

**PEMANFAATAN LIMBAH CAIR TAHU UNTUK
PEMBUATAN PUPUK CAIR PADA PABRIK TAHU
USAHA BERSAMA**

SKRIPSI

OLEH:

**HERU PERNANDO NADEAK
208150029**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/3/26

Access From (repositori.uma.ac.id)13/3/26

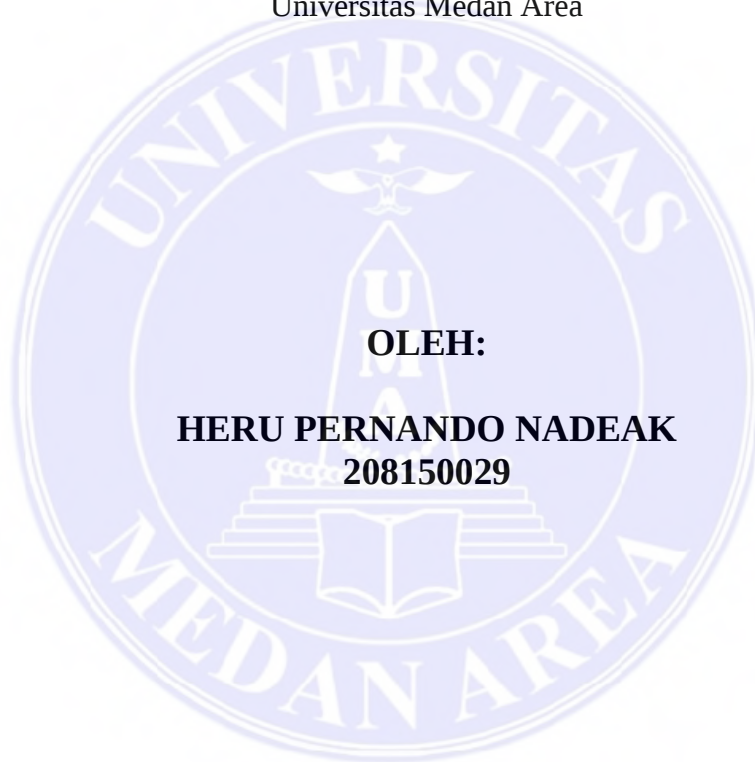
**PEMANFAATAN LIMBAH CAIR TAHU UNTUK
PEMBUATAN PUPUK CAIR PADA PABRIK TAHU
USAHA BERSAMA**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area



OLEH:

**HERU PERNANDO NADEAK
208150029**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/3/26

Access From (repositori.uma.ac.id)13/3/26

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Pembuatan Pupuk Cair Pada
Pabrik Tahu Usaha Bersama

Nama : Heru Pernando Nadeak

NPM : 208150029

Fakultas/Prodi : Teknik Industri

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing


Sirmas Munte, ST.MT
NIDN: 0109026601

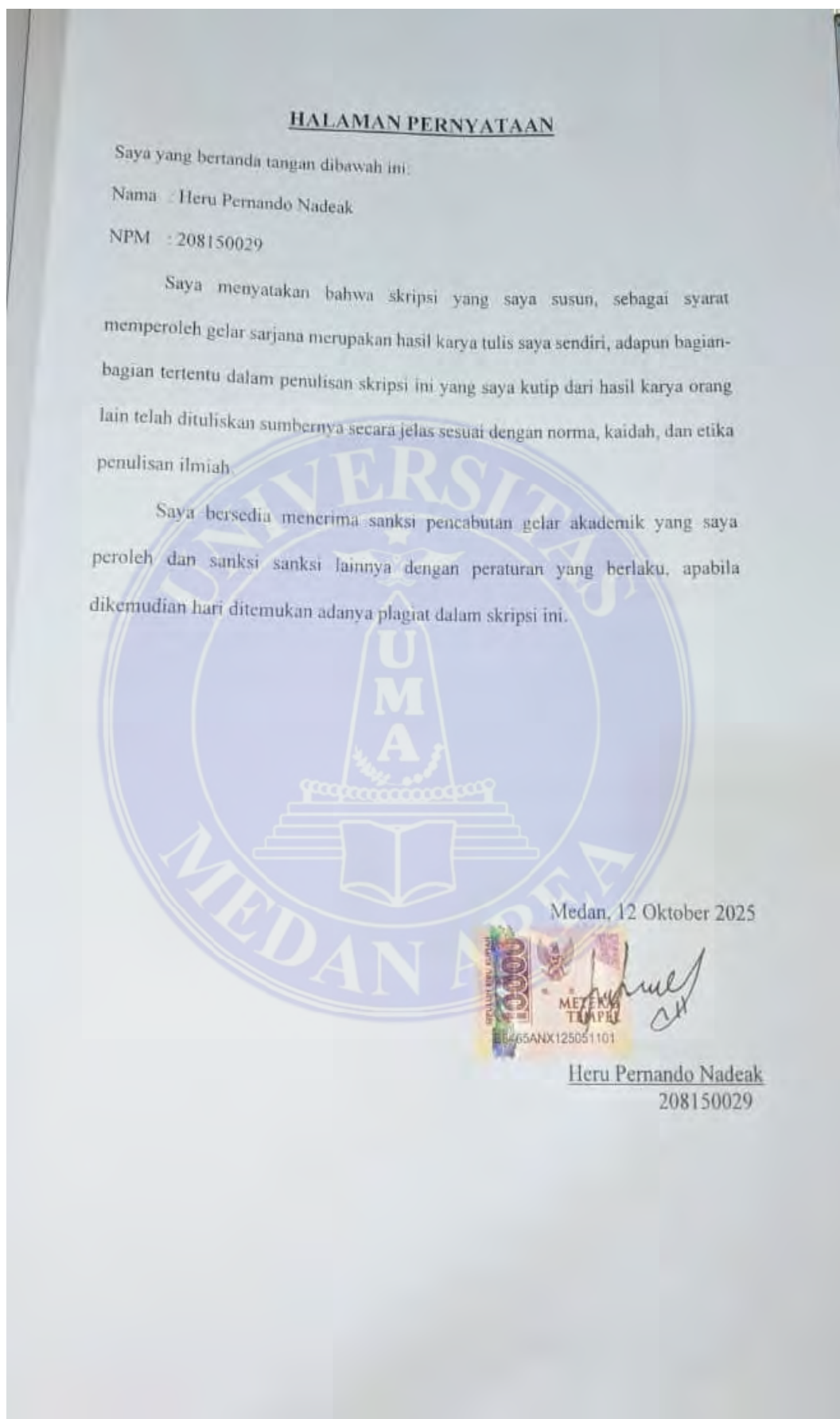
Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik Ketua Program Studi


Dr. Eng. Supriatno, ST, MT
NIDN: 0102027402


Nukhe Andri Silviana, S.T,M.T
NIDN: 0127038802

Tanggal Lulus: 21 Agustus 2025



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Heru Pernando Nadeak

NPM : 208150029

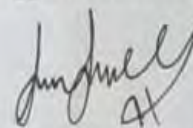
Program Studi : Teknik Industri

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Non eksklusif** (*Non Exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: "Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Pembuatan Pupuk Cair Pada Pabrik Tahu Usaha Bersama", dengan hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Medan

Pada tanggal : 12 Oktober 2025



(Heru Pernando Nadeak)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Securai, Kecamatan Babalan, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 14 Oktober 2000 dari ayah Herman Nadeak dan Ibu Katija Br Napitupulu merupakan putra kedua dari tiga bersaudara.

Penulis pertama kali menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Negeri No 050759 Securai, Kabupaten Langkat dan selesai pada tahun 2006 dan selesai pada tahun 2012, pada tahun yang sama penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Pertama di Swasta Babalan dan selesai pada tahun 2015, pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan Swasta YPT Pangkalan Brandan dan selesai pada tahun 2018, dan pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Studi Teknik Industri Universitas Medan Area dan dinyatakan lulus dan menyandang gelar sarjana Teknik pada tahun 2025.

Berkat petunjuk Allah SWT, usaha yang disertai doa juga dari kedua orangtua dalam menjalani aktivitas akademik Perguruan Tinggi Swasta Universitas Medan Area, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Pembuatan Pupuk Cair Pada Pabrik Tahu Usaha Bersama”**.

ABSTRAK

Heru Pernando Nadeak 208150029, “Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Pembuatan Pupuk Cair Pada Pabrik Tahu Usaha Bersama”. Dibimbing Oleh Bapak Sirmas Munte ST. MT.

Pabrik Tahu Usaha Bersama adalah perusahaan yang berfokus pada industri tahu. Selama ini, perusahaan mengalami kesulitan dalam mengolah limbah cair tahu dengan efektif; bahkan, limbah yang dihasilkan hanya dibuang atau dialirkan ke selokan di area kerja perusahaan, yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah limbah tahu yang selama ini terabaikan sehingga dapat dijadikan produk bernilai ekonomi, yakni pupuk organik cair (POC). Oleh karena itu, pengolahan limbah diperlukan, salah satu caranya adalah dengan menerapkan metode *Green Engineering*. Proses pengolahan data dilakukan dengan menerapkan metode *Green Engineering*. Tahapan penyelesaian yang dilakukan melalui permasalahan yang sudah teridentifikasi adalah: Survei lapangan, identifikasi masalah, menentukan tujuan dan target, menyusun alternatif solusi, memilih alternatif solusi, mengimplementasikan alternatif solusi. Dapat disimpulkan bahwa sesuai dengan uji Laboratorium dilakukan bahwa hasil uji tersebut sesuai dengan Menti Pertanian dimana nilai untuk unsur hara sesuai Menti Pertanian untuk kandungan N (0,4%) P (0,1%), dan K (0,1%), dan hasil uji lab ada memenuhi syarat dan ada tidak memenuhi syarat pupuk organik cair yaitu Fosfor (P₂O) dan Kalium (K₂O), dan dapat dijelaskan bahwa unsur hara hasil fermentasi limbah cair tahu menggunakan EM4 memiliki kandungan unsur hara yang bagus untuk tanaman. Unsur-unsur yang terkandung tersebut dibutuhkan oleh tanaman, maka POC tersebut dapat dikatakan bermanfaat bagi tanaman.

Kata Kunci: Limbah Cair Tahu, Metode *Green Engineering*, Pupuk Cair Organik

ABSTRACT

Heru Pernando Nadeak 208150029, “Utilization of Liquid Waste for Making Liquid Fertilizer at Usaha Bersama Tofu Factory”. Supervised by Mr. Sirmas Munte ST. MT.

Usaha Bersama Tofu Factory is a company that focuses on the tofu industry. So far, the company has had difficulty in processing liquid tofu waste effectively; in fact, the waste produced is only disposed of or flowed into the gutter in the company's work area, which has the potential to pollute the environment. This study aims to process tofu waste that has been neglected so that it can be used as an economically valuable product, namely liquid organic fertilizer (POC). Therefore, waste processing is needed, one way is to apply the Green Engineering method. The data processing process is carried out by applying the Green Engineering method. The stages of resolution carried out through the identified problems are: Field survey, problem identification, determining goals and targets, compiling alternative solutions, choosing alternative solutions, implementing alternative solutions. It can be concluded that according to the Laboratory test carried out that the test results are in accordance with the Minister of Agriculture where the value for nutrients is in accordance with Minister of Agriculture For N content (0.4%) P (0.1%), and K (0.1%), and some lab test results meet the requirements and some do not meet the requirements for liquid organic fertilizer, namely Phosphorus (P₂O) and Potassium (K₂O), and it can be explained that the nutrients from the fermentation of liquid tofu waste using EM4 have good nutrient content for plants. The elements contained are needed by plants, so POC can be said to be beneficial for plants.

Keyword: *Tofu Liquid Waste, Green Engineering Method, Organic Liquid Fertilizer*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah guna memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Strata I, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Industri di Universitas Medan Area dengan judul **“Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Untuk Pembuatan Pupuk Cair Pada Pabrik Tahu Usaha Bersama”**.

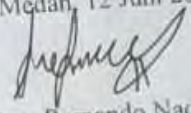
Penulis telah banyak memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M. Eng, M.Sc. selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng Supriatno, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.
3. Ibu Nukhe Andri Silviana, ST, MT, selaku Kepala Program Studi Teknik Industri Universitas Medan Area.
4. Bapak Sirmas Munte, ST, MT selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi kepada penulis.
5. Seluruh Dosen Teknik Industri Universitas Medan Area yang sudah memberikan ilmu kepada saya selama masa perkuliahan.
6. Seluruh Staff Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang telah banyak memberikan bantuan kepada saya dalam mengurus segala administrasi.

7. Kepada Orangtua saya yaitu Bapak Herman Nadeak dan Ibu Katija Br Napitupulu yang selalu mendoakan, memberikan semangat, motivasi dan mendukung baik moral maupun material dalam segala hal terutama dalam dunia pendidikan.
8. Kakak Saya yaitu Friska Novi Br Nadeak yang selalu memberikan dukungan semangat, nasehat, dan motivasi dalam segala hal termasuk dalam penyusunan skripsi ini.
9. Adik saya yaitu Heri Imanuel Nadeak yang selalu mensupport saya dalam keadaan apapun.
10. Bapak Iwan selaku pemilik pabrik tahu Usaha Bersama.

Penulis berharap apa yang telah disajikan dalam skripsi ini dapat digunakan sebagai referensi untuk rekan-rekan dan pembaca sekalian. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa dapat membalas semua kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

Medan, 12 Juni 2025


Heru Pernando Nadeak

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	
AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	Error!
	Bookmark not defined.
RIWAYAT HIDUP	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Pupuk.....	6
2.2. Pengertian Pupuk Organik Cair.....	8
2.3. Sistem Lingkungan Industri	8
2.4. Pengertian Limbah Dan Limbah Tahu	9
2.5. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu	10
2.6 Dampak Limbah Cair Industri Tahu.....	11
2.7. Pengolahan Limbah Cair Tahu	12
2.8. Standar Kandungan Pupuk Cair Organik (POC).....	14
2.9. Mikroorganisme Pengurai Limbah Tahu.....	16
2.10. <i>Green Engineering</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	22
3.2. Objek Penelitian	22
3.3. Variabel Penelitian	22
3.4. Kerangka Berpikir	23
3.5. Teknik Pengumpulan Data	25
3.6. Metode Pengolahan Data.....	25
3.7. Diagram Alur Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Sejarah Pabrik Tahu Usaha Bersama	29
4.2. Ruang Lingkup Bidang Usaha	29
4.3. Jumlah Tenaga Kerja Dan Jam Kerja.....	29
4.4. Sistem Pengupahan & Fasilitas Lainnya	30
4.5. Daerah Pemasaran	30
4.6. Operation Process Chart (OPC).....	30
4.7. Proses Produksi	31
4.8. Utilitas	35
4.9. Material Balance.....	36
4.10. Pemanfaatan Limbah Cair Tahu.....	37
4.10.1. Penerapan Metode <i>Green Engineering</i>	40
4.10.2. Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi pupuk Organik Cair (POC) 49	
4.10.3. Proses Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC).....	51
4.10.4 Harga kelayakan Jual Pupuk Organik Cair Tahu (POC)	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. 1 Kapasitas Produksi dan Jumlah Limbah Tahu Usaha Bersama.....	2
Tabel 4. 1 Jam Kerja Pabrik Tahu Usaha Bersama.....	29
Tabel 4. 2 Jumlah Produksi Dan Jumlah Limbah Tahu	37
Tabel 4. 3 Pertimbangan Dalam Memilih Cara Pengolahan Limbah Cair	39
Tabel 4. 4 Kandungan Unsur Hara Hasil	56
Tabel 4. 5 Kandungan Limbah Cair Tahu.....	58
Tabel 4. 6 Alat Dan Bahan Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC)	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. 1 Limbah Cair Tahu	1
Gambar 3. 1 Kerangka Berpikir	23
Gambar 3. 2 Diagram Alur Penelitian.....	28
Gambar 4. 1 <i>Operation Proses Chart</i>	31
Gambar 4. 2 Perendaman	32
Gambar 4. 3 Penggilingan.....	32
Gambar 4. 4 Pemasakan.....	33
Gambar 4. 5 Penyaringan.....	33
Gambar 4. 6 Pengasaman.....	34
Gambar 4. 7 Pembungkusan dan Pencetakan	34
Gambar 4. 8 <i>Boiler</i>	35
Gambar 4. 9 <i>Material Balance</i>	36
Gambar 4. 10 Limbah Tahu Yang Dibuang.....	42
Gambar 4. 11 Limbah Cair.....	52
Gambar 4. 12 Gula Merah Yang Dilarutkan.....	52
Gambar 4. 13 Menuangkan EM4 Ke larutan Gula	53
Gambar 4. 14 Mencampur Gula, EM4 kedalam botol	54
Gambar 4. 15 Fermentasi Limbah.....	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Melalui konteks globalization yang berkembang pesat, pertumbuhan populasi dan kemajuan industri telah meningkatkan permintaan produk tahu secara berkelanjutan. Fenomena ini berdampak pada akumulasi limbah processing tahu yang mengkhawatirkan dan menimbulkan degradasi kualitas lingkungan yang signifikan. Selama ini, waste dari aktivitas produksi tahu kerap dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan karena dianggap tidak memiliki nilai ekonomis.

Pabrik Tahu Usaha Bersama beroperasi dalam sektor manufaktur tahu Sumedang dengan tingkat konsumsi tinggi. Permasalahan mendasar pada pabrik Usaha Bersama adalah praktik pembuangan limbah cair hasil processing tahu secara sembarangan ke saluran drainase tanpa pengolahan terlebih dahulu.



Gambar 1. 1 Limbah Cair Tahu

Berdasarkan observasi lapangan, limbah padat telah dioptimalkan menjadi animal feed, sedangkan limbah cair dari tahapan produksi seperti pembersihan, perendaman, perebusan, filtering, dan pencetakan memiliki potensi belum

dimanfaatkan sebagian besar limbah cair hanya dibuang tanpa dimanfaatkan dan tanpa memperhatikan dampaknya.

Tabel 1. 1 Kapasitas Produksi dan Jumlah Limbah Tahu Usaha Bersama

No	Minggu	Kapasitas Produksi (Kg)	Jumlah air limbah (L/minggu)
1	Minggu I	700	4900
2	Minggu II	680	4760
3	Minggu III	710	4970
4	Minggu IV	690	4830
Total Jumlah Limbah/bulan			22.160 Liter

Sumber: *Pabrik Tahu Usaha Bersama*

Limbah cair tahu mengandung senyawa organik tinggi dengan komposisi protein 40-60%, karbohidrat 25-50%, lemak 10%, serta kalsium, besi, fosfor, dan vitamin (Mboeik et al., 2022).

Kandungan unsur hara dalam limbah cair tahu menunjukkan potensi sebagai pupuk organik cair (POC) yang kaya akan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Unsur nitrogen berasal dari dekomposisi protein tinggi dalam limbah, fosfor tersedia dari kandungan mineral alami kedelai, sedangkan kalium dapat diperoleh melalui proses fermentasi. Keberadaan unsur hara NPK ini menjadikan limbah cair tahu sebagai sumber nutrisi potensial untuk pertumbuhan tanaman, sekaligus memberikan nilai ekonomis pada limbah yang selama ini terbuang percuma.

Praktik pengelolaan limbah yang tidak sesuai terjadi di Pabrik Usaha Bersama, Telaga Sait, Bukit 1, Securai Utara, Kecamatan Babalan, Kabupaten Langkat. Kecamatan Babalan merupakan kawasan perumahan dengan ± 120 kepala keluarga yang terdampak limbah, menimbulkan ancaman terhadap sustainability lingkungan, kesehatan masyarakat, ekosistem lingkungan.

Karakteristik limbah yang diidentifikasi:

1. Jenis Limbah - limbah cair dan padat
2. Volume Limbah Cair - 4.900 liter/minggu dengan bahan baku kedelai 700 kg/minggu
3. Dampak - pencemaran lingkungan, kerusakan struktur tanah, dan polusi udara.
4. Pemanfaatan - limbah cair menjadi pupuk organik cair (POC)

Mengingat potensi pencemaran tinggi limbah cair Pabrik Tahu Usaha Bersama, diperlukan penerapan metode Green Engineering untuk mengolah limbah menjadi produk bernilai ekonomis dan ramah lingkungan guna meminimalkan paparan polusi dan meningkatkan kinerja lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Berapa unsur hara (N, P, K) pupuk organik cair dari limbah tahu?
2. Apakah unsur hara (N, P, K) pupuk organik cair dari limbah tahu memenuhi standar Menteri Pertanian
3. Apakah pupuk organik cair dari limbah tahu dapat dijadikan sebagai pupuk alternatif yang memiliki nilai jual murah?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui berapa unsur hara (N,P,K) pupuk organik cair dari limbah tahu
2. Untuk mengetahui apakah unsur hara (N,P,K) pupuk organik cair dari limbah tahu memenuhi standar Menteri Pertanian

3. Untuk mengetahui apakah pupuk organik cair dari limbah tahu dapat di jadikan sebagai pupuk alternatif yang memiliki nilai jual murah

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini agar terfokus pada pemecahan masalah yang telah di rumuskan adalah penelitian ini membahas tentang limbah cair tahu pada Pabrik tahu Usaha Bersama

1.5. Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang rumusan masalah, dan tujuan diatas, maka diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

a. Bagi Peneliti

Penelitian dapat menjadi referensi untu proses pembelajaran dan penelitian selanjutnya yang akan melakukan penelitian dibidang pemanfaatan limbah cair tahu. Penelitian ini digunakan sebagai implementasi dari penerapan teori-teori yang sebelumnya telah di dapat selama kegiatan perkulihaan.

b. Bagi Perusahaan

Melalui penelitian ini di harapkan bisa mengurangi limbah cair dari sisa produksi sekaligus menciptakan produk-produk baru yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan dalam industri tahu terutama pada pabrik tahu usaha bersama.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan hasil penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini adalah bagian awal skripsi yang menyajikan gambaran tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penyusunan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi ringkasan hasil kajian yang pernah dilakukan sebelumnya yang ada hubungannya dengan penelitian yang dilakukan. Selain itu juga berisi konsep dan prinsip dasar yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah penelitian, landasan teori yang mendukung kajian yang akan dilakukan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai tempat dan waktu penelitian, jenis penelitian, variabel penelitian, kerangka berfikir, metodologi penelitian, metode pengumpulan data, *flowchart* penelitian, dan skema pengolahan data sumber data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengumpulkan data dan pengolahan data yang telah di kumpulkan. Serta mengkaji hasil penelitian dan perhitungan berdasarkan pengolahan data dan pemecahan masalah.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini terdiri dari hasil bagian akhir dari penelitian dan dapat diambil kesimpulan dan saran yang diberikan untuk perusahaan dalam pengembangan di riset selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pupuk

Pupuk merupakan bahan atau material yang diberikan ke dalam tanah atau permukaan tanaman dengan tujuan untuk menyediakan unsur hara yang diperlukan bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 8 Tahun 2001 Bab 1 Pasal 1, pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi keperluan tanaman secara langsung atau tidak langsung (Purba dkk., 2021). Senada dengan itu, Novizan (2005) menyatakan bahwa pupuk adalah material yang ditambahkan ke tanah atau tajuk tanaman dengan tujuan untuk melengkapi ketersediaan unsur hara, dimana bahan pupuk yang paling awal digunakan adalah kotoran hewan, sisa pelapukan tanaman, dan arang kayu.

Pupuk mengandung satu atau lebih unsur hara esensial yang dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Sutejo (1999) menjelaskan bahwa pupuk adalah bahan yang diberikan ke dalam tanah baik yang organik maupun anorganik dengan maksud mengganti kehilangan unsur hara dari dalam tanah yang bertujuan untuk meningkatkan produksi tanaman dalam keadaan lingkungan yang baik. Unsur hara yang terkandung dalam pupuk dapat berupa unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), maupun unsur hara mikro seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), boron (B), dan molibdenum (Mo). Menurut buku ajar Kesuburan Tanah dan Pemupukan, unsur hara makro esensial bagi tanaman adalah N, P, K dan makro sekunder yaitu Ca, Mg, S yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak, sedangkan unsur hara

mikro dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun tetap esensial untuk pertumbuhan tanaman (Repository Poltek LPP, 2021).

Pupuk dapat digolongkan menjadi dua kategori utama, yaitu pupuk organik yang berasal dari bahan-bahan organik seperti kompos, pupuk kandang, dan pupuk hijau, serta pupuk anorganik atau pupuk kimia yang diproduksi melalui proses industri dan mengandung unsur hara dalam bentuk senyawa kimia tertentu. Widowati dan Hartatik (2020) menjelaskan bahwa pupuk organik merupakan hasil dari penguraian bagian-bagian atau sisa (serasah) tanaman dan bahan organik lainnya yang dapat memperbaiki kualitas tanah dan tanaman. Sementara itu, pupuk anorganik menurut Peraturan Pemerintah Nomor 8 Tahun 2001 adalah pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisik dan atau biologis, dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk (Purba dkk., 2021).

Penggunaan pupuk yang tepat jenis, dosis, waktu, dan cara aplikasinya akan memberikan dampak positif terhadap peningkatan hasil panen dan keberlanjutan sistem pertanian. Murnita dkk. (2023) menyatakan bahwa konsep pemupukan berimbang dengan penggunaan pupuk organik bersifat multifungsi antara lain menambah unsur hara esensial, meningkatkan produktivitas dan kualitas tanah pada lahan yang sering diberi pupuk anorganik, menambah cadangan karbon dan mengurangi dampak perubahan iklim yang selanjutnya dapat meningkatkan mikroorganisme tanah yang sangat bermanfaat dalam memperbaiki lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang jenis pupuk, kandungan unsur hara, dan teknik aplikasi yang tepat sangat penting untuk mencapai hasil pertanian yang optimal dan berkelanjutan.

2.2. Pengertian Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair merupakan pupuk yang tersedia dalam bentuk cair yang dibuat secara alami melalui proses fermentasi dari bahan-bahan organik. Menurut Wikipedia Indonesia (2024), pupuk organik cair adalah pupuk yang tersedia dalam bentuk cair, yang dapat diartikan sebagai pupuk yang dibuat secara alami melalui proses fermentasi sehingga menghasilkan larutan hasil pembusukan dari sisa tanaman, maupun kotoran hewan atau manusia. Senada dengan hal tersebut, Ardiyanto dan Wawan (2018) menjelaskan bahwa pupuk organik cair adalah ekstrak dari hasil pembusukan bahan-bahan organik, dimana bahan-bahan organik ini bisa berasal dari sisa tanaman, kotoran hewan dan manusia yang mengandung unsur haranya lebih dari satu unsur.

Berbeda dengan pupuk organik padat, pupuk organik cair memiliki keunggulan karena kandungan unsur hara di dalamnya sudah dalam bentuk larutan sehingga lebih mudah dan cepat diserap oleh tanaman, baik melalui akar maupun daun. Proses pembuatan pupuk organik cair umumnya melibatkan fermentasi dalam kondisi anaerob dengan bantuan bioaktivator atau mikroorganisme lokal untuk mempercepat proses dekomposisi bahan organik.

2.3. Sistem Lingkungan Industri

Sistem merupakan bagian tertentu dari jagat raya yang menjadi objek observasi. Dalam konteks termokimia, sistem merujuk pada fokus kajian atau objek pengamatan yang dipelajari transformasi energinya, khususnya pada reaksi kimia tertentu. Adapun lingkungan (environment) merupakan segala sesuatu yang terdapat di sekitar atau di luar batas sistem tersebut.

Sektor industri memiliki peranan krusial dalam struktur ekonomi nasional, memberikan sumbangan signifikan terhadap ekspansi ekonomi, pembukaan peluang kerja, dan perkembangan teknologi. Meskipun demikian, di balik keuntungan yang diberikan, aktivitas industri juga mengandung berbagai risiko dan potensi bahaya bagi tenaga kerja. Kondisi lingkungan industri umumnya terdiri dari beragam perangkat dan tahapan produksi yang melibatkan unsur-unsur mekanis, kimiawi, dan fisis yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja dan luka-luka. (Ernanda, 2023).

2.4. Pengertian Limbah Dan Limbah Tahu

Limbah (waste) adalah hasil buangan yang timbul dari aktivitas produksi, baik yang bersumber dari sektor industri maupun rumah tangga (domestic), yang umumnya diidentifikasi sebagai sampah. Keberadaan limbah ini pada waktu dan lokasi tertentu tidak diharapkan oleh kawasan sekitar karena tidak mempunyai nilai ekonomi yang berarti.

Tahu merupakan produk pangan yang diproduksi dari kedelai melalui proses fermentasi dan ekstraksi sarinya. Tidak seperti tempe yang merupakan makanan asli Indonesia, tahu bersumber dari Tiongkok, sama halnya dengan kecap, tauco, bakpau, dan bakso. Ampas tahu adalah terminologi dalam bahasa Indonesia yang merujuk pada residu atau sisa hasil dari pembuatan tahu berbahan dasar kedelai. Pada saat kedelai direndam dan dihancurkan guna memproduksi sari kedelai, ampas tahu terbentuk sebagai produk hasil sisa dari tahapan tersebut. Ampas tahu mempunyai sifat padat serta konsistensi yang menyerupai serat-serat. (Ishak et al., 2023).

2.5. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Karakteristik buangan limbah industri tahu meliputi dua hal, yaitu karakteristik fisika dan kimia.

1. Karakteristik Fisika, karakteristik fisika meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna, dan bau. Suhu buangan industri tahu berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu air limbah tahu berkisar 37 - 45 Celsius, kekeruhan 535 - 585 FTU, warna 2.225-2.250 Pt. Co, *Amonia* 23,3 - 23,5 mg/l. Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan. Kandungan zat tersuspensi dalam limbah cair industri tahu akan menyebabkan air menjadi kotor, keruh dan menimbulkan bau yang sangat menyengat akibat proses pembusukan oleh bakteri.
- 2, Karakteristik Kimia, karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik yang terkandung di dalam air buangan tersebut berupa 40 - 60% protein, 25 - 50% karbohidrat, dan 10% lemak, Protein (N-total) merupakan komponen terbesar dari limbah cair industri tahu yaitu dengan kadar sebesar 226,06 mg/l sampai 434,78 mg/l. Polutan organik yang cukup tinggi tersebut apabila terbuang ke badan air penerima akan mengakibatkan terganggunya kualitas air dan menurunkan daya dukung lingkungan perairan di sekitar industri tahu. Gas-gas yang bisa ditemukan dalam limbah adalah gas *nitrogen* (N₂), *oksigen* (O₂), *hidrogen sulfida* (H₂S), *amonia* (NH₃), *karbondioksida* (CO₂) dan *metana* (CH₄). Gas-gas tersebut berasal

dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan (Febriyanti et al., 2022).

2.6 Dampak Limbah Cair Industri Tahu

Limbah cair dari industri tahu berpotensi menimbulkan kontaminasi yang signifikan karena mengandung tingkat organik yang cukup tinggi. Senyawa-senyawa organik tersebut terdiri dari 40-60% protein, 25-50% karbohidrat, serta 10% lemak dan minyak yang selanjutnya menghasilkan produk sampingan berupa biogas dengan komposisi gas methane sekitar 50-70%, gas CO₂ sekitar 25-45%, dan sejumlah kecil nitrogen, hydrogen, dan hydrogen sulfide.

Limbah cair yang dihasilkan mengalami transformasi fisika, kimia, dan biologi yang menimbulkan gangguan kesehatan karena menghasilkan substansi toksik atau menciptakan medium untuk berkembangnya mikroorganisme patogen yang merugikan, baik pada produk tahu maupun kesehatan manusia.

Limbah cair industri tahu mengandung polutan organik tinggi yang apabila dibuang ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu akan mengganggu kualitas air dan menurunkan daya dukung lingkungan perairan di sekitar industri tahu. Kondisi tersebut menimbulkan kematian pada makhluk hidup air, terbentuknya blooming alga sehingga kapasitas daya tampung lingkungan mengalami penurunan ini menyebabkan kematian organisme akuatik, terjadinya algae blooming yang menghambat pertumbuhan tanaman air lainnya, serta menimbulkan aroma yang dapat menjadi media optimal untuk pertumbuhan bakteri patogen maupun non-patogen (Pagoray et al., 2021).

2.7. Pengolahan Limbah Cair Tahu

Metode fisika merupakan teknik pemisahan sebagian beban pencemaran, khususnya padatan tersuspensi atau koloid dari limbah cair dengan memanfaatkan gaya-gaya fisika. Dalam pengolahan limbah cair industri tahu secara fisika, proses yang dapat diterapkan meliputi filtrasi dan sedimentasi. Filtrasi menggunakan media penyaring untuk menjernihkan atau memisahkan partikel kasar dan padatan tersuspensi dari limbah cair. Pada sedimentasi, flok-flok padatan dipisahkan dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

Pendekatan kimia merupakan teknik eliminasi atau transformasi senyawa-senyawa pencemar dalam limbah cair melalui penambahan substansi kimia atau melalui reaksi kimia tertentu. Sejumlah proses yang dapat diimplementasikan dalam penanganan limbah cair industri tahu secara kimia antara lain meliputi coagulation-flocculation dan netralisasi. Proses netralisasi biasanya diterapkan dengan cara penambahan asam atau basa guna menetralkan ion-ion yang terlarut dalam limbah cair sehingga memudahkan proses pengolahan selanjutnya.

Dalam proses coagulation-flocculation, partikel-partikel koloid hydrophobic memiliki kecenderungan untuk mengadsorpsi ion-ion bermuatan negatif yang terlarut dalam limbah cair melalui karakteristik adsorpsi koloid, sehingga partikel-partikel tersebut memperoleh muatan negatif. Koagulasi pada hakikatnya adalah proses destabilisasi partikel koloid bermuatan melalui penambahan ion-ion bermuatan positif (coagulant) ke dalam sistem koloid, sehingga partikel koloid mencapai kondisi netral dan mampu bergabung satu dengan lainnya membentuk mikroflok. Kemudian mikroflok yang telah terbentuk, dengan bantuan pengadukan perlahan, mengalami penyatuan untuk menghasilkan

makroflok (proses flocculation), yang selanjutnya dapat dipisahkan dari larutan melalui metode sedimentasi atau filtration.

Koagulan yang biasa digunakan antara lain polielektrolit, aluminium, kapur, dan garam-garam besi. Masalah dalam pengolahan limbah secara kimiawi adalah banyaknya endapan lumpur yang dihasilkan, sehingga membutuhkan penanganan lebih lanjut.

Di samping kedua pendekatan tersebut, metode kombinasi fisika-kimia yang mencakup flocculation yang dipadukan dengan sedimentasi telah diujicoba dalam skala laboratorium, namun implementasi metode gabungan ini memberikan hasil yang kurang optimal, terutama di Indonesia. Kondisi ini disebabkan oleh berbagai faktor, yaitu: teknik pengolahan fisika-kimia yang terlalu rumit, konsumsi bahan kimia yang relatif tinggi, serta lumpur berupa endapan hasil dari sedimentasi yang menjadi permasalahan dalam penanganan selanjutnya.

Metode biologis dapat mengurangi kadar substansi organik terlarut dengan memanfaatkan mikroorganisme atau tanaman air. Pada prinsipnya metode biologis merupakan pemecahan molekul kompleks menjadi molekul sederhana. Proses ini sangat sensitif terhadap faktor suhu, pH, oksigen terlarut (DO) dan substansi inhibitor terutama zat-zat toksik. Mikroorganisme yang dipakai untuk pengolahan limbah adalah bakteri, algae, atau protozoa. Sementara tanaman yang dapat digunakan termasuk gulma air (aquatic weeds). Pendekatan biologis lainnya juga telah diujicoba dalam penanganan air limbah industri tahu. Contohnya dengan menggunakan proses lumpur aktif (activated sludge) untuk mendegradasi kandungan organik dalam air limbah tahu dan sari kedelai. Hasil yang diperoleh

cukup memuaskan, dimana didapat penurunan BOD terlarut, nitrogen, dan fosfor berturut-turut sebesar 95%, 67% dan 57%. Mengamati kapasitas pengetahuan para produsen tahu terutama di Indonesia yang masih terbatas dalam pengelolaan limbah serta faktor-faktor teknis lainnya, seperti biaya investasi dan operasional yang relatif tinggi, kebutuhan area lahan yang luas, dan sistem kontrol proses yang cukup rumit. Akibatnya, implementasi metode tersebut khususnya di Indonesia menjadi kurang efisien. Untuk mengatasi hambatan-hambatan ini, diperlukan eksplorasi metode penanganan limbah cair yang lebih praktis, efektif, dan mudah diaplikasikan. Teknik pengolahan biologis juga layak dipertimbangkan untuk menangani limbah cair tahu, yang mencakup proses aerobik dan anaerobik. Dalam proses aerobik, degradasi senyawa organik berlangsung dengan memanfaatkan oksigen bebas yang tersedia di lingkungan sebagai akseptor elektron terakhir. Pada proses anaerob atau disebut respirasi anaerob, katabolisme senyawa organik berlangsung tanpa oksigen bebas di lingkungan dan penguraian berlangsung dengan memanfaatkan senyawa organik sebagai penerima elektron terakhir.

Dalam perlakuan biologis, prinsip biologi diterapkan untuk mengolah limbah cair dengan bantuan mikroorganisme yang dapat diperoleh secara alamiah. Sistem ini cukup efektif dengan biaya pengoprasian yang rendah dan dapat mereduksi BOD hingga 90 (Pradana et al., 2018).

2.8. Standar Kandungan Pupuk Cair Organik (POC)

Standar untuk kandungan pupuk cair organik adalah persyaratan teknis minimal yang wajib dipenuhi oleh pupuk organik serta terjamin efektivitasnya yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia. Untuk memenuhi standar mutu pupuk cair organik di Indonesia, produsen harus merujuk pada

peraturan yang berlaku Menteri Pertanian No.261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenahan tanah

Berikut adalah persyaratan teknis minimal untuk pupuk cair organik:

1. Unsur Hara Makro:
 - a. **N (Nitrogen):** Minimal 2%
 - b. **P₂O₅ (Fosfor):** Minimal 2%
 - c. **K₂O (Kalium):** Minimal 2%
2. Unsur Hara Mikro
 - a. **Fe (Besi):** 90 – 900 ppm
 - b. **Mn (Mangan):** 25 – 500 ppm
 - c. **Cu (Tembaga):** 25 – 500 ppm
 - d. **Zn (Seng):** 25 – 500 ppm
 - e. **B (Bor):** 12– 250 ppm
 - f. **Mo (Molibdenum):** 2-10

Ada pun tujuan Menteri Pertanian pupuk cair organik antara lain sebagai berikut:

1. Menjamin standar mutu dan keamanan produk pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah yang beredar dan digunakan di Indonesia agar memenuhi persyaratan teknis minimal yang telah ditetapkan.
2. Melindungi kepentingan petani dan konsumen dari peredaran produk pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah yang tidak memenuhi standar kualitas sehingga dapat merugikan produktivitas pertanian dan kelestarian lingkungan.

3. Memberikan kepastian hukum dan pedoman bagi produsen, distributor, dan pengawas dalam proses produksi, peredaran, dan pengawasan pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah.

4. Meningkatkan efektivitas penggunaan pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah dalam mendukung sistem pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2.9. Mikroorganisme Pengurai Limbah Tahu

Dalam pengelolaan air limbah, mikroorganisme menjadi fondasi fungsional untuk berbagai proses penanganan. Proses penanganan air limbah secara biologis dikenal juga dengan istilah bioremediasi. Bioremediasi adalah pemanfaatan mikroorganisme hidup untuk menurunkan bahan pencemar agar menjadi kurang toksik atau berbahaya, atau meminimalkan substansi beracun sehingga lingkungan yang terkontaminasi dapat dipulihkan. Kelompok microorganism tersebut meliputi: 1) Bakteri, 2) Fungi, 3) Algae, 4) Protozoa, 5) Rotifera, 6) Crustacea, dan 7) Virus.

Bakteri merupakan kelompok microorganism yang paling signifikan dalam pengelolaan air limbah. Kultur bakteri dapat dimanfaatkan untuk mengeliminasi materi organik dan mineral-mineral yang tidak dikehendaki dari air limbah. Bakteri aerobik dan facultative berperan aktif dalam seluruh unit penanganan aerobik, sementara bakteri anaerobik facultative dan obligate berperan aktif dalam unit penanganan anaerobik. Bakteri terdapat dalam berbagai bentuk, biasanya modifikasi dari silinder atau *avoid* (bulat), dengan ukuran beberapa mikrometer. Bakteri ini terdapat dalam proses penanganan limbah dalam bentuk gumpalan dari

berbagai bentuk dan jenis. Temperatur dan pH memainkan peranan penting dalam hidup matinya bakteri.

Sebagian besar mikroorganisme tidak dapat mentoleransi level pH diatas 9,5 atau dibawah 4,0. Secara umum pH optimal untuk pertumbuhan adalah antara Kondisi pH optimal untuk bakteri berkisar antara 6,5 dan 7,5. Mayoritas bakteri bersifat kemoheterotrofik, yaitu memanfaatkan materi organik sebagai sumber energi dan karbon. Beberapa spesies mengoksidasi senyawa anorganik seperti NH_3 untuk memperoleh energi dan CO_2 sebagai sumber karbon. Bakteri jenis ini disebut kemoautotrof. Sebagian bakteri memiliki sifat fotosintetik dan menggunakan cahaya sebagai sumber energi serta CO_2 sebagai sumber karbon. Bakteri kemoheterotrofik merupakan jenis bakteri yang paling vital dalam pengelolaan air limbah karena bakteri tersebut akan menguraikan bahan-bahan organik.

Jamur digolongkan ke dalam kelompok mikroorganisme yang memiliki sifat multiseluler, non-fotosintetik, serta heterotrofik. Jamur digolongkan berdasarkan cara perkembangbiakannya. Perkembangbiakan jamur dapat berlangsung secara generatif atau vegetatif, dengan pembelahan, tunas, atau dengan spora. jamur memiliki kapasitas untuk berkembang dalam kondisi kelembapan yang minim dan mampu beradaptasi dengan lingkungan yang memiliki pH relatif rendah. pH optimal adalah 5,6 dengan rentang 2 hingga 9. jamur juga memiliki kebutuhan nitrogen yang minimal. Kemampuan jamur untuk bertahan pada pH rendah dan kondisi nitrogen terbatas menjadikan mikroorganisme ini sangat signifikan dalam pengolahan limbah industri secara biologis.

Alga (ganggang) adalah mikroorganisme uniseluler, autotrof, dan fotosintetik. Alga memperoleh energi dari sinar matahari dan menggunakan bahan anorganik seperti karbondioksida, amonia atau nitrat, dan fosfat dalam sintesis sel-sel tambahan. Alga memperoleh CO₂ dari sumber-sumber dalam air atau limbah cair: (a) Absorpsi dari udara, (b) Respirasi aerobik dan anaerobik dari organisme heterotrofik dan (c) Alkalinitas bikarbonat. Nilai pH setinggi 10 tidak umum dalam sistem alga yang aktif seperti kolam oksidasi dan unit serupa. Walaupun pertumbuhan alga dapat dikendalikan dengan membatasi karbon, karbon dari *alkalinitas* dan produksi bakteri akan menyediakan sejumlah karbon yang dapat digunakan untuk pertumbuhan alga.

Jamur digolongkan ke dalam kelompok mikroorganisme yang memiliki sifat multiseluler, non-fotosintetik, serta heterotrofik. Jamur digolongkan berdasarkan cara perkembangbiakannya. Perkembangbiakan jamur dapat berlangsung secara generatif atau vegetatif, dengan pembelahan, tunas, atau dengan spora. Jamur memiliki kapasitas untuk berkembang dalam kondisi kelembapan yang minim dan mampu beradaptasi dengan lingkungan yang memiliki pH relatif rendah. pH optimal adalah 5,6 dengan rentang 2 hingga 9. Jamur juga memiliki kebutuhan nitrogen yang minimal. Kemampuan jamur untuk bertahan pada pH rendah dan kondisi nitrogen terbatas menjadikan mikroorganisme ini sangat signifikan dalam pengolahan limbah industri secara biologis.

2.10. Green Engineering

Salah satu pendekatan yang sesuai untuk membantu organisasi dalam meningkatkan produktivitas sambil mengurangi dampak terhadap lingkungan adalah melalui penerapan metode Green Engineering (Sinulingga et al., 2016).

Beberapa hal yang sering dibahas di *Green Engineering* adalah bagaimana menjaga dan mengelola sumber daya dan membuat rancangan yang bisa fleksible dengan climate change, pemanfaatan, dan Global warming yang terjadi sekarang, jadi bisa diterapkan baik berupa sistem, produk, maupun energi.

Global warming merupakan fenomena perubahan iklim yang merujuk pada variasi suhu dan pola iklim dalam periode panjang yang diakibatkan oleh pencemaran lingkungan, pembakaran fossil fuel (seperti batubara, minyak, serta pencemaran limbah) yang bersifat mencemari lingkungan dan merusak ekosistem. Sejauh ini, implementasi dari *Green Engineering* sering diharapkan bisa menciptakan suatu metode yang mampu menarik masyarakat umum untuk bisa mengenal lebih dalam bagaimana perkembangan dari metode tersebut serta mampu menciptakan suatu pola yang berkualitas dan bermanfaat.

Green Engineering memiliki beberapa tahapan yang umum diterapkan, yaitu:

1. Survei lapangan

Tahapan awal yang sangat penting dalam merencanakan suatu kegiatan perencanaan penelitian dimana dalam survei lokasi tersebut kita dapat mengetahui letak keadaan lingkungan tersebut sehingga perencanaan dapat semaksimal mungkin untuk dapat merencanakan hal apa yang akan diteliti.

2. Identifikasi masalah dan penyebabnya

Identifikasi masalah dilakukan studi lapangan (*walk trough survey*) sedangkan identifikasi penyebabnya melakukan survei lapangan dan wawancara langsung dengan pemilik pabrik.

3. Menentukan tujuan dan target

Identifikasi masalah dan penyebab timbulnya *waste*, selanjutnya dapat ditentukan tujuan dan target penelitian yang ingin dicapai yaitu meminimalisir limbah dan menurunkan pencemaran lingkungan pabrik dengan metode *green engineering*.

4. Menyusun alternatif solusi

Pada tahap ini dikembangkan beberapa alternatif solusi untuk menyelesaikan permasalahan yang ada, tujuannya untuk mengoptimalkan penggunaan input (material, tenaga kerja, energi). Pada tahap ini *alternative* ini yang dibuat harus memiliki aspek ramah lingkungan, meminimalisir timbulnya *waste* selama produksi serta dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

5. Memilih alternatif solusi

Analisis alternatif solusi yang akan diterapkan dengan memikirkan beberapa pertimbangan yang akan terjadi jika alternatif solusi tersebut diimplementasikan ke pabrik tersebut, alternatif tersebut harus memiliki aspek ramah lingkungan dan bersifat menurunkan pencemaran lingkungan.

6. Menerapkan implementasi

Setelah didapatkan alternatif solusi perbaikan yang memiliki kontribusi terbesar terhadap penurunan pencemaran lingkungan (pengurangan *waste*) selanjutnya dilakukan penerapan implementasi dan alternatif solusi yang sudah terpilih.

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan tindakan yang akan dilakukan selama penelitian, serta mengidentifikasi sumber daya yang diperlukan (digunakan).

7. Melakukan Pemantauan

Pengamatan yang terjadi setelah alternatif solusi diimplementasikan.

Pada tahap ini peneliti memantau perubahan yang terjadi setelah alternatif solusi di implementasikan (Kusumawanto & Astuti, 2018).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Riset dilaksanakan di Pabrik Tahu Usaha Bersama yang terletak di Desa Bukit 1, Securai Utara P. Brandan. Pabrik tahu tersebut merupakan salah satu fasilitas produksi tahu yang berada di Jl. Telaga Sait, Bukit 1, Desa Securai Utara, yang terletak di Kecamatan Babalan, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara, dimana telah mengoperasikan produksi tahu selama 24 tahun. Pelaksanaan riset ini dilaksanakan dalam periode satu bulan penuh pada bulan Februari 2024.

3.2. Objek Penelitian

Objek dalam kajian ini yang bertempat di Pabrik Tahu Usaha Bersama adalah limbah tahu yang dihasilkan dari residu proses manufaktur tahu.

3.3. Variabel Penelitian

Sutrisno et al. (2022) menjelaskan bahwa variabel adalah objek pengamatan yang berasal dari karakteristik tertentu dan mampu menghasilkan nilai terukur.

1. Variabel *Independent* (Variabel Bebas)

Variabel Bebas (Variabel Independent) merupakan variabel yang memberikan pengaruh terhadap sesuatu yang menjadi factor penyebab perubahan serta timbulnya variabel terikat (dependent variable) (Yahya, 2022). Dalam penelitian ini yang tergolong sebagai variabel bebas adalah limbah cair Pabrik Tahu Usaha Bersama. Variabel tersebut telah teridentifikasi di Pabrik Tahu Usaha Bersama.

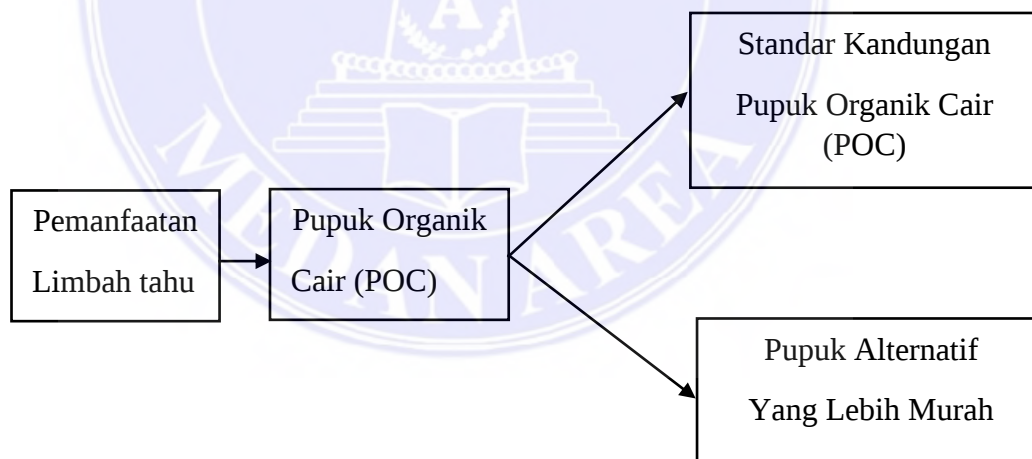
2. Variabel *Dependent* (Variabel Terikat)

Variabel Terikat (Variabel *Dependent*) adalah variabel yang mendapat pengaruh atau menjadi akibat dari keberadaan variabel bebas (Yahya, 2022). Dalam penelitian ini yang termasuk variabel terikat yaitu kadar unsur hara NPK dalam pupuk organik cair (POC) melalui pemanfaatan limbah cair dengan menggunakan tahapan-tahapan pengolahan data yang berfokus pada implementasi metode Green Engineering.

3.4. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan hubungan antara satu konsep dengan konsep yang lain dari masalah yang akan diteliti. Adapun kerangka berpikir dalam liquid

Penelitian ini dapat terlihat pada gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3. 1 Kerangka Berpikir

Keterangan:

Pada gambar diatas bahwa variabel *independent* yakni pemanfaatan limbah tahu dan Pupuk Cair Dari Organik yang mana limbah cair tersebut yang menjadi

permasalahan penelitian ini, analisa awal yang dilakukan ialah mengumpulkan data-data limbah tahu seperti Jenis, dampak dan jumlah limbah tahu, Setelah data penelitian terkumpul maka dilakukan pengolahan data dengan menggunakan *Green Engineering*. *Green Engineering* adalah bagaimana menjaga dan mengelola sumber daya dan membuat rancangan yang bisa fleksible dengan *climate change*, dan pemanfaatan yang terjadi sekarang, jadi bisa diterapkan baik berupa sistem, produk, maupun energi, kemudian variabel *dependent* pada gambar diatas adalah Unsur standar kandungan pupuk organik cair (POC) kemudian pemilihan alternatif mana yang akan dipilih untuk hasil dari produk fermentasi dengan metode yang dipakai adalah *Green Engineering*.

Adapun tujuan *Green Engineering* adalah

1. Penurunan jumlah polusi yang dihasilkan oleh konstruksi atau pengoprasian fasilitas.
2. Meminimalkan paparan polusi manusia terhadap potensi
3. Meningkatkan penggunaan materi dan energi sepanjang siklus hidup produk dan Proses.
4. Mempertahankan efisiensi dan kelangsungan ekonomi dengan menerapkan solusi pemanfaatan limbah menjadi suatu yang bernilai guna dan memiliki harga ekonomi.

Pada proses pengolahan limbah cair akan dipilih alternatif solusi yang sudah diketahui, yaitu pengolahan limbah secara, fisika, kimia, dan biologi.

Jika masing-masing alternatif proses pengolahan sudah diketahui hasil dan langkah-langkah proses pengerjaannya, maka dilakukan pemilihan alternatif proses dengan memilih alternatif yang kontribusinya *Green Engineering* lebih besar dari alternatif lainnya. Setelah pemilihan alternatif maka akan diterapkan alternatif solusi pengolahan limbah pada pabrik tahu Usaha Bersama.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini teknik pengumpulan data waktu kerja dalam penulisan laporan penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh peneliti secara langsung dari sumber datanya. Data primer disebut juga sebagai data asli atau data baru yang memiliki sifat up to date (Siyoto & Sodik 2015). Untuk mendapatkan data primer, peneliti harus mengumpulkannya secara langsung.

2. Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan peneliti dari berbagai sumber yang telah ada (Siyoto & Sodik 2015). Data sekunder dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti Biro Pusat Statistik (BPS), buku, laporan, jurnal, dan lain-lain.

3.6. Metode Pengolahan Data

Langkah-langkah dalam penerapan metode *Green Engineering* dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Survei Lapangan

Tahapan awal yang sangat penting dalam merencanakan suatu kegiatan perencanaan penelitian ini dimana dalam survei lokasi kita dapat mengetahui letak keadaan lingkungan tersebut sehingga perencanaan dapat semaksimal mungkin untuk dapat merencanakan hal apa yang akan diteliti.

2. Identifikasi Masalah Dan Penyebabnya

Identifikasi masalah dilakukan studi lapangan (*walk trough survey*) sedangkan identifikasi penyebabnya menggunakan survei lapangan dan wawancara langsung dengan pemilik pabrik

3. Menentukan Tujuan Dan Target

Identifikasi masalah dan penyebab timbulnya limbah, selanjutnya dapat ditentukan tujuan dan target penelitian yang ingin dicapai yaitu meminimalisir *waste* dan menurunkan pencemaran lingkungan pabrik dengan metode *Green Engineering*.

4. Menyusun Alternatif Solusi

Pada tahapan ini di kembangkan beberapa alternatif solusi untuk menyelesaikan permasalahan yang ada, tujuan nya untuk mengoptimalkan penggunaan input (material, tenaga kerja, energi). Pada tahap ini *alternative* ini yang di buat harus memiliki aspek ramah lingkungan, meminimalisir timbulnya limbah selama produksi serta dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

5. Memilih Alternatif Solusi

Analisis alternatif solusi yang akan diterapkan dengan memikirkan beberapa pertimbangan yang akan terjadi jika alternatif solusi tersebut diimplementasikan ke pabrik tersebut.

6. Menerapkan Implementasi

Setelah didapatkan alternatif solusi perbaikan yang mempunyai kontribusi terbesar terhadap penurunan pencemaran lingkungan (pengurangan *waste*). Selanjutnya dilakukan penerapan implementasi dan alternatif solusi yang sudah terpilih. Pada tahapan ini dilakukan perencanaan tindakan yang akan dilakukan selama penelitian, serta mengidentifikasi sumber daya yang diperlukan (digunakan).

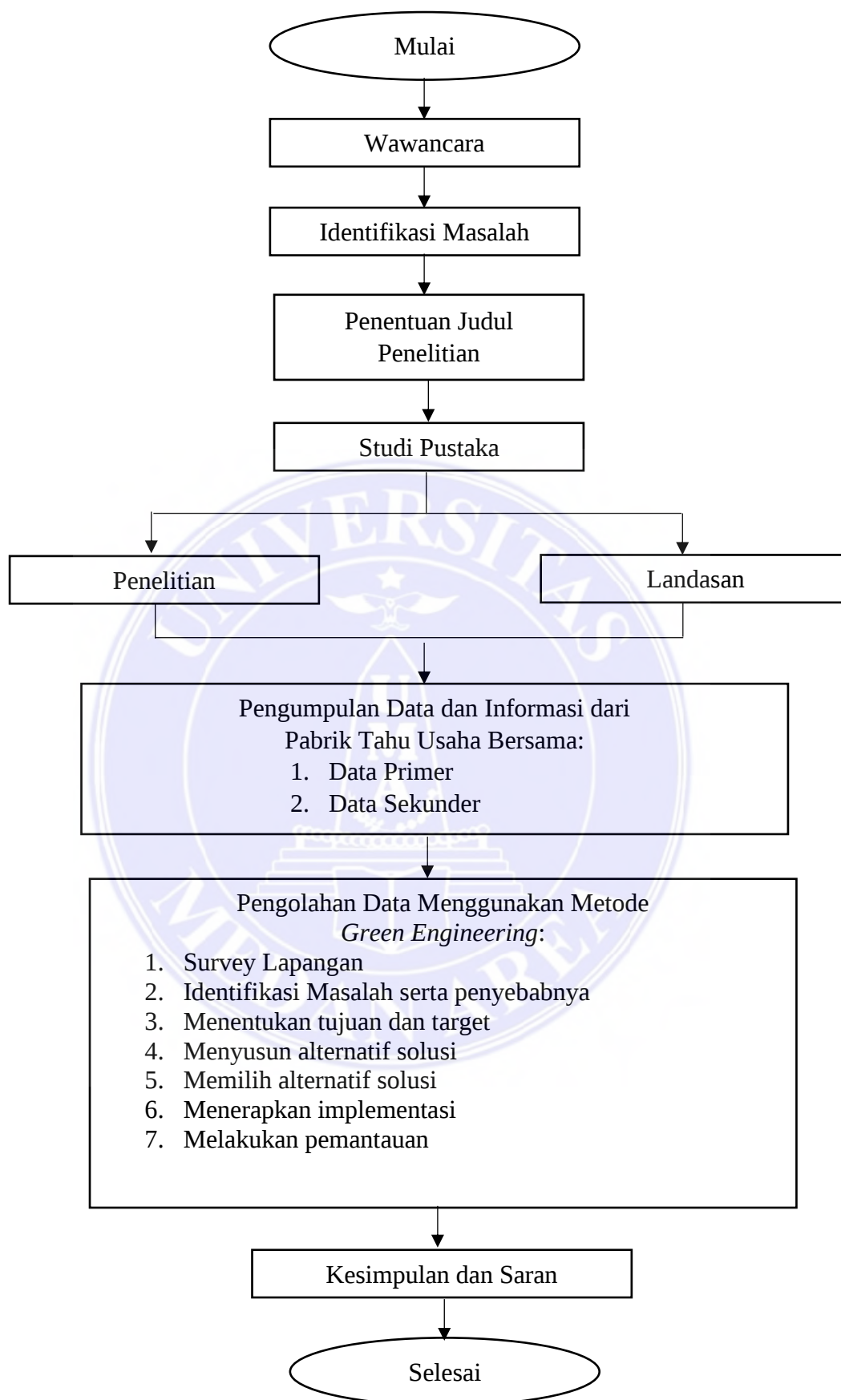
7. Melakukan pengamatan

Pengamatan yang terjadi setelah alternatif solusi diimplementasikan pada tahap ini peneliti mengamati perubahan yang terjadi setelah *alternative* solusi diimplementasikan (Sinulingga et al., 2016).

3.7. Diagram Alur Penelitian

Flowchart penelitian merupakan gambaran visual dari tahapan penelitian yang menunjukkan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam suatu kajian. Diagram ini membantu peneliti dan pembaca dalam memahami urutan serta keterkaitan antarfase dalam proses penelitian secara terstruktur dan sistematis

Adapun *flowchart* penelitian yang menjadi alur penelitian ini dari awal sampai ke akhir pada gambar 3.2 dibawah ini



Gambar 3. 2 Diagram Alur Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut:

1. Pupuk organik cair mengandung unsur hara, fosfor, nitrogen, dan kalium yang dibutuhkan oleh tanaman serta dapat memperbaiki unsur hara dalam tanah, unsur hara pada standar Menteri Pertanian dimana nilai untuk unsur hara sesuai Menteri Pertanian Untuk kandungan N (0,4%) P (0,1%), dan K (0,1%).
2. Sesuai dengan uji Laboratorium diatas bahwa hasil uji tersebut sesuai dengan standar Menteri Pertanian dimana nilai untuk unsur hara sesuai Menteri Pertanian Untuk kandungan N (0,4%) P (0,1%), dan K (0,1%), dan nilai hasil uji yang didapat pada hasil uji lab di mana N (0,04%) memenuhi syarat standar Menteri Pertanian di mana standar Menteri Pertanian minimal (2%), P (0,01%) tidak memenuhi syarat standar Menteri Pertanian dimana standar Menteri Pertanian minimal (2%), K(0,002%) tidak memenuhi syarat standar Menteri Pertanian dimana standar Menteri Pertanian minimal (2%) dan hasil uji lab ada memenuhi syarat dan ada yang tidak memenuhi syarat pupuk organik cair yaitu Fosfor (P_2O) dan Kalium (P_2O) , dan dapat dijelaskan bahwa unsur hara hasil fermentasi limbah cair tahu menggunakan EM4 memiliki kandungan unsur hara yang bagus untuk tanaman.

3. Apakah pupuk organik cair dari limbah tahu dapat di jadikan sebagai pupuk alternatif yang memiliki nilai jual murah. Dari penelitian diatas bahwa alternatif pada penelitian ini adalah sebagai pupuk cair organik yang mana pembuatan pupuk cair organik ini pembuatannya murah dan harga jual produknya juga murah.

5.2. Saran

1. Diharapkan hasil penelitian ini yaitu Pupuk Organik Cair (POC) dari limbah cair tahu dapat diterapkan pada pabrik tahu Usaha Bersama agar mengurangi limbah yang terbuang sia-sia menjadi produk bernilai jual.
2. Bagi peneliti selanjutnya yang mempunyai penelitian sejenis untuk menambah variabel-variabel yang lebih mewakili agar dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan didalam melakukan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyanto & Wawan. (2018). Pembuatan Pupuk Organik Cair. *Jurnal Inovasi dan Literasi Pengabdian Indonesia*.
- Ernanda, M. Y. (2023). Peningkatan Keamanan dan Keselamatan Kerja di Lingkungan Industri. *Circle Archive*, 1(3).
- Farhan, D., & Wijaya, Y. R. P. (2021). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Pupuk Organik Cair untuk Berbagai Tanaman di Kampung Lengkong, Kota Langsa. *Prosiding Seminar Hasil Peningkatan Mutu Pendidikan*, 2(1), 83-87.
- Febriyanti, R., Nugroho, M. R. M., & Nugroho, S. (2022). Diversifikasi dan Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Tahu Desa Sumbermulyo Kabupaten Jombang. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 6(1), 393--400.
- Ishak, A. T., Srimularahmah, A., Asfar, A. M. I. T., Asfar, A. M. I. A., Aziz, M. N., & Handayani, F. (2023). *Pengolahan Limbah Ampas Tahu menjadi Tepung dan Kukis*.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2019. *Peraturan Menteri Pertanian Nomor 1 Tahun 2019 tentang Pendaftaran Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah*. Jakarta: Kementerian Pertanian RI.
- Kusumawanto, A., & Astuti, Z. B. (2018). *Arsitektur hijau dalam inovasi kota*. Ugm Press.
- Mardhiana, Aditya M., Heirin Simon, Fatiatul Hasanah. (2021). Pengaruh Pupuk Limbah Cair Tahu Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) J-PEN Borneo: Jurnal Ilmu Pertanian, 4(2), 1-6.
- Marian, E., & Sumiyati T. (2019). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Sebagai Puspuk Organik Cair pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Putih (*Brasica pekinensis*). *Agritrop*, 17(2), 135-145

- Mboeik, I., Suryani, D., & Purnomo, A. (2022). Pengolahan limbah cair industri tahu menjadi pupuk organik cair di Kelurahan Pakunden Kota Blitar. *I-Com: Indonesian Community Journal*.
- Murnita, Rosmawaty, Hasanah, U., & Hanum, H. (2023). Pengaruh Pupuk Organik dan Anorganik Terhadap Sifat Kimia Tanah. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(9), 2143-2158.
- Novizan. (2005). *Petunjuk Pemupukan yang Efektif*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah cair industri tahu dan dampaknya terhadap kualitas air dan biota perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), 53--65.
- Pambudi, Y. S., Cicik S., Gabriella G. (2021). Analisa Karakteristik Air Limbah Industri Tahu dan Alternatif Proses Pengolahannya Berdasarkan Prinsip-prinsip Teknologi Tepat Guna. *Syntax Literate Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(8), 4180-4192
- Pradana, T. D., Suharno, S., & Apriansyah, A. (2018). Pengolahan limbah cair tahu untuk menurunkan kadar TSS dan BOD. *Jurnal Vokasi Kesehatan*, 4(2), 56.
- Purba, T., Herlina, N., Simanjuntak, P., Widyastuti, E., Marpaung, P. N., & Sihombing, J. L. (2021). *Pupuk dan Teknologi Pemupukan*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Repository Poltek LPP. (2021). *Buku Ajar Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Yogyakarta: Politeknik Pembangunan Pertanian.
- Roeets, A. (2021). Top 5 Green Engineering Trends. Green Engineering Trends In General. <https://www.eit.edu.au/top-5-Green-Enginerring-Trends>
- Samsudin, W., Makmur S., Muh. Fajarudin N. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu menjadi Pupuk Organik Cari dengan Penambahan Effektive

- Mikroorganisme-4 (EM-4). *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan (JNIK)*, 1(2), 1-14.
- Sinulingga, S., Matondang, A. R., & Sinambela, Y. (2016). Rekayasa Produktivitas Dengan Pendekatan Green Engineering Pada PT. ABC. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 18(1), 20--25.
- Sinulingga, S., Matondang, A. R., & Sinambela, Y. (2016). Rekayasa produktivitas dengan pendekatan green engineering pada PT. ABC. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 18(1), 17-22. ISSN 1411-5247.
- Siyoto, S., & Sodik, M. A. (2015). *Dasar metodologi penelitian*. Literasi Media Publishing.
- Sutejo, M. M. (1999). *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sutrisno, D. M., Herwanto, D., & Wahyudin, W. (2022). Analisis Pengaruh Disiplin Kerja Terhadap Kinerja Karyawan Pada PT XYZ di Karawang. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 8(2), 91--100.
- White, M. A., & Johnson, P. (2016). *Environmental life cycle assessment and costing methods*. CRC Press.
- Wikipedia Indonesia. (2024). *Pupuk Organik Cair*. Diakses pada 4 Januari 2024 dari https://id.wikipedia.org/wiki/Pupuk_organik_cair
- Yahya, A. N. (2022). Pengaruh Lingkungan Kerja, Motivasi Dan Pengembangan Karier Terhadap Kinerja Karyawan Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti. *JEBI| Jurnal Ekonomi Bisnis Indonesia*, 17(1), 29--44.
- Zimmerman, J. B., & Anastas, P. T. (2015). *Green engineering: Environmentally Conscious Design Of Chemical Processes*. McGraw-Hill Education.

LAMPIRAN



Lampiran 1. Hasil Uji Laboratorium

LABORATORIUM PENGUJI BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN (LP-BSPJI MEDAN)
 Laboratory of Center for Standardization and Industrial Service Medan

Nomor Sertifikat
 Certificate Number : 0805/BSKJI/BSPJI-Medan/MS-P/V/2025

Halaman
 Page : 2 dari 2
 2 of 2

Validasi
 Validity

HASIL UJI
THE TEST RESULT

No	Parameter	Unit	Hasil Uji	Metode Uji
1	Nitrogen (N)	%	0,04	Kjedahl
2	Fosfor sebagai P ₂ O ₅	%	0,01	Spektrofotometri
3	Kalium sebagai K ₂ O	%	0,002	AAS
4	C_Organik	%	0,77	Gravimetri
5	Derajat Keasaman (pH)	-	3,23	Potensiometri
6	Besi (Fe)	mg/kg	2,61	AAS

16 Mei 2025
 Deputy Manager of Testing Laboratory
 MEDAN Sri Chasawati
 NIP. 197012311993032008

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas
 This Certificate relate only to sample that been analyzed
 Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
 Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan

Lampiran 2. Standar Pupuk Cair Organik



MENTERI PERTANIAN
REPUBLIK INDONESIA

KEPUTUSAN MENTERI PERTANIAN REPUBLIK INDONESIA

NOMOR :261/KPTS/SR.310/M/4/2019

TENTANG

PERSYARATAN TEKNIS MINIMAL

PUPUK ORGANIK, PUPUK HAYATI, DAN PEMBENAH TANAH

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI PERTANIAN REPUBLIK INDONESIA,