

# Efektivitas Sistem Terintegrasi *Sequencing Batch Reactor* dan *Multi Soil Layering* Terhadap Kualitas Air Limbah Industri Pengolahan Daging

Melinda Wahyuni Maulidia, Novirina Hendrasarie\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

\*Koresponden email: novirina@upnjatim.ac.id

Diterima: 28 Juli 2025

Disetujui: 02 Agustus 2025

## Abstract

The meat processing industry in East Java significantly contributes to the generation of high-concentration wastewater. The removal of organic pollutants such as Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (TN), and Phosphate (TP) is commonly achieved through biological treatment due to its high effectiveness. This study aimed to analyze the removal efficiency of these parameters using a combination of Hydraulic Retention Time (HRT) in a Sequencing Batch Reactor (SBR), followed by treatment in a Multi Soil Layering (MSL) system with variations in *Soil Mixture Block* (SMB) using added activated carbon. Initial wastewater characterization showed TSS of 710 mg/L, COD of 1254 mg/L, TN of 171 mg/L, and TP of 2.59 mg/L. The optimal performance in the SBR was achieved at 36-hour HRT with reductions of 85% TSS, 79% COD, 83% TN, and 29% TP. The best MSL performance was obtained using a two-layer andosol soil mixed with chicken bone-derived activated carbon, resulting in removal efficiencies of 65% COD, 64% TSS, 29% TN, and 81% phosphate. The combined treatment units successfully met the effluent quality standards as regulated by East Java Governor Regulation No. 72 of 2013.

**Keywords:** *biological treatment, soil mixture block, multi soil layering*

## Abstrak

Industri pengolahan daging di Jawa Timur memiliki pengaruh besar dalam menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi tinggi. Penyisihan bahan organik seperti *Total Suspended Solids* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (COD), Total Nitrogen (TN) dan Fosfat (TP) kerap menggunakan pengolahan biologis karena memiliki efektivitas tinggi dalam degradasi bahan organik. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyisihan parameter pencemar TSS, COD, TN, TP dengan kombinasi HRT pada reaktor *Sequencing Batch Reaktor* (SBR) lalu dilanjutkan dengan reaktor *Multi Soil Layering* (MSL) variasi kombinasi tambahan karbon aktif dalam variasi *Layer Soil Mixture Block* (SMB). Uji karakteristik awal limbah pengolahan daging didapatkan bahwa kadar TSS 710 mg/L, COD 1254 mg/L, TN 171 mg/L dan TP 2,59 mg/L. Hasil pada reaktor SBR yang terbaik didapat pada variasi HRT 36 Jam dengan penurunan TSS 85%, COD 79%, TN 83% dan TP 29%. Penggunaan campuran tanah andosol dengan karbon aktif dari tulang ayam dalam dua lapisan menunjukkan efisiensi penyisihan parameter terbaik dalam sistem MSL dengan penurunan COD 65%, TSS 64%, TN 29%, dan fosfat hingga 81%. Hasil uji parameter dari kombinasi dua reaktor tersebut dapat disimpulkan bahwa sudah memenuhi baku mutu air limbah pengolahan daging sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.

**Kata Kunci:** *pengolahan biologis, blok campuran tanah, lapisan multi tanah*

## 1. Pendahuluan

Industri pengolahan daging di Jawa Timur merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian daerah, dengan kontribusi signifikan terhadap penyediaan protein hewani bagi masyarakat. Asosiasi Industri Pengolahan Daging Indonesia (NAMPA) memperkirakan pertumbuhan industri pengolahan daging mencapai peningkatan sebesar 7% per tahun [1]. Penelitian oleh Arifudin (2019) menunjukkan bahwa limbah cair dari industri pengolahan daging mengandung konsentrasi tinggi bahan pencemar yang melampaui baku mutu, dengan parameter seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) serta minyak dan lemak [2]

Pengolahan air limbah industri daging telah banyak menggunakan berbagai teknologi konvensional yaitu metode pengolahan fisik-kimia, proses aerobik dengan lumpur aktif serta filtrasi dengan karbon aktif juga kerap digunakan untuk menurunkan kandungan bahan pencemar organik [3]. Salah satu pendekatan

teknologi yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan kombinasi *Sequencing Batch Reaktor* (SBR) dan *Multi Soil Layering* (MSL) dalam menurunkan kandungan polutan pada efluen industri pengolahan daging secara efisien dan hemat lahan.

SBR atau *Sequencing Batch Reaktor* adalah teknologi pengelolaan buangan cair yang terintegrasi antara proses pengolahan biologis dan pengendapan menjadi satu unit secara bertahap [4]. Unit SBR memiliki efektivitas yang baik dalam mengolah BOD dan COD sehingga merupakan unit yang sangat efektif, hemat biaya, serta memiliki efisiensi ruang dalam proses pengolahan air limbah [5]. Pada penelitian oleh Fransiska 2022, tingkat kinerja optimal pada reaktor SBR diperoleh pada waktu tinggal hidraulik (HRT) selama 36 jam dengan efektivitas tertinggi dalam proses reduksi kontaminan COD 92,86%, TSS 98,15% dan Total-N 84,30%. [6]. Penyisihan yang tinggi dipengaruhi karena waktu operasi pada reaktor yang lebih lama menyebabkan kontak antara lumpur aktif dengan limbah yang diolah sehingga penyisihan semakin optimal [6].

Kombinasi dengan sistem *Multi Soil Layering* diperlukan untuk menyempurnakan air effluent hasil olahan SBR karena kualitas efluen masih berada di atas ambang batas yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013. *Multi Soil Layering* (MSL) merupakan salah satu metode pengolahan limbah yang menggabungkan berbagai mekanisme seperti filtrasi, adsorpsi, absorpsi, dekomposisi, nitrifikasi, dan denitrifikasi [7]. Prinsip kerja sistem MSL dilakukan dengan membentuk reaktor berbentuk bak yang diisi secara terstruktur oleh lapisan campuran tanah dan lapisan media batuan yang disusun menyerupai pola susunan batu bata [8]. Komponen utama pada MSL yaitu *Soil Mixture Block* dimana SMB tersebut tersusun oleh campuran tanah dan bahan tambahan lainnya yang dibentuk menjadi sebuah balok dengan ukuran tertentu [9].

Modifikasi bahan tambahan dengan karbon aktif diperlukan untuk menambahkan kemampuan adsorpsi dalam SMB sehingga menjadikan struktur pori yang baik dan mendukung penyisihan kontaminan organik pada air limbah [10]. Karbon aktif alami dari tulang hewan memiliki potensi besar sebagai bahan baku karbon aktif karena memiliki kandungan mineral tinggi terutama kalsium fosfat untuk pengolahan air limbah [11]. Bahan dari tumbuhan organik juga memiliki potensi karena mengandung bahan karbon yang tinggi sehingga mampu dijadikan karbon aktif dengan struktur pori – pori yang bagus [12].

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini membahas tentang efektivitas kombinasi *Sequencing Batch Reaktor* (SBR) dan *Multi Soil Layering* (MSL) dalam pengolahan limbah cair outlet grease trap industri pengolahan daging. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan efektivitas penyisihan parameter pencemar secara maksimal, sehingga kualitas efluen hasil pengolahan memenuhi ketentuan baku mutu.

## 2. Metode Penelitian

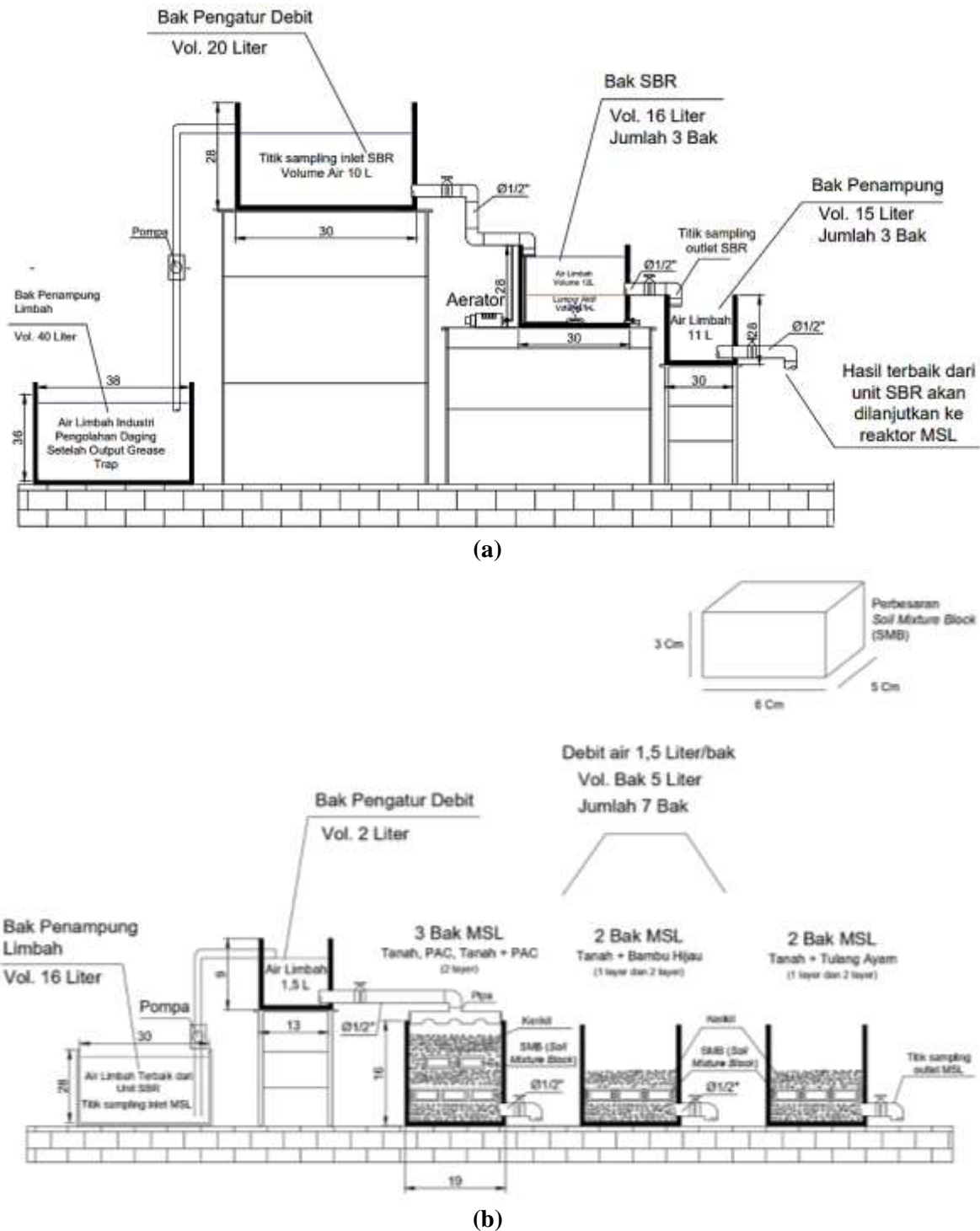
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental skala laboratorium dengan reaktor yang bertujuan untuk menganalisis penurunan parameter pencemar pada air limbah industri pengolahan daging. Proses awal dilakukan pengolahan biologis dengan reaktor SBR lalu dilanjutkan dengan reaktor *Multi Soil Layering*. Parameter yang divariasikan yaitu waktu retensi hidrolis (HRT) pada SBR yaitu 12, 24, 36 Jam serta variasi komposisi campuran tanah dalam *Soil Mixture Block* (menggunakan arang bambu, tulang ayam, dan PAC komersial) dan jumlah lapisan (layer) pada unit *Multi Soil Layering* yaitu 1 lapis dan 2 lapis. Parameter uji yang dianalisis yaitu COD, TSS, TN, dan TP.

Sebelum dilakukan running penelitian, dilakukan pembentukan lumpur aktif dengan proses seeding dan aklimatisasi mikroorganisme. Pada proses ini dilakukan uji MLSS pada lumpur aktif hingga nilai MLSS >2000 mg/L. Setelah proses seeding berhasil, tahap aklimatisasi dilaksanakan guna menyesuaikan karakteristik lumpur aktif dengan kondisi air limbah yang akan digunakan selama proses operasional penelitian.

Pada reaktor MSL, *Soil Mixture Block* dibuat dengan kombinasi pada 1 layer yaitu Tanah Andosol + PAC Bambu dan Tanah Andosol + PAC Tulang Ayam. Sedangkan kombinasi pada 2 layer yaitu PAC Komersial, Tanah Andosol, Tanah Andosol + PAC Komersial, Tanah Andosol + PAC Bambu, dan Tanah Andosol + PAC Tulang Ayam.

Pada proses running, air limbah industri pengolahan daging ditampung terlebih dahulu pada bak pengatur debit dengan volume maksimal air limbah 40 L. Dari bak pengatur debit kemudian menuju reaktor SBR dan hasil yang terbaik di SBR akan dilanjutkan pada pengolahan menggunakan sistem MSL. Titik

sampling diambil pada outlet keran di setiap reaktor kemudian diuji karakteristik effluent pada setiap pengolahan. Berikut merupakan gambar rangkaian reaktor SBR dan MSL.



**Gambar 1.** Rangkaian sistem pengolahan limbah: (a) Reaktor SBR dan (b) Reaktor MSL

Analisis data dilakukan untuk mengetahui efektivitas HRT optimal pada unit SBR dan pengaruh variasi kombinasi bahan tambahan dalam variasi *Layer Soil Mixture Block* (SMB) pada sistem *Multi Soil Layering* (MSL) terhadap penyisihan parameter TSS, COD, total nitrogen dan fosfat.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Tahap persiapan dilakukan dengan seeding dan aklimatisasi lumpur aktif yang akan digunakan untuk pengolahan biologis menggunakan SBR. Pelaksanaan seeding dilakukan dengan metode aersi kontinu dengan volume air limbah 12 Liter dan laju udara 45 Liter per menit. Lama waktu seeding yaitu 21 hari dengan nilai MLSS pada hari ke-21 yaitu 2590 mg/L. setelah seeding berhasil, dilakukan aklimatisasi lumpur aktif untuk menyesuaikan mikroorganisme yang terkandung di dalamnya dengan karakteristik

buangan cair yang akan diproses. Kenaikan konsentrasi yang digunakan pada aklimatisasi yaitu 30%, 60% dan 90%. Saat aklimatisasi dilakukan pengujian COD untuk mengetahui apakah mikroorganisme dapat bertahan saat ditambahkan air limbah dengan konsentrasi tersebut. Hasil konsentrasi aklimatisasi 90% menunjukkan penurunan COD sebesar 84,6% sehingga aktivitas mikroorganisme sudah dalam kondisi baik dan siap untuk digunakan.

Pada persiapan reaktor MSL, dilakukan pembuatan karbon aktif dari bambu dan tulang ayam sebagai bahan tambahan pada SMB. Tahap pembuatan SMB menggunakan perbandingan tanah : bahan tambahan yaitu 2:1, dilakukan juga tahap pencetakan untuk masing – masing kombinasi lalu dikeringkan menggunakan oven.

Sebelum dilakukan running penelitian, dilakukan uji karakteristik awal air limbah guna mengetahui konsentrasi awal zat pencemar sehingga dapat diketahui tingkat penyisihannya. Adapun hasil uji awal air limbah pengolahan daging sebagai berikut.

**Tabel 1.** Data Awal Karakteristik Air Limbah dari Proses Pengolahan Daging

Parameter	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
TSS	710	100
COD	1254	150
TN	171	25
TP	2,59	1

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan **Tabel 1**, diketahui bahwa kandungan bahan pencemar parameter TSS, COD, TN dan TP pada air limbah pengolahan daging masih berada di atas ambang batas yang ditetapkan dalam ketentuan baku mutu kualitas air limbah. Setelah diketahui karakteristik awal, dilakukan running penelitian menggunakan pengolahan biologis dengan reaktor SBR. Variasi waktu tinggal hidraulik (HRT) yang diterapkan meliputi 12 jam, 24 jam dan 36 jam. Hasil pengujian kinerja reaktor SBR pada masing-masing variasi tersebut disajikan pada **Tabel 2** berikut.

**Tabel 2.** Data Hasil Pengolahan Air Limbah menggunakan Reaktor SBR

Variabel	Parameter yang dianalisis				
	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	Total Nitrogen/ TN (mg/L)	Total Fosfat/ TP (mg/L)	
<b>Baku Mutu Air Limbah</b>	<b>100</b>	<b>250</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	
<b>Limbah Awal</b>	710	1254	171	2,59	
HRT 12 Jam	Effluent	230	717	56	2,15
	% Removal	68%	43%	67%	17%
HRT 24 Jam	Effluent	180	538	45	2,05
	% Removal	75%	57%	74%	21%
HRT 36 Jam	Effluent	110	269	29	1,83
	% Removal	85%	79%	83%	29%

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan **Tabel 2** hasil uji pada reaktor SBR, tingkat penyisihan tertinggi didapatkan pada HRT 36 Jam dengan kemampuan penyisihan parameter TSS, COD, TN, TP berturut-turut sebesar 85%, 79%, 83% dan 29%. HRT 36 Jam memiliki penyisihan tertinggi karena waktu kontak antara mikroorganisme dengan air limbah lebih lama dari pada variasi HRT lainnya.

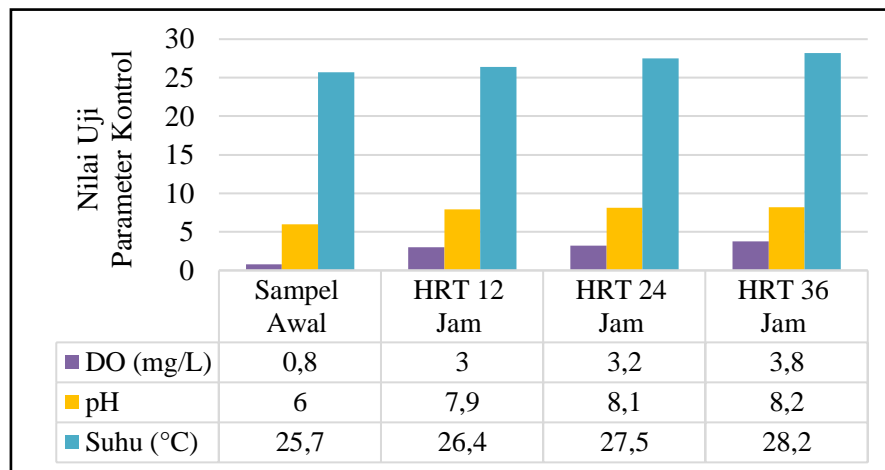
Penyisihan TSS pada reaktor SBR berlangsung dengan optimal, interaksi antara mikroorganisme dan partikel tersuspensi berlangsung dengan maksimal karena mikroorganisme heterotrofik yang tumbuh saat aerasi mampu mengikat partikel tersuspensi pada air limbah yang kemudian bergabung sebagai biomassa aktif dan mengendap ke reaktor membentuk lumpur aktif [13].

Penyisihan COD pada reaktor SBR berlangsung secara optimal melalui proses degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme selama tahap aerasi. Pada fase ini, mikroorganisme memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi dan nutrisi melalui respirasi aerobik, yang menghasilkan karbon dioksida, air, serta pertumbuhan biomassa baru [14].

Penyisihan TN menunjukkan hasil 83% pada HRT 36 Jam dengan melalui serangkaian proses yaitu ammonifikasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi yang berlangsung pada satu siklus operasi reaktor SBR. Nitrogen organik pada air limbah diubah menjadi amonia melalui proses ammonifikasi oleh bakteri heterotrofik.

Pada tahap aerasi, amonia tersebut mengalami oksidasi secara bertahap menjadi nitrit dan kemudian nitrat melalui proses nitrifikasi, yang dikatalisis oleh bakteri nitrifikasi aerob seperti Nitrosomonas dan Nitrobacter. Proses ini memerlukan kondisi terlarut oksigen (DO) yang cukup dan waktu kontak yang memadai [15].

Penyisihan fosfat terjadi melalui mekanisme biologis yang disebut Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR), yang melibatkan mikroorganisme spesifik bernama Polyphosphate Accumulating Organisms (PAOs). Mikroorganisme ini bekerja dengan cara melepaskan fosfat ke dalam air limbah pada fase anaerob saat mengambil senyawa organik seperti asam asetat, kemudian menyerap kembali fosfat dalam jumlah yang lebih besar pada fase aerob dan menyimpannya sebagai polifosfat di dalam sel mereka. Peningkatan HRT memperbaiki efisiensi penyisihan fosfor, karena memberikan waktu lebih panjang bagi pertumbuhan PAOs dan penyerapan fosfat selama fase aerobik [16]. Pengukuran parameter kontrol berupa DO, suhu, dan pH turut dilakukan untuk memantau kondisi proses pengolahan, dengan hasil yang disajikan pada gambar berikut.



**Gambar 2.** Grafik Nilai DO, pH dan Suhu pada setiap HRT Unit SBR  
 Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan **Gambar 2**, terlihat bahwa peningkatan waktu tinggal hidraulik (HRT) dalam reaktor SBR berpengaruh terhadap parameter kontrol berupa DO, pH, dan suhu. Nilai DO awal yang rendah sebesar 0,8 mg/L meningkat secara bertahap hingga mencapai 3,8 mg/L pada HRT 36 jam, yang menunjukkan keberhasilan proses aerasi dalam menyediakan oksigen terlarut yang cukup untuk mendukung aktivitas mikroorganisme aerobik [17]. Nilai pH juga mengalami kenaikan dari 6,0 menjadi 7,9–8,2 pada akhir proses, berada dalam kisaran optimal bagi pertumbuhan bakteri pengurai. Sementara itu, suhu berkisar antara 25,7°C hingga 28,2°C, yang tergolong ideal untuk proses biologis. Secara keseluruhan, kondisi lingkungan dalam reaktor SBR dengan HRT 36 jam telah mendukung proses biodegradasi dan nitrifikasi secara efektif, meskipun masih diperlukan unit pengolahan lanjutan untuk menyempurnakan hasil akhir.

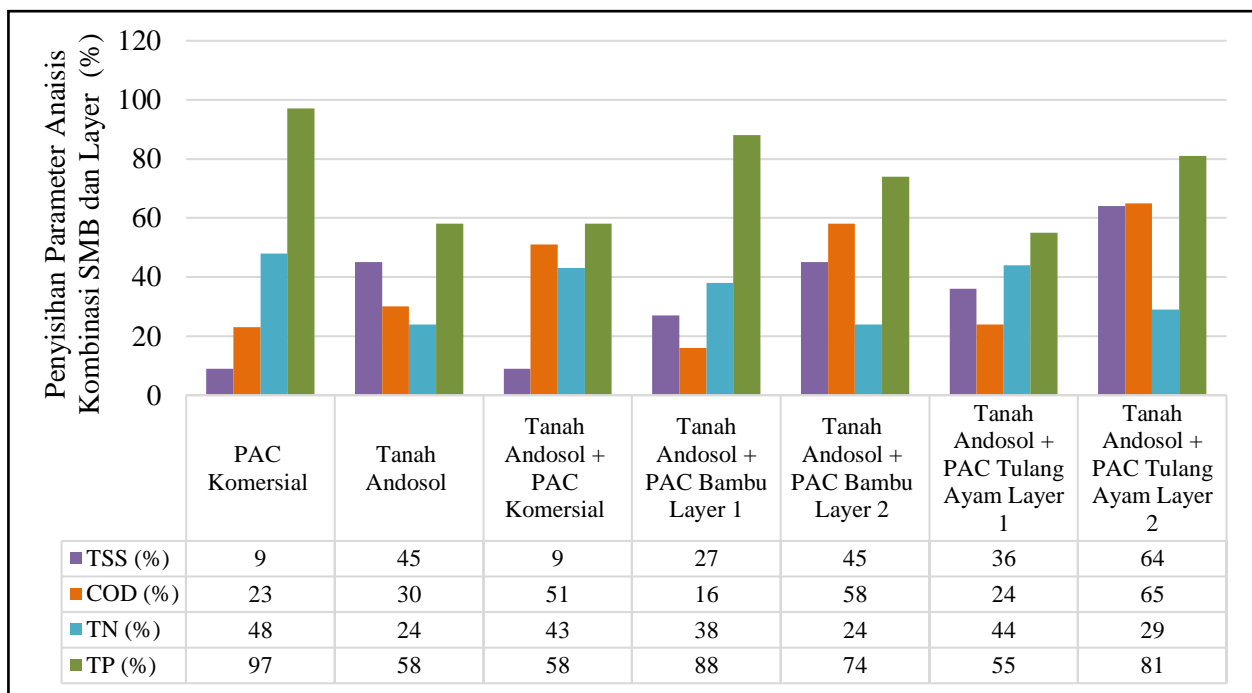
Pada hasil effluent pengolahan SBR konsentrasi seluruh parameter pencemar pada ketiga variasi HRT masih belum sepenuhnya berada di bawah ambang batas yang dipersyaratkan dalam ketentuan standar kualitas air limbah yang berlaku. Oleh karena itu, dibutuhkan unit pengolahan lanjutan untuk mencapai hasil yang sesuai dengan standar lingkungan. Penelitian dilanjutkan dengan reaktor MSL dengan variasi kombinasi bahan tambahan dan *layer* pada SMB. Limbah awal yang digunakan menggunakan hasil olahan terbaik yaitu pada HRT reaktor SBR 36 Jam. Hasil proses pengolahan menggunakan reaktor *Multi Soil Layering* (MSL) disajikan pada **Tabel 3**.

Berdasarkan hasil analisis pengolahan pada reaktor MSL menunjukkan bahwa effluent air limbah industri daging untuk seluruh parameter telah berada dalam kisaran ambang batas yang diperkenankan sesuai standar kualitas lingkungan sebagaimana tercantum dalam PP No. 22 Tahun 2021 dan ketentuan daerah yang berlaku. Hal tersebut menandakan pengolahan dengan MSL telah berlangsung dengan efektif. Kombinasi dengan karbon aktif menunjukkan hasil yang optimal karena pengolahan secara filtrasi dengan tanah andosol dikombinasikan dengan karbon aktif yang memiliki struktur berpori sehingga terdapat proses adsorpsi didalamnya. Berikut dijelaskan analisis terkait persentase penyisihan setiap parameter terhadap kombinasi campuran tanah andosol serta variasi *Layer* dalam *Soil Mixture Block* (SMB) dengan menggunakan grafik.

Tabel 3. Hasil Pengolahan pada Reaktor Multi Soil Layering (MSL)

Layer	Reaktor MSL	Kombinasi Campuran Tanah pada SMB	Parameter yang dianalisis				
			TSS (mg/L)	COD (mg/L)	Total Nitrogen/ TN (mg/L)	Fosfat / TP (mg/L)	
		<b>Baku Mutu Air Limbah</b>	<b>100</b>	<b>250</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	
		<b>SBR Terbaik dengan HRT 36 Jam</b>	110	269	29	1,83	
2	1	PAC Komersial	Effluent	100	208	15	0,05
			% Removal	9%	23%	48%	97%
	2	Tanah Andosol	Effluent	60	189	22	0,76
			% Removal	45%	30%	24%	58%
	3	Tanah Andosol + PAC Komersial	Effluent	100	132	17	0,78
			% Removal	9%	51%	43%	58%
	5	Tanah Andosol + PAC Bambu	Effluent	60	113	22	0,48
			% Removal	45%	58%	24%	74%
7	Tanah Andosol + PAC Tulang Ayam	Effluent	40	94	21	0,34	
		% Removal	64%	65%	29%	81%	
1	4	Tanah Andosol + PAC Bambu	Effluent	80	227	18	0,22
			% Removal	27%	16%	38%	88%
	6	Tanah Andosol + PAC Tulang Ayam	Effluent	70	204	17	0,82
			% Removal	36%	23%	44%	55%

Sumber: Hasil Penelitian, 2025



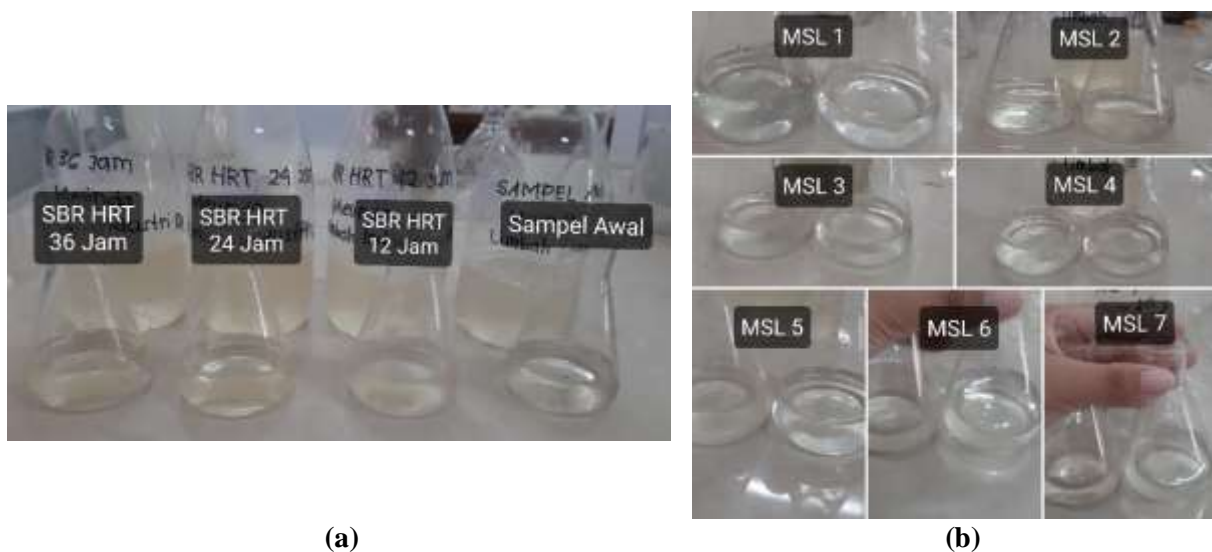
Gambar 3. Persentase Penyisihan Parameter Analisis terhadap Variasi Campuran SMB dan Layer  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Pada Gambar 3 terlihat bahwa penyisihan parameter TSS dan COD yang paling efektif pada kombinasi tanah andosol + PAC tulang ayam dengan layer 2 sebesar 64% dan 65%. Sedangkan untuk hasil parameter TN dan TP yang paling tinggi persen penyisihannya yaitu di kombinasi PAC komersial layer 2 dengan persentase 48% dan 97%.

Penyisihan TSS dan COD pada sistem MSL terjadi melalui kombinasi mekanisme fisik dan biologis. Tanah andosol yang memiliki struktur berpori berfungsi sebagai media filtrasi awal untuk menahan partikel tersuspensi, sekaligus menjadi tempat tumbuhnya biofilm mikroba [18]. Kehadiran biofilm ini meningkatkan kerapatan mikroorganisme yang mampu melakukan adsorpsi biologis dan membantu pengendapan partikel [19]. Selain itu, penambahan karbon aktif dari bambu maupun tulang ayam memperkuat proses penyisihan melalui peningkatan luas permukaan adsorpsi. Karbon aktif tulang ayam dengan struktur pori mikro dan makro, efektif dalam menangkap partikel halus dan senyawa organik,

sehingga secara keseluruhan meningkatkan efisiensi kinerja unit MSL [20]. Proses infiltrasi berlapis memperpanjang Hydraulic Retention Time (HRT), sehingga memberi waktu cukup bagi kedua mekanisme ini beroperasi dan menghasilkan efektifitas yang lebih tinggi [21].

Penyisihan parameter total nitrogen pada sistem MSL mengeliminasi melalui serangkaian proses biologis, yakni mineralisasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi. Penambahan karbon aktif (PAC) berperan penting dalam memperluas area adsorpsi serta memperlambat laju aliran air limbah, sehingga meningkatkan waktu kontak antara nitrogen terlarut dan mikroorganisme aktif [22]. Struktur pori dari PAC berbahan tulang ayam dan bambu juga berfungsi sebagai sumber karbon tambahan yang mendukung aktivitas bakteri denitrifikasi, terutama pada lapisan pertama, sehingga efisiensi penyisihan total nitrogen (TN) meningkat. Penelitian yang dilakukan oleh Guo, 2019 melaporkan bahwa sistem MSL yang dirancang secara optimal mampu menurunkan kadar TN hingga 80% [23]. Di sisi lain, efektivitas penghilangan fosfat juga dipengaruhi oleh luas permukaan adsorben dan keberadaan gugus fungsional pada PAC yang memungkinkan terbentuknya ikatan kompleks ionik atau interaksi asam-basa Lewis dengan ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) [24]. Hal ini selaras dengan temuan Chun dan Hao (2015), yang menunjukkan bahwa berbagai material lapisan permeabel dalam sistem MSL dapat mencapai efisiensi penyisihan fosfat sebesar 92–99% [25].



**Gambar 4.** Foto efluen air limbah setelah pengolahan pada: (a) Reaktor SBR dan (b) Reaktor MSL  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

**Gambar 4** menunjukkan foto efluen air limbah hasil pengolahan pada: (a) reaktor SBR dengan variasi waktu tinggal hidraulik (HRT) 12, 24, dan 36 jam, serta (b) reaktor MSL yang terdiri atas tujuh konfigurasi media. Berdasarkan pengamatan visual, terlihat bahwa efluen dari unit SBR belum sepenuhnya jernih, terutama pada HRT yang lebih rendah, sedangkan efluen dari unit MSL menunjukkan kejernihan yang lebih tinggi pada sebagian besar konfigurasi media. Hal ini menggambarkan bahwa integrasi antara unit SBR dan sistem MSL yang dimodifikasi dengan penambahan media adsorben seperti karbon aktif dari tulang ayam dan bambu dalam dua lapisan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan secara signifikan. Jika dibandingkan dengan hasil dari unit SBR tunggal yang belum memenuhi baku mutu, penerapan sistem MSL terbukti efektif sebagai unit pengolahan lanjutan untuk memastikan kualitas efluen memenuhi standar lingkungan.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem terintegrasi antara reaktor *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dan *Soil Mixture Block* (SMB) dalam unit *Multi Soil Layering* (MSL) efektif dalam meningkatkan kualitas air limbah industri pengolahan daging. Variasi waktu retensi hidrolis (HRT) pada unit SBR memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan parameter pencemar. HRT 36 jam terbukti sebagai kondisi paling optimal dibandingkan HRT 12 dan 24 jam, dengan efisiensi penyisihan sebesar 74% untuk total nitrogen, 77% untuk TSS, 82% untuk COD, dan 29% untuk total fosfat. Namun demikian, hasil akhir konsentrasi seluruh parameter pada unit SBR belum sepenuhnya sesuai dengan standar kualitas buangan cair berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013, sehingga diperlukan unit pengolahan lanjutan.

Unit lanjutan berupa sistem MSL dengan kombinasi tanah andosol dan karbon aktif dari tulang ayam dalam dua lapisan menunjukkan efisiensi penyisihan terbaik, yaitu 65% untuk COD, 64% untuk TSS, 29% untuk total nitrogen, dan 81% untuk total fosfat. Seluruh parameter telah berada dalam rentang nilai yang diperkenankan sesuai standar kualitas yang berlaku. Keberhasilan ini didukung oleh kemampuan adsorpsi karbon aktif, struktur pori tanah andosol, serta peran biologis mikroorganisme yang tumbuh dalam sistem. Kandungan kalsium pada hidroksiapatit dalam karbon aktif tulang ayam juga berkontribusi dalam pembentukan ikatan kompleks dengan ion fosfat, sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan.

## 5. Referensi

- [1] R. Margritje, Sofi dan Meilany, *Industri Pengolahan Daging*. Bandung: CV Patra Media Grafindo, Bandung, 2022.
- [2] Arifudin, A., Setiyono, S., Priyanto, F. E., & Sulistia, S. Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Makanan. *Jurnal Air Indonesia*, 11(1). 2019.
- [3] E. Hidayat, S., & Supriyono, "Karakteristik dan Pengelolaan Limbah Cair Industri Pengolahan Pangan," *J. Teknol. Pangan*, vol. 16(4), pp. 78–92, 2021.
- [4] N. Hendrasarie, *Mengolah Limbah Cair Domestik di Lahan Sempit*, vol. 5, no. 3. 2021.
- [5] F. Hendrasarie, Novirina & Iqdam, "Integrated Anoxic-Oxic Sequencing Batch Reactor Combined with Coconut Fiber Waste as Biofilm and Adsorbent Media," *J. Ecol. Eng.*, vol. 24, no. 11, pp. 176–189, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.12911/22998993/170994>
- [6] Hendrasarie, Novirina, and Fransiska Febriana. "Efektivitas Penambahan Serabut Kelapa Dan Kulit Buah Siwalan Sebagai Adsorben Dan Media Lekat Biofilm Pada Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sequencing Batch Reactor." *ENVIROTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 14.1 (2022): 98-105.
- [7] P. Song, "Treatment of Rural Domestic Wastewater using Multi Soil Layering Systems: Performance Evaluation, Factorial analysis and Numerical Modeling," *Sci. Total Environ.*, vol. 644, pp. 536–546, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.331>
- [8] W. Haribowo, R., Megah, S., dan Rosita, "Efisiensi Sistem Multi Soil Layering pada Pengolahan Air Limbah Domestik Pada Daerah Perkotaan Padat Penduduk," *J. Tek. Pengair.*, vol. 10(1), pp. 11–27, 2019.
- [9] A. Shakira, "Efektivitas Metode Multi Soil Layering (MSL) dalam Penurunan Total Koliform Limbah Cair Domestik," UIN Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh, 2023.
- [10] V. K. M. Putri, "Tanah Andosol: Pengertian dan Ciri-cirinya," *Kompas.com*, 2022. [https://www.kompas.com/skola/read/2022/07/01/073000069/tanah-andosol--pengertian-dan-ciri-cirinya?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.kompas.com/skola/read/2022/07/01/073000069/tanah-andosol--pengertian-dan-ciri-cirinya?utm_source=chatgpt.com)
- [11] S. Ferriansyah, R. M., & Hadianoro, "Penggunaan Serbuk Tulang Ayam sebagai Adsorben dengan Aktivator HCl dan NaOH untuk Mengurangi Ion Logam Kromium," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7(2), pp. 494–499, 2021.
- [12] A. Patiung, H. B., Pasae, Y., & Gazali, "Pemanfaatan Arang Aktif dari Bambu untuk Pengolahan Limbah Cair," *J. Sainitis*, vol. 1(2), 2020.
- [13] N. Romadon, Syahrul & Hendrasarie, "Efektivitas Kombinasi Mikroorganisme Pendegradasi Minyak Lemak dan Sequencing Batch Reactor pada Limbah Cair Rumah Makan," *UPNVJT*, 2023.
- [14] N. Sekarani, Fatiha & Hendrasarie, "Pengaruh Waktu Retensi Hidrolik (HRT) dan Laju Aerasi terhadap Penurunan COD, N Total dan TSS menggunakan Powdered Activated Carbon Sequencing Batch Reactor (PAC-SBR)," *UPNVJT*, 2022.
- [15] I. Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education, 2014.
- [16] Z. Oehmen, A., Lemos, P. C., Carvalho, G., Yuan, "Advances in enhanced biological phosphorus removal: From micro to macro scale," *Water Res.*, vol. 41, no. 11, pp. 2271–2300, 2007, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.02.030>.
- [17] N. Thomasina, A. & Hendrasarie, "Wastewater Treatment Of NPK Fertilizer Industry Using Sequencing Batch Reactor And Granular Activated Carbon," *J. Environ. Eng. Sustain. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 83–90, 2022.
- [18] J. Ma, T.-F., Wu, J., Feng, L., & He, "Progress in Multi Soil Layering Systems for Wastewater Treatment," *Sustainability*, vol. 16, no. 8, p. 3330, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su16083330>
- [19] A. Maysarahman, "Efektivitas Metode Multi Soil Layering (MSL) dalam Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Hewan (RPH)," Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, 2022.

- [20] J. A. Mohd Radhuwan SN, Abdulhameed AS, “Production of activated carbon from food wastes (chicken bones and rice waste) by microwave assisted ZnCl<sub>2</sub> activation: an optimized process for crystal violet dye removal,” *Epubmed Int J Phytoremediation*, vol. 26, no. 5, pp. 699–709, 2023, [Online]. Available: doi: 10.1080/15226514.2023.2260004
- [21] T. Sbahi, S., Mandi, L., Masunaga, “Multi-Soil-Layering, the Emerging Technology for Wastewater Treatment: Review, Bibliometric Analysis, and Future Directions,” *Water*, vol. 14, no. 22, p. 3653, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/w14223653>
- [22] T. A. R. Pattnaik, R. S. Yost, G. Porter, T. Masunaga, “Removing the N and P in Dairy Effluent using Multi-Soil-Layer (MSL) Systems,” *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.*, vol. 24, no. 4, pp. 431–437, 2008.
- [23] C. C. Guo J, Zhou Y, Jiang S, “Feasibility investigation of a multi soil layering bioreactor for domestic wastewater treatment. *Environ Technol*,” *Epub*, vol. 40, no. 17, pp. 2317–2324, 2019, [Online]. Available: doi: 10.1080/09593330.2018.1441331
- [24] G. Onize, M., Aturagaba, G., Ntale, M., William, “A review of adsorption techniques for removal of phosphates from wastewater,” *Water Sci. Technol.*, vol. 86, no. 12, pp. 3113–3132, 2022.
- [25] P. Chun, C., Hao, “Efficiency of a Multi Soil Layering System on Wastewater Treatment Using Environment Friendly Filter Materials,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, no. 3, pp. 3362–3380, 2015, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ijerph120303362>