

**PENERAPAN MATERIAL FLOW ANALYSIS (MFA)
PADA SISTEM BIOVALORISASI LIMBAH PADAT
KECAP DAN TAHU MENJADI SAUS NABATI
DENGAN PENGENTAL KULIT PISANG**

SKRIPSI



Oleh :

HANIF FAIZAH EKA FEDIYANI
NPM 22034010044

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2026**

**PENERAPAN MATERIAL FLOW ANALYSIS (MFA)
PADA SISTEM BIOVALORISASI LIMBAH PADAT
KECAP DAN TAHU MENJADI SAUS NABATI
DENGAN PENGENTAL KULIT PISANG**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST.)
Program Studi Teknik Lingkungan.**

Diajukan Oleh :

HANIE FAIZAH EKA FEDIYANI
NPM: 22034010044

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENERAPAN MATERIAL FLOW ANALYSIS (MFA)
PADA SISTEM BIOVALORISASI LIMBAH PADAT
KECAP DAN TAHU MENJADI SAUS NABATI
DENGAN PENGENTAL KULIT PISANG**

Disusun Oleh :


Hanif Faizah Eka Fediyan
NPM. 22034010044

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Pembimbing


Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasari, MT.
NIP./NPT. 19681126 199403 2 001

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**


Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENERAPAN MATERIAL FLOW ANALYSIS (MFA) PADA
SISTEM BIOVALORISASI LIMBAH PADAT KECAP DAN
TAHU MENJADI SAUS NABATI DENGAN PENGENTAL
KULIT PISANG**

Disusun Oleh :


Hanif Falzah Eka Fedlyani
NPM. 22034010044

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal
Lingkar Journal of Environmental Engineering (Terakreditasi Sinta 4)

Menyetujui,

TIM PENGUJI

1. Ketua

Pembimbing


Prof. Dr. H. Novirina Hendrasari, MT.
NIP/NPT. 19681126 199403 2 001


Mohamad Mirwan, ST., MT.
NIP/NPT. 197602122021211004

2. Anggota


M. Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP/NPT. 199407272024061001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur


Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

**PENERAPAN MATERIAL FLOW ANALYSIS
(MFA) PADA SISTEM BIOVALORISASI
LIMBAH PADAT KECAP DAN TAHU MENJADI
SAUS NABATI DENGAN PENGENTAL KULIT
PISANG**

Disusun Oleh :



Hanif Faizah Eka Fediyani
NPM. 22034010044

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 13 Juli 2026

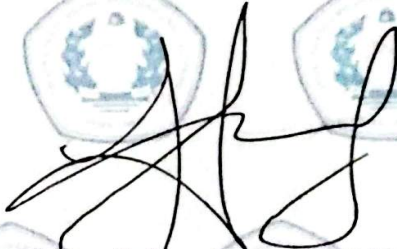
TIM PENILAI

KETUA



Mohamad Mirwan, ST., MT.
NIP/NPT.197602122021211004

ANGGOTA



M. Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP/NPT.199407272024061001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hanif Faizah Eka Fediyani
NPM : 22034010044
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik

Menyatakan bahwa dokumen skripsi ini sepenuhnya bebas dari materi karya ilmiah yang pernah diajukan untuk meraih gelar akademik di institusi mana pun. Tidak ada karya atau pendapat pihak lain yang diklaim sebagai milik saya, semua rujukan telah disitasi dengan benar sesuai kaidah penulisan ilmiah dan tercantum pada daftar pustaka.

Dengan demikian, saya menjamin orisinalitas karya ini dan sepenuhnya bebas dari tindakan plagiat. Jika di kemudian hari ditemukan bukti yang bertentangan dengan pernyataan ini, saya siap menerima sanksi akademik maupun hukum yang berlaku.

Surat pernyataan ini disusun secara jujur dan tanpa paksaan dari siapa pun, untuk digunakan sesuai dengan keperluannya.

Surabaya, 13 Juli 2026

Yang Membuat Pernyataan



Hanif Faizah Eka Fediyani

22034010044

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Penerapan Material Flow Analysis (MFA) pada Sistem Biovalorisasi Limbah Padat Kecap dan Tahu Menjadi Saus Nabati dengan Pengental Kulit Pisang”** ini dengan baik dan tepat waktu.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh dalam kurikulum program studi S-1 Teknik Lingkungan dan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan di Fakultas Teknik dan Sains UPN “Veteran” Jawa Timur.

Selama menyelesaikan tugas ini, kami telah banyak memperoleh bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Firra Rosariawari, ST., MT. selaku koordinator Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT. dan selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan banyak arahan, saran, serta dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh anggota keluarga, yakni ayah, mama, adik-adik, dan nenek yang selalu mendukung dengan menemani penulis mengerjakan, memberikan doa serta semangat.
5. Sekar Ayu Larasati selaku *Research Partner* penulis. Terimakasih atas waktu, tenaga, pikiran, dan *effort* yang diberikan selama penelitian berlangsung.
6. Warga sat set, yakni Rani, Safa, Azka, Andini, dan Nanda, warga ibuk, yakni Vivi, Ali dan Pras, warga LCAjay, yakni Gatot dan Adam, warga difams dan *imigrant*-nya, yakni Hanin, Aulia, dan Silvi, dan warga RAHKH, yakni Adham, Kezia, dan Henokh selaku teman-teman penulis yang telah banyak

memberikan dukungan penulis dari awal penulisan proposal hingga selesainya skripsi ini.

7. Teman-teman teknik lingkungan angkatan 2022 dan teman-teman griya pangan yang ikut membantu dan memberikan semangat selama proses pengerjaan.
8. Terakhir, terima kasih kepada diri sendiri, Hanif Faizah Eka Fediyani yang telah terus berjuang dan tidak menyerah seberat apapun jalan yang dihadapi selama proses pengerjaan skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun akan penyusun terima dengan senang hati. Akhir kata penyusun mengucapkan terima kasih dan mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam penyusunan laporan ini terdapat kata-kata yang kurang berkenan atau kurang dipahami.

Surabaya, 21 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Lingkup Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Tinjauan Umum.....	6
2.2. Landasan Teori.....	7
2.2.1. Saus Tiram.....	7
2.2.2. Syarat Mutu Saus Tiram.....	8
2.2.3. Limbah Kecap.....	9
2.2.4. Fermentasi pada Kecap.....	11
2.2.5. Karakteristik Limbah Kecap.....	12
2.2.6. Limbah Tahu.....	13
2.2.7. Karakteristik Limbah Tahu.....	14
2.2.8. Okara dan Pemanfaatannya.....	15
2.2.9. Kulit Pisang Sebagai Pengental.....	16
2.2.10. Ekstraksi Pektin.....	19
2.2.11. Metode Sterilisasi.....	22
2.2.12. Fermentasi.....	23
2.2.13. Reduksi Limbah Padat.....	28
2.2.14. Material Flow Analysis (MFA).....	28
2.2.15. Pemilihan Perlakuan Terbaik Metode De Garmo.....	29
2.3. Hasil Penelitian Sebelumnya.....	31
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	33
3.1. Kerangka Penelitian.....	33
3.2. Bahan dan Alat.....	35
3.2.1. Bahan Penelitian.....	35
3.2.2. Alat Penelitian.....	35
3.3. Cara Kerja.....	36

3.3.1. Tahap Persiapan.....	36
3.3.2. Tahap Penelitian Pendahuluan.....	36
3.3.3. Tahap Penelitian Utama.....	39
3.3.4. Tahap Penelitian Akhir.....	41
3.4. Variabel.....	43
3.5. Analisis Data.....	44
3.5.1. Material Flow Analysis (MFA).....	44
3.5.2. Analisis Statistika.....	48
3.6. Jadwal Kegiatan.....	49
3.7. Rencana Anggaran Biaya.....	50
3.8. Matriks Penelitian.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1. Analisis Aliran Material (MFA) dan Reduksi Limbah.....	53
4.1.1. Analisis Aliran Material (MFA).....	53
4.1.2. Reduksi Limbah Padat.....	60
4.2. Karakteristik pH, Kadar Protein, dan Organoleptik (Rasa, Aroma, Warna, Tekstur) Saus Nabati.....	61
4.2.1. Karakterisasi Bahan Awal.....	61
4.2.2. Dinamika Sifat Fisikokimia Saus Nabati Selama dan Pasca Fermentasi.....	62
4.2.3. Evaluasi Kadar Protein Produk Akhir.....	66
4.2.4. Evaluasi Sensori Saus Nabati (Metode Scoring).....	69
4.3. Penentuan dan Karakterisasi Perlakuan Terbaik (Metode De Garmo).....	81
4.3.2. Karakterisasi Proksimat (Kadar Air, Protein, Lemak, Karbohidrat, dan Kadar Abu), Kadar Garam (NaCl), Viskositas (Kekentalan), Kadar Total Gula (Sukrosa), dan Nilai TPC (Total Plate Count).....	83
4.4. Evaluasi Potensi Pengembangan dan Kelayakan Sistem Biovalorisasi....	85
4.4.1. Pemenuhan Kualitas Produk.....	85
4.4.2. Signifikansi Reduksi Limbah Terhadap Ekologis.....	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	88
5.1. Kesimpulan.....	88
5.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat Mutu Saus Tiram.....	8
Tabel 2.2 Batas Cemaran Mikroba dalam Pangan Olahan.....	9
Tabel 2.3 Perbandingan Kandungan Pektin pada Pisang.....	18
Tabel 2.4 Penelitian Sebelumnya.....	31
Tabel 3.1 Pengamatan Nilai Organoleptik pada Uji Skoring.....	41
Tabel 3.2 Neraca Massa.....	47
Tabel 3.3 Jadwal Kegiatan.....	49
Tabel 3.4 Rencana Anggaran Biaya Pengujian.....	50
Tabel 3.5 Rancangan Anggaran Biaya Pengadaan Alat dan Bahan.....	50
Tabel 3.6 Total Rancangan Anggaran Biaya.....	51
Tabel 3.7 Matriks Penelitian.....	52
Tabel 4.1 Reduksi Limbah Padat.....	60
Tabel 4.2 Kandungan Awal Limbah Padat.....	61
Tabel 4.3 Rata-Rata Hasil Uji Organoleptik pada Atribut Rasa.....	70
Tabel 4.4 Rata-Rata Hasil Uji Organoleptik pada Atribut Aroma.....	72
Tabel 4.5 Rata-Rata Hasil Uji Organoleptik pada Atribut Warna.....	73
Tabel 4.6 Rata-Rata Hasil Uji Organoleptik pada Atribut Tekstur.....	75
Tabel 4.7 Hasil Uji Organoleptik Metode Skoring.....	76
Tabel 4.8 Ranking dan Bobot Variabel.....	81
Tabel 4.9 Hasil Uji Masing-Masing Parameter.....	82
Tabel 4.10 Nilai Hasil (Nh) pada Masing-Masing Parameter.....	82
Tabel 4.11 Hasil Uji Proksimat pada Perlakuan Terbaik.....	83
Tabel 4.12 Hasil Uji Proksimat pada Perlakuan Terbaik.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Pembuatan Kecap.....	11
Gambar 2.2 Diagram Alir Pembuatan Tahu.....	14
Gambar 2.3 Proses Terbentuknya Okara.....	15
Gambar 2.4 Diagram Alir Ekstraksi Pektin.....	19
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	34
Gambar 3.2 Alur Pembuatan Pengental Alami dari Kulit Pisang.....	37
Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Saus nabati.....	39
Gambar 3.4 Batasan MFA.....	46
Gambar 4.1 Material Flow Analysis (MFA) pada Sampel Saus Nabati Ampas Kecap dengan Fermenter A. Oryzae (KAO).....	56
Gambar 4.2 Material Flow Analysis (MFA) pada Sampel Saus Nabati Ampas Kecap dengan Fermenter A. Sojae (KAS).....	57
Gambar 4.3 Material Flow Analysis (MFA) pada Sampel Saus Nabati Ampas Tahu dengan Fermenter A. Oryzae (TAO).....	58
Gambar 4.4 Material Flow Analysis (MFA) pada Sampel Saus Nabati Ampas Tahu dengan Fermenter A. Sojae (TAS).....	59
Gambar 4.5 (a) Aspergillus Oryzae (b) Aspergillus Sojae.....	63
Gambar 4.6 Perubahan Derajat Keasaman (pH) Selama Fermentasi.....	65
Gambar 4.7 Hasil Anova Two Way Hubungan Waktu Fermentasi dan Jenis Sampel.....	65
Gambar 4.8 Kadar Protein pada Sampel.....	67
Gambar 4.9 Hasil Anova Two Way Pengaruh Jenis Limbah Padat dan Kapang Fermentasi terhadap Kadar Protein.....	68
Gambar 4.10 Pengujian Organoleptik Metode Skoring.....	70
Gambar 4.11 (a) Saus Ampas Kecap - A. Oryzae; (b) Saus Ampas Kecap - A. Sojae; (c) Saus Ampas Tahu - A. Oryzae; (d) Saus Ampas Tahu A. Sojae.....	74
Gambar 4.12 Hasil Anova Two Way Hubungan Atribut Rasa terhadap Jenis Limbah dan Kapang Fermentasi.....	76
Gambar 4.13 Hasil Anova Two Way Hubungan Atribut Aroma terhadap Jenis Limbah dan Kapang Fermentasi.....	78
Gambar 4.14 Hasil Anova Two Way Hubungan Atribut Warna terhadap Jenis Limbah dan Kapang Fermentasi.....	79
Gambar 4.15 Hasil Anova Two Way Hubungan Atribut Tekstur terhadap Jenis Limbah dan Kapang Fermentasi.....	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Hasil Analisis dan Uji Statistika

Lampiran B Perhitungan dan Prosedur Kerja

Lampiran C Formulir dan Absensi Organoleptik

Lampiran D Dokumentasi

Lampiran E Hasil Uji Laboratorium External

ABSTRAK

Tingginya volume timbunan limbah padat agroindustri dari produksi kecap (59,7%) dan tahu (35,5%) berpotensi memicu pencemaran lingkungan apabila terbuang langsung ke badan air. Meskipun demikian, tingginya profil nutrisi pada material tersebut membuka peluang pengembangan sistem biovalorisasi menjadi produk bernilai tambah. Ampas kecap memiliki kadar protein sebesar 16,31%, sedangkan ampas tahu sebesar 4,78%. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi saus nabati dari ampas kecap dan ampas tahu dengan memanfaatkan pektin kulit pisang sebagai agen pengental, sekaligus mengkuantifikasi tingkat efisiensi reduksi limbah menggunakan pendekatan *Material Flow Analysis* (MFA) pada perangkat lunak STAN 2.7.101. Pendekatan eksperimental yang diaplikasikan adalah fermentasi fase padat (*Solid-State Fermentation/SSF*) selama 72 jam menggunakan inokulum kapang *Aspergillus oryzae* dan *Aspergillus sojae*. Karakteristik saus nabati dievaluasi melalui parameter pH, kadar protein, serta profil sensori organoleptik menggunakan metode scoring (skala 1–5) guna menentukan perlakuan yang paling optimal. Berdasarkan pemodelan neraca massa MFA, sistem biovalorisasi berbahan dasar ampas kecap terbukti mampu mereduksi timbunan limbah padat secara signifikan hingga 41,71%, menunjukkan efisiensi pengalihan massa yang lebih superior dibandingkan bahan baku ampas tahu (28,46%). Secara komprehensif, capaian ini memvalidasi kelayakan penerapan sistem pengolahan limbah tersebut dalam mendukung terwujudnya konsep *zero-waste* pada agroindustri yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Ampas kedelai, *Aspergillus*, Biovalorisasi, *Material Flow Analysis*, Reduksi limbah.

ABSTRACT

*The massive volume of agroindustrial solid waste from soy sauce (59.7%) and tofu (35.5%) production has the potential to pollute the environment if it ends up in water bodies. However, the high nutrient content opens up opportunities for biovalorization into value-added products. Soy sauce solid waste has a protein content of 16.31%, and tofu solid waste has a protein content of 4.78%. This study aims to produce a plant-based sauce from soy sauce and tofu residues by adding banana peel pectin as a thickener, while simultaneously calculating the waste reduction rate using Material Flow Analysis (MFA) with STAN 2.7.101 software. The method used was solid-state fermentation (SSF) for 72 hours using *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus sojae*. The sauce characteristics were evaluated through pH, protein content, and organoleptic testing using a scoring method (1–5) to determine the best treatment. From the MFA mapping, it was proven that the biovalorization process of soy sauce residue-based sauce was able to reduce solid waste by up to 41.71%, which is more efficient compared to tofu residue, which only reduced waste by 28.46%. This confirms the feasibility of implementing a zero-waste approach in a sustainable agro-industrial system.*

Keywords: Biovalorization, Material Flow Analysis, Waste Reduction, Aspergillus, Solid Waste.