

Perencanaan Desain Struktur Industri Pengolahan Kedelai (Studi Kasus: Pabrik Tahu di Sempusari Kecamatan Kaliwates Kabupaten Jember)

Firdaus Firmansyah¹, Senki Desta Galuh², Arief Alihudien³

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, Indonesia

³ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, Indonesia

Corresponding Author: firdausfirmansyah754@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan struktur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri pengolahan kedelai di Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember, sebagai upaya mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair hasil produksi tahu. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data produksi, pengukuran debit limbah cair, analisis karakteristik limbah berdasarkan parameter pH, BOD, COD, dan TSS, serta analisis mekanika tanah untuk menentukan daya dukung tanah sebagai dasar perencanaan struktur IPAL. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa limbah cair yang dihasilkan masih dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan sehingga berpotensi menurunkan kualitas badan air. Debit limbah cair yang diperoleh sebesar 0,4372 m³/hari dengan kandungan BOD dan COD yang melebihi baku mutu yang ditetapkan. Oleh karena itu, direncanakan sistem pengolahan limbah menggunakan kombinasi biofilter anaerob, biofilter aerob, dan constructed wetland yang dinilai efektif untuk menurunkan kadar pencemar. Selain itu, hasil analisis geoteknik menunjukkan bahwa tanah pada lokasi penelitian memiliki daya dukung yang memadai dengan faktor keamanan sebesar 3,11 sehingga aman untuk menopang struktur IPAL yang direncanakan. Perencanaan ini diharapkan dapat menjadi alternatif pengolahan limbah yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan bagi industri tahu skala kecil maupun menengah.

Kata Kunci: BOD; COD; Daya Dukung Tanah; IPAL; Penulangan

Abstract

This study aims to design the structure of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) for the soybean processing industry in Kaliwates Subdistrict, Jember Regency, as an effort to reduce environmental pollution caused by liquid waste from tofu production. The research stages included collecting production data, measuring wastewater flow rates, analyzing wastewater characteristics based on pH, BOD, COD, and TSS parameters, and conducting soil mechanics analysis to determine soil bearing capacity as the basis for WWTP structural design. The results of the observations showed that the wastewater generated is still discharged directly into the environment without treatment, thereby potentially degrading water body quality. The measured wastewater flow rate was 0.4372 m³/day, with BOD and COD levels exceeding established quality standards. Therefore, a wastewater treatment system combining anaerobic biofilters, aerobic biofilters, and a constructed wetland was planned, as this combination is considered effective for reducing pollutant levels. Furthermore, geotechnical analysis results indicate that the soil at the study site has adequate bearing capacity with a safety factor of 3.11, making it safe to support the planned wastewater treatment plant structure. This design is expected to serve as an effective, economical, and sustainable wastewater treatment alternative for small- and medium-scale tofu industries.

Keywords: BOD; COD; Soil Bearing Capacity; IPAL; Reinforcement



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. PENDAHULUAN

Tahu merupakan salah satu produk pangan berbahan baku kedelai yang sering dimanfaatkan oleh orang – orang karena biayanya murah dan nilai gizi yang melimpah. Sebagian besar pembuatan tahu di Indonesia berasal dari usaha skala kecil atau rumah tangga yang umumnya menggunakan teknologi sederhana dengan kapasitas produksi relatif terbatas. Dalam proses pembuatannya, industri tahu menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa ampas tahu masih dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak maupun bahan pangan olahan, sedangkan limbah cair yang berasal dari proses pencucian, perebusan, pengepresan, dan pencetakan tahu mengandung unsur organik dalam kadar yang tinggi dan berisiko menyebabkan pencemaran alam jika dibuang tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Limbah cair industri tahu memiliki kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang cukup tinggi. Tingginya kandungan bahan organik tersebut menyebabkan kebutuhan oksigen untuk proses penguraian oleh mikroorganisme meningkat, sehingga dapat menurunkan kualitas badan air penerima limbah. Selain itu, limbah hasil pengolahan kedelai sebenarnya masih memiliki potensi pemanfaatan yang cukup besar. Air kedelai masih mengandung protein, karbohidrat, dan mineral yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan atau pupuk organik cair, sedangkan ampas tahu mengandung protein dan serat yang berpotensi digunakan sebagai bahan pakan ternak maupun produk fermentasi lainnya.

Kabupaten Jember salah satu daerah yang memiliki cukup banyak industri tahu, termasuk di Desa Sempusari, Kecamatan Kaliwates. Sebagian besar industri rumah tangga di wilayah tersebut masih melepaskan air limbah secara langsung ke saluran tanpa melalui proses pengolahan yang baik. Situasi ini dapat berisiko menciptakan polusi lingkungan dan merusak kesehatan masyarakat di sekitarnya. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kadar BOD dan COD limbah cair industri tahu di Kabupaten Jember telah melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam peraturan lingkungan hidup, sehingga diperlukan upaya

pengelolaan dan pengolahan limbah yang lebih efektif untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu alternatif yang banyak diterapkan dalam pengolahan limbah cair industri tahu adalah sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berbasis proses biologis anaerobik karena memiliki efisiensi penyisihan bahan organik yang tinggi, biaya operasional relatif rendah, dan menghasilkan lumpur dalam jumlah sedikit. Oleh karena itu, diperlukan studi struktur IPAL pada industri pengolahan tahu di Desa Sempusari untuk mengetahui kondisi dan kinerja sistem yang direncanakan dalam menurunkan kadar pencemar seperti BOD, COD, TSS, dan pH. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perancangan sistem pengolahan limbah yang lebih efektif, ekonomis, dan berkelanjutan sehingga industri tahu tetap dapat berkembang tanpa menimbulkan dampak pencemaran terhadap lingkungan sekitar.

Pengolahan limbah cair dari industri tahu dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan fisik, kimia, atau biologis. Di antara berbagai alternatif yang tersedia, proses biologis anaerobik banyak dipilih karena memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan kandungan bahan organik dengan biaya operasional yang relatif rendah. Selain itu, sistem ini juga menghasilkan lumpur yang lebih sedikit dibandingkan metode pengolahan lainnya, sehingga lebih mudah dalam pengelolaan dan perawatannya. Salah satu upaya yang dapat diterapkan adalah pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang dirancang sesuai dengan karakteristik limbah cair industri tahu. Oleh karena itu, diperlukan studi struktur IPAL pada industri pengolahan tahu di Desa Sempusari untuk mengetahui kondisi eksisting, kebutuhan dimensi struktur, serta efektivitas sistem pengolahan yang direncanakan dalam menurunkan kadar pencemar seperti BOD, COD, TSS, dan pH. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi perancangan sistem pengolahan limbah yang lebih efektif, ekonomis, dan berkelanjutan sehingga industri tahu tetap dapat berkembang tanpa menimbulkan dampak pencemaran terhadap lingkungan sekitar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya terhadap Material Struktur Industri pengolahan kedelai, khususnya industri tahu skala kecil, secara konsisten menghasilkan limbah cair dalam volume besar yang bersumber dari proses pencucian, perebusan, pengepresan, hingga pencetakan. Limbah cair ini dikategorikan sebagai limbah *biodegradable* yang kaya akan kandungan bahan organik terlarut, dicirikan oleh tingginya kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta *Total Suspended Solids* (SS/TSS) yang kerap kali melampaui ambang batas baku mutu lingkungan. Secara kimiawi, dekomposisi alami bahan organik dalam limbah tahu cenderung menghasilkan senyawa asam, seperti asam laktat dan asam asetat, sehingga menurunkan tingkat keasaman (pH) limbah menjadi asam. Karakteristik limbah yang bersifat asam ini memberikan dampak destruktif yang signifikan terhadap material konstruksi di sekitarnya. Paparan cairan limbah secara terus-menerus dapat memicu erosi perlahan dan degradasi pada material beton, sekaligus mempercepat laju korosi pada komponen logam, termasuk pipa, rangka baja, dan baja tulangan di dalam beton. Akibatnya, integritas struktural bangunan penampung atau pengolah limbah rentan mengalami retak dan penurunan kekuatan jangka panjang apabila tidak didesain dengan material yang tahan korosi.

Untuk mereduksi beban polutan organik sebelum dilepas ke badan air, perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan sangat mutakhir untuk diterapkan pada industri skala kecil. Salah satu sistem yang efektif adalah sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) yang dikombinasikan dengan unit pengolahan biologis awal. Sistem biologis anaerobik-aerobik (seperti bak penampung sedimentasi, biofilter anaerob, dan biofilter aerob) dipilih karena memiliki keunggulan berupa biaya operasi dan perawatan yang relatif murah, minimnya produksi lumpur, serta efisiensi penyisihan zat organik yang tinggi mencapai 90–95%. Sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan, struktur IPAL ini diintegrasikan dengan konsep bangunan ramah lingkungan (*Green Building*) yang berfokus pada efisiensi penggunaan lahan, konservasi air melalui pengelolaan air limbah yang berkelanjutan, serta siklus material yang ramah lingkungan.

Selain efektivitas penurunan kadar polutan, keamanan fisik dari struktur IPAL itu sendiri harus dijamin melalui analisis geoteknik yang komprehensif. Perilaku dan stabilitas tanah di lokasi rencana pembangunan dievaluasi berdasarkan parameter kuat geser internal tanah—termasuk nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), berat isi tanah (γ), dan kedalaman fondasi (D_f)—

menggunakan pendekatan teori klasik daya dukung Karl Terzaghi. Perhitungan parameter mekanika tanah di laboratorium sangat krusial untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung izin (q_a) tanah lebih besar atau sama dengan beban struktural yang disalurkan oleh fondasi. Dengan terpenuhinya kriteria daya dukung ini, risiko kegagalan struktural akibat keruntuhan geser (*shear failure*) maupun penurunan tanah secara berlebihan (*excessive settlement*) selama masa operasional IPAL dapat dieliminasi, sehingga menjamin keberlanjutan fungsi fasilitas pengolahan limbah dalam jangka panjang. Perhitungan penulangan juga penting untuk mengetahui kekuatan dan stabilitas struktur.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis berbasis eksperimen laboratorium dan rekayasa teknik sipil-lingkungan. Studi kasus dilaksanakan di sebuah industri rumah tangga pengolahan kedelai (pabrik tahu) yang terletak di Desa Sempusari, Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember. Seluruh rangkaian kegiatan, mulai dari observasi lapangan, pengambilan sampel, pengujian laboratorium, hingga pemodelan dan analisis struktur dilaksanakan pada periode tahun 2026.

Pengumpulan informasi dalam studi ini dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu data utama dan data tambahan. Data utama didapatkan secara langsung melalui observasi kondisi eksisting lokasi studi, pengukuran debit harian air limbah menggunakan metode neraca massa (berdasarkan volume air bersih yang dikonsumsi selama proses produksi), serta pengambilan sampel air limbah industri dan air sungai di sekitar outlet pembuangan. Lokasi geografis wilayah studi, studi literatur mengenai penelitian terdahulu, serta dokumen regulasi lingkungan hidup yang berlaku.

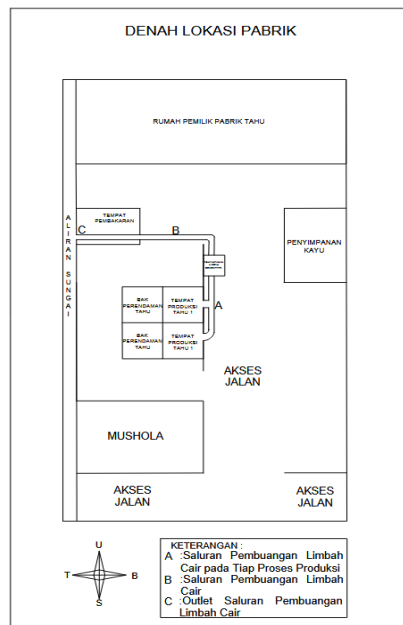
Penelitian ini bertempat di Sempusari Kecamatan Kaliwates Kabupaten Jember. Pengambilan contoh air buangan dilakukan di pabrik tahu. Analisis air buangan dilakukan di laboratorium. Gambar bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta Lokasi Pembuatan Industri Tahu

Sumber : Google Maps, 2026

Variabel yang dianalisis dalam studi ini mencakup tingkat pencemaran air limbah yang dinilai berdasarkan parameter BOD, parameter COD, parameter pH dan parameter TDS, dalam limbah cair yang ada di industri tahu Sempusari, selain itu juga membutuhkan data pengukuran pabrik di Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember. Lalu dilakukan pengambilan data luas lahan pabrik untuk mendukung perencanaan operasional yang efisien dan memastikan kepatuhan terhadap regulasi. Layout pabrik bisa dilihat pada gambar 2 tentang Layout Pabrik.



Gambar 2 Denah Lokasi Pabrik Tahu

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2026

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Debit Air Limbah

Limbah cair yang berasal dari proses penggumpalan sebagian ditampung dalam wadah dan dimanfaatkan kembali pada proses produksi berikutnya. Sementara itu, limbah cair yang tidak digunakan kembali dialirkan melalui saluran pembuangan dan langsung masuk ke sungai tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Untuk limbah padat berupa ampas tahu, seluruhnya dimanfaatkan sebagai pakan ikan lele. Industri tahu yang menjadi objek penelitian beroperasi setiap hari dengan total penggunaan bahan baku kedelai sebanyak 50 kg per hari yang diolah dalam dua kali proses pemasakan.

Besarnya debit limbah cair dihitung berdasarkan jumlah kebutuhan air selama proses produksi tahu. Perhitungan ini mengacu pada penelitian Romli dan Suprihatin (2009) yang menyatakan bahwa sekitar 15% air yang digunakan akan tertahan pada ampas tahu, sedangkan sisanya menjadi limbah cair.

Pengukuran kebutuhan air dilakukan dengan mencatat volume air yang digunakan pada setiap tahapan produksi, mulai dari perendaman kedelai hingga proses pencetakan tahu. Hasil pengamatan lapangan dan informasi dari pemilik usaha mengenai kebutuhan air pada setiap tahapan produksi disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Perkiraan Kebutuhan Air Untuk 25 Kg Kedelai

Proses	Kebutuhan Air (Liter)
Perendaman Kedelai	40
Pencucian	25
Pengilingan	10,1
Pemasakan	72,5
Penyaringan	56,2
Pengepresan	7,88
Penggumpalan	10,2
Perendaman Tahu	25,5
Lain - Lain	20
Total	257,18

Sumber : Hasil Pengamatan, 2026

Dari tabel di atas terdapat beberapa tahapan yang menghasilkan limbah cair. Namun air yang ditambahkan dalam proses produksi tidak dibuang secara langsung karena air tersebut digunakan untuk proses penggumpalan dan ada pula yang dimanfaatkan kembali. Apabila 85% kebutuhan air akan menjadi limbah cair, maka akan didapatkan :

$$\begin{aligned}
 &\text{Kapasitas produksi satu hari} \\
 &= 50 \text{ kg (2 kali pemasakan) Limbah cair} \\
 &= (257,18 \text{ liter} \times 2) \times 85\% \\
 &= 437,21 \text{ lt/hari} = 0,43721 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 18,22 \text{ lt/jam}
 \end{aligned}$$

Sedangkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Romli&Suprihatin di beberapa pabrik tahu, didapatkan rata – rata tiap kg kedelai yang diolah menghasilkan 17,3 L limbah cair, maka akan didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 &\text{Kapasitas produksi satu hari} \\
 &= 50 \text{ kg Limbah cair} \\
 &= 17,3 \text{ lt} \times 50 \text{ kg} \\
 &= 865 \text{ lt/hari} = 0,865 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan debit limbah cair diatas terdapat adanya perbedaan yang dapat disebabkan oleh banyak factor yang menyangkut teknik dalam proses produksi. Beberapa factor tersebut seperti adanya perbedaan penambahan air pada masing – masing proses produksi, perbedaan teknologi yang digunakan dalam produksi tahu, Tingkat kebersihan kedelai, dan lain sebagainya. Sehingga dari dua perhitungan di atas akan dipilih debit limbah cair sebesar 0,43721 m³/hari yang lebih sesuai dengan kondisi yang terjadi di lapangan.

Hasil Analisis Limbah Cair Pada Sampel Kedelai

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Mojokerto, diperoleh data kualitas limbah cair industri tahu yang kemudian dibandingkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Pengujian dilakukan terhadap dua sampel limbah cair yang berasal dari home industri tahu di Desa Sempusari, Kecamatan Kaliwates. Tabel 2 menyajikan baku mutu limbah cair usaha pengolahan kedelai sesuai peraturan yang berlaku, sedangkan Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian laboratorium limbah cair yang diperoleh dari lokasi penelitian.

Tabel 2. Baku Mutu Limbah Usaha Kegiatan Pengolahan Kedelai

Parameter	Tabel 2 Baku Mutu Limbah Usaha Kegiatan Pengolahan Kedelai					
	Kecap			Tempe		
	Kadar (mg/l)	Beban (kg/ton)	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	1,5	150	3	150	1,5
COD	300	3	300	6	300	3
TSS	100	1	200	4	100	1
pH	6 - 9					
Kualitas Air Limbah Paling Tinggi (m ³ /ton)	10		20		10	

Sumber : PERMEN LH RI No 5 Tahun 2014

Tabel 3. Hasil Laboratorium Pengujian Limbah Cair

Tabel 3 Hasil Laboratorium Pengujian Limbah Cair				
NO.	PARAMETER	METODE PENGUJIAN	UNIT	HASIL PENGUJIAN
1.	Derajat Keasamaan (pH)	SNI 6989.11-2019	-	3,62
2.	Temperatur	SNI 06-6989.23-2025	°C	28,0
3.	Padatan Tersuspensi Total (TSS)	SNI 6989.3-2019	mg/l	141,0
4.	Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD)	SNI 6989.72-2009	mg/l	2104
5.	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	SNI 6989.2-2019	mg/l	5239

Sumber : Hasil Laboratorium, 2026

Dari persyaratan PERMEN LH RI No 5 Tahun 2014 di atas menunjukkan bahwa sampel limbah Cair tersebut berada pada kondisi melewati ambang batas yang sudah ditentukan oleh pemerintah, maka limbah cair dari proses pengolahan kedelai harus diolah terlebih dahulu sebelum di buang ke badan Sungai.

Proses Perlingkupan Kegiatan

Penampisan wajib Analisa Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) mengacu pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2019 mengenai jenis rencana usaha dan/atau kegiatan yang wajib memiliki AMDAL. Penentuan kategori dokumen lingkungan, baik AMDAL, UKL-UPL, maupun SPPL, dilakukan oleh instansi yang membidangi lingkungan hidup sesuai kewenangannya. Oleh karena itu, setiap rencana usaha atau kegiatan wajib diklasifikasikan berdasarkan tingkat dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Kategori usaha industri

pengolahan kedelai di Desa Sempusari, Kecamatan Kaliwates, disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jenis Usaha Industri Pengolahan Kedelai Sempusari Kec. Kaliwates

Tabel 4 Jenis Usaha Industri Pengolahan Kedelai Sempusari Kec. Kaliwates		
No.	Jenis Kegiatan	Skala / Besaran
1.	Luas area	< 25 ha
2.	Pengambilan air bawah tanah (sumur tanah dangkal, sumur tanah dalam)	± 5000 L/hari (Sumur milik sendiri)
3.	Pengambilan bangun gedung :	
	Luas lahan	- 1 ha
	Bangunan	- 10 m2

Sumber : PERMEN LH RI Nomor 5 Tahun 2019

Metode Analisa Dampak

Analisis dampak air limbah merupakan metode yang digunakan untuk menilai pengaruh pembuangan limbah terhadap lingkungan perairan. Analisis dilakukan melalui pengukuran beberapa parameter kualitas air, seperti pH, Total Suspended Solid (TSS), Biological Oxygen Demand (BOD), dan Chemical Oxygen Demand (COD). Selain aspek kualitas air, dampak terhadap kondisi sosial, ekonomi, kesehatan masyarakat, dan lingkungan sekitar juga perlu diperhatikan. Untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi dampak yang terjadi, digunakan matriks analisis yang disajikan pada bagian berikut.

- Penentuan Ukuran Dampak Aspek Sosial – Ekonomi dan Kesehatan Masyarakat

Sifat Penting dampak ditentukan dengan melihat interaksi antara Tingkat kerawanan dampak dengan peluang kejadian dampak seperti ditunjukkan pada matriks ini :

		Sensitivitas Penerima Dampak		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Sosial - Ekonomi	Diabaikan	Sangat Rendah	Rendah	Rendah
	Kecil	Sangat Rendah	Sedang	Sedang
	Sedang	Rendah	Tinggi	Tinggi
	Besar	Medium	Tinggi	Sangat Tinggi

Dalam beberapa kasus, estimasi dampak dari aspek social, ekonomi dan kesehatan Masyarakat tidak dapat diukur secara kuantitatif. Oleh karena itu, beberapa kriteria dan definisi dampak digunakan secara khusus dalam evaluasi dampak penting dari aspek social, ekonomi dan Kesehatan masyarakat yang bersifat hipotesis.

- Dampak Penting Akibat Limbah Cair yang dibuang langsung ke badan air Sungai:

		Intensitas Dampak			
		Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Lingkungan Sekitar	Lokal	Diabaikan	Rendah	Sedang	Sedang
	Regional	Rendah	Sedang	Tinggi	Sedang
	Global	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi

Salah satu meminimalisir dampak yang ditimbulkan dapat diatasi salah satunya dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Prinsipnya, limbah cair dari proses pengolahan kedelai yang berpotensi membahayakan lingkungan akan dikumpulkan dan

diolah menjadi produk yang bermanfaat bagi Masyarakat, seperti pakan ternak dan biogas alami.

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dilakuka di area depan percobaan rumah industry pengolahan kedelai yang terletak di Sempusari Kabupaten Jember. Penelitian dimensi IPAL disesuaikan dengan debit limbah yang dihasilkan, Dimana laju limbah yang dihasilkan mengikuti dimensi filter yang ada. Menggunakan sistem lahan basah buatan merupakan teknologi pengolahan limbah yang memenuhi kriteria yang relative rendah dan berwawasan lingkungan yang berdasarkan konsep lahan basah alami (Kadlec dan Wallace, 2009). Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebagai berikut :

A. Perhitungan Debit Air Limbah

Kapasitas produksi satu hari :

$$\begin{aligned} &= 50 \text{ kg (2 kali pemasakan) Limbah cair} \\ &= (257,18 \text{ liter} \times 2) \times 85\% \\ &= 437,21 \text{ lt/hari} = 0,4372 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 18,22 \text{ lt/jam} \end{aligned}$$

B. Kapasitas IPAL rencana

Kapasitas desain yang direncanakan :

$$\begin{aligned} \text{BOD air limbah} &: 2104 \text{ mg/l} \\ \text{TSS air limbah} &: 141,0 \text{ mg/l} \\ \text{Total efisiensi pengolahan} &: 90 - 95\% \\ \text{BOD air olahan} &: 2104 - (95\% \times 2104) : 2104 - 1998,8 : 105,2 \text{ mg/l} \\ \text{TSS air olahan} &: 141,0 \text{ mg/l} - (95\% \times 141,0) : 141,0 - 133,95 : 7,05 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

C. Perhitungan Desain

- Bak Penampung Total

$$\begin{aligned} \text{Debit air limbah} &: 18,22 \text{ lt/jam} \\ \text{BOD masuk} &: 2104 \text{ mg/l} \\ \text{Efisiensi} &: 25\% \\ \text{BOD keluar} &: 1578 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Standard partikel air limbah kedelai pengolahan tahu turun : 0,054 mm/ detik

$$\text{Rumus Waktu tinggal} : \text{HRT} = V/Q$$

V = volume bak penampung sedimen

Q = volume air limbah dalam bak sedimen

$$\begin{aligned} \text{Dimensi di tetapkan} &: \\ \text{Lebar} &: 1 \text{ m} \\ \text{Kedalaman air efektif} &: 0,7 \text{ m} \\ \text{Panjang} &: 1 \text{ m} \\ \text{Tinggi ruang bebas} &: 0,2 \text{ m} \\ \text{Kontruksi} &: \text{Beton K300} \\ \text{Tebal dinding} &: 15 \text{ cm} \end{aligned}$$

Chek :

$$\begin{aligned} \text{Volume} &: 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \\ &: 0,7 \text{ m}^3 \\ &: 700 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal} &: \text{HRT} = V/Q \\ &: \text{HRT} = 700 / 18,22 \\ &: 38,41 \text{ jam} \end{aligned}$$

Dikarenakan waktu tinggal melebihi 24 jam maka untuk Bak penampung total akan di buat 2 buah dengan volume yang sama.

- Bak sedimen

$$\begin{aligned} \text{Debit air limbah} &: 18,22 \text{ lt/jam} \\ \text{BOD masuk} &: 1578 \text{ mg/l} \\ \text{Efisiensi} &: 80\% \\ \text{BOD keluar} &: 315,6 \text{ mg/l} \\ \text{Standard partikel air limbah kedelai pengolahan tahu turun} &: 0,054 \text{ mm/ detik} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus Waktu tinggal} : \text{HRT} = V/Q$$

V = volume bak penampung sedimen

Q = volume air limbah dalam bak sedimen

$$\begin{aligned} \text{Dimensi di tetapkan} &: \\ \text{Lebar} &: 0,5 \text{ m} \\ \text{Kedalaman air efektif} &: 0,3 \text{ m} \\ \text{Panjang} &: 0,6 \text{ m} \\ \text{Tinggi ruang bebas} &: 0,2 \text{ m} \\ \text{Kontruksi} &: \text{Beton K300} \\ \text{Tebal dinding} &: 15 \text{ cm} \\ \text{Chek} &: \\ \text{Volume} &: 0,5 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \\ &: 0,12 \text{ m}^3 \\ &: 120 \text{ liter} \\ \text{Waktu tinggal} &: \text{HRT} = V/Q \\ &: 120 / 18,22 \\ &: 6,58 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Biofiller Anaerob

$$\begin{aligned} \text{Debit air limbah} &: 18,22 \text{ lt/jam} \\ \text{BOD masuk} &: 315,6 \text{ mg/l} \\ \text{Efisiensi} &: 60\% \\ \text{BOD keluar} &: 126,24 \text{ mg/l} \\ \text{Standard partikel air limbah kedelai pengolahan tahu turun} &: 0,054 \text{ mM/ detik} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus Volume} : V = Q \times \text{HRT}$$

HRT = waktu tinggal

Q = volume air limbah dalam bak sedimen

$$\begin{aligned} \text{Chek} &: \\ \text{Volume} &: Q \times \text{HRT} \\ &: 18,22 \times 6,58 \\ &: 119,9 \text{ liter / jam} \\ &: 119,9 / 1000 \\ &: 0,1199 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimensi di tetapkan :

$$\begin{aligned} \text{Lebar} &: 0,5 \text{ m} \\ \text{Kedalaman air efektif} &: 0,3 \text{ m} \\ \text{Panjang} &: 0,6 \text{ m} \\ \text{Tinggi ruang bebas} &: 0,2 \text{ m} \\ \text{Kontruksi} &: \text{Beton K300} \\ \text{Tebal dinding} &: 15 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Biofiler Aerob

$$\begin{aligned} \text{Debit air limbah} &: 18,22 \text{ lt/jam} \\ \text{BOD masuk} &: 126,24 \text{ mg/l} \\ \text{Efisiensi} &: 40\% \\ \text{BOD keluar} &: 75,744 \text{ mg/l} \\ \text{1 kg BOD butuh} &\pm 1,2 \text{ kg oksigen} \end{aligned}$$

Standard partikel air limbah kedelai pengolahan tahu turun : 0,054 mm/ detik

Selisih BOD : 126,24 – 75,744 = 50,496 mg/l

Beban BOD perjam : 18,22 lt/jam x 50,496 mg/l = 920,03 mg/jam

Beban BOD : 0,92 g/jam

Kebutuhan O_2 : $1,2 \times 0,92 \text{ g/jam} = 1,10 \text{ gram } O_2 / \text{jam}$

Menggunakan amsumsi efisiensi transfer oksigen (SOTE) 10% dan kandungan oksigen udara 0,299 kg O_2/m^3

Kebutuhan udara teoritis : $1,10 / (299 \times 0,10) = 0,036 m^3/\text{jam}$

Faktor keamanan SF(2,0) : $0,036 \times 2 = 0,072 m^3/\text{jam}$

Konversi ke liter : 1,2 L/menit

Rumus Volume : $V = Q \times \text{HRT}$

HRT = waktu tinggal

Q = volume air limbah dalam bak sedimen

Chek :

Volume : $Q \times \text{HRT}$
: $18,22 \times 6,58$
: 119,9 liter / jam
: $119,9 / 1000$
: 0,1199 m^3

Dimensi di tetapkan :

Lebar : 0,5 m

Kedalaman air efektif : 0,3 m

Panjang : 0,6 m

Tinggi ruang bebas : 0,2 m

Konstruksi : Beton K300

Tebal dinding : 15cm

Berdasarkan dimensi dan bak beton k300 dengan kedalaman air efektif 0,2 m, maka menggunakan tipe P20 Diaphragm Pump , dengan spesifikasi sebagai berikut, diaphragm pump disajikan pada Gambar 3 :



Gambar 3 Diaphragm Pump

Sumber : Fluimac Indonesia

Spesifikasi :

Fluid Connections : 3/8" BSP

Air Connections : 6 mm

Max. Flow rate : 20 lt/menit

Max air pressure : 7 bar

Max delivery head : 70 m

Max suction lift dry : 5 m

Max suction lift wet : 9,8 m

Max solid passing : 2,5 m

Noise level : 65 dB

Max viscosity : 10.000 cps

Displacement per stroke : 30 cc

- Sedimen Akhir

Debit air limbah : 18,22 lt/jam

BOD masuk : 75,744 mg/l

BOD keluar : 75,744 mg/l

Standard partikel air limbah kedelai pengolahan tahu turun : 0,054 mm / detik

Rumus Volume : $V = Q \times \text{HRT}$

HRT = waktu tinggal

Q = volume air limbah dalam bak sedimen

Chek :

Volume : $Q \times \text{HRT}$
: $18,22 \times 6,58$
: 119,9 liter / jam
: $119,9 / 1000$
: 0,1199 m^3

Dimensi di tetapkan :

Lebar : 0,5 m

Kedalaman air efektif : 0,3 m

Panjang : 0,6 m

Tinggi ruang bebas : 0,2 m

Konstruksi : Beton K300

Tebal dinding : 15cm

- Bak Lahan Basah

Dimensi di tetapkan :

Lebar : 0,5 m

Kedalaman air efektif : 0,3 m

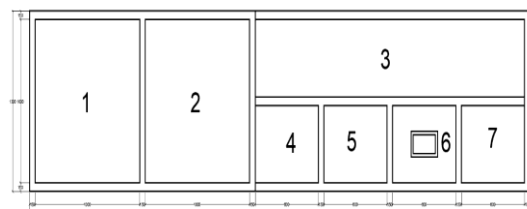
Panjang : 2,4 m

Tinggi ruang bebas : 0,2 m

Konstruksi : Beton K300

Tebal dinding : 15cm

Dari data di atas dapat di gambar kan atau di detailkan sebagai berikut. Adapun detail IPAL di sajikan pada gambar 4.



Gambar 4 Gambar Detail IPAL

Sumber : Hasil Perhitungan, 2026

Gambar 4 menunjukkan detail rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang direncanakan berdasarkan hasil perhitungan debit limbah dan karakteristik limbah cair tahu. Sistem IPAL terdiri dari beberapa unit pengolahan yang saling terhubung, yaitu bak penampung, biofilter anaerob, biofilter aerob, dan constructed wetland. Setiap unit dirancang untuk mengurangi kandungan pencemar secara bertahap sehingga kualitas air limbah yang dihasilkan memenuhi baku mutu lingkungan. Dimensi masing-masing unit ditentukan berdasarkan jumlah limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi tahu. Selain itu, perencanaan struktur juga mempertimbangkan kondisi tanah di lokasi pembangunan agar bangunan IPAL dapat beroperasi dengan aman dan stabil. Dengan adanya sistem IPAL yang direncanakan, diharapkan limbah cair yang dihasilkan dapat diolah secara efektif sebelum dibuang ke lingkungan sehingga dapat mengurangi risiko pencemaran perairan di sekitar lokasi penelitian.

Perhitungan Struktur Tanah

Perhitungan struktur tanah merupakan tahap penting dalam perencanaan konstruksi untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menahan beban bangunan yang akan didirikan. Analisis ini dilakukan dengan mengevaluasi karakteristik tanah, seperti daya dukung, kohesi, dan kuat geser, sehingga dapat diketahui tingkat kestabilan tanah terhadap beban yang bekerja. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian tanah, yaitu boring, analisis hidrometer, *liquid limit*, *plastic limit*, dan *direct shear*. Hasil pengujian kemudian diolah untuk menentukan daya dukung tanah sebagai dasar perencanaan struktur IPAL. Gambar 5 menunjukkan proses pengambilan sampel tanah menggunakan alat boring.



Gambar 5 Pengambilan Sampel

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2026

Dari serangkaian praktikum yang dilakukan, di dapat sampel tanah yang menunjukkan sampel tanah lempung, tanah lempung sendiri lebih kuat untuk menahan pondasi di atasnya di bandingkan

dengan tanah pasir. Apabila data hasil uji tersebut dikorelasikan dengan standar atau standar referensi (SNI 03-3420-1994). Standar ini menguraikan metode pengujian kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase. Metode ini digunakan untuk mengukur parameter kuat geser dan sudut geser tanah tidak terganggu dan terganggu guna desain struktur geoteknik. Berikut saya tampilkan hasil pengujian dengan tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian

Hasil Pengujian		Satuan
Kehilangan	4,18	%
Spesifik Gravity (GS)	2,54	-
PI	21,12	%
Nilai Liquid Limit (LL)	61,12	%
Nilai Plastis Limit (PL)	40,00	%
LL > 30	31,12	%
PL ≥ LL-30	Termasuk jenis tanah lempung	
KALIBRASI	1,650	Kpa
C	4,79	
Tan	0,14	Kemiringan
φ	0,14	rad
φ	7,79	°

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel di atas di dapat nilai kehilangan tanah sebanyak 1,48 %, nilai Specific Gravity (GS) 2,58, nilai PI 21,12%, nilai Liquid Limit (LL) 61,12%, nilai Plastis Limit (PL) 40,00 %, nilai kalibrasi 1,650, nilai C 4,79 Kpa, nilai tan 0,14 kemiringan, nilai φ 0,14 rad dan nilai sudut geser (φ) 7,79 °. Setelah mendapatkan data di atas, selanjutnya kita hitung berat air dan berat struktur untuk menentukan daya dukung IPAL, setelah menentukan daya dukung IPAL lalu kita menentukan daya dukung tanahnya, supaya bangunan IPAL tersebut aman dan tidak terjadi penurunan tanah. Berat air di dalam konstruksi IPAL tersebut 10 kN dan untuk berat struktur beton nya di dapat 23,027 kN jadi total berat air dan berat struktur beton di dapat 33,027 kN. Setelah menemukan total dari berat air dan berat struktur nya setelah itu menghitung daya dukung tanah dengan rumus Terzaghi (1943). Rumus Terzaghi dapat dilihat dibawah ini.

$$q_{ult} = cN_c S_c + qN_q + 0.5\gamma B N_{\gamma} S_{\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

For strip round square

$$S_c = 1.0 \quad 1.3 \quad 1.3$$

$$S_{\gamma} = 1.0 \quad 0.6 \quad 0.8$$

Setelah mendapatkan q_{ult} sebesar 43,499 kN/m², hasil tersebut di bagi dengan Safety Factor (SF) sebesar 3 dan didapatkan hasil sebesar 14,500 kN/m². q_0 di dapat dari total berat (q) = 33,027 kN di bagi dengan luas penahan sebesar 7,085m² didapatkan q_0 nya Adalah 4,662 kN/m² lalu kita cek $q_0 < q_{ult}$, jadi nilai 4,662kN/m² < 14,500 kN/m² jadi OK. Dengan rumus yang kedua $SF = \frac{q_{ult}}{q_0} = \frac{14,500}{4,662} = 3,11$ dengan Safety Factor (SF) sebesar 3 maka nilai SF tersebut harus lebih besar, jadi nilai 3,11 > 3 maka OK.

Perhitungan Plat dan Pembesian

Momen ultimet (M_u) adalah momen lentur terbesar atau maksimum yang bekerja pada suatu penampang struktur (seperti balok, kolom, atau pelat) akibat beban luar yang telah dikalikan dengan faktor beban tertentu. Dalam metode desain kekuatan batas (*ultimate strength design*), momen ultimet merupakan representasi dari kondisi pembebanan paling ekstrem yang diantisipasi akan diterima oleh struktur selama masa layannya. Perhitungan Nilai momen ultimet terdapat pada table 6.

Tabel 6 Perhitungan Nilai Momen Ultimet

L	5,45	m
Beban Air	10	kN/m (Beban Hidup)
Beban Struktur	125,496	kN/m (Beban Mati)

(Sumber : Hasil Perhitungan Penulis, 2026)

Menggunakan SNI 1727 – 2020 merupakan standar nasional yang krusial dalam perencanaan struktur bangunan di Indonesia, karena mengatur secara detail mengenai tata cara perencanaan pembebanan minimum untuk bangunan gedung dan struktur lain. Dapat di lihat pada Gambar 6.

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L, \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L, \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L, \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$

Gambar 6 SNI 1727 – 2020

(Sumber : SNI, 2020)

Rumus yang dipakai adalah rumus yang kedua $1,2D + 1,6L + 0,5 (L, \text{ atau } S \text{ atau } R)$ di dapatkan hasilnya 166,595 Kn/m. Momen ultimet di dapatkan dengan rumus $M_{maks} = (wl^2)/24$ di dapatkan hasil Momen ultimet (M_u) = 206,179 kNm dan untuk nilai V_u di dapat 453,972 kN.

Desain tulangan lentur merupakan salah satu tahapan krusial dalam perencanaan struktur beton bertulang, yang bertujuan untuk memastikan sebuah komponen struktur seperti balok atau pelat lantai mampu menahan beban momen lentur akibat beban luar. Prinsip dasar dari desain ini memanfaatkan kerja sama yang sinergis antara dua material beton yang sangat kuat dalam menahan gaya tekan, dan baja tulangan yang memiliki kekuatan tinggi dalam menahan gaya tarik.

Perhitungan desain tulangan lentur terdapat pada tabel 6.

Tabel 6 Perhitungan Tulangan Lentur

Desain Tulangan Lentur			
β_1	0,85		
β_{1-1}	$0,85 - 0,008(f_c - 30)$		
Momen		Bottom Slab	
Concrete compressive strength	f_c	206	kN/m
Reinforcement yield strength	f_y	420	MPa
Section width	b	5450	mm
Section Height	h	150	mm
Cover to center of steel bars	d_c	46,5	mm
Section effective depth	d	$h - d_c$	103,5 mm
	β_1	0,85	
Strength reduction factor	ϕ	0,9	
Moment Ultimate	M_u	206	kNm
Strain of Concrete	ϵ_c	0,003	
	a	$d - \frac{d^2 - 2 \cdot M_u}{\phi \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot b}$	17,37
	c	a/β_1	20,44
	ϵ_y	$0,003 \cdot ((d/c) - 1)$	0,012
Inertia Gross	I_g	1532812500	mm ⁴
Variability Factor Flexure	γ_f		
Minimum area of reinforcement	A_{smin}	$(0,0018 \cdot b \cdot h)$	1471,50 mm ²
Area of reinforcement	A_s	$\frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot (d - 0,5 \cdot a)}$	5747,77
Requirement area of reinforcement	A_{sreqd}	$\max(A_{smin}, A_s)$	5747,77 mm ²
Bar diameter of reinforcement	D		13 mm
Area of bar diameter	A_{sbar}	$\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$	132,73 mm ²
Number of reinforcement	n_{bar}		53
Use area of reinforcement	A_{sused}	$A_{sreqd} \cdot n_{bar}$	7034,81 mm ²
Check Reinforcement	Cek	$A_{sused} \geq A_{sreqd}$	OK
Moment Capacity	M_n	$A_s \cdot f_y \cdot d - \frac{a}{2}$	274,40 kNm
Total moment capacity	ϕM_n	ϕM_n	246,96 kNm
Check Moment Capacity	Cek	$M_u \leq \phi M_n$	OK
Provided bars			53-D13
Bar Spacing			150,00 mm
			DCR 101,5

(Sumber : Hasil Perhitungan Penulis, 2026)

Hasil Perhitungan di dapatkan $b = 5450$ mm , $h = 150$ mm, $d_c = 46,5$ mm, $d = 104$ mm, $f_y = 420$ Mpa, $f_c = 30$ Mpa, $D_{tul} = 13$ mm, $n_{tul} = 53$ pcs, $A_{smin} = 1471,50$ mm², $A_{stul} = 7034,81$ mm², $a = 21,26$ mm, $M_n = 274,40$ kNm, $\phi M_n = 246,96$ kNm, $M_u = 206,00$ kNm, Rasio kapasitas 0,834 dan Design Tulangan = D13.

Tulangan pembagi (atau sering disebut juga sebagai tulangan bagi atau *shrinkage and temperature reinforcement*) pada *bottom slab* (plat lantai bawah/basement pada struktur box culvert, dinding penahan tanah, atau fondasi rakit) adalah baja tulangan yang dipasang tegak lurus dengan tulangan utama (tulangan lentur). Hasil perhitungannya dapat lihat pada tabel 7.

Tabel 7 Perhitungan Tulangan Pembagi

Tulangan Pembagi			
Section Properties			
Section width	b	1300	mm
Section Height/m	h	150	mm
Tulangan Pembagi			
Minimum area of reinforcement	A_{smin}	351	mm ²
Bar diameter of reinforcement	D	8	mm
Area of bar diameter	A_s	50,265	50,265 mm ²
Use number of reinforcement	n_{use}	8	8
Spacing between reinforcement	s	150	150 mm
Total use area of reinforcement	A_{suse}	810,950	mm ²
Provide Bars		D8-150	D8-150
Cek reinforcement	$A_{suse} \geq A_{smin}$	OK	

(Sumber : Hasil Perhitungan Penulis, 2026)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis yang telah dilakukan, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri tahu dirancang menggunakan kombinasi sistem pengolahan biologis dan lahan basah buatan (*Constructed Wetland*) dengan kapasitas pengolahan limbah sebesar 0,4372 m³/hari. Rangkaian unit pengolahan meliputi bak penampung, bak

sedimentasi, biofilter anaerob, dan biofilter aerob yang dirancang menggunakan konstruksi beton K-300 sehingga mampu memberikan kekuatan struktur yang memadai. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur yang direncanakan memenuhi persyaratan keamanan dengan nilai *Safety Factor* sebesar 3,11 yang lebih besar dari nilai minimum yang dipersyaratkan. Sistem pengolahan yang dirancang juga mampu menurunkan kadar pencemar secara signifikan, ditunjukkan dengan penurunan nilai BOD dari 2104 mg/L menjadi 105,2 mg/L dan TSS dari 141,0 mg/L menjadi 7,05 mg/L sehingga telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Selain itu, penerapan konsep *green building* pada perencanaan IPAL diharapkan dapat mendukung pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Untuk menjaga kinerja sistem dalam jangka panjang, pengoperasian dan pemeliharaan IPAL perlu dilakukan secara optimal agar kualitas effluent tetap memenuhi baku mutu lingkungan. Mengingat limbah cair tahu memiliki sifat asam yang dapat mempercepat proses korosi, bagian dalam bak beton disarankan dilengkapi dengan lapisan pelindung seperti *coating* atau *epoxy resin* guna meningkatkan ketahanan struktur. Apabila di masa mendatang terjadi peningkatan kapasitas produksi atau perubahan dimensi bangunan, diperlukan evaluasi kembali terhadap daya dukung tanah dan struktur yang digunakan. Pengembangan penelitian selanjutnya juga dapat diarahkan pada penerapan teknologi pengolahan limbah yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan, termasuk pemanfaatan limbah untuk menghasilkan energi terbarukan seperti biogas sehingga manfaat lingkungan dan ekonomi dapat diperoleh secara bersamaan

6. DAFTAR PUSTAKA

- Cahyani, Mutiara Regita, et al. "Pengolahan limbah tahu dan potensinya." *Proceeding of Chemistry Conferences*. Vol. 6. 2021.
- Cahyani, M. R., Zuhaela, I. A., Saraswati, T. E., Raharjo, S. B., Pramono, E., Wahyuningsih, S., ... & Widjonarko, D. M. (2021). Pengolahan limbah tahu dan potensinya. In *Proceeding of Chemistry Conferences* (Vol. 6, pp. 27-33).
- CAHYANI, Mutiara Regita, et al. Pengolahan limbah tahu dan potensinya. In: *Proceeding of Chemistry Conferences*. 2021. p. 27-33.
- Sirait, A. C., Apriani, I., Pramadita, S., & Universitas Tanjungpura, J. T. L. (2023). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pada Industri Pembuatan Tahu Skala Kecil. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1), 155-163.
- SIRAIT, Agnes Cynthia, et al. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pada Industri Pembuatan Tahu Skala Kecil. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2023, 11.1: 155-163
- 1729-2020, S. (2020). *Badan Standarisasi Nasional Indonesia* "Tentang Pembebanan pada Bangunan".
- Subekti, Sri. "Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif." *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi* 1.1 (2021).
- Subekti, S. (2021). Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, 1(1).
- Ridhuan, Kemas. "Pengolahan limbah cair tahu sebagai energi alternatif biogas yang ramah lingkungan." *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 1.1 (2022).
- Pamungkas, Agung Wahyu, and Agus Slamet. "Pengolahan tipikal instalasi pengolahan air limbah industri tahu di kota surabaya." *Jurnal Teknik ITS* 6.2 (2017): D123-D128.
- Pamungkas, A. W., & Slamet, A. (2024). Pengolahan tipikal instalasi pengolahan air limbah industri tahu di kota surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), D123-D128.
- Kesuma, Darajatin Diwani, and Margaretha Widyastuti. "Pengaruh limbah industri tahu terhadap kualitas air sungai di Kabupaten Klaten." *Jurnal Bumi Indonesia* 2.1 (2023).
- Kesuma, D. D., & Widyastuti, M. (2023). Pengaruh limbah industri tahu terhadap kualitas air sungai di Kabupaten Klaten. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(1).
- KESUMA, Darajatin Diwani; WIDYASTUTI, Margaretha. Pengaruh limbah industri tahu terhadap kualitas air sungai di Kabupaten Klaten. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2023, 2.1.

1729-2020, S. (2020). *Badan Standarisasi Nasional Indonesia "Tentang Pembebanan pada Bangunan"*.