



# Studi perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di Pasar Tradisional Srimangunan Kabupaten Sampang

HENDRA ROMADHON<sup>1\*</sup>, EKO NOERHAYATI, ANITA RAHMAWATI

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Malang, Jawa Timur, 65144, Indonesia;

\*Korespondensi: [hendraromadhon@gmail.com](mailto:hendraromadhon@gmail.com)

Diterima: 26 Juli, 2024

Disetujui: 27 Agustus, 2024

## ABSTRAK

**Latar Belakang:** Pasar Tradisional Srimangunan terletak di Kelurahan Gunung Sekar, Kecamatan Sampang, Kabupaten Sampang Jawa Timur dan memiliki lahan seluas 16.180 m<sup>2</sup>. **Temuan:** Pasar Srimangunan tidak memiliki sistem pengolahan limbah cair karena itulah maka diperlukan adanya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), tujuan perencanaan ini adalah supaya limbah cair yang dihasilkan tidak langsung dibuang tanpa pengolahan dan menyebabkan pencemaran lingkungan. **Metode:** Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) menggunakan metode teknologi anaerobik – aerobik biofilter. Debit Air Limbah pada Pasar Tradisional Srimangunan adalah sebesar 15.717 L/hari. **Kesimpulan:** Hasil Uji Kualitas Air Limbah Pasar Srimangunan tidak memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK. No. 68 tahun 2016 yaitu BOD sebesar 602,6 mg/L, COD sebesar 1696 mg/L, TSS sebesar 5080 mg/L, Minyak dan Lemak sebesar 9 mg/L, dan pH limbah cair sebesar 6,67 mg/L. Hasil dan analisa kualitas dan kuantitas air limbah maka direncanakan desain IPAL yaitu Bak Pemisah Minyak dan Lemak dengan dimensi total 0,8m x 1m x 1,2m, Bak Ekualisasi dengan dimensi total 2m x 1m x 2,2m, Bak Pengendap Awal dengan dimensi total 2m x 1m x 2,2m, Bak anaerobik dengan 2 ruang dimana ruang 1 dengan dimensi 1m x 1,3m x 2,2m dan ruang 2 dengan dimensi 1,6m x 1,3m x 2,2m, Bak Aerobik dengan dimensi 2m x 1m x 2,2m dan ruang aerasi dengan dimensi 1m x 1m x 2,2m, dan terakhir Bak Pengendap Akhir dengan dimensi total 2m x 1m x 2,7m. Serta biaya yang direncanakan sebesar Rp. 45.264.320,34.

**KATA KUNCI:** anaerobik-aerobik biofilter; instalasi pengolahan air limbah (IPAL); limbah cair; pasar tradisional.

## ABSTRACT

**Background:** Srimangunan Traditional Market is located in Gunung Sekar Village, Sampang District, Sampang Regency, East Java and has an area of 16,180 m<sup>2</sup>. **Findings:** Srimangunan Market does not have a liquid waste treatment system because of that, it is necessary to have a Wastewater Treatment Plant (WWTP), the purpose of this planning is so that the liquid waste produced is not directly disposed of without treatment and causes environmental pollution. **Methods:** Planning of Wastewater Treatment Plant (WWTP) using anaerobic - aerobic biofilter technology method. Wastewater discharge at Srimangunan Traditional Market is 15,717 L/day. **Conclusion:** The results of the Srimangunan Market Wastewater Quality Test do not meet the quality standards based on the Regulation of the Minister of Environment and Forestry. No. 68 of 2016, namely BOD of 602.6 mg/L, COD of 1696 mg/L, TSS of 5080 mg/L, Oil and Fat of 9 mg/L, and pH of wastewater of 6.67 mg/L. The results and analysis of the quality and quantity of wastewater, the WWTP design is planned, namely the Oil and Fat Separator Tub with total dimensions of 0.8m x 1m x 1.2m, Equalization Tub with total dimensions of 2m x 1m x 2.2m, Initial Settling Tub with total dimensions of 2m x 1m x 2.2m, Anaerobic tanks with 2 chambers where room 1 with dimensions of 1m x 1.3m x 2.2m and room 2 with dimensions of 1.6m x 1.3m x 2.2m, Aerobic tanks with dimensions of 2m x 1m x 2.2m and aeration chambers with dimensions of 1m x 1m x 2.2m, and finally Final Settling Tubs with total dimensions of 2m x 1m x 2.7m. and the planned cost is Rp. 45,264,320.34.

### Cara Pengutipan:

Romadhon et al. (2024). Studi perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di Pasar Tradisional Srimangunan Kabupaten Sampang. *Spatial Review for Sustainable Development*, 1(2), 91-105.  
<https://doi.org/10.61511/srsd.v1i2.2024.1316>

**Copyright:** © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



**KEYWORDS:** *anaerobic-aerobic biofilter; liquid waste; traditional market; wastewater treatment plant (WWTP).*

---

## 1. Pendahuluan

Pasar merupakan tempat bertemunya penjual dan pembeli secara langsung untuk melakukan transaksi jual – beli produk/jasa. Pasar menjadi sarana distribusi yang berfungsi untuk memperlancar proses penyaluran barang atau jasa dari produsen ke konsumen. Hal ini menjadikan pasar memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan hidup masyarakat. Setiap aktivitas perdagangan yang dilakukan di pasar tentu akan menghasilkan limbah, baik limbah padat maupun limbah cair. Limbah cair merupakan permasalahan lingkungan yang dominan terjadi dan berasal dari kegiatan rumah tangga dan industry (Noerhayati and Rahmawati 2021). Limbah cair yang dihasilkan seringkali diabaikan sehingga menjadi genangan di berbagai titik di pasar tradisional. Limbah yang tidak dikelola dan langsung dibuang ke saluran drainase/badan air tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu akan membahayakan daerah sekitar dan perairan (Noerhayati and Rahmawati 2021). Limbah cair dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, mengakibatkan kontaminasi sumber air bersih dan dapat menimbulkan kerusakan pada flora dan fauna yang hidup di air. Lama – kelamaan, hasil limbah cair yang dibiarkan akan mengalami dekomposisi berubah menjadi warna kecoklatan sehingga menimbulkan bau yang tidak sedap (Rahmawati and - 2020). Hal ini dapat menjadi tempat berkembang biaknya berbagai macam penyakit yang dapat mengakibatkan pencemaran air serta dapat mempengaruhi estetika pasar tersebut (Satiti, 2011). Pencemaran limbah cair merupakan perubahan fisik air baik secara langsung maupun tidak langsung yang sifatnya berbahaya atau berpotensi menyebabkan penyakit atau gangguan bagi keberlangsungan kehidupan makhluk hidup. Perubahan langsung dan tidak langsung ini ditunjukkan dengan perubahan fisik, kimia, biologi atau radioaktif. Sedangkan kualitas air termasuk salah satu faktor yang menentukan kesejahteraan manusia (Rahmawati and - 2020).

Pasar Tradisional Srimangunan awalnya merupakan Pasar Polowijo yang ramai dan menjadi salah satu pasar yang menyediakan kebutuhan pokok dan perikanan. Berlokasi di Jalan KH. Wahid Hasyim Kelurahan Gunung Sekar Kecamatan Sampang Kabupaten Sampang, pasar srimangunan dikembangkan dan menjadi salah satu aset dari Pemerintah Daerah yang berperan penting untuk meningkatkan perekonomian masyarakat di Kabupaten Sampang. Memiliki luas lahan sekitar ±16.180 m<sup>2</sup> pasar ini dilengkapi dengan 851 unit kios, 103 unit los tertutup, 596 unit los terbuka serta 290 pedagang kaki lima (PKL). Pasar Tradisional Srimangunan menyediakan berbagai jenis kebutuhan hidup yang diperdagangkan, mulai dari makanan, minuman, sayuran, buah – buahan, toko buku, toko baju hingga alat elektronik dan kebutuhan lainnya. Pasar ini cukup ramai dan padat namun kurang mendapat perhatian khusus dalam pengolahan limbah cair sehingga belum dilengkapi dengan instalasi pengolahan air limbah yang dihasilkan. Proses pengolahan limbah cair berguna untuk meminimalisir limbah yang ada serta dapat menghilangkan maupun menurunkan kadar bahan pencemaran yang terkandung di dalam lingkungan dan perairan (Noerhayati and Rahmawati 2021). Dibutuhkan teknologi yang tepat untuk mengolah air limbah tersebut agar memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Perencanaan pembangunan unit pengolahan air limbah perlu dilakukan untuk meminimalisir kandungan air limbah yang dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan (Kolís, Noerhayati, and Rahmawati 2022). Salah satu teknologi pengolahan air limbah yang banyak digunakan adalah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan metode Biofilter Anaerob dan Aerob. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah sebuah infrastruktur yang dirancang untuk mengelola Air Limbah secara fisika, kimia dan/atau

biologi sehingga memenuhi Baku Mutu Air Limbah. Metode Biofilter Anaerob dan Aerob merupakan gabungan dari proses anaerob dan proses aerob dimana proses biofilter aerob adalah proses lanjutan setelah dilakukan proses biofilter anaerob yang akan mengurai kembali sisa polutan organik menjadi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O), amonia akan teroksidasi menjadi nitrit selanjutnya akan menjadi nitrat dan gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) akan diubah menjadi sulfat. IPAL dengan menggunakan proses biofilter anaerob dan aerob akan menghasilkan air olahan berkualitas sesuai dengan baku mutu BPLHD atau lingkungan hidup yang baik dengan konsumsi energi yang digunakan lebih rendah (Said, 2017).

Berdasarkan uraian permasalahan diatas, perlu adanya tindakan salah satunya dengan cara merencanakan sistem pengolahan air limbah. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji permasalahan yang terdapat di daerah sekitar lokasi studi. Perencanaan dilakukan karena belum adanya sanitasi secara maksimal yang ditandai dengan belum tersedianya akses pedagang pasar ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Pasar Tradisional Srimangunan Kabupaten Sampang, sehingga air limbah dari aktivitas perdagangan dibuang langsung ke saluran drainase. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan harapan dapat memberikan solusi untuk mencegah terjadinya pencemaran kualitas air dan lingkungan, dan diharapkan dapat mengoptimalkan upaya sanitasi dalam meningkatkan kesehatan masyarakat di Kabupaten Sampang.

## 2. Metode

### 2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Pasar Tradisional Srimangunan, Jalan KH. Wahid Hasyim Kelurahan Gunung Sekar Kecamatan Sampang Kabupaten Sampang.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian  
(Google Earth, 2023)

### 2.2 Parameter Penelitian

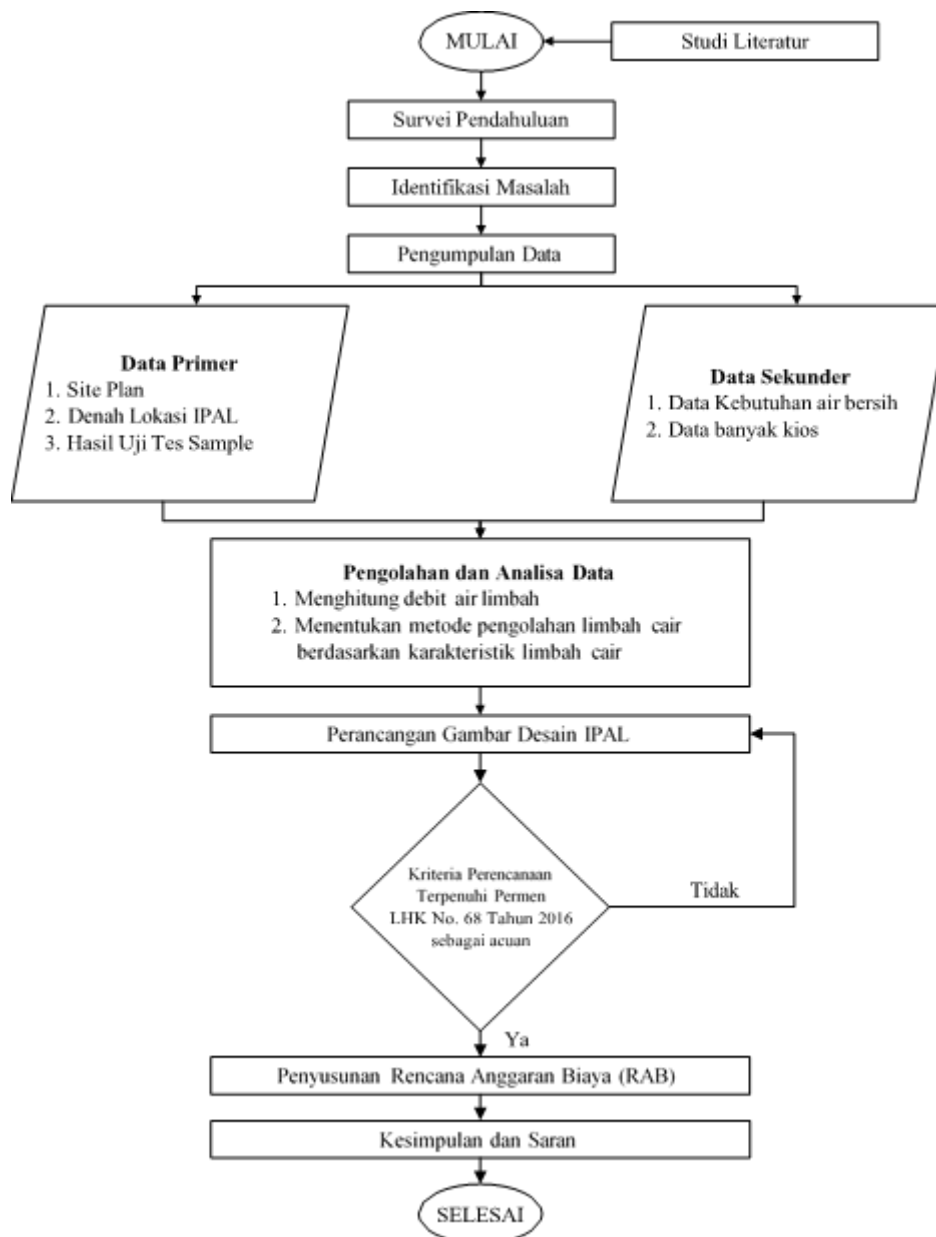
Parameter utama yang digunakan yaitu BOD, TSS, COD, Minyak & lemak. Sedangkan parameter pendukung pH sebagai proses penguraian oleh mikroorganisme.

### 2.3 Sistem Kerja IPAL

Sistem instalasi pengolahan air limbah dengan metode Biofilter Anaerob dan Aerob sarang tawon dilakukan dengan pengaliran air limbah dari los pedagang melalui saluran drainase menuju bak kontrol. Setelah dari bak kontrol air limbah dialirkan ke saluran terpusat, yaitu menuju bak inlet. Setelah itu ke bak pengendapan. Lalu air limbah menuju ke Gutter yang berfungsi sebagai penampung sementara sebelum masuk ke pemfilteran. Tahap selanjutnya air masuk ke ruang pemfilteran dengan teknologi Biofilter Anaerob sarang tawon. Pada tahap ini penurunan kadar BOD, COD.

Setelah dilakukan proses biofilter anaerob, masuk ke ruang pemfilteran dengan teknologi Biofilter Aerob sarang tawon akan mengurai kembali sisa polutan organik menjadi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), amonia akan teroksidasi menjadi nitrit selanjutnya akan menjadi nitrat dan gas hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) akan diubah menjadi sulfat. Selanjutnya air limbah yang sudah terfilter keluar melalui saluran outlet.

### 2.4 Flowchart



Gambar 2. Bagan alir penelitian  
(Hasil Analisis, 2023)

## 2.5 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan meliputi analisis kualitas, serta estimasi kuantitas (debit) air limbah yang dihasilkan oleh aktivitas perdagangan di lokasi studi.

Analisis kualitas air limbah dilakukan dengan membandingkan hasil uji sampel air limbah dengan baku mutu air limbah yang terdapat pada Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016. Kualitas air limbah yang diperoleh akan dijadikan sebagai nilai parameter inisial dalam menentukan unit pengolahan yang sesuai untuk diterapkan pada perencanaan IPAL.

Debit perencanaan diperoleh berdasarkan data dari pemakaian air disetiap aktivitas jual beli di Pasar Tradisional Srimangunan dengan melakukan wawancara dengan pedagang langsung. Menurut Satiti (2011) jika debit dihitung berdasarkan luas los menunjukkan bahwa luas los tidak mempengaruhi jumlah debit yang dihasilkan karena setiap pasar telah memiliki ukuran los yang standar dan disamaratakan untuk semua los. Hal ini menyebabkan setiap los memiliki besaran tempat berdagang yang sama meskipun setiap pedagang memiliki kebutuhan air yang berbeda. Jumlah kebutuhan air juga terkait dengan erat dengan komoditas yang diperjual belikan oleh pedagang.

Ciri khas perdagangan di Pasar Tradisional Srimangunan yang penjualannya sering dilakukan dalam partai besar menambah tingkat kesulitan dalam mengidentifikasi jumlah air limbah berdasarkan luas los. Hal ini disebabkan ada pedagang yang memiliki los yang kecil, namun karena mengkhususkan diri dalam penjualan partai besar, jumlah kebutuhan airnya menjadi besar. Fakta ini sekaligus dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa dalam kasus Pasar Tradisional Srimangunan, debit air limbah yang dihasilkan tidak dapat dikuantifikasi dengan menggunakan parameter luas los.

## 2.6 Pembuatan BOQ dan RAB

Pembuatan Bill of Quantity (BOQ) bertujuan untuk mengkalkulasikan detail kebutuhan untuk pekerjaan pembangunan IPAL yang meliputi luas, volume, serta galian dari setiap Unit Biofilter Anaerob Aerob yang akan direncanakan. Pembuatan BOQ dilakukan berdasarkan hasil perhitungan Detail Engineering Design (DED) yang telah dilakukan sebelumnya. Sedangkan pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB) bertujuan untuk mengkalkulasi dan merekapitulasi seluruh anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan IPAL. Pembuatan RAB dilakukan dengan mengalikan besaran volume pekerjaan dengan standar satuan harga berdasarkan Peraturan Bupati Sampang Nomor 98 Tahun 2022 tentang Standar Harga Satuan Tahun anggaran 2023.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Penelitian Terdahulu

Pada tugas akhir ini akan ditinjau beberapa hasil dari penelitian terdahulu untuk dijadikan sebagai referensi. Penelitian Terdahulu yang diambil merupakan penelitian yang ada kaitannya dengan penelitian ini. Penelitian terdahulu diperoleh melalui studi literatur, jurnal dan hasil tugas akhir terdahulu yang dapat dilihat pada tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1,	Affan M.A.	2017	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Proses Anaerobic Baffled Reactor Dan Anaerobic Filter Pada Hotel Bintang 5 Surabaya	Didapatkan hasil perhitungan DED Anaerobic Baffled Reactor (ABR), didapatkan dimensi IPAL unit ABR meliputi bak kompartemen I (6m × 4,5m × 2,5m), kompartemen II (1,5m

2.	Raka .T.R.	2017	Perancangan IPAL Medis Dengan Teknologi Anaerobic Filter Dan Rotating Biological Contactor Di Rumah Sakit Kelas B Surabaya	<p>× 4,5m × 2,5m) sebanyak 7 buah kompartemen. Hasil perhitungan DED Anaerobic Filter (AF), didapatkan dimensi IPAL unit AF meliputi bak kompartemen I (6m × 4,5m × 2,5m), kompartemen II (2m × 4,5m × 2,5m) sebanyak 8 buah kompartemen. Didapatkan unit anaerobic filter memiliki kelebihan adanya potensi produk biogas yang besar yang bisa dimanfaatkan, volume bangunan efektif yang dibutuhkan lebih kecil, dan biaya pembangunan serta biaya operasi yang lebih kecil. Kekurangan dari unit anaerobic filter adalah volume lumpur yang dihasilkan lebih besar. Persentase removal dari parameter BOD; COD; dan TSS adalah 73%; 66%; dan 69%. Didapatkan penggabungan pengolahan 2 jenis air limbah (domestik dan laboratorium) dilakukan untuk menghemat lahan dan unit pengolahan yang dibutuhkan. Unit pengolahan yang sesuai untuk pengolahan air limbah perkantoran (studi kasus : "MIPA Tower" ITS Surabaya) ialah bak netralisasi (Ø = 0,65 m, H = 0,43 m), grease trap (4,5 m × 4 m × 2,5 m) terintegrasi dengan anaerobic filter 6 kompartemen (2,25 m × 5,5 m × 2,5 m) dan filter dengan tebal karbon aktif 50 cm, pasir silika 150 cm, gravel 10 cm dan diameter tangka 1,5 m. Didapatkan bangunan Instalasi Pengolahan air limbah domestik unit ABR yang direncanakan yaitu terdiri dari bak pengendap dan 5 bak kompartemen. Untuk bak pengendap memiliki dimensi lebar, panjang, kedalaman adalah 2,5 m, 3,5 m, dan 2m. Sedangkan dimensi untuk tiap bak kompartemen ABR masing- masingnya adalah 2,5 m, 1 m, dan 2 m.</p>
3.	Rizky R.Y.	2017	Perancangan Sistem Pengolahan Air Limbah Pada Gedung Perkantoran (Studi Kasus: "MIPA Tower" ITS Surabaya	
4.	Chairul A.	2019	Perencanaan Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Domestik Dengan Proses Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Pada Asrama Pon-Pes Terpadu Nurul Musthofa Di Kabupaten Tabalong Kalimantan Selatan	

5.	Yunita K.B.	2019	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Cair Hewan Ternak Sapi Pada Model Satu Rumah Di Desa Argosari Kecamatan Jabung Kabupaten Malang	<p>Didapatkan hasil pengujian sampel air limbah hewan ternak sapi yang dilakukan di Perum Jasa Tirta I, kandungan BOD, COD, TSS, NH<sub>3</sub>-N dan pH masing-masing sebesar 4488 mg/L, 11000 mg/L, 850,5 mg/L, 479,3 mg/L, dan 8,5. Apabila dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah maka dapat disimpulkan bahwa 4 dari 5 parameter masih melebihi baku mutu air limbah ternak sapi.</p> <p>Didapatkan karakteristik limbah cair domestik sebelum terjadi pengolahan di Perumahan Green Tombro Kota Malang yaitu memiliki pH = 9, kandungan COD sebesar 296,45 mg/l, dan kandungan BOD sebesar 14,813 mg/l. Sedangkan setelah mengalami proses pengolahan, karakteristik limbah cair domestic memiliki pH = 7 (dikatakan netral), kandungan COD sebesar 296,45 mg/l dan kandungan BOD sebesar 80,85 mg/l.</p> <p>Didapatkan agar perencanaan mendapatkan hasil yang lebih baik, perlu dibuat unit water recycle untuk effluent dari IPAL agar air yang keluar dari IPAL dapat dimanfaatkan kembali oleh masyarakat setempat. Diperlukan juga dengan menambahkan unit wetland yang ditanami dengan tumbuhan air yang mampu menyerap nitrogen untuk mengurangi kadar nitrogen yang terlalu tinggi sebelum dibuang ke badan air.</p>
6.	Anita R.	2020	Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) untuk Menghasilkan Air Bersih di Perumahan Green Tombro Kota Malang	<p>Didapatkan IPAL di Pasar Induk Lambaro direncanakan dari segi kuantitas mampu menampung dan mengolah air limbah domestik dari seluruh pedagang pasar induk lambaro yang. Teknologi pengolahan air limbah yang dapat diterapkan di pasar induk lambaro yaitu menggunakan sistem Biofilter</p>
7.	Jupri H.	2021	Perencanaan Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Rumahan Di Tlogo Indah, Kota Malang Dengan Proses Anaerobic Filter (AF)	
8.	Hijrika A.	2022	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Pasar Induk Lambaro Kabupaten Aceh Besar	

9.	Shinta P.	2022	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pasar Tradisional Langowan Di Kecamatan Langowan Timur Kabupaten Minahasa	<p>Anaerob dan Aerob yang terdiri dari 6 kompartemen didalamnya dengan Luas total lahan perencanaan 64,2 m.</p> <p>Disarankan IPAL harus dilakukan pengecekan secara berkala untuk mengetahui efektivitas penurunan kadar pencemar maupun penggantian media karbon aktif agar effluent air limbah yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sesuai dengan peruntukannya. Perlu dilakukan edukasi kepada pedagang dan pengunjung agar tidak membuang air limbah dan sampah disembarang tempat.</p> <p>Didapatkan perhitungan dengan menggunakan metode hasil uji sampel air limbah pada lokasi studi di Desa Bangsal yaitu: BOD = 36,87 mg/L, COD (Spektro) = 137,50 mg/L, TSS = 10,70 mg/L, Minyak &amp; Lemak = 1,50 mg/L dan desain dimensi IPAL yang sesuai di Desa Bangsal Kota Kediri yaitu: 1. Bak Inlet Panjang = 1,00 m, Lebar = 0,45 m, Ambang Bebas = 0,40 m, Kedalaman Ruang Lumpur = 0,80 m, Kedalaman Basah = 0,20 m. 2. Bak Pengendap Panjang = 3,00 m, Lebar = 2,70 m, Ambang Bebas = 0,50 m, Kecepatan Aliran = 0,17 m<sup>3</sup>/jam, Kedalaman Lumpur = 0,76 m, Kedalaman Basah = 2,00 m. 3. Bak Biofilter Anaerob Panjang = 0,80 m, Lebar = 0,80 m, Kedalaman Basah = 2,00 m, Ambang Bebas = 0,40 m, Jumlah Bak Biofilter = 12 ruang. Bak Outlet Panjang = 0,90 m, Lebar = 0,80 m, Ambang Bebas = 0,75 m, Kedalaman Basah = 0,20 m.</p>
10.	Bayu K.	2023	Studi Perencanaan Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Media Biofilter Anaerobik di Desa Bangsal Kota Kediri	

### 3.2 Air Limbah

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 tahun 2001, air limbah adalah sisa dari suatu proses dan atau kegiatan yang berwujud cair. Berdasarkan sumbernya limbah cair dibagi menjadi dua, yaitu limbah cair domestik dan limbah cair non domestik. Limbah cair domestik merupakan air buangan sisa dari aktivitas manusia dari rumah tangga, rumah makan, perkantoran, perniagaan dan sarana sejenisnya yang



berhubungan dengan pemakaian air. Menurut Tchobanoglous, et al (2003), yang dimaksud air limbah (wastewater) adalah kombinasi dari cairan dan sampah – sampah (air yang berasal dari daerah permukiman, perdagangan, perkantoran, dan industri) Bersama – sama dengan air tanah, air permukaan dan air hujan yang mungkin ada. Dalam penanganan air limbah di Indonesia saat ini adalah langsung dibuang ke saluran drainase tanpa diolah terlebih dahulu sebelumnya.

### 3.3 Karakteristik Air Limbah

Menurut George (1991) Karakteristik air limbah dibagi menjadi tiga, yaitu fisik, kimia dan biologis.

#### 3.3.1 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik adalah karakteristik dari air limbah yang dapat dirasakan oleh indra manusia, seperti bisa langsung dilihat oleh indra penglihatan, indra penciuman atau indera perasa. [a] Total solid yang merupakan zat-zat tertinggal sebagai residu dari penguapan pada temperatur 103°C sampai 105°C. [b] Temperatur pada air limbah umumnya lebih tinggi dari pada air bersih, karena adanya penambahan air dengan temperaturnya lebih hangat yang berasal dari aktivitas rumah tangga dan industri. [c] Air limbah yang masih segar biasanya berwarna abu-abu kecoklatan, akan tetapi semakin lama waktu tinggal di dalam sistem pengumpulannya dan kondisi anaerob yang makin meningkat, warna dari air limbah akan berubah menjadi abu-abu gelap dan akhirnya menjadi hitam. Air limbah yang berubah menjadi warna hitam disebut dengan septik. [d] Bau yang timbul dari limbah domestik dikarenakan adanya gas yang terbentuk dari proses penguraian bahan organik. [e] Kekeruhan sifat optis air yang akan membatasi pencahayaan kedalaman air. Kekeruhan terjadi karena adanya zat-zat koloid yang melayang dan zat-zat yang terurai menjadi ukuran yang lebih (tersuspensi) oleh binatang, zat-zat organik, jasad renik, lumpur tanah dan benda lainnya yang melayang. Tidak dapat dihubungkan secara langsung antara kekeruhan dengan kadar semua jenis zat suspensi karena tergantung juga pada ukuran dan bentuk butir.

#### 3.3.2 Karakteristik Kimia

Pada karakteristik kimia yang perlu diidentifikasi pada air limbah, yaitu bahan organik, anorganik dan gas. [a] Kimia organik pada air limbah tersusun dari beberapa komponen, yaitu protein 40% – 60%, Karbohidrat 25% – 60% serta minyak dan lemak 8% – 12%. [1] Biological Oxygen Demand (BOD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan zat organik biodegradable yang terdapat di dalam air. BOD ditentukan dengan cara mengukur oksigen yang diserap oleh sampel air limbah akibat adanya mikroorganisme selama satu periode waktu tertentu (Said,2000). Hasil dari pengujian BOD yang digunakan untuk menentukan kuantitas dari oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilisasi zat organik secara biologis, menentukan ukuran fasilitas pengolahan air limbah, mengukur efisiensi beberapa proses pengolahan dan menentukan dengan baku mutu air limbah (Tchobanoglous et al, 2003). [2] Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi yang merupakan jumlah kebutuhan oksigen yang digunakan dalam mengoksidasi zat-zat organik secara kimia. Hasil dari pengukuran COD biasanya mendapatkan nilai yang lebih tinggi dari pada nilai BOD apalagi jika sejumlah bahan organik yang resisten secara biologis terdapat pada air limbah. [3] Minyak lemak pada air limbah harus diperhatikan karena bersifat sulit larut di dalam air atau mempunyai stabilitas yang rendah, serta mempunyai kecenderungan memisah dengan air. Minyak dan lemak banyak ditemui pada makanan, hewan dan manusia. Selain sulit larut dalam air, parameter minyak dan lemak tidak mudah terdekomposisi oleh bakteri karena relatif stabil oleh karena itu minyak dan lemak dapat diekstrak dari suatu larutan menggunakan heksan atau CFC

(Sawyer, 2003). [b] Kimia Anorganik terdiri dari pH, Nitrogen, Fosfor dan Surfaktan. [1] pH adalah parameter yang sangat penting, pada pengolahan air limbah yang menggunakan pengolahan biologis harus mengontrol pH pada rentang waktu tertentu agar sesuai dengan pH yang mendukung kehidupan organisme yang terlibat (Qasim, 1985). [2] Nitrogen merupakan unsur dalam sintesis protein, data nitrogen diperlukan untuk melakukan evaluasi treatability air limbah dengan proses biologis. Apabila kandungan nitrogen di air limbah tidak cukup maka harus dilakukan penambahan nitrogen agar dapat diolah. [3] Fosfor merupakan unsur penting dalam pertumbuhan alga dan organisme biologis lainnya. Pertumbuhan ganggang di permukaan air menyebabkan gangguan pada ekosistem lingkungan dalam jumlah yang penting. [4] Surfaktan adalah salah satu parameter yang berasal dari rumah tangga (domestik) atau industri/non industri yang jumlah signifikan dapat mempengaruhi biota air. Contoh dari surfaktan adalah deterjen yang dapat memberikan rasa dan bau pada konsentrasi 0,43 mg/l dalam air dan efeknya dapat meningkat apabila bercampur dengan klorin, (Tchobanoglous et al, 2003). [c] Gas yang terdapat pada air limbah umumnya ialah Nitrogen (N<sub>2</sub>), Oksigen (O<sub>2</sub>), Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S), Ammonia (NH<sub>3</sub>) dan Metana (CH<sub>4</sub>). Ketiga gas pertama adalah gas yang ditemukan pada atmosfer dan semua air yang berhubungan dengan udara, sedangkan tiga gas yang selanjutnya terbentuk dari hasil penguraian material organik. [d] Ammonia (NH<sub>3</sub>): Amonia merupakan gas alkalin yang tidak berwarna, lebih ringan dari udara dan punya aroma khas menyengat. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Amonia merupakan senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan. Kontak tubuh dengan gas amonia berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan paru paru bahkan menyebabkan kematian (Yudo, 2010).

### 3.3.3 Karakteristik Biologi

Di Dalam air limbah terdapat proses penguraian yang melibatkan bakteri dan mikroorganisme lainnya. Organisme patogen dapat ditemukan pada air limbah yang berasal dari aktivitas manusia atau hewan yang terinfeksi oleh penyakit tertentu. Terdapat empat klasifikasi mikroorganisme yang bersifat patogen yang terdapat di air buangan, yaitu bakteri, protozoa, helminth dan virus. Bakteri patogen harus diidentifikasi karena keberadaannya di dalam air buangan dapat merugikan. Bakteri E - Coli dan Streptococcus adalah bakteri yang sering dijumpai di makhluk hidup lainnya, seperti ayam, sapi, itik dan babi. Ganggang (fitoplankton) juga sering ditemukan di air buangan karena ganggang hidup dengan memanfaatkan nutrisi, serta jamur yang hidup dengan menguraikan senyawa karbon. Untuk mengetahui adanya pencemaran bakteri patogen dapat dianalisis menggunakan indikator organisme. (Gunawan, 2006). Sesuai dengan sumber asalnya, air limbah mempunyai kualitas yang bervariasi sesuai dengan sumber, budaya, dan gaya hidup masyarakat sekitar. Secara umum air limbah terdiri dari air dan padatan, dimana padatan terdiri dari zat organik yang berupa karbohidrat, lemak, protein serta zat anorganik, yaitu berupa garam-garam, logam dan butiran (Sugiharto, 2008).

Berdasarkan karakteristik air limbah domestik diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu air limbah toilet atau biasa disebut black water dan air limbah non toilet grey water (Damayanti, 2018). Air limbah yang berasal dari toilet biasanya terdiri dari tinja dan air seni. Grey water berasal dari air mandi, air limbah cucian, air limbah dapur, wastafel dan lainnya. Sekitar 60% - 85% dari total volume kebutuhan air bersih akan menjadi limbah cair domestik (Metcalf & Eddy, 1991). Sekitar 75% bagian dari grey water merupakan total volume dari limbah cair domestik (Eriksson, 2002).

### 3.4 Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah merupakan ukuran batas atau kadar unsur pencemar, yang ditentang keberadaannya di dalam air limbah yang akan dibuang ke dalam sumber air dari suatu usaha atau kegiatan. Secara nasional standar baku mutu telah diatur dalam Peraturan

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2. Standar baku mutu air limbah domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

(Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68, 2016)

### 3.5 Pengolahan Air Limbah

Proses pengolahan air limbah dibedakan menjadi tiga yaitu [a] Pengolahan secara fisik: Pengolahan secara fisika berada pada tahapan pertama dalam pengolahan air limbah. Contoh proses pengolahan secara fisika yaitu penyaringan, pengadukan, flokulasi, sedimentasi, flotasi, filtrasi, dan adsorpsi. [b] Pengolahan secara kimia: Pengolahan secara kimia adalah pengolahan untuk menyisahkan polutan dengan adanya tambahan bahan kimia atau dengan reaksi kimia. Contoh proses pengolahan secara kimia yang sering digunakan yaitu presipitasi, gas transfer adsorpsi dan desinfeksi. [c] Pengolahan secara biologi: Pengolahan secara biologi merupakan pengolahan dengan menyisahkan polutan dengan memanfaatkan aktivitas biologis, terutama untuk menyisahkan koloid atau zat organik biodegradable yang terlarut pada limbah cair. Zat tersebut diubah menjadi gas yang dapat dibuang ke atmosfer dan sel biologis yang dapat disedimentasi atau proses pengolahan fisik lainnya.

### 3.6 Kualitas Air Limbah Pasar Tradisional Srimangunan

Air limbah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah grey water yang berasal dari aktivitas perdagangan pasar. Sampel air limbah diambil pada effluent akhir pembuangan air limbah. Pengujian sampel air limbah di analisis pada Laboratorium Uji Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1. Hasil pengujian kualitas air limbah yang telah dilakukan, dapat dilihat pada tabel 3. Acuan Standar baku mutu yang digunakan dalam Tugas Akhir ini yaitu peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Perbandingan antara hasil uji sampel air limbah dengan standar baku mutu air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kualitas air limbah

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Pendahuluan	Kadar Maksimum	Keterangan
1.	pH	mg/L	6,67	6 – 9	Sesuai baku mutu
2.	Total Suspended Solids (TSS)	mg/L	5080	30	Diatas baku mutu
3.	Chemical oxygen	mg/L	1696	100	Diatas baku

	demand (COD)				mutu
	Biochemical				
4.	oxygen demand (BOD)	mg/L	602.6	30	Diatas baku mutu
5.	Amonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	-	10	-
6.	Minyak & Lemak	mg/L	9,0	5	Diatas baku mutu
7.	Total Coliform	mg/L	-	3000	-

(Laboratorium Uji Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1, 2023)

Berdasarkan data hasil pengujian kualitas sampel air limbah pada Tabel 3. Diketahui Parameter TSS, BOD, COD, Minyak dan Lemak memiliki nilai diatas baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Menurut Neshart (2021), adapun faktor yang mempengaruhi tingginya kadar BOD pada air limbah diakibatkan oleh kandungan bahan organik yang terdapat di dalam air, suhu, densitas plankton oksigen terlarut nilai pH serta keberadaan mikroba dan dapat mengakibatkan penyusutan oksigen terlarut melalui proses penguraian bahan organik pada kondisi Aerob dan penurunan nilai pH dalam suatu perairan. Sedangkan untuk TSS sangat berkaitan erat dengan kekeruhan pada air salah satunya memang disebabkan oleh adanya kandungan zat padat tersuspensi. Zat tersuspensi yang ada di dalam air terdiri dari berbagai macam zat, misalnya pasir halus, tanah liat, dan lumpur alami yang merupakan bahan-bahan anorganik atau dapat pula berupa bahan-bahan organik yang melayang-layang di dalam air. Maka dari itu diperlukan perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk mengolah air limbah pasar Tradisional Srimangunan.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil dari tugas akhir perencanaan IPAL di Pasar Tradisional Srimangunan adalah sebagai berikut. [a] Melalui hasil Uji Sample di Laboratorium Jasa Tirta Malang, didapatkan Limbah cair Pasar Srimangunan yaitu: BOD sebesar 602,6 mg/L, COD sebesar 1696 mg/L, TSS sebesar 5080 mg/L, Minyak dan Lemak sebesar 9,0 mg/L, dan pH limbah cair sebesar 6,67 mg/L. [b] Pasar Tradisional Srimangunan menghasilkan debit air limbah sebesar 15.717 L/hari dengan total jam kerja 11 jam perharinya. [c] Berdasarkan hasil survei dan perhitungan maka Desain Dimensi dari perencanaan Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Pasar Tradisional Srimangunan yaitu: 1. Bak Pemisah Minyak/Lemak dengan Panjang 0,8 m, Lebar 1 m, kedalaman total 1,2 m. 2. Bak Ekualisasi dengan Panjang 2 m, Lebar 1 m, kedalaman total 2,2 m. 3. Bak Pengendap Awal dengan Panjang 2 m, Lebar 1 m, kedalaman total 2,2 m. 4. Bak Anaerobik dengan 2 ruang dimana ruang 1 dengan Panjang 1 m, Lebar 1,3 m, total kedalaman 2,2 m, dan ruang 2 dengan Panjang 1,6 m, Lebar 1,3 m, kedalaman total 2,2 m. 5. Bak Aerobik dengan Panjang 2 m, Lebar 1 m, kedalaman total 2,2 m, dan ruang aerasi dengan Panjang 1 m, Lebar 1 m, kedalaman Total 2,2 m. 6. Bak Pengendap Akhir dengan Panjang 2 m, Lebar 1 m, kedalaman total 2,7 m. [d] Biaya yang dibutuhkan untuk membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah di Pasar Tradisional Srimangunan tersebut adalah sebesar Rp. 45.264.320,34.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim IASSSF karena telah mendukung penulisan penelitian ini.

#### Kontribusi Penulis

Semua penulis berkontribusi penuh atas penulisan artikel ini.

### **Pendanaan**

Penelitian ini tidak mendapat sumber dana dari manapun.

### **Pernyataan Dewan Peninjau Etis**

Tidak berlaku.

### **Pernyataan Persetujuan yang Diinformasikan**

Tidak berlaku.

### **Pernyataan Ketersediaan Data**

Tidak berlaku.

### **Konflik Kepentingan**

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

### **Akses Terbuka**

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi International Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media dalam format apapun. Selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke Lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam Lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam Lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin untuk langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat lisensi ini kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### **Referensi**

- Abdi, C, Khair, R. M., & Hanifa, T. S. 2019. "Perencanaan Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Komunal Domestik Dengan Proses Anaerobic Baffled Reactor (Abr) Pada Asrama Ponpes Terpadu Nurul Musthofa Di Kabupaten Tabalong Kalimantan Selatan." <http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v5i1.6200>
- Adelia, Kiki Ayu, Bambang Suprpto, and Anita Rahmawati. 2022. "Studi Alternatif Perencanaan Sistem distribusi Air Bersihan Airlimbah Dgedung Neo Hotel Malang." <https://jim.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/16448>
- Amri, K, & P Wesen. 2019. "Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Bermedia Plastik (Bioball)." Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan.
- Bintang, Y. K. 2019. "Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Cair Hewan Ternak Sapi Pasa Model Satu Rumah Di Desa Argosari Kecamatan Jabung Kabupaten Malang." <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/171107/>
- Direktorat Pengembangan Kawasan Pemukiman. (2022). BUKU SAKU SANITASI. Tim Pelaksana Pengawasan dan Pengendalian Pusat Kegiatan IBM Direktorat PKP. <https://ibmpkp.pu.go.id/assets/public/07. BUKU SAKU SANITASI 2022.pdf>

- Fachrurozi, M., Utami, L. B., and Suryani, D. 2014. "Pengaruh Variasi Biomassa Pistia Stratiotes L. Terhadap Penurunan Kadar Bod, Cod, Dan Tss Limbah Cair Tahu Di Dusun Klero Sleman Yogyakarta." *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Journal of Public Health)* 4(1). <https://doi.org/10.12928/kesmas.v4i1.1100>
- Firdaus, Atras Gaumal, Azizah Rokhmawati, and Anita Rahmawati. "Studi Perencanaan Kolam Pengolahan Air Limbah Domestik Di Perumahan Podo Rukun Batu."
- Fitriyanti, R. 2020. "Karakteristik Limbah Domestik Di Lingkungan Mess Karyawan Pertambangan Batubara." *Jurnal Redoks* 5(2): 72. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.4305>
- Kolis, Ibnu, Eko Noerhayati, and Anita Rahmawati. 2022. "Studi Perencanaan Teknologi Red Beed Dalam Pengolahan Limbah Cair Di Perumahan Bumiasri Sengkaling Kabupaten Malang."
- Mardhia, Dwi, and Viktor Abdullah. 2018. "Studi Analisis Kualitas Air Sungai Brang Biji Sumbawa Besar." *Jurnal Biologi Tropis* 18(2): 182–89.
- Marhadi, M. 2016. "Analisis Sistem Penyaluran Air Buangan Domestik Dengan Off Site System." *Jurnal Civronlit Unbari* 1(1): 1. <http://dx.doi.org/10.33087/civronlit.v1i1.4>
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Fourth Edition. International Edition. New York: McGraw-Hill
- Mustasyar, M. A., Noerhayati, E., & Rahmawati, A. (2022). Studi Perancangan Tipikal Anaerobic Filter (Af) Untuk Instalasi Pengolahan Air Limbah Pasar Tradisional Blimbing, Kota Malang. Vol.13\_No.1. <https://repository.unisma.ac.id/handle/123456789/6694>
- Ni'am, Miqdad Kevin, Eko Noerhayati, Bambang Suprpto, and Anita Rahmawati. 2021. "Pengolahan Limbah Cair Domestik untuk Pemenuhan Air Bersih dengan Metode Filter serta Penetralkan dengan Eceng Gondok."
- Noerhayati, Eko, and Anita Rahmawati. 2021. "Pengolahan Limbah Cair Domestik Untuk Pemenuhan Air Bersih Dengan Metode Filter Serta Penetralkan Dengan Eceng Gondok." *JURNAL REKAYASA SIPIL*.
- Pratiwi, R. S., & Purwanti, I. F. P. I. F. (2015). Perencanaan sistem penyaluran air limbah domestik di Kelurahan Keputih Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), D40-D44. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v4i1.8909>
- Rahmawati, Anita, and Warsito -. 2020. "Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) untuk Menghasilkan Air Bersih di Perumahan Green Tombro Kota Malang." *Jurnal Rekayasa Hijau* 4(1): 1–8. <https://doi.org/10.26760/jrh.v4i1.1-8>
- Safitri, Annisa Mar'atus, Eko Noerhayati, and Anita Rahmawati. 2022. "Studi Pengolahan Air Limbah Irigasi Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (Vigna Radiata) Di Desa Sukoanyar Kec. Pakis Kab. Malang." <https://jim.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/16449>
- Said, N. I. 2018. "Teknologi Biofilter Anaerob-Aerob Untuk Pengolahan Air Limbah Domestik." *Pros. Semin. Nas. Dan Konsult. Teknol. Lingkung.*
- . 2019. "Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon." *Jurnal Air Indonesia*.
- Said, N. , and F. 2018. "Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam." *Jurnal Air Indonesia* 1(3).
- Santoso, A. 2015. "Perencanaan Pengolahan Air Limbah Media Biofilter (Studi Kasus : Kejawan Gebang Kelurahan Keputih Surabaya)."
- Sari, R. A. 2022. "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Di Desa Depok Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek."
- Sulistia, S., & Septisya, A. C. (2020). Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 12(1). <https://doi.org/10.29122/jrl.v12i1.3658>

**Biografi Penulis**

**HENDRA ROMADHON**, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

- Email: [hendraromadhon@gmail.com](mailto:hendraromadhon@gmail.com)
- ORCID:
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID:
- Homepage:

**EKO NOERHAYATI**, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

- Email:
- ORCID:
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID:
- Homepage:

**ANITA RAHMAWATI**, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

- Email:
- ORCID:
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID:
- Homepage: