkinan penambahan gula sebagai sumber mediator redoks dalam pengolahan SB agar enzim azoreduktase dapat berfungsi dengan baik.

Secara keseluruhan pengolahan SB terbaik diperoleh pada proses pengolahan dengan kondisi campuran menggunakan lumpur aktif tanpa atau dengan penambahan *E. faecalis*. Efisiensi pengurangan konsentrasi SB, COD, dan TS pada pengolahan SB dengan lumpur aktif tanpa atau dengan penambahan *E. faecalis* pada kondisi campuran berturut-turut adalah sebesar 81; 80,48; 29% (lumpur aktif saja) dan 66,5; 70,9; 22,4% (lumpur aktif dengan *E. faecalis*).

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G., & S.S. Santika. 1984. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional: Surabaya.
- Ameenudeen, S., Unnikrishnan, S., & Ramalingam, K. (2021). Statistical optimization for the efficacious degradation of reactive azo dyes using *Acinetobacter baumannii* JC359. *Journal of Environmental Management*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111512>.
- Atima, W. (2015). BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah. *Biosel, Biology Science and Education* 4(1), 83–98.
- Bach, L.T., Fukuda, J., Qinglin, X., & Furukawa, K. (2003). Combined treatment of sugar and dye industrial wastewaters using an UASB process. *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, 39(3), 145–152.
- Bagewadi, Z. K. (2011). Biodegradation of industrially important textile dyes by actinomycetes isolated from

- Mesak, Y. dan Meitiniarti, V.I. (2023). Efisiensi Pengolahan Limbah Pewarna Sumifix Blue Menggunakan Lumpur Aktif dengan Penambahan *Enterococcus faecalis* pada Kondisi Anaerob-Aerob. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 907-913, doi:10.14710/jil.21.4.907-913
- activated sludge. *Biotechnol. Bioinf. Bioeng.* 1(3):351-360.
<https://www.researchgate.net/publication/266419347>.
- Bastviken, D., Persson, L., Odham, G., & Transvik, L. 2004. Degradation of dissolved organic matter in oxic and anoxic lake water. *Limnol. Oceanogr.* 49 (1): 109-116.
- Chen, G., An, X., Li, H., Lai, F., Yuan, E., Xia, X., & Zhang, Q. (2021). Detoxification of azo dye Direct Black G by thermophilic *Anoxybacillus* sp. PDR2 and its application potential in bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112084>
- Kiruthika, S., & Rajendran R. (2020). A review on bioremediation of azodyes using microbial consortium from different sources. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.* 22 (4): 614-630.
- Liu, J., Chen, J., Zuo, K., Li, H., Peng, F., Ran, Q., Wang, R., Jiang, Z., & Song, H. (2021). Chemically induced oxidative stress improved bacterial laccase-mediated degradation and detoxification of the synthetic dyes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112823>
- Liu, J., Liu, F., Ding, C., Ma, F., Yu, H., Shi, Y., & Zhang, X. (2020). Response of *Trametes hirsuta* to hexavalent chromium promotes laccase-mediated decolorization of reactive black 5. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111134>
- Meerbergen, K., Crauwels, S., Willems, K. A., Dewil, R., van Impe, J., Appels, L., & Lievens, B. (2017). Decolorization of reactive azo dyes using a sequential chemical and activated sludge treatment. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 124(6), 668-673. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.07.005>
- Meitiniarti, V. I., Soetarto, E. S., Timotius, K. H., & Sugiharto, E. (2007). Products of Orange II biodegradation by *Enterococcus faecalis* ID6017 and *Chryseobacterium indologenes* ID6016. *J. Microbiol. Indones.* 1 (2):51-54.
- Meitiniarti, V. I., Soetarto, E. S., Sugiharto, E., & Timotius, K. H. (2008). Optimum concentration of glucose and Orange II for growth and decolorization of Orange II by *E. faecalis* ID6017 under static culture. *J. Microbiol. Indones.* 2 (2): 73-78.
- Noerwahju, A. S., Meitiniarti, V. I., & Kasmiyati, S. (2019). Dekolorisasi pewarna toska menggunakan koagulan ferro sulfat dan lumpur aktif dari pabrik tekstil di salatiga pada kondisi aerob. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 500. <https://doi.org/10.14710/jil.17.3.500-506>
- Patel, Y., Mehta, C., & Gupte, A. (2012). Assessment of biological decolorization and degradation of sulfonated di-azo dye Acid Maroon V by isolated bacterial consortium EDPA. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 75, 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.10.004>
- Patil, P. S. (2015). Activated Sludge: Decolorization and Degradation of Textile Dye Reactive Orange HE2R. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. Vol 5 Issue 4: 251-256.
- Permatasari, I., Nugroho, R.A., & Meitiniarti, V.I. (2018). Dekolorisasi Pewarna Tekstil Sumifix Blue dan Reactive Red 2 oleh Mikroba yang Diisolasi dari Limbah Industri Tekstil. *J Bioteknologi Biosains Indonesia* 5(1): 20-26. <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JBBI>
- Punj, S. (2008). *Characterization of Azo Dye Reduction in Enterococcus faecalis. Chapter III Physiological Characterization of Enterococcus faecalis During Azoreductase Activity*. Doctoral Dissertation, University of Mumbai. Mumbai.
- Rodger, B. Baird, A.D., Eaton, & Eugene, W.R. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd Edition APHA, Washington, DC,
- Lee, B. (2022). Comparison of effluent suspended solid concentrations from two types of Rectangular Secondary Clarifiers. *Water (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/w14101577>
- Sarkar, S., Banerjee, A., Halder, U., Biswas, R., & Bandopadhyay, R. (2017). Degradation of synthetic azo dyes of textile industry: A sustainable approach using microbial enzymes. *Water Conservation Science and Engineering*, 2(4), 121-131. <https://doi.org/10.1007/s41101-017-0031-5>
- Srivatsav, D. P. (2019). Microbial degradation of azo dyes from textile industry - Review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(11), 429-435.
- Wang, R., Li, H., Liu, Y., Chen, J., Peng, F., Jiang, Z., Liu, J., & Song, H. (2022). Efficient removal of azo dyes by *Enterococcus faecalis* R1107 and its application in simulated textile effluent treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 238, 113577. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113577>.
- Yuanita, D. (2014). Penggunaan lumpur aktif sebagai material untuk biosorpsi pewarna Remazol. *Molekul*, 9(2), 93-100.