

**POTENSI FUNGI SELULOLITIK DARI TANAH TEMPAT
PEMROSESAN AKHIR (TPA) JABON KABUPATEN SIDOARJO
SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI LIMBAH ORGANIK**

SKRIPSI

**Oleh:
SEKAR AYU PUTRI ADININGRUM
NIM. 200602110071**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**POTENSI FUNGI SELULOLITIK DARI TANAH TEMPAT
PEMROSESAN AKHIR (TPA) JABON KABUPATEN SIDOARJO
SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI LIMBAH ORGANIK**

SKRIPSI

**Oleh:
SEKAR AYU PUTRI ADININGRUM
NIM. 200602110071**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**POTENSI FUNGI SELULOLITIK DARI TANAH TEMPAT
PEMROSESAN AKHIR (TPA) JABON KABUPATEN SIDOARJO
SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI LIMBAH ORGANIK**

SKRIPSI

**Oleh:
SEKAR AYU PUTRI ADININGRUM
NIM. 200602110071**

**Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Tanggal 20 Juni 2024**

Pembimbing I



**Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc
NIP. 19900428 202321 2 037**

Pembimbing II



**Didik Wahyudi, M.Si
NIP. 19860102 201801 1 001**

**Mengetahui,
Kepala Program Studi Biologi**



**Dr. Evika Sandi Savitri, M.P.
NIP. 19741018 200312 2 002**

**POTENSI FUNGI SELULOLITIK DARI TANAH TEMPAT
PEMROSESAN AKHIR (TPA) JABON KABUPATEN SIDOARJO
SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI LIMBAH ORGANIK**

SKRIPSI

Oleh:

**Sekar Ayu Putri Adliningrum
NIM. 200602110071**

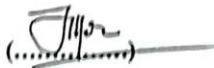
Telah dipertahankan

Di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima

Sebagai

salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal: Juni 2024

Penguji Utama	: Prof. Dr. Hj. Ulfah Utami, M.Si NIP. 196505509 199903 2 002	
Ketua Penguji	: Ir. Liliek Harianie A.R., M.P. NIP. 19620901 199803 2 001	
Sekretaris Penguji	: Prilya Dewi Fitriyani, M.Sc NIP. 19900428 202321 2 037	
Anggota Penguji	: Didik Wahyudi, M.Si NIP. 19860102 201801 1 001	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi


Dr. Evita Sandi Savitri, M.P.
NIP. 19741018 200312 2 002

LEMBAR PERSEMBAHAN

Saya persembahkan skripsi ini untuk semua orang-orang baik yang telah hadir dalam setiap lini kehidupan saya, terkhusus:

1. Cinta pertama dan panutanku, Ayahanda **Gunadi Priyambodo** dan pintu surgaku Ibunda **Endang Muktiningrum**. Terima kasih atas segala perjuangan, pengorbanan, dan tulus kasih yang diberikan kepada penulis. Beliau memang tidak sempat merasakan bangku perkuliahan, namun mereka selalu memberikan yang terbaik, memberikan motivasi dan semangat, serta dukungan yang luar biasa kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan studinya hingga sarjana. Semoga ayah dan ibu sehat selalu, panjang umur, dan Bahagia selalu sampai bisa melihat penulis sukses.
2. Saudara laki-lakiku yang kehadirannya tak kalah penting, Adek **Wahyu Krisna Adi Prasetyo**. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis dan berkontribusi dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Diri saya sendiri **Sekar Ayu Putri Adiningrum**, atas segala kerja keras dan semangatnya dalam mengerjakan tugas akhir skripsi ini. Terima kasih telah berjuang dan bertahan sejauh ini, semoga saya tetap rendah hati karena perjuangan mewujudkan cita-cita baru dimulai.
4. **Dosen-Dosen pendidikku**, yang telah memberikan segala motivasi berfikir cerdas dan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat bagi penulis.
5. Dosen-Dosen pembimbing tugas akhir penulis, Ibu **Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc** dan Bapak **Didik Wahyudi, M.Si**. Terima kasih atas bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibu **Dr. Hj. Ulfah Utami, M. Si** dan ibu **Ir. Liliek Harianie A.R., M.P.** sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak kritik dan saran demi kebaikan skripsi ini.
7. Sahabat-sahabatku tercinta, **Ani, Latansya, Inge, Putri, Faizah, Leony, Mey, Khalishah, Alviani, Aurent, Alvickta, Elsa, Gita, dan Dwi** yang selalu membantu, memberikan semangat, motivasi dan dukungan, serta doa terbaiknya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman **BIOGEN-C** yang selalu memberikan dukungan tiada henti-hentinya selama proses penyusunan tugas akhir ini.
8. Terimakasih saya ucapkan juga kepada seluruh elemen yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Doa baik untuk semua orang-orang baik.

Semoga Allah Subhanahu WaTa'alla memberikan balasan kebaikan yang berlimpah. Aamiin

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda di bawah ini:

Nama : Sekar Ayu Putri Adiningrum
NIM : 200602110071
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Potensi Fungi Selulolitik Dari Tanah Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Jabon Kabupaten Sidoarjo Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Organik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data hasil, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai pengambilan data tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan entri sumber pada daftar Pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atau perbuatan tersebut.

Malang, 26 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,

Sekar Ayu Putri Adiningrum

NIM. 200602110071

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkerkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya

MOTTO

“Belajar yang Keras, Kerja yang Cerdas ”

“Orang lain tidak akan bisa paham *struggle* dan masa sulit kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian *success stories*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun tidak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini ”

**POTENSI FUNGI SELULOLITIK DARI TANAH TEMPAT
PEMROSESAN AKHIR (TPA) JABON KABUPATEN SIDOARJO
SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI LIMBAH ORGANIK**

Sekar Ayu Putri Adiningrum, Prilya Dewi Fitriasari, Didik Wahyudi

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

Limbah organik sayur mengandung selulosa 7,20%-43,60%. Selulosa merupakan polimer linier D-glukosa yang tidak mudah terurai karena memiliki mikrofibril kaku yang tahan terhadap degradasi. Limbah organik dapat dengan mudah didegradasi oleh mikroorganisme tertentu yaitu fungi selulolitik. Purkan dkk (2015) memanfaatkan fungi *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor* dan *Paecylomyces* untuk proses biodegradasi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui aktivitas enzim fungi selulolitik secara kualitatif dan kuantitatif yang berhasil diisolasi dari tanah TPA Jabon, mengetahui kemampuan degradasi dari fungi selulolitik berpotensi, dan mengetahui karakteristik morfologi fungi selulolitik yang mampu mendegradasi limbah organik. Metode yang digunakan; isolasi fungi, uji aktivitas enzim secara kualitatif dan kuantitatif, uji biodegradasi limbah organik secara *in vitro*, dan identifikasi fungi selulolitik secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil penelitian didapatkan 9 isolat fungi, 6 isolat berpotensi, tiga isolat fungi masing-masing perwakilan titik lokasi diambil yang tertinggi indeks selulolitiknya yaitu TS 1'1, TS 2'2, dan TS 3'4. Tiga isolat fungi tersebut diuji *in vitro* pada limbah organik dengan masa inkubasi 15 hari. Hasil uji biodegradasi limbah secara *in vitro* menunjukkan bahwa isolat TS 1'1, TS 2'2, dan TS 3'4 mampu mendegradasi limbah organik dengan persentase penurunan 42% (TS 1'1), 46% (TS 2'2), dan 52% (TS 3'4). Hasil identifikasi karakteristik morfologi secara makroskopis dan mikroskopis menunjukkan bahwa isolat TS 1'1 dari genus *Aspergillus*, TS 2'2 dari genus *Penicillium*, dan TS 3'4 dari genus *Trichoderma*. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa fungi selulolitik dari tanah TPA Jabon berpotensi dalam mendegradasi limbah organik yang ditandai dengan adanya penurunan berat kering.

Kata Kunci: Biodegradasi, Enzim Selulase, Fungi selulolitik, Limbah Organik

POTENSI FUNGI SELULOLITIK DARI TANAH TEMPAT FINAL PROCESSING (TPA) JABON SIDOARJO REGENCY AS AN ORGANIC WASTE BIODEGRADATION AGENT

Sekar Ayu Putri Adiningrum, Prilya Dewi Fitriasari, Didik Wahyudi

Biology Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang

ABSTRACT

Vegetable organic waste contains 7.20%-43.60% cellulose. Cellulose is a linear polymer of D-glucose that does not biodegrade easily because it has rigid microphybils that are resistant to degradation. Organic waste can be easily degraded by certain microorganisms, namely cellulolytic fungi. Purkan et al (2015) utilize *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor* and *Paecylomyces* fungi for the biodegradation process. The purpose of this study is to determine the enzyme activity of cellulolytic fungi qualitatively and quantitatively which was successfully isolated from the Jabon landfill soil, determine the degradation ability of potential cellulolytic fungi, and determine the morphological characteristics of cellulolytic fungi that are able to degrade organic waste. The method used; Isolation of fungi, qualitative and quantitative enzyme activity tests, *in vitro* biodegradation tests, and macroscopic and microscopic identification of cellulolytic fungi. The results of the study found 9 fungal isolates, 6 potential isolates, three fungal isolates, each representative of the location point was taken with the highest cellulolytic index, namely TS 1'1, TS 2'2, and TS 3'4. The three fungal isolates were tested *in vitro* on organic waste with an incubation period of 15 days. The results of *in vitro* waste biodegradation tests showed that TS 1'1, TS 2'2, and TS 3'4 isolates were able to degrade organic waste with a reduction of 42% (TS 1'1), 46% (TS 2'2, and 52% (TS 3'4). The results of macroscopic and microscopic identification of morphological characteristics showed that TS 1'1 isolates from the genus *Aspergillus*, TS 2'2 from the genus *Penicillium*, and TS 3'4 from the genus *Trichoderma*. From the results of the study, it can be concluded that cellulolytic fungi from Jabon landfill soil have the potential to degrade organic waste which is characterized by a decrease in dry weight.

Keywords: Biodegradation, Cellulase Enzymes, Cellulolytic Fungi, Organic Waste

إمكانات الفطريات المحللة للخلايا من تربة موقع المعالجة النهائية (TPA) جابون ، سيدوارجو ريجنسي كعامل تحليل بيولوجي للنفايات العضوية

سيكار أبو بوتري أدنينغروم، بريليا ديوي فيترياساري، ديديك واهيودي

برنامج دراسة علم الأحياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية
مالانج

مستخلص البحث

تحتوي نفايات الخضروات العضوية على 7.20-43.60% من السليلوز. السليلوز هو بوليمر خطي D-glucose لا يتحلل بسهولة لأنه يحتوي على ميكروفييل صلب مقاوم للتحلل. يمكن أن تتحلل النفايات العضوية بسهولة بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة مثل الفطريات المحللة للخلايا. استخدم Purkan et al. (2015) الفطريات *Trichoderma* و *Penicillium* و *Aspergillus* و *Mucor* و *Paecylomyces* لعملية التحلل البيولوجي. الغرض من هذه الدراسة هو تحديد نشاط إنزيمات الفطريات المحللة للخلايا نوعياً وكمياً والتي تم عزلها بنجاح من تربة مكب جابون ، لتحديد قدرة تحلل الفطريات المحللة للخلايا المحتملة ، وتحديد الخصائص المورفولوجية للفطريات المحللة للخلايا القادرة على تحلل النفايات العضوية. الأساليب المستخدمة؛ العزل الفطري ، اختبارات نشاط الإنزيم النوعي والكمي ، اختبارات التحلل البيولوجي للنفايات العضوية في المختبر ، والتعرف العياني والمجهري للفطريات المحللة للخلي. تم الحصول على نتائج الدراسة 9 عزلات فطرية ، 6 عزلات محتملة ، ثلاث عزلات فطرية ، تم أخذ كل ممثل لنقطة الموقع ، وكان أعلى مؤشر تحلل خلوي هو TS 1'1 و TS 2'2 و TS 3'4. تم اختبار العزلات الفطرية الثلاثة في المختبر على النفايات العضوية مع فترة حضانة مدتها 15 يوماً. أظهرت نتائج اختبارات التحلل البيولوجي للنفايات في المختبر أن عزلات TS 1'1 و TS 2'2 و TS 3'4 كانت قادرة على تحلل النفايات العضوية بنسبة تخفيض 42% (TS 1'1) و 46% (TS 2'2) و 52% (TS 3'4). أظهرت نتائج تحديد الخصائص المورفولوجية العيانية والمجهري أن عزل TS 1'1 من جنس *Aspergillus* ، TS 2'2 من جنس *Penicillium* ، و TS 3'4 من جنس *Trichoderma*. من نتائج الدراسة ، يمكن استنتاج أن الفطريات المحللة للخلايا من تربة مكب جابون لديها القدرة على تحلل النفايات العضوية التي تتميز بانخفاض الوزن الجاف.

الكلمات المفتاحية: التحلل البيولوجي ، الإنزيمات الخلوية ، الفطريات المحللة للخلايا ، النفايات العضوية

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Bismillahirrohmaanirrohim, puji syukur selalu dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Potensi Fungi Selulolitik Dari Tanah Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jabon Kabupaten Sidoarjo Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Organik”. Tidak lupa pula shalawat serta salam disampaikan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menegakkan addiinul Islam yang terpatri hingga akhir zaman. Aamiin.

Bantuan serta dukungan yang diberikan dari beberapa pihak, oleh karena itu pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. Zainuddin, MA. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Prof. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi beserta jajaran wakil dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P selaku Ketua Program Studi Biologi dan Ibu Fitriyah, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi beserta jajaran wakil dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Ibu Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc dan Bapak Didik Wahyudi, M.Si selaku pembimbing I dan II, yang telah banyak memberikan banyak motivasi, nasehat, arahan, bimbingan, dan masukan dengan penuh kesabaran kepada penulis sehingga proposal tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Prof. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dosen wali, yang telah membimbing dan memberikan masukan serta nasehat sehingga penulis menyelesaikan studi dengan baik.
6. Seluruh dosen dan laboran Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, yang membantu menyelesaikan studi dengan baik.

7. Ayah, Ibu, dan Adikku tercinta yang senantiasa memberikan Doa, semangat, dukungan serta motivasi kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman BIOGENC dan teman-teman sekesal cabang Malang yang selalu memberikan semangat.

Semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari bila dalam penulisan proposal tugas akhir ini masih banyak kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu, kritik dan masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi kelengkapan tugas akhir ini.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Malang, 2 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
مستخلص البحث.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Limbah.....	8
2.2 Jenis dan Sumber Limbah	9
2.3 Limbah Organik Sayuran	12
2.4 Pengelolaan Limbah	13
2.5 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)	16
2.6 Selulosa	17
2.7 Enzim Selulase	19
2.8 Fungi.....	22
2.9 Fungi Selulolitik	24
2.10 Seleksi Fungi Selulolitik Berdasarkan Keberadaan Zona Bening.....	26
2.11 Uji Aktivitas Enzim Selulase dengan Metode DNS	27
2.12 Biodegradasi Selulosa oleh Fungi Selulolitik	28
2.13 Faktor yang Mempengaruhi Biodegradasi	31

2.14	Identifikasi Fungi	33
2.14.1	Identifikasi Makroskopis.....	34
2.14.2	Identifikasi Mikroskopis	34
BAB III METODE PENELITIAN		36
3.1	Rancangan Penelitian	36
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.3	Alat dan Bahan	37
3.3.1	Alat.....	37
3.3.2	Bahan.....	37
3.4	Prosedur Penelitian.....	38
3.4.1	Preparasi Alat dan Bahan	38
3.4.2	Pembuatan Media.....	38
3.4.3	Pengambilan Sampel.....	39
3.4.4	Isolasi Fungi	40
3.4.5	Uji Aktivitas Enzim Selulase Secara Kualitatif	40
3.4.6	Uji Aktivitas Enzim Selulase Secara Kuantitatif	41
3.4.7	Identifikasi Fungi	43
3.4.8	Uji Biodegradasi Secara <i>In Vitro</i>	44
3.4.9	Analisis Data	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Hasil Uji Aktivitas Enzim Selulase Secara Kualitatif dan Kuantitatif ...	46
4.2	Identifikasi Isolat Fungi Selulolitik secara Makroskopis dan Mikroskopis	53
4.3	Hasil Uji Biodegradasi Limbah Organik Secara <i>In Vitro</i>	63
BAB V PENUTUP		69
DAFTAR PUSTAKA.....		70
LAMPIRAN.....		80

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Rancangan Penelitian	36
4.1 Hasil seleksi isolat fungi selulolitik berdasarkan keberadaan zona bening	49
4.2 Hasil identifikasi morfologi isolat fungi	53
4.3 Hasil uji biodegradasi fungi selulolitik terhadap limbah organik	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur selulosa.....	19
2.2 Terbentuknya zona bening di sekitar koloni pada medium CMC 1%.....	27
2.3 Reaksi antara DNS dengan glukosa	28
2.4 Mekanisme Hidrolisis Selulosa.....	31
4.1 Hasil seleksi isolat fungi selulolitik secara kualitatif.....	48
4.2 Kurva standar glukosa.....	50
4.3 Hasil uji aktivitas enzim secara kuantitatif	52
4.4 Isolat TS 1'1 <i>Aspergillus</i> sp.	54
4.5 Isolat TS 2'1 <i>Aspergillus</i> sp.	56
4.6 Isolat TS 2'2 <i>Penicillium</i> sp.	58
4.7 Isolat 3'1 <i>Aspergillus</i> sp.	60
4.8 Isolat 3'3 <i>Penicillium</i> sp.	61
4.9 Isolat TS 3'4 <i>Trichoderma</i> sp.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil isolasi fungi dari tanah TPA jabon	80
2. Uji Biodegradasi secara <i>In Vitro</i>	82
3. Perhitungan Aktivitas Ezim secara Kuantitatif	83
4. Denah <i>Sanitary Landfill</i> TPA Jabon	84

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah merupakan bahan buangan yang berasal dari suatu kegiatan produksi baik tingkat industri maupun domestik (rumah tangga) yang memiliki dampak negatif. Limbah berdampak pada penurunan kualitas lingkungan hidup yang ditunjukkan dengan penurunan nilai estetika, dampak negatif pada kesehatan, terjadi kerugian ekonomi, dan rusaknya ekosistem alami apabila tidak dikelola secara baik dan benar (Azteria dkk, 2021).

Sumber limbah terbanyak di Indonesia berasal dari limbah rumah tangga dan pasar. Limbah tersebut termasuk dalam limbah padat organik seperti sayur mayur, buah-buahan, dan sisa bahan makanan lainnya. Sumber limbah di Indonesia yang berasal dari rumah tangga 38,37% dan limbah yang berasal dari pasar 27,64% dengan komposisi limbah organik 53,6% dan sisanya merupakan limbah anorganik (KLHK, 2022). Produksi limbah di Kabupaten Sidoarjo berkategori tinggi nomor dua setelah Kota Surabaya, limbah yang dihasilkan mencapai 1,086.24 ton/hari dan 396,476.90 ton/tahun sedangkan Kota Surabaya 1.585 ton/hari dan 578.168 ton/tahun. Komposisi limbah pada Kabupaten Sidoarjo berupa limbah organik sebanyak 54% dan sisanya adalah limbah anorganik sebanyak 46% berupa kaca, kain, logam, dan lainnya (KLHK, 2020).

Limbah organik memiliki komposisi biomassa dengan berat kering 75%, pati, selulosa, dan hemiselulosa yang umumnya terdapat pada sayur-sayuran, buah-buahan, dan dedaunan (Irawan, 2010). Limbah organik sayur memiliki kandungan nutrisi berupa protein kasar 12,64%-23,50%, serat kasar 20,76%-29,18%, dan selulosa 7,20%-43,60% terutama pada sayuran hijau. Sayuran hijau seperti kangkung,

pakcoy, bayam, sawi putih, dan sayuran hijau lainnya memiliki kandungan serat berupa selulosa sebagai penyusun utama dengan nilai yang cukup tinggi yaitu 35%-50% (Chargot *et al* 2017; Resti dkk 2021). Selulosa merupakan polimer linier D-glukosa yang memiliki mikrofibril dengan struktur kaku dan teratur serta membentuk kristal bersama hemiselulosa dan lignin yang tidak mudah larut di dalam air sehingga sulit untuk terurai karena memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap degradasi. Selulosa akan dengan mudah terdegradasi apabila memanfaatkan peran organisme – organisme tertentu yang spesifik, seperti bakteri dan fungi (Nurfitriani & Handayanto, 2017; Weimer, 2022).

Pengelolaan limbah yang sudah diterapkan hanya sebatas pengelolaan limbah secara konvensional dengan pengangkutan limbah dari tempat asal ke Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Limbah-limbah tersebut nantinya hanya akan dibuang secara sia-sia ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) tanpa adanya pengelolaan lebih lanjut (Hidayah & Isnaini, 2022). Salah satu cara untuk mengatasi timbunan limbah adalah menerapkan biodegradasi.

Allah SWT berfirman dalam QS. Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ
Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut akibat perbuatan tangan manusia. (Maka dari itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Q.S Ar-Rum:41)

Ayat di atas menurut Shihab (2002) dalam Tafsir Al-Misbah menjelaskan bahwa kata (الْفَسَادُ) berarti keluarnya sesuatu dari keseimbangan baik sedikit maupun banyak. Beberapa ulama kontemporer menyebutkan bahwa arti potongan ayat tersebut merujuk pada kerusakan lingkungan karena terjadi di darat dan laut. Pelanggaran akibat ulah manusia dapat mengakibatkan ketidakseimbangan ekosistem di darat dan di laut. Semakin banyak kerusakan lingkungan maka akan

semakin besar pula dampak buruk terhadap manusia. Az-Zuhaili (2013) dalam Tafsir Al-Munir menjelaskan bahwa suatu kerusakan yang terjadi merupakan kerusakan dengan sedikit kemanfaatan dan kebaikan. Potongan ayat (بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ) menerangkan bahwa kerusakan yang terjadi akibat ulah perbuatan manusia, dosa-dosa manusia dengan melanggar hal-hal yang mesti dihormati. Kemenag RI (2022) dalam Tafsir Tahlili mengungkapkan bawah Allah berharap dengan timpaan yang diberikan kepada manusia (akibat ulah manusia seperti eksploitasi alam secara berlebih) dapat membuat mereka sadar dan juga Allah mengharapkan manusia tidak lagi merusak ekosistem alam yang telah diciptakan-Nya.

Biodegradasi merupakan upaya menangani limbah secara biologi menggunakan mikroorganisme. Mikroorganisme tersebut akan menjadikan limbah organik sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya sehingga terjadilah proses penguraian (Turista, 2017). Fungi selulolitik merupakan kelompok organisme yang berperan dalam mendegradasi selulosa menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti glukosa, selobiosa, dan seloligosakarida dari dihasilkannya enzim selulase sehingga proses penguraian limbah organik menjadi lebih cepat. Limbah organik secara alami membutuhkan waktu 4-5 bulan untuk terdegradasi (Klemm *et al*, 2006; Sutari, 2020). Hardianty dkk (2013) melakukan isolasi fungi selulolitik dari tanah Hutan Arboretum Universitas Riau yang menunjukkan adanya aktivitas selulase dengan terbentuknya zona bening pada substrat. Talantan dkk (2018) berhasil mengisolasi fungi selulolitik dari tanah Danau Kalimpa'a yang memiliki aktivitas selulase baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hidayat & Isnawati (2021) juga mendapatkan isolat fungi selulolitik dari Fermetodege yang menunjukkan adanya zona bening pada media skrining CMC (*Carboxyl Methyl Cellulose*).

Degradasi selulosa menggunakan mikroorganisme memiliki tingkat efisiensi berbeda tergantung pada kemampuan mikroorganisme dalam menghasilkan enzim selulase. Fungi selulolitik memiliki 3 komponen penting enzim selulase yaitu endoglukosidase, β -D-glukosidase, dan selobiohidrolase sedangkan bakteri hanya memiliki 2 komponen enzim selulase yang penting yaitu endoglukosidase, dan selobiohidrolase. Komponen penting enzim selulase yang dimiliki oleh fungi dan bakteri membuktikan bahwa fungi selulolitik memiliki kemampuan yang lebih baik dalam perannya mendegradasi selulosa karena ketiga enzim tersebut berikatan untuk mendegradasi selulosa hingga melepaskan gula pereduksi sebagai produk akhir (Miyamoto, 1997; Purkan dkk, 2015). Fungi yang mampu menghasilkan enzim selulase diantaranya *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor* dan *Paecylomyces* (Purkan dkk, 2015).

Fungi selulolitik yang digunakan sebagai agen biodegradasi limbah organik umumnya dapat ditemukan dari sampel tanah TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). TPA yang dipilih dalam penelitian ini adalah TPA Jabon, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo. TPA Jabon termasuk salah satu TPA aktif di Kabupaten Sidoarjo dan menerapkan metode *sanitary landfill* yaitu pengelolaan limbah dengan padatan limbah yang ditutup menggunakan tanah. (PUPR, 2021). *Sanitary landfill* menghasilkan karbon dioksida (CO₂), hidrogen dan metana (CH₄). Gas metana dihasilkan karena adanya peran mikroorganisme dalam mendegradasi timbunan limbah melalui proses metabolisme (Khuzzaman dkk, 2013; Beaton *et al*, 2019). Nurnawati dkk (2014) menemukan fungi selulolitik dari Genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*, dan *Monocillium* pada tanah TPA Palembang. Fungi selulolitik *Aspergillus* juga ditemukan pada TPA Talangagung Malang (Alfariyah,

2020). Hal ini menunjukkan bahwa kandidat fungi selulolitik di TPA Jabon diperkirakan memiliki jumlah yang banyak.

Berdasarkan latar belakang di atas, diketahui bahwa tanah dari TPA merupakan sumber potensial dalam mengisolasi fungi selulolitik. Isolasi fungi selulolitik dilakukan dengan proses pengambilan sampel, inokulasi sampel, dan pemurnian. Seleksi fungi selulolitik menggunakan media CMC (*carboxymethylcellulase*) dengan pewarnaan *Congo red* yang ditandai terbentuknya zona bening apabila fungi positif menghasilkan selulase. Keberadaan fungi selulolitik dikonfirmasi dengan uji aktivitas enzim selulase secara kuantitatif menggunakan reagen DNS. Uji *in vitro* dilakukan untuk mengetahui kemampuan fungi selulolitik dalam mendegradasi limbah organik berdasarkan penyusutan berat kering limbah. Teknik *in vitro* digunakan pada penelitian ini dengan maksud menguji isolat fungi selulolitik terhadap limbah organik dalam skala laboratorium dengan disesuaikan kondisi aslinya (Fidiastuti, 2014). Pengujian *in vitro* dilakukan dengan memberikan variasi waktu inkubasi terhadap isolat fungi selulolitik. Hal ini dikarenakan fungi selulolitik akan memproduksi secara maksimal enzim selulase pada hari ke-5 atau selama 120 jam ketika fungi berada pada fase eksponensial (Ariyani dkk, 2014).

Dontroliya *et al* (2022) fungi selulolitik digunakan untuk mendegradasi limbah organik dengan pemanfaatan lanjutan sebagai pakan ternak, pupuk hayati, dan sumber enzim selulase pada kegiatan industri. Dengan demikian, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisolasi fungi selulolitik yang berasal dari tanah TPA Jabon, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo dan mengetahui aktivitas enzim selulase fungi serta kemampuan degradasi fungi selulolitik terhadap limbah organik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana aktivitas enzim selulase fungi selulolitik dari tanah TPA Jabon Kabupaten Sidoarjo?
2. Bagaimana karakteristik morfologi isolat fungi selulolitik yang berpotensi menghasilkan enzim selulase?
3. Bagaimana kemampuan degradasi limbah organik oleh isolat fungi selulolitik berdasarkan waktu inkubasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui aktivitas enzim selulase yang dihasilkan oleh fungi selulolitik dari tanah Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jabon, Kabupaten Sidoarjo
2. Mengetahui karakteristik morfologi isolat fungi selulolitik yang berpotensi menghasilkan enzim selulase.
3. Mengetahui kemampuan degradasi limbah organik oleh isolat fungi selulolitik berdasarkan waktu inkubasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi terkait dengan fungi selulolitik yang memiliki potensi sebagai agen biodegradasi selulosa pada limbah organik.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengelolaan limbah khususnya limbah organik

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah;

1. Uji aktivitas enzim selulase fungi selulolitik dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif
2. Uji potensial fungi dalam mendegradasi selulosa menggunakan media CMC
3. Identifikasi karakter morfologi fungi pada tingkat genus yang didapat dari isolat fungi dengan potensi pendegradasi selulosa tinggi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah merupakan bahan hasil buangan dari kegiatan sehari-hari masyarakat termasuk kegiatan rumah tangga, industri, komersial, atau aktivitas lainnya yang meninggalkan bekas sisa produk. Sisa produk tersebut sudah ditinggalkan dan tidak bisa digunakan kembali (Sumartini *et al*, 2021). Menurut Umroningsih (2022) limbah termasuk bahan yang tidak memiliki nilai ekonomi dan manfaat serta keberadaannya dapat membahayakan ketika sudah mencemari lingkungan di sekitarnya.

Limbah merupakan segala sesuatu yang ditinggalkan karena dinilai tidak memiliki kegunaan untuk kegiatan selanjutnya. Limbah memiliki sifat dapat membusuk maupun tidak dapat membusuk. Limbah yang dapat membusuk merupakan limbah organik yang berasal dari sisa makhluk hidup. Limbah organik termasuk limbah yang dapat terurai secara alami meskipun tidak secara cepat. Limbah organik secara alami membutuhkan waktu 4-5 bulan untuk terdegradasi (Klemm *et al*, 2006). Limbah yang tidak dapat membusuk merupakan limbah anorganik yang berasal dari bahan atau benda tak hidup yaitu kaca, logam, plastik, dan kaleng. (Anggriyani dkk, 2022).

Limbah memiliki nilai ancaman bagi lingkungan dan Kesehatan manusia apabila tidak dapat dikelola dengan baik dan bijak. Limbah ditinggalkan atau dibiarkan menumpuk di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Tumpukan limbah tersebut nantinya akan dimanfaatkan oleh hewan pembawa penyakit seperti nyamuk, lalat, tikus, dan kecoa sebagai tempat tinggal mereka. Limbah yang dibuang ke saluran perairan menyebabkan eutrofikasi jumlah alga dan fitoplankton

akan semakin melimpah, menyebabkan kematian akibat dari makhluk hidup berebut O₂ secara bersamaan dan menyebabkan masalah bagi hewan yang hidup di sekitar pembuangan dengan mengkonsumsinya. Tumpukan limbah akan menimbulkan bau tak sedap dan apabila limbah tersebut dibakar akan menyebabkan polusi udara akibat terbawanya asap dan partikel padat oleh angin (Widjaja, 2022).

2.2 Jenis dan Sumber Limbah

Menurut Pasal 1 (20) Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Limbah merupakan bahan sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan industri dan rumah tangga (Hasibuan, 2016). Limbah berdasarkan asalnya dapat dikelompokkan menjadi dua (Hasibuan, 2016), yaitu:

a) Limbah Organik

Limbah organik merupakan limbah yang memiliki unsur kimia berupa karbon (C) berasal dari makhluk hidup seperti kotoran hewan dan manusia (*feaces*) serta air seni (*urine*) yang banyak mengandung nitrogen dan posfor. Limbah organik juga berasal dari sisa kegiatan rumah tangga seperti sisa makanan berupa sayur dan buah, minyak goreng, kertas, kardus, air cucian, dan karton. Limbah organik lain seperti air bekas cucian dan air buangan kamar mandi memiliki banyak kandungan bibit penyakit yang berasal dari agen biologi yaitu fungi, bakteri, virus, dan lainnya. Namun, limbah organik menurut beberapa literatur lain diartikan dengan limbah yang hanya berasal dari sisa makhluk hidup atau limbah alami yang memiliki sifat dapat membusuk (Hasibuan, 2016).

Menurut Nurdin dkk (2020) limbah organik merupakan limbah yang berasal dari bahan hayati mudah terdegradasi oleh mikroba yang bersifat *biodegradable*. Limbah organik terdekomposisi dengan mudah oleh aktivitas mikroorganisme.

Limbah yang mudah membusuk membutuhkan pengelolaan dengan menerapkan sistem kecepatan pada pengumpulan, pengangkutan, hingga pemrosesannya. Tumpukan limbah organik sangat perlu untuk dihindari karena menghasilkan bau busuk akibat adanya asam volatil seperti amoniak, dan asam – asam volatil lainnya. Limbah organik yang menumpuk akan menghasilkan gas hasil dekomposisi yaitu gas metan yang dapat membahayakan keselamatan apabila tidak dikelola secara benar. Kelompok limbah ini memiliki potensi untuk dikelola dengan bantuan mikroorganisme baik pengomposan maupun gasifikasi, atau penambahan agen biodegradasi oleh fungi dan bakteri.

b) Limbah Anorganik

Limbah anorganik merupakan limbah yang berasal dari bahan non hayati tanpa unsur kimia berupa karbon (C) seperti logam (peralatan rumah tangga, besi mobil, aluminium dari kaleng bekas), kaca, keramik, dan pupuk anorganik (mengandung nitrogen dan posfor). Umumnya, limbah anorganik ditemukan sebagai limbah padat sulit membusuk (Hasibuan, 2016).

Limbah anorganik merupakan limbah yang berasal dari industri maupun pertambangan. Limbah ini berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Limbah yang tidak dapat membusuk dapat ditangani dengan metode *refuse* yaitu mendaur ulang limbah menjadi produk bermanfaat dan bernilai ekonomis seperti pembuatan kerajinan dari kaleng , botol, atau plastik bekas. Limbah organik juga dapat dimusnahkan dengan pembakaran, namun harus dilakukan tindakan lebih lanjut agar tidak mencemari udara (Dahruji dkk, 2017).

Limbah berdasarkan sumbernya menurut Dahruji, dkk (2017) dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

a) Limbah Pabrik

Limbah pabrik merupakan limbah yang termasuk dalam golongan bahaya dikarenakan memiliki kandungan gas beracun yang cukup tinggi. Umumnya jenis limbah ini banyak dialirkan ke Sungai-sungai dekat dengan pemukiman warga dengan jarak yang dekat. Hal ini menjadi ancaman kesehatan bagi warga dikarenakan kebiasaan mereka dalam Mandi, Cuci dan Kakus (MCK) langsung dari Sungai.

b) Limbah Rumah Tangga

Limbah rumah tangga merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari rumah tangga. Limbah rumah tangga dihasilkan dari satu maupun beberapa rumah namun tidak termasuk pada tinja dan limbah yang sudah terspesifikan. Limbah jenis ini dapat berupa sisa sayur-sayuran, buah, buahan, kertas, kardus, dan juga karton.

c) Limbah Industri

Limbah industri merupakan limbah yang dihasilkan langsung dari kegiatan pabrik. Limbah jenis ini umumnya memiliki kandungan zat berbahaya seperti asan anorganik dan senyawa organik. Zat berbahaya tersebut Ketika dialirkan ke Sungai pemukiman dan dimanfaatkan oleh warga untuk kegiatan sehari-hari akan mengganggu Kesehatan.

Limbah berdasarkan wujudkan menurut Umroningsih (2022) dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

a) Limbah Padat

Limbah padat merupakan limbah yang berwujud padat dan memiliki sifat yang trelatif kering. Limbah padat termasuk jenis limbah yang tidak dapat untuk

dipindahkan kecuali ada yang memindahkan. Limbah padat umumnya berasal dari sisa makanan, sayur-sayuran, buah-buahan, potongan kayu, industry, dan lainnya.

b) Limbah Cair

Limbah cair merupakan limbah yang berwujud cair. Limbah jenis ini mudah dan selalu larut di dalam air. Limbah cair akan selalu mengalami perpindahan karena adanya aliran (kecuali jika limbah cair diletakkan di dalam wadah). Limbah cair umumnya berasal dari air bekas cucian pakaian dan alat makan, air limbah industri, dan lainnya.

c) Limbah Gas

Limbah gas merupakan limbah yang berwujud gas. Limbah jenis ini umumnya dapat terlihat dalam wujud asap dan selalu mengalami pergerakan sehingga jangkauan penyebarannya relative luas. Limbah gas umumnya berasal dari gas kendaraan bermotor, gas limbah buangan dari kegiatan industry, dan lainnya.

2.3 Limbah Organik Sayuran

Limbah organik umumnya berasal dari sisa makhluk hidup dan sisa bahan rumah tangga seperti limbah dapur, sisa sayur-sayuran, buah-buahan, sisa tepung, dan daun. Limbah organik termasuk dalam limbah yang banyak mengandung unsur-unsur hidrogen, karbon, dan juga oksigen (Yulistia dkk, 2021). Limbah organik dapat dibedakan menjadi limbah organik basah dan limbah organik kering. Limbah organik basah merupakan limbah organik yang memiliki kandungan air banyak atau cukup tinggi, contohnya seperti sisa makanan, sisa sayuran, dan sisa buah-buahan sedangkan limbah organik kering merupakan limbah organik yang memiliki kandungan air relatif sedikit atau bahkan tidak mengandung air sama

sekali, contohnya seperti kayu, kertas, ranting pohon, dan dedaunan kering (Muchlisinalahuddin & Dytchia, 2020).

Limbah sayuran merupakan jenis limbah organik basah yang banyak ditemukan di pasar khususnya pasar tradisional. Limbah sayur yang biasa ditemukan adalah limbah kangkung, sawi putih, pakcoy, sawi hijau, kubis, bayam, dan lainnya. Limbah sayur tersusun atas kandungan yang cukup tinggi atas selulosa dan hemiselulosa. Kandungan-kandungan tersebut akan mempermudah dikonversi untuk menjadi hidrogen. Selulosa dan hemiselulosa akan terhidrolisis dengan dikonversi menjadi senyawa gula monomer yang terdiri dari glukosa, arabinosa, xilosa, dan galaktosa. (Rahman *et al*, 2020).

Sayur yang sudah tidak dimanfaatkan akan ditinggalkan begitu saja dan menjadi limbah. Limbah sayur sendiri ini pada dasarnya banyak mengandung kandungan gizi yang cukup tinggi, seperti protein kasar 12,64-23,50% serat kasar 20,76-29,18%, dan selulosa 40-50% (Resti dkk, 2021). Menurut Herawati, dkk (2023) limbah sayur pasar memiliki kadar air yang cukup tinggi, yaitu 80-90%. sehingga mudah membusuk. Timbunan limbah yang mudah membusuk harus dihindari karena dapat menimbulkan bau busuk dan berbahaya apabila tidak dikelola dengan tepat akibat dihasilkannya gas metan. Oleh karena itu, pengolahan dengan sistem cepat seperti penambahan mikroorganisme sangat diperlukan.

2.4 Pengelolaan Limbah

Limbah harus dikelola dengan baik dan benar untuk mencegah dampaknya pada lingkungan. Menurut Arisona (2018) limbah umumnya dapat dikelola dengan mudah oleh masyarakat dengan menerapkan perilaku 3R, yaitu:

a) *Reduce*

Reduce merupakan upaya pengelolaan limbah dengan mengurangi timbunan limbah yang ada pada lingkungan sumber atau bahkan melakukan penghentian untuk menghasilkan limbah. Masyarakat dapat menerapkan pola hidup konsumtif dengan sikap menjadikan penghasilan limbah menjadi lebih efisien serta meminimalisasi barang atau bahan yang digunakan dengan menghindari pemakaian serta pembelian bahan yang akan menghasilkan limbah dengan jumlah besar (Arisona, 2018). Pengurangan ini termasuk dalam upaya pengelolaan yang memiliki prioritas tinggi. Mengurangi jumlah limbah akan menciptakan lingkungan yang baik dan biaya pengelolaan yang hemat. Apabila limbah telah dihasilkan, maka penting untuk dikumpulkan dan dilakukan proses pendaur ulangan (Kabirifar *et al*, 2020).

b) *Reuse*

Reuse merupakan upaya pengelolaan limbah dengan menggunakan kembali bahan atau produk agar terhindar dari terjadinya timbunan limbah tanpa dilakukan proses pengelolaan. *Reuse* memiliki prinsip yaitu dengan meminimalisasi pembelian barang atau produk yang tidak bisa dipakai kembali dan menghindari pembelian barang yang hanya berfungsi dalam sekali pakai dengan begitu akan memperpanjang jangka waktu pemakaian dan tidak terjadi tumpukan limbah (Arisona, 2018). Penggunaan kembali barang akan menjadi strategi paling efektif selain untuk menghemat pemakaian sumber daya alam, juga akan melindungi lingkungan dan menghemat pengeluaran. Upaya ini akan berkontribusi dalam menjaga kelestarian alam untuk generasi muda mendatang serta memaksimalkan penggunaan produk bermanfaat (Oyenuga, 2016).

c) *Recycle*

Recycle merupakan upaya pengelolaan limbah dengan mendaur ulang bahan yang sudah tidak memiliki manfaat menjadi bahan yang bermanfaat kembali setelah terjadi proses pengolahan. Umumnya tidak semua bahan dan barang dapat didaur ulang kembali. Namun, *recycle* memiliki prinsip untuk sebisa mungkin memanfaatkan bahan dan barang yang tidak berguna menjadi lebih bermanfaat. Upaya ini dapat dilakukan oleh industri non-formal serta industri rumah tangga yang mengelola limbah menjadi barang lain dengan manfaat yang berbeda (Arisona, 2018). Upaya daur ulang ini juga akan menciptakan peluang kerja serta meningkatkan taraf ekonomi dengan menghasilkan barang-barang berguna. Upaya ini akan berjalan dengan baik apabila semua pihak dapat berpartisipasi untuk mensukseskannya (Kabirifar *et al*, 2020).

Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Baqarah ayat 29 yang berbunyi:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

Artinya: "Dialah (Allah) yang menciptakan segala yang ada di bumi untukmu, kemudian Dia menuju ke langit, lalu Dia menyempurnakannya menjadi tujuh langit. Dia Maha Mengetahui segala sesuatu." (Q.S Al-Baqarah:29)

Ayat diatas menurut Az-zuhaili (2013) dalam Tafsir Al-Munir potongan ayat (مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا) Allah menciptakan bumi seisinya untuk manusia memanfaatkan dan mengambil pelajaran darinya. Allah menciptakan segala apa yang di bumi untuk dimanfaatkan dan mengambil Pelajaran bahwa Allah segala pemberi rezeki. Marwan (2014) dalam Tafsir Hidayatul Insan menjelaskan bahwa Allah memberikan manusia bumi seisinya tidak termasuk dalam hal yang kotor. Oleh karena itu, Allah melarang segala sesuatu yang kotor dan membahayakan. Kemenag RI (2022) dalam Tafsir Tahlili menambahkan bahwa Allah menciptakan langit dan

bumi untuk dimanfaatkan oleh manusia. Manusia dengan diberi kenikmatan tersebut harus dapat menjaga keberlangsungan hidupnya serta aberbakti kepada Allah, keluarga, dan lingkungan disekelilingnya.

Limbah organik pada umumnya banyak dikelola menjadi kompos. Kompos merupakan sisa-sisa bahan organik yang telah melewati proses pelapukan dikarenakan terjadi interaksi antara mikroorganisme yaitu bakteri pembusuk. Kompos menjadi produk yang ramah lingkungan serta tidak membutuhkan banyak biaya dalam pembuatan dan membutuhkan bahan yang mudah ditemukan. Kompos termasuk bahan yang penyusun unsur untuk membentuk kesuburan tanah. Bahan – bahan organik ini akan membantu memperbaiki sifat fisika, kimia, maupun biologi tanah. Bahan organik yang menjadi bahan dasar pembuatan kompos akan menjadi sumber energi bagi mikroorganisme pada saat proses penguraian. Pemakaian kompos akan membentuk agregat tanah serta meningkatkan permiabilitas dari tanah (Bachtiar & Andi, 2019).

Limbah organik, selain dapat dikelola menjadi kompos juga dapat dikelola dengan bantuan mikroorganisme melalui metode biodegradasi. Biodegradasi merupakan proses oksidasi senyawa organik oleh mikroorganisme baik bakteri maupun fungi. Zat organik dimetabolisme oleh mikroorganisme melalui rekasi enzimatis dengan produk akhir karbon dioksida, energi, dan air. Energi berperan dalam proses sintesis, motilitas, dan respirasi (Paramita dkk, 2012).

2.5 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

TPA merupakan tempat yang digunakan dalam memproses dan mengolah limbah untuk dikembalikan ke lingkungan secara aman baik bagi manusia maupun makhluk hidup lain. Keberadaan TPA dinilai mampu mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan dari limbah. TPA menjadi tujuan akhir dalam pengelolaan limbah

mulai dari pengumpulan, pengangkutan, pengelolaan, pemanfaatan, dan pembuangan (Prasetyo & Arga, 2022).

TPA yang hakikatnya menjadi tempat akhir pengelolaan limbah, namun keadaan sesungguhnya yang terjadi di Indonesia hanya menjadi tempat pembuangan limbah secara terbuka (*open dumping*). Metode open dumping menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 dan Peraturan Menteri PUPR No. 03/PRT/M/2013 harus diubah atau diganti dengan metode yang ramah lingkungan. Metode tersebut berupa metode lahan urug (*sanitary landfill*) untuk skala kota metropolitan, dan lahan urug terkendali (*controlled landfill*) untuk skala kota kecil maupun sedang (Manurung & Eko, 2019).

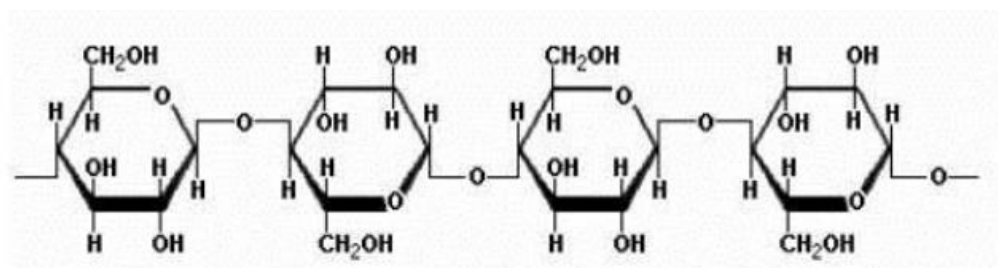
Kabupaten Sidoarjo termasuk kota metropolitan padat penduduk yang setiap harinya dapat menghasilkan limbah 0,46 kg – 0,5 kg. salah satu upaya yang dilakukan pemerintah untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan memaksimalkan pengelolaan pada salah satu TPA aktif dan terbesar yaitu TPA Jabon. TPA ini memiliki kontribusi penting dalam pengelolaan limbah di Kabupaten Sidoarjo. Salah satu metode pengelolaan yang diterapkan adalah metode *sanitary landfill*. *Sanitary landfill* merupakan area penimbunan sebagai pembuangan akhir limbah dengan metode penyebaran dan pemadatan limbah yang berasal dari timbunan tanah. Area sanitary landfill menghasilkan banyak gas metan yang berasal dari proses penguraian limbah. Gas tersebut memicu adanya mikroorganisme lain untuk tumbuh karena memanfaatkannya sebagai sumber nutrisi dan nantinya dapat dimanfaatkan sebagai biogas (Ichdatunnisa & Praditya, 2023).

2.6 Selulosa

Selulosa merupakan polimer yang keberadaanya di alam sangat melimpah, berkompatibel, serta ramah lingkungan. Selulosa juga termasuk polimer yang tidak

beracun dan mudah diperbarui. Selulosa keberadaannya di alam tidak pernah dalam keadaan murni melainkan dalam bentuk lingselulosa. Selulosa dapat ditemukan bersama dengan hemiselulosa, lignin, dan pati atau biasa disebut dengan lingselulosa di dalam jaringan tumbuhan berkayu, limbah pertanian, dan limbah organik. Presentase selulosa pada dinding tanaman yaitu 35 hingga 50% dari total berat kering tanaman (Mulyadi, 2019).

Selulosa termasuk polimer glukosa yang tidak memiliki cabang dan memiliki bentuk rantai linier dengan ikatan β -1,4-glikosidik sebagai penghubung. Selulosa sulit untuk larut dikarenakan berstruktur linier berupa kristalin (Harianja dkk, 2015). Menurut Fakhruzy dkk (2013) selulosa tersusun atas kumpulan unit β -D-glukopiranososa yang memiliki ikatan glikosida 1-4 (Gambar 2.1). Selulosa selalu berikatan dengan ikatan hidrogen intra dan intermolekul. Ikatan hidrogen menjadikan selulosa berkekuatan tinggi sehingga tidak mudah larut. Selulosa bermolekul agregat di dalam mikrofibril dan akan menjadi kumpulan serat selulosa. Polimerisasi selulosa terjadi dalam derajat 10.000 sehingga dapat terbentuk struktur mikrokristalin yang terbagi menjadi dua daerah yaitu daerah kristalin dan daerah amorf.



Gambar 2.1. Struktur selulosa (Fakhruzy dkk, 2013)

Selulosa termasuk dalam komponen utama penyusun dinding sel tanaman. Selulosa dapat ditemukan pada bahan yang berkayu dan berserat seperti pada Jerami, daun-daunan, rumput, batang, maupun ranting tanaman. Karbon organik yang di biosfer tersusun atas selulosa lebih dari 50%. Selulosa pada kayu berjumlah 50%, kapas tersusun hampir 90% selulosa murni, dan daun kering tersusun atas 10-20% selulosa (Lehninger, 1970; Faruqi dkk, 2017).

Selulosa banyak ditemukan pada bagian tumbuhan khususnya pada batang. Selulosa termasuk polimer alam berupa zat karbohidrat atau polisakarida dengan rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$. Selulosa memiliki rantai karbon yang panjang dan sulit untuk dipisahkan. Selulosa dapat terdegradasi dengan mudah akibat bantuan dari mikroorganisme tertentu yang sudah dispesifikan sebagai mikroorganisme selulolitik seperti bakteri dan fungi (Faruqi dkk, 2017).

Dekomposisi selulosa memiliki titik pusat ketika 1,4 β -glukosida terpecahkan. Selulosa akan terdekomposisi melalui dua tahap, tahap pertama akan melibatkan proses pengkondisian melalui rekristalisasi selulosa. Tahap kedua terjadi pendepolimerisasi molekulul secara ekstraseluler menjadi unit yang lebih pendek dan sederhana yaitu dua molekul gula menjadi molekul tunggal akibat adanya enzim selobiase. Depolimerase akan mempengaruhi dua ujung dan badan polimer yaitu ekso-depolimerase dan endo-depolimerase. Setelah proses dekpolimerase selulosa, glukosa yang dihasilkan akan bermanfaat dalam waktu singkat (Lehninger, 1970).

2.7 Enzim Selulase

Enzim merupakan biokatalisator yang berfungsi untuk mengkatalisis dalam fungsi biologi. Enzim sebagai biokatalisator berarti berperan dalam peningkatan reaksi kimia serta laju reaksi hingga $10^8 - 10^{11}$ kali lebih cepat apabila dibandingkan

dengan reaksi yang tidak melibatkan katalis (Putra dkk, 2021). Enzim termasuk molekul protein kompleks yang dihasilkan oleh sel hidup dan dapat ditemukan pada mikroorganisme tanah dengan perannya sebagai pengurai bahan atau material yang terkandung di tanah. Enzim berdasarkan letak dan fungsinya dikelompokkan menjadi dua yaitu ekstraseluler dan intraseluler. Enzim ekstraseluler merupakan enzim hasil sintesis di dalam sel tetapi akan bekerja di luar sel, contohnya seperti selulase, amilase lipase, dan protease sedangkan enzim intraseluler merupakan enzim yang dihasilkan dari sintesis pada sel-sel hidup serta memiliki kemampuan bekerja di dalam sel. Enzim-enzim tersebut dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri dan dalam proses bioremediasi maupun biodegradasi (Remijawa dkk, 2020).

Enzim selulase merupakan enzim yang memiliki sifat induktif. Enzim selulase yang diproduksi oleh mikroorganisme membutuhkan keberadaan induser pada media fermentasinya, seperti contohnya *Carboxyl Methyl Cellulose* (CMC). Keberadaan induser akan membantu menginduksi terbentuknya enzim selulase dalam sel mikroorganisme. Produksi enzim di dalam sel tidak tetap tergantung kandungan substrat yang menginduksi. (Purkan dkk, 2015).

Selulase termasuk enzim yang kompleks tersusun atas beberapa kumpulan enzim yang bekerja secara bertahap maupun bersama-sama dalam mengurai selulosa menjadi glukosa. Enzim-enzim tersebut akan menghidrolisis ikatan β -1,4 dalam glukosa. Enzim selulase diproduksi oleh mikroorganisme selulolitik seperti bakteri dan fungi (Budi dkk, 2018). Menurut Kusumaningrum dkk (2019) enzim selulase merupakan enzim yang dapat mendegradasi selulosa dengan produk utama berupa glukosa, selooligosakarida, dan selobiosa. Sistem enzim selulase terdiri atas

endo-1,4- β -glukanase berperan dalam memotong rantai dalam ikatan selulosa menjadi lebih sederhana, ekso-1,4- β -glukanase berperan dalam memotong ujung rantai selulosa sehingga menghasilkan selobiosa, dan β -D-glukosidase berperan dalam memotong selobiosa menjadi dua molekul glukosa. Ketiga sistem enzim pada enzim selulase tersebut akan berinteraksi dalam pendegradasian selulosa serta produksi gula pereduksi sebagai hasil akhir. Murtiyaningsih dan Hazmi (2017) menyebutkan bahwa selulosa yang terhidrolisis oleh enzim selulase melalui proses pemutusan aktif ikatan glikosidik β -1,4 di dalam selulosa, selobiosa, selodektrin, serta turunan selulosa lainnya untuk diubah menjadi gula sederhana atau glukosa.

Aktivitas enzim ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu dan pH, konsentrasi substrat dan enzim, serta keberadaan inhibitor. (Hames & Hooper, 2005). Suhu dan pH menjadi faktor utama dalam aktivitas enzim yang harus diperhatikan. Hal ini dikarenakan enzim akan bekerja secara optimal pada suhu dan pH yang sesuai. Reaksi akan mengalami penurunan kecepatan secara tajam apabila suhu berada di atas batas optimal dikarenakan enzim termasuk protein yang mengalami denaturasi pada suhu tinggi. Menurut Murray *et al* (2003) ketika terjadi pergeseran pH dari batas pH optimum meskipun dalam nilai yang kecil akan mempengaruhi adanya perubahan besar pada proses reaksi yang dikatalisis enzim. Perubahan terjadi dikarenakan asam amino menjadi pusat aktif enzim harus tetap berada dalam kondisi ionisasi stabil. Enzim pada dasarnya merupakan protein yang tersusun dari asam amino yang berperan dalam aktivitas ionisasi (Kusumaningrum dkk, 2019).

Konsentrasi substrat dan konsentrasi enzim menjadi faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim. Konsentrasi substrat yang digunakan semakin

tinggi maka akan mempengaruhi semakin cepatnya aktivitas enzim atau reaksi yang dikatalisis oleh suatu enzim. Namun, kecepatan reaksi dan aktivitas enzim akan mengalami penurunan ketika mencapai titik tertentu pada kecepatan maksimum (V_{maks}) meskipun dilakukan penambahan konsentrasi substrat. Substrat yang ditambahkan pada dasarnya akan menjadi inhibitor dalam suatu reaksi enzimatik (Noviendri et al 2008) dalam (Elawati dkk, 2018). Konsentrasi enzim yang semakin tinggi akan mempengaruhi semakin optimalnya substrat terdegradasi sehingga produk yang dihasilkan semakin banyak. Tingginya konsentrasi enzim mempengaruhi semakin banyaknya substrat berinteraksi dengan bagian aktif enzim. Hal ini mengakibatkan kecepatan reaksi semakin tinggi dan jumlah hasil reaksi meningkat. Laju reaksi enzimatik (v) akan berbanding lurus terhadap konsentrasi enzim. Semakin tinggi konsentrasi enzim maka aktivitas reaksi enzimatik juga akan bertambah cepat. Laju reaksi akan mengalami peningkatan secara linier apabila konsentrasi enzim berada jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan konsentrasi substrat (Rahmawati & Nurjanah, 2020).

2.8 Fungi

Fungi merupakan mikroorganisme eukariotik dengan nukleus atau inti sel sejati terikat dengan membran ganda. Fungi juga mengandung organel terikat membran di dalam sitoplasma, retikulum endoplasma dan aparatus golgi (Smith & Rohini, 2019). Fungi sering disebut sebagai organisme heterotrof atau agen dekomposer lingkungan. Fungi memiliki dinding sel yang tersusun atas kitin. Fungi tidak termasuk dalam organisme yang dapat berfotosintesis seperti tumbuhan dikarenakan tidak memiliki klorofil sehingga makanan didapatkan dari bahan-bahan organik (Pelezar, 1986). Nutrisi yang didapatkan fungi diserap dari bahan organik di sekitar habitat tumbuhnya berupa lignoselulosa yang akan diubah

menjadi senyawa lebih sederhana berupa selulosa, hemiselulase, dan ligninase melalui benang-benang halus yaitu hifa (Hasanuddin, 2014) dalam Norfajrina dkk (2021).

Fungi dapat dicirikan dengan adanya sel vegetatif berfilamen biasa disebut dengan hifa. Hifa akan berkumpul menjadi satu dan membentuk thallus sebagai badan vegetatif fungi yang terdiri atas misellium (Cole, 1996). Hifa menyerupai seuntai benang panjang berbentuk tabung. Keberadaan hifa pada fungi memegang peran penting, hifa akan menyerap nutrisi berupa bahan organik yang tersedia di sekitar lingkungan dan permukaan hifa. Hifa juga berfungsi dalam pembentukan struktur reproduksi dengan menghasilkan spora dan konidia (Rosidah dkk, 2023).

Hifa dapat dibedakan berdasarkan fungsinya, yaitu hifa fertil dan hifa vegetatif. Hifa fertil biasa ditemukan dalam posisi tegak dan menghasilkan sel reproduksi berupa spora. Hifa yang memiliki arah pertumbuhan keluar dari media maka disebut dengan hifa udara. Hifa vegetatif merupakan hifa yang memiliki bentuk menjalar berfungsi sebagai penyerap nutrien atau makanan yang berasal dari substrat dan sebagai penyangga alat reproduksi. Hifa akan terus tumbuh pada bagian apikal sehingga panjang hifa tidak dapat dipastikan. Hifa umumnya memiliki ukuran diameter 3-30 μm . Diameter hifa pada setiap fungi berbeda dikarenakan terdapat faktor lingkungan dari habitat fungi itu tumbuh (Carlile and Watkinson, 1994).

Hifa dibagi kembali menjadi hifa yang memiliki sekat (septa) atau tidak. Hifa bersekat memiliki ukuran diameter 2-5 μm dengan dinding melintang berkala. Hifa bersekat umumnya tidak memiliki warna atau hialin. Hifa ini menjadi ciri khas dari fungi tingkat tinggi (eumycetes) sedangkan hifa yang tidak bersekat umumnya

disebut dengan senositik. Hifa tidak bersekat didefinisikan sebagai sel yang bercabang banyak, tumbuh memanjang, dan memiliki sitoplasma disertai banyak inti sel. Hifa ini menjadi ciri khas dari fungi tingkat rendah (phycomycetes) (Dhanti & Tantri, 2018).

Fungi dapat bereproduksi baik secara seksual maupun aseksual. Reproduksi secara seksual terjadi melalui proses peleburan dari dua sel inti kompatibel. Reproduksi seksual melalui tiga fase, yaitu plasmogami, kariogami, dan meiosis. Fase plasmogami merupakan fase ketika terjadi penyatuan dari dua protoplasma atau inti sel lalu dilanjutkan dengan fase kariogami. Fase meiosis akan menghasilkan sel yang memiliki kromosom *haploid* dan akan menjadi fase terakhir sebelum spora terbentuk (Alexopoulos dan Mimms, 1979). Reproduksi aseksual terjadi dengan cara fragmentasi miselium, sel somatik mengalami pembelahan (*fission*) menjadi sel anakan. Spora aseksual yang terbentuk akan menjadi hifa dan berkembang membentuk miselium (Pelezar, 1986).

2.9 Fungi Selulolitik

Fungi selulolitik merupakan salah satu mikroorganisme yang memiliki kemampuan dalam mendegradasi selulosa. Kelompok fungi yang termasuk dalam fungi selulolitik antara lain *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Fusarium*, dan *Myrothesium*. Pertumbuhan fungi selulolitik bergantung pada pH minimum, optimum, dan maksimum (Disniwati dkk (2021). Menurut Rohmah dkk (2019) fungi selulolitik yang mampu menghasilkan enzim dengan optimum ketika berada pada pH 5 adalah *Aspergillus* dengan nilai aktivitas enzim 3,9 U/ml.

Allah berfirman dalam QS. Al - Imran ayat 27 yang berbunyi:

تُولِجُ اللَّيْلَ فِي النَّهَارِ وَتُولِجُ النَّهَارَ فِي اللَّيْلِ وَتُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَتُخْرِجُ الْمَيِّتَ مِنَ الْحَيِّ وَتَرْزُقُ مَنْ تَشَاءُ بِغَيْرِ حِسَابٍ

Artinya: “Allah SWT menjadikan malam menjadi siang dan siang menjadi malam. Dan Allah SWT menciptakan kehidupan dari apa yang sudah mati, dan menciptakan apa yang mati dari yang hidup. Dan Allah SWT memberikan rezeki Bagi yang dikehendaki tanpa ada perhitungan” (Q.S Al-Imran:27).

Menurut az-Zuhaili (2013) dalam Tafsir Al – Munir, potongan ayat (تُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ) menjelaskan bahwa Allah menciptakan sesuatu yang hidup dari yang mati.

Allah mengeluarkan yang hidup dari apa yang telah mati dan tidak memiliki unsur kehidupan baik bersifat materi maupun non materi seperti tumbuhan dari biji, manusia dari sperma, sesuatu yang tumbuh dan berkembang dengan memakan sesuatu yang mati. Shihab (2002) dalam Tafsir Al-Misbah setelah kematian ada sebuah kehidupan yang diciptakan. Penciptaan tersebut merupakan sebuah tanda akan kebesaran Allah SWT kepada orang-orang berakal atas segala kehendaknya di muka bumi ini. Kemenag RI (2022) dalam Tafsir Tahlili menjelaskan bahwa adanya kehidupan setelah kematian ada di tangan-Nya membuktikan bahwa segala Keputusan tidak ada yang bisa melarang. Allah akan meberikan rezeki atas apa yang dikehendaki. Hal ini merujuk pada sebagaimana fungi selulolitik terdapat dari tumpukan limbah yang sebelumnya sudah tidak digunakan. Keberadaan fungi ini akan bermanfaat bagi lingkungan karena berperan dalam mendegradasi selulosa (Norfajrina dkk, 2021).

Fungi selulolitik dapat ditemukan secara alami pada tumpukan limbah khususnya pada limbah atau limbah organik. Fungi tersebut akan mendegradasi selulosa yang berasal dari sisa limbah organik. Selulosa akan diurai oleh fungi

menjadi glukosa, karbondioksida, dan hidrogen. Fungi selulolitik umumnya terdapat pada kedalaman tanah 0-30 cm dan memiliki sifat aerob (Roza dkk, 2013). Fungi selulolitik berkemampuan penghasil enzim selulase terbaik adalah *Trichoderma* dan *Aspergillus*. Kedua fungi ini berperan aktif dalam pendegradasian selulosa dengan menghasilkan eksoglukanase dan endoglukanase dengan jumlah yang relatif banyak. (Ding *et al*, 2021).

2.10 Seleksi Fungi Selulolitik Berdasarkan Keberadaan Zona Bening

Fungi selulolitik dapat diketahui keberadaanya dengan analisis selulolitik pengukuran terhadap zona bening yang terbentuk di sekitar koloni. Zona bening merupakan metode uji semi-kuantitatif dikarenakan menggunakan data yang diperoleh dari perbandingan antara diameter zona bening yang terbentuk dan diameter koloni yang tumbuh (Roza dkk, 2013). Zona bening yang terbentuk menjadi tanda bahwa kandungan selulosa pada media telah terhidrolisis oleh enzim selulase menjadi senyawa selobiosa dengan hasil akhir dua molekul glukosa (Perez dkk, 2002; Roza dkk, 2013).

Zona bening diperjelas dengan pemberian larutan pewarna *congo red* 0,1%. *Congo red* merupakan garam natrium dari benzidinediazo-bis-1 naphthylamine-4 asam sulfonate ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$) dan memiliki sifat yang karsiogenik serta memiliki respon alergi ketika mengenai manusia. Zat perwarna ini akan larut dan tercuci dengan mudah oleh jenis garam natrium seperti NaCl. *Congo red* digunakan untuk memperjelas adanya zona bening yang terbentuk disekitar koloni fungi. Zona yang memiliki warna merah menunjukkan bahwa terdapat sisa selulosa yang tidak ikut terhidrolisis (Anand *et al*, 2010).

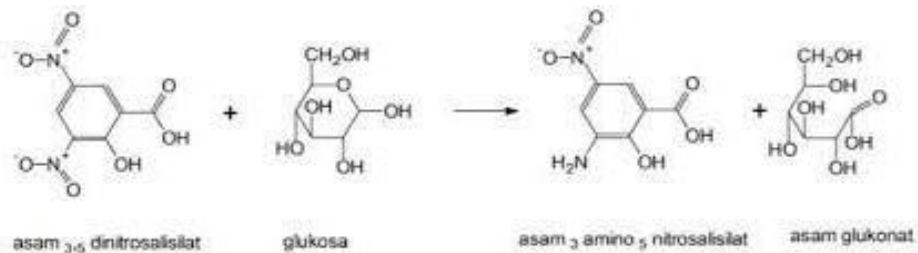
Hasil penelitian Sutari (2020) menunjukkan fungi mampu mendegradasi selulosa dalam media CMC 1% (Gambar 2.2). Hal tersebut diindikasikan dengan zona bening mulai terbentuk setelah inkubasi selama 24 jam.



Gambar 2.2. Terbentuknya zona bening di sekitar koloni pada medium CMC 1%. (a) Media, (b) Zona bening yang terbentuk, (c) Koloni Fungi (Sutari, 2020).

2.11 Uji Aktivitas Enzim Selulase dengan Metode DNS

Metode DNS merupakan metode yang umumnya digunakan untuk uji kandungan gula reduksi dari hasil aktivitas enzim selulase. Metode ini menggunakan substrat berupa CMC 1% (*carboxymethyl cellulose*) (Bahati dkk, 2013). *Dinitrosalicylic acid* (DNS) merupakan senyawa oksidator yang dapat bereaksi dengan gula reduksi untuk menghasilkan 3-amino-5-nitrosalicylic acid. Sampel dengan banyak komponen pereduksi akan menghasilkan banyak 3-amino-5-nitrosalicylic acid (Gambar 2.3). Reaksi menggunakan *Dinitrosalicylic acid* (DNS) termasuk reaksi redoks dalam gugus aldehyd gula dengan hasil oksidasi berupa gugus karboksil. Reaksi akan berjalan dalam keadaan basa. Larutan DNS dengan warna awal kuning akan berubah menjadi warna jingga kemerahan ketika bereaksi dengan gula pereduksi pada sampel (Yustinah dkk, 2018; Wardani dkk, 2021).



Gambar 2.3. Reaksi antara DNS dengan glukosa (Wardani dkk, 2021)

Larutan NaOH ditambahkan ke dalam pembuatan larutan reagen DNS untuk memberikan suasana asam. Kalium natrium tartrat juga ditambahkan untuk memberi kestabilan warna ketika proses reaksi berupa warna merah kecoklatan. Pemanasan dapat membantu mempercepat proses reaksi. Absorbansi dari hasil reaksi akan diukur dari warna yang terbentuk menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm (Wardani dkk, 2021).

2.12 Biodegradasi Selulosa oleh Fungi Selulolitik

Biodegradasi merupakan proses oksidasi senyawa organik akibat peran mikroorganisme baik yang hidup di tanah, air, maupun pada instalasi pengolahan air limbah. Biodegradasi terjadi ketika mikroorganisme termasuk fungi melakukan metabolisme zat organik yang terjadi dengan adanya sistem enzim dalam menghasilkan karbon dioksida, energi, dan air. Energi akan digunakan pada proses sintesis, respirasi, dan motilitas. Biodegradasi secara konstan produk akhirnya berupa karbon dioksida dan metana (Paramita dkk, 2012). Biodegradasi yang terjadi pada bahan organik menjadikan bahan organik tersebut sebagai sumber energi bagi mikroorganisme. Proses degradasi bahan organik akan menurunkan kadar karbon akibat dirubahnya menjadi karbon dioksida. Proses ini juga menjadikan mikroorganisme memiliki biomassa sel lebih efisien dengan kemampuan menghasilkan lebih banyak bahan organik dibandingkan dengan pelepasan karbon dioksida (Mukhlis, 2014).

Biodegradasi bahan organik umumnya dapat terjadi secara aerobik dengan melibatkan oksigen maupun anaerobik tanpa melibatkan oksigen. Biodegradasi aerobik merupakan proses penguraian limbah organik oleh mikroorganisme dengan membutuhkan oksigen. Hal ini menunjukkan bahwa system kimiawi suatu organisme memiliki ciri pada kondisi oksidatif. Biodegradasi secara aerob akan relatif lebih cepat dalam penguraian limbah organik. Respirasi seluler yang terdapat pada biodegradasi ini memanfaatkan oksigen untuk mengoksidasi substrat berupa gula maupun lemak. Proses respirasi seluler diawali dengan pemecahan dua molekul guloksa menjadi lebih sederhana sedangkan biodegradasi anaerobik merupakan proses pendegradasian bahan organik oleh mikroorganisme tanpa membutuhkan oksigen. Biodegradasi anaerob banyak digunakan pada pengolahan lumpur limbah. Proses ini umumnya dapat menghasilkan biogas yang banyak mengandung metana dan karbon dioksida (Bremer, 2022). Degradasi yang terjadi secara alami di alam akan membutuhkan waktu lebih lama yaitu 2 hingga 4 bulan jika dibandingkan dengan degradasi yang melibatkan penambahan inokulum mikroorganisme (Apriadi, 1998).

Biodegradasi bahan organik berupa selulosa membutuhkan peran penting dari fungi selulolitik. Fungi selulolitik akan menjadi pengurai unsur hara yang tidak mudah larut untuk diubah menjadi senyawa organik yang mudah larut. Hasil dari penguraian senyawa tersebut dapat berupa senyawa asam format, gula pereduksi, asam malat, gula non pereduksi, asam fosfat, dan unsur hara yang lebih sederhana. Fungi memiliki sistem selulolitik yang lebih kompleks jika dibandingkan dengan bakteri. Fungi selulolitik memiliki rangkaian klasik enzim dalam mendegradasi selulosa, yaitu endoglukanase atau pembelahan endo, selobiohidrolase dan

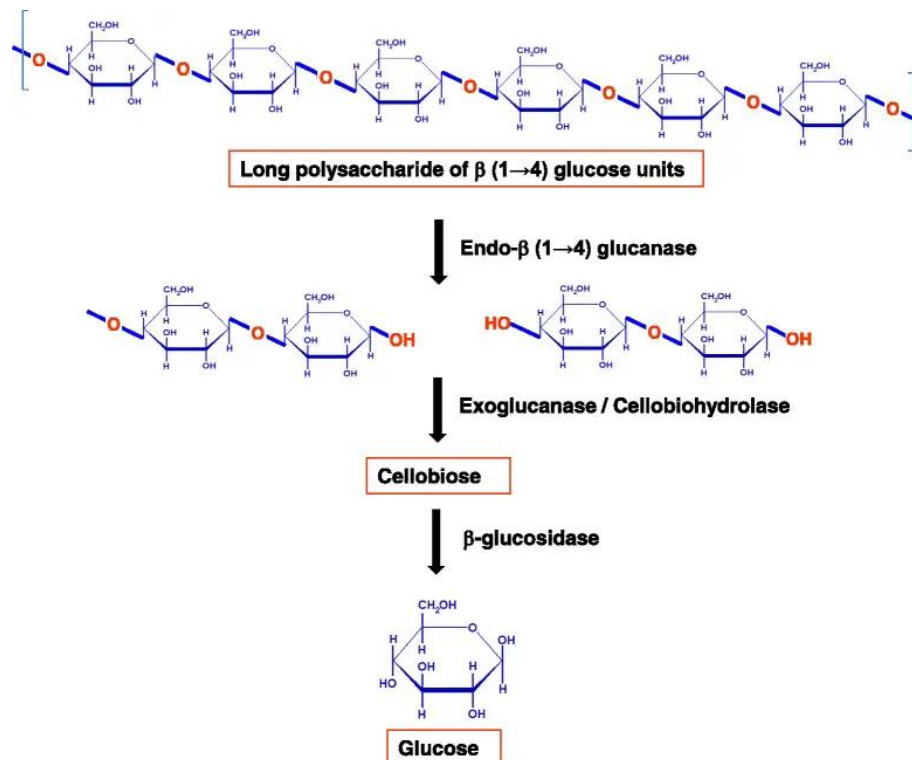
eksoselulase termasuk dalam pembelahan ekso. Selobiosa akan diproses oleh enzim β -glukosidase ekstraseluler maupun intraseluler atau biasa disebut dengan dehidrogenasi oleh selobiosa dehydrogenase (Baldrian & Valaskova, 2008).

Secara mekanis proses degradasi selulosa dapat ditingkatkan lebih tinggi jika melakukan perlakuan pendahuluan. Hal ini bertujuan untuk menjadikan ukuran partikel lebih kecil serta mendukung pembekakan selulosa. Selain itu, sebelum dilakukan proses enzimatis lebih baik dilakukan pra-perlakuan kimiawi dengan dilarutkan substrat yaitu lignoselulosa menggunakan larutan asam maupun basa kuat sehingga jumlah lignin akan berkurang sehingga degradasi selulosa akan lebih cepat karena pada dasarnya enzim selulase tidak dapat disatukan dengan lignin (Isroi, 1997).

Selulosa dapat dihidrolisis dengan menambahkan asam atau terjadi secara enzimatis. Delignifikasi harus dilakukan pra hidrolisis dikarenakan keberadaan lignin dapat menghambat proses hidrolisis selulosa karena lignin memiliki struktur dengan bentuk kristalin. Hidrolisis secara asam dengan menambahkan asam sulfat, asam klorida, asam perklorat, dan asam nitrat.. asam – asam tersebut akan mengubah polisakarida menjadi monosakarida. Hidrolisis asam akan menghasilkan monomer gula yang berasal dari selulosa maupun hemiselulosa (Fengel & Wegener, 1995).

Mekanisme hidrolisis selulosa secara enzimatis (Gambar 2.4) diawali dengan enzim endo β -1,4-glukanase secara acak akan memecah ikatan β -1,4-glukosida dan menghasilkan selobiosa di bagian amorf sebagai produk utama namun tidak akan aktif di bagian kristal. Enzim ekso β -1,4-selobiohidrolase akan menjadi pemisah antara unit selobiosa dan ujung non pereduksi pada rantai selulosa. Enzim ini

memiliki interaksi pasti dengan bagian kristal maupun amorf namun tidak aktif dalam menyerang di bagian keduanya. Enzim β -glukosidase akan menghasilkan produk akhir berupa glukosa (Fan & Lee, 1983; Xic *et al*, 2007).



Gambar 2.4. Mekanisme Hidrolisis Selulosa (Xic *et al*, 2007).

2.13 Faktor yang Mempengaruhi Biodegradasi

Biodegradasi merupakan proses ketika mikroorganisme menguraikan zat organik menjadi zat yang lebih sederhana. Biodegradasi akan mengalami keberhasilan apabila memperhatikan faktor-faktor terjadinya biodegradasi. Menurut Islami (2019) biodegradasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

a) Substrat

Ukuran dan komponen dari senyawa penyusun substrat, termasuk salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam melakukan biodegradasi. Substrat yang memiliki ukuran lebih kecil akan mempercepat proses biodegradasi serta

didukung dengan senyawa penyusun yang sederhana. Ketika proses biodegradasi terjadi dengan substrat yang memiliki ukuran lebih besar, maka waktu degradasi berjalan jauh lebih lama.

b) Kelembaban

Kelembaban menjadi salah satu faktor penting dalam proses biodegradasi. Kelembaban akan berpengaruh terhadap biosintesis, pertumbuhan fungi, serta sekresi enzim. Ketika kelembaban dalam nilai yang rendah, maka kandungan nutrisi pada substrat juga akan berkurang. Namun, apabila kelembaban dalam nilai yang tinggi maka akan menghasilkan enzim dalam jumlah sedikit. Berkurangnya jumlah enzim akan menjadikan proses biodegradasi menjadi lebih lama.

c) pH

Proses degradasi dipengaruhi oleh pH. Hal ini dikarenakan enzim-enzim yang dihasilkan akan menggunakan pH tertentu untuk menjalankan aktivitas penguraian substrat. pH yang dibutuhkan fungi untuk mengurai substrat umumnya berada pada nilai kurang dari 7. Kesesuaian pH dengan aktivitas enzim akan menjadikan enzim ekstraseluler bekerja secara optimal dalam proses biodegradasi.

d) Sumber Nitrogen

Sumber nitrogen umumnya berasal dari bahan yang mengandung ammonium sulfat maupun ammonium nitrat, serta urea. Ketika fungi menghasilkan enzim ekstraseluler dalam jumlah yang banyak, maka proses biodegradasi akan berjalan dengan cepat. Sedangkan Ketika fungi hanya menghasilkan enzim ekstraseluler dalam jumlah yang sedikit maka proses biodegradasi menjadi lebih lama.

e) Suhu

Suhu yang meningkat akan mempengaruhi peningkatan kerja energi kinetik yang terdapat pada molekul substrat serta enzim yang dihasilkan. Peningkatan ini akan mempercepat proses biodegradasi. Peningkatan suhu harus dijaga supaya tidak mengalami peningkatan terlalu tinggi dikarenakan dapat mengakibatkan denaturasi enzim. Namun, suhu dalam nilai terlalu rendah juga akan menghambat kerja enzim. Proses biodegradasi tidak akan berhasil apabila enzim mengalami gangguan kerja maupun enzim memiliki struktur yang rusak.

2.14 Identifikasi Fungi

Identifikasi terhadap isolat fungi dilakukan untuk mendapatkan genus maupun spesies fungi. Identifikasi fungi dapat dilakukan melalui analisis morfologi yang terdiri dari morfologi koloni dan sel. Identifikasi morfologi merupakan tahapan utama yang tidak boleh dilewatkan untuk melakukan identifikasi serta pengklasifikasian fungi. Identifikasi morfologi umumnya dilakukan dengan mengamati proses terbentuknya askospora, reproduksi aseksual, morfologi sel vegetative, terbentuknya miselium sejati, ciri koloni dan jumlahnya (Jumiyati dkk, 2012). Menurut Wiratno (2018) ciri morfologi koloni fungi yang menjadi focus utama adalah mengenai bentuk, warna, jumlah, tekstur, elevasi, dan tepi. Sedangkan ciri morfologi sel adalah mengenai diameter sel, bentuk sel, askospora, dan pseudohifa. Identifikasi morfologi dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap makroskopis dan mikroskopis dengan panduan buku identifikasi fungi Barnett (1972), Bechem & Afanga (2018) berjudul *Description of Medical Fungi* dan *Soil and Seed Fungi*, serta buku Watanabe (2002) *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species 2th Edition*.

2.14.1 Identifikasi Makroskopis

Identifikasi fungi secara makroskopis merupakan identifikasi yang dilakukan secara langsung tanpa bantuan mikroskop. Identifikasi secara makroskopis meliputi warna fungi yang terlihat dari bagian permukaan atas dan bawah media (*reverse slide*), terbentuknya koloni fungi meliputi ukuran diameter, tepi, bentuk, adanya garis-garis radial, adanya lingkaran konsentris, bentuk tubuh buah fungi, dan tekstur permukaan fungi meliputi rata, kasar atau halus, licin (Arif dkk, 2009). Menurut Gandjar dkk (2006) pada saat melakukan identifikasi secara morfologi harus memperhatikan faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan fungi meliputi media tumbuh yang digunakan, suhu inkubasi, dan usia isolat fungi yang digunakan untuk dilakukan pengamatan.

2.14.2 Identifikasi Mikroskopis

Identifikasi fungi secara mikroskopis merupakan pengamatan dengan menggunakan bantuan mikroskop. Ciri mikroskopis fungi yang menjadi acuan pengamatan adalah hifa, spora, konidia, sporangium, konidia, serta konidiofor. Ciri mikroskopis juga mencakup diameter ukuran sel, bentuk sel, tipe miselium, system reproduksi, dan bentuk pertunasan (Ristiari dkk, 2018). Menurut Gandjar *et al* (1999) ada beberapa hal yang harus diperhatikan selama identifikasi fungi secara mikroskopis yaitu:

- a) Spora aseksual termasuk dalam spora sederhana seperti athospora, kalmidiospora, dan blastospora atau termasuk dalam spora aseksual khusus yang biasa disebut sporangiospor seperti aleuspora maupun konidia. Bentuk spora termasuk bulat, ganda, semi bulat, gelondong, tidak teratur maupun seperti benang serta memiliki ukuran 1-5 μ m (kecil) atau 120-100 nm (besar). Jumlah spora juga menjadi hal penting yang harus diperhatikan.

- b) Spora seksual termasuk dalam bentuk variative yaitu askospora, zigospora, atau basidiospor.
- c) Hifa diamati memiliki septum atau tidak dan memiliki pigmen hialin (berwarna brru Ketika diberi warna) dan pigmen dematiaceous (warna coklat kehijauan atau kehitaman). Hifa diamati bagaimana bentuknya, spiral maupun terdapat rhizoid.
- d) Sel berkarakter Tunggal atau ber sel banyak. Dinding sel umumnya memiliki dinding sel tebal atau tipis dan ada yang memiliki pigmen ada yang tidak. Adanya septum atau tidak serta bentuk septum yang transversal atau gabungan antara transversal dan longitudinal. Karakter sel yang memiliki pigmen atau tidak.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksploratif dan eksperimental menggunakan hasil isolasi fungi selulolitik di TPA Jabon Kabupaten Sidoarjo dengan dua model penelitian deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Deskriptif kualitatif berupa hasil identifikasi pengamatan karakteristik morfologi secara mikroskopis dan makroskopis serta zona bening uji seleksi fungi pada media CMC, sedangkan deskriptif kuantitatif berupa hasil uji aktivitas enzim selulase dan uji biodegradasi selulosa.

Rancangan penelitian ini menggunakan variabel jenis isolat fungi (F) yaitu F₀ (sebagai kontrol), F₁, F₂, F₃, serta variasi inkubasi 0 hari (sebagai kontrol), 5 hari, 10 hari, dan 15 hari.

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian

Waktu Inkubasi (Hari)	Jenis Isolat Fungi			
	F ₀	F ₁	F ₂	F ₃
W ₀	W ₀ F ₀	W ₀ F ₁	W ₀ F ₂	W ₀ F ₃
W ₁	W ₁ F ₀	W ₁ F ₁	W ₁ F ₂	W ₁ F ₃
W ₂	W ₂ F ₀	W ₂ F ₁	W ₂ F ₂	W ₂ F ₃
W ₃	W ₃ F ₀	W ₃ F ₁	W ₃ F ₂	W ₃ F ₃

Keterangan:

W₀ = 0 hari inkubasi

W₁ = 5 hari inkubasi

W₂ = 10 hari inkubasi

W₃ = 15 hari inkubasi

F₀ = tanpa penambahan fungi (control)

F₁ = jenis isolat fungi ke-1

F₂ = jenis isolat fungi ke-2

F₃ = jenis isolat fungi ke-3

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2023 – April 2024. Pengambilan sampel tanah dilakukan di Tempat Pemrosesan Akhir Jabon Kabupaten Sidoarjo bagian pembuangan sampah organik. Proses isolasi hingga identifikasi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Laboratorium Fisiologi Hewan, dan Laboratorium Genetika dan Molekuler, Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kantong plastik dan sendok steril, kotak penyimpanan sampel, *blue ice*, Erlenmeyer *PYREX IWAKI*, tabung reaksi *PYREX IWAKI*, rak tabung reaksi, gelas ukur *PYREX IWAKI*, cawan petri *PYREX IWAKI*, labu ukur *PYREX IWAKI*, timbangan analitik *Sartorius*, mikro pipet *BIO-RAD*, microtip, jarum ose, autoklaf *SS XFS*, *laminar air flow* (LAF), spatula, tabung Eppendorf, inkubator *mammerr*, sentrifuge, spektrofotometer, vortex *Maxi Mix I*, oven, pipet tip, mikroskop, kaca objek, kaca cover, tisu, plastik, spidol *Snowman*, koran, bunsen, alat pembakar bunsen, hot plate, aluminium foil, karet dan kertas label.

3.3.2 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel tanah dari TPA Jabon Kabupaten Sidoarjo, limbah sampah organik, aquadest steril, alkohol 70%, NaCl, spiritus, aluminium foil, *Lactofenol Blue Cotton*, media PDA (*Potato Dextrose Agar*) merk *MERCK*, antibiotic *chloramphenicol*, CMC (*Carboxyl Methyl Cellulose*) yang mengandung MgSO_4 , $7\text{H}_2\text{O}$, Na_2HPO_4 , NaCl, 0 yeast extract, agar,

dan *congo red* 0,5%. Bubuk *Dinitrosalicylic acid* (DNS), NaOH, buffer fosfat pH 7, glukosa anhidrat.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Alat dan Bahan

Cawan petri dibungkus menggunakan koran dan dimasukkan ke dalam kantong plastik yang tahan terhadap panas. Alat lainnya seperti jarum ose, Erlenmeyer, tabung reaksi, gelas ukur, dan beaker glass juga dimasukkan ke dalam masing-masing plastik. Semua alat yang sudah dimasukkan ke dalam plastik, dimasukkan ke dalam autoklaf dengan tujuan pensterilan menggunakan suhu 121°C, tekanan 2 atm selama 15 menit. Metode sterilasi menggunakan autoklaf disebut dengan metode sterilisasi panas basah. Metode ini memiliki prinsip pensterilan menggunakan uap air yang berada di bawah tekanan. Penggunaan suhu yang tinggi dan waktu relative cepat sangat efektif digunakan untuk membunuh bakteri serta spora fungi (Ikenganyia, *et al.*, 2017) dalam (Wulandari dkk, 2021).

3.4.2 Pembuatan Media

3.4.2.1 Media *Potato Dextrose Agar* (PDA)

Bubuk agar PDA ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 39g kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer serta ditambahkan 1000 ml aquadest untuk melarutkan, selanjutnya dipanaskan hingga mendidih dan homogen menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer*, setelah mendidih dan homogen dibiarkan hingga suhu larutan 36-37 °C dan pH 4,5-5,5. Erlenmeyer ditutup menggunakan aluminium foil dan disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C selama 15 menit dengan tekanan 2 atm (Azzahra dkk, 2020). Media PDA dimodifikasi dengan penambahan antibiotik *chloramphenicol* sebanyak 50g setiap 100 ml media PDA. Jika sudah, media dituangkan ke dalam cawan petri dan

dibiarkan hingga media memadat. Menurut (Dewi dkk, 2011) *chloramphenicol* sangat penting untuk ditambahkan ke dalam media tanam termasuk PDA karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri yang tidak diinginkan (Hidayat dan Isnawati, 2021).

3.4.2.2 Media *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC)

Serbuk CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*) ditimbang sebanyak 2 g, 0,05 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,5 gram Na_2HPO_4 , 0,23 gram NaCl, 0,2 gram yeast extract, 0,5% *congo red*, dan 2 gram agar, lalu diencerkan di dalam aquadest steril sebanyak 100 ml. Selanjutnya dipanaskan hingga mendidih dan homogen menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer*, setelah mendidih dan homogen dibiarkan hingga suhu larutan 36-37 °C dan pH 4,5-5,5. Erlemeyer ditutup menggunakan aluminium foil dan disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C selama 15 menit dengan tekanan 2 atm (Fahrudinn dkk, 2020).

3.4.3 Pengambilan Sampel

Sampel tanah yang digunakan merupakan tanah yang diambil dari lahan TPA Jabon Kabupaten Sidoarjo bagian *sanitary landfill* dengan disertai pengukuran suhu dan pH tanah. Pengambilan sampel menggunakan *metode sampling acak* pada 3 titik berbeda yaitu stasiun 1 (paling baru), stasiun 2, dan stasiun 3 (paling lama). Titik lokasi diambil berdasarkan lamanya timbunan limbah pada *sanitary landfill*. Semakin lama timbunan limbah diperhitungkan dan diperkirakan mengandung banyak mikroorganisme akibat adanya penguraian secara alami di dalam tanah. Kedalaman tanah yang digunakan adalah 10 cm. Sampel tanah yang sudah diambil dimasukkan ke dalam plastik *polybag* steril berlabel setiap titik. Sampel kemudian disimpan di dalam *icebox* yang berisi *blue ice* untuk menjaga kualitas

mikroorganisme tanah dan dibawa ke laboratorium (Gaol & Warmadewanthi, 2017; Talantan dkk, 2018).

3.4.4 Isolasi Fungi

Sampel tanah diambil sebanyak 1 gram lalu dimasukkan ke dalam tabung rekasi dan ditambahkan 9 ml NaCl hingga volume 10 ml. larutan suspensi dicampur hingga homogen menggunakan vortex dan dilakukan pengenceran hingga larutan suspensi tidak pekat. Penelitian ini akan dilakukan pengenceran sebanyak enam kali (10^{-6}). Pengenceran 10^{-3} dan 10^{-6} diambil sebanyak 0,1 ml digunakan untuk menginokulasi cawan petri yang sudah berisi media PDA yang sudah diberi antibiotik *chloramphenicol* menggunakan metode *pour plate*. Kemudian sampel diinkubasi selama 5 hari dengan suhu ruang yaitu 25°C dengan pengecekan setiap hari. Setiap koloni fungi yang tumbuh, dipindahkan ke media PDA steril yang baru lalu diinkubasi dengan suhu 28°C selama 48 jam. Proses dilakukan secara menerus hingga didapatkan koloni fungi yang murni (Helal *et al*, 2022).

3.4.5 Uji Aktivitas Enzim Selulase Secara Kualitatif

Isolat fungi murni yang tumbuh pada media PDA ditanamkan kembali pada media CMC untuk mengetahui kemampuan fungi dalam mendegradasi selulosa. Isolat tersebut kemudian diinkubasi pada suhu ruang 27°C selama 3 hari. Dilakukan penambahan *congo red* 0,1% di atas koloni untuk memperjelas pembentukan zona bening. Pewarnaan *congo red* 0,1% dibiarkan selama 20 menit lalu dibilas menggunakan NaCl (Talan tan dkk, 2018). Zona bening yang terbentuk disekitar koloni dilihat dan dilakukan pengukuran menggunakan jangka sorong. Diameter zona bening yang terbentuk dan diameter koloni fungi dihitung untuk menentukan nilai Indeks Aktivitas Enzim (IAE). Pengklasifikasian daya degradasi selulosa berdasarkan nilai Indeks Aktivitas Enzim (IAE), berada pada kategori rendah

apabila ≤ 1 , kategori sedang apabila berada pada nilai 1-2, dan kategori tinggi apabila ≥ 2 (Rudiansyah dkk, 2017). Rumus menentukan nilai Indeks Aktivitas Enzim (Kader dan Omar, 1998) adalah sebagai berikut:

$$IAE = \frac{A(mm) - B(mm)}{B(mm)}$$

Ket: A (diameter zona bening)

B (diameter koloni fungi)

3.4.6 Uji Aktivitas Enzim Selulase Secara Kuantitatif

3.4.6.1 Pembuatan Reagen DNS

Bubuk DNS (*Dinitrosalicylic acid*) ditimbang sebanyak 5 gram, NaOH 2 N 5 gram, lalu dilarutkan dalam 100 ml aquadest steril (Larutan A). Kalium natrium tartrat ditimbang sebanyak 150 gram, lalu dilarutkan dalam 200 ml aquadest steril (Larutan B). Larutan A dan Larutan B dihomogenkan di dalam Erlenmeyer. Setelah homogen, ditera menggunakan labu ukur dengan aquadest steril hingga volume 500 ml, dipanaskan menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* lalu disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C selama 15 menit dengan tekanan 2 atm (Pujiati dkk, 2018).

3.4.6.2 Ekstraksi Selulase

Isolat murni fungi selulolitik ditanam kembali pada media CMC cair, lalu diinkubasi pada suhu 25°C selama 120 jam (5 hari). Sampel disentrifugasi untuk memperoleh ekstrak kasar dengan kecepatan 10000 rpm pada suhu 4°C selama 10 menit. Sentrifugasi dilakukan untuk memisahkan sel mikroorganisme yang mengendap dan supernatant (cairan berisi enzim). Supernatant difiltrasi menggunakan kertas saring untuk menghasilkan filtrat jernih sebagai ekstrak kasar selulase. Filtrat yang dihasilkan digunakan dalam analisis aktivitas enzim selulase (Talantan dkk, 2018).

3.4.6.3 Pembuatan Kurva Standar Glukosa Metode DNS

Larutan stok glukosa dibuat dengan ditimbang 0,05 gram glukosa lalu dilarutkan dalam 50 ml larutan aquadest steril. Larutan stok sebanyak 1 ml diencerkan dengan 9 ml larutan aquadest steril. Seri pengenceran dilakukan dengan konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; dan 0,6 ppm. Larutan glukosa 1,5 ml masing-masing konsentrasi ditambahkan aquadest steril sebanyak 1,9 ml dalam tabung reaksi. Selanjutnya ditambahkan larutan reagen DNS 1,5 ml, dihomogenkan menggunakan vortex. Larutan dipanaskan menggunakan air mendidih selama 15 menit hingga warna berubah menjadi merah kecoklatan lalu didinginkan selama 50 menit. Pengukuran absorbansi dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm. Hasil absorbansi diolah menggunakan Microsoft Excel dengan rumus $y = ax + b$ dengan sumbu x sebagai nilai absorbansi dan sumbu y sebagai nilai konsentrasi (Talantan dkk, 2018; Solahuddin dkk, 2021).

3.4.6.4 Uji Aktivitas Enzim

Pengujian aktivitas enzim selulase secara kuantitatif menggunakan reagen 3,5-Di Nitro Salisilic Acid (DNS). Isolat enzim selulase ditimbang sebanyak 0,2732 gram lalu dilarutkan dalam larutan buffer fosfat pada labu ukur 10 ml. Pengujian dilakukan dengan menimbang 1,5 ml supernatan dan 1,5 ml substrat CMC 1%. Kontrol menggunakan enzim yang telah dinaktifkan sedangkan blanko 1,5 ml buffer fosfat pH 7 sebagai pengganti enzim. Selanjutnya dihomogenkan menggunakan vortex dan diinkubasi pada suhu 55°C selama 15 menit. Setelah diinkubasi, ditambahkan reagen DNS sebanyak 1,5 ml dan dipanaskan pada air mendidih selama 5 menit lalu didinginkan selama 50 menit. Setelah itu, diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan λ (panjang gelombang) 540 nm. Aktivitas selulase dinyatakan dalam satuan U/ml (Talantan

dkk, 2018; Solahuddin dkk, 2021). Aktivitas enzim dihitung dengan rumus (Solahuddin dkk, 2021):

$$AE = \frac{C}{BM \text{ Glukosa} \times T} \times \frac{H}{E}$$

Keterangan:

AE = Aktivitas enzim (U/mL)

C = Konsentrasi glukosa dalam sampel (mg/mL)

BM = Berat Molekul glukosa (180 g/mol)

T = Waktu inkubasi (menit)

H = Volume total enzim – substrat (mL)

E = Volume enzim (mL)

3.4.7 Identifikasi Fungi

3.4.7.1 Identifikasi Secara Makroskopis

Isolat fungi pendegradasi selulosa murni dan terpilih diidentifikasi secara mikroskopis dilakukan dengan menginokulasikan kembali koloni fungi sebanyak satu ose ke media PDA baru secara aseptis. Isolat diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam. Setelah itu, koloni yang ditumbuh diamati berdasarkan ciri makroskopisnya berupa bentuk koloni, bentuk tepi koloni, diameter koloni, keberadaan garis radial dan garis konsentris, warna koloni dari segi atas dan bawah cawan petri, serta tekstur koloni (Talantan dkk, 2018).

3.4.7.2 Identifikasi Secara Mikroskopis

Identifikasi fungi secara mikroskopis menggunakan teknik *Slide Culture*. Teknik *Slide Culture* diawali dengan potongan media PDA diletakkan di atas kaca preparate yang sudah diletakkan di dalam cawan petri steril dengan bantuan ring U sebagai penyangga. Potongan media PDA dioleskan biakan fungi pendegradasi selulosa. Selanjutnya kaca preparate ditutup menggunakan *cover glass* yang sudah disterilkan. Cawan petri diberi beberapa ml tetesan aquadest steril untuk menjaga kelembapan. Diinkubasi selama 7 hari dengan suhu ruang dan nantinya fungi pendegradasi selulosa akan tumbuh menempel pada *cover glass* yang menutupi

media. Selanjutnya disiapkan kaca preparate steril lalu ditetesi dengan *Lactofenol Blue Cotton* dan ditutup di atasnya menggunakan *cover glass* yang sudah ditumbuhi fungi menggunakan pinset steril. Diamati di bawah mikroskop menggunakan perbesaran 100x hingga 400x (Heirina dkk, 2020). Struktur mikroskopis yang diamati berupa hifa, konidia, konidiofor, dan rhizoid. Hasil pengamatan dikomparasikan dengan buku identifikasi fungi Barnett (1972), Bechem & Afanga (2018) berjudul *Description of Medical Fungi* dan *Soil and Seed Fungi*, serta buku Watanabe (2002) *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species 2th Edition*.

3.4.8 Uji Biodegradasi Secara *In Vitro*

3.4.8.1 Persiapan Inokulum

Diambil isolate fungi yang memiliki nilai Indeks Aktivitas Enzim (IAE) dengan kategori tinggi lalu di subkultur ke dalam media PDA steril. Isolat diinkubasi pada suhu $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ selama 6 hari. Hasil pemurnian nantinya akan digunakan dalam perlakuan uji biodegradasi (Gautam *et al*, 2012).

3.4.8.2 Uji Biodegradasi Limbah Organik

Limbah organik sayur baru dengan 3 jenis yang berbeda yaitu sawi hijau, sawi putih, dan bayam diambil masing-masing 5 gram yang sebelumnya sudah di oven dengan suhu 80°C selama 24 jam lalu dipotong-potong dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Erlenmeyer tersebut diautoklaf dengan suhu 121°C selama 15 menit. Diinokulasikan suspensi fungi pada limbah organik lalu diinkubasi pada suhu ruang. Perhitungan berat kering menggunakan interval 5 hari yaitu hari ke 0, 5, 10, dan 15 untuk mengetahui penurunan berat limbah sampah organik (Gautam *et al*, 2012). Rumus yang digunakan untuk menghitung penurunan berat kering (Gautam *et al*, 2012) adalah sebagai berikut:

$$\text{Penurunan Berat Kering (\%)} = \frac{W-W_1}{W}$$

Ket: W (berat awal) W₁ (berat akhir)

3.4.9 Analisis Data

Data karakteristik morfologi secara makroskopis dan mikroskopis fungi dianalisis secara deskriptif untuk menentukan genus dari isolat fungi. Data aktivitas enzim selulase secara kualitatif dan kuantitatif diolah dan dianalisis menggunakan Microsoft Excel serta data pengaruh perbedaan waktu inkubasi biodegradasi terhadap berat kering limbah organik dianalisis secara deskriptif.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Aktivitas Enzim Selulase Secara Kualitatif dan Kuantitatif

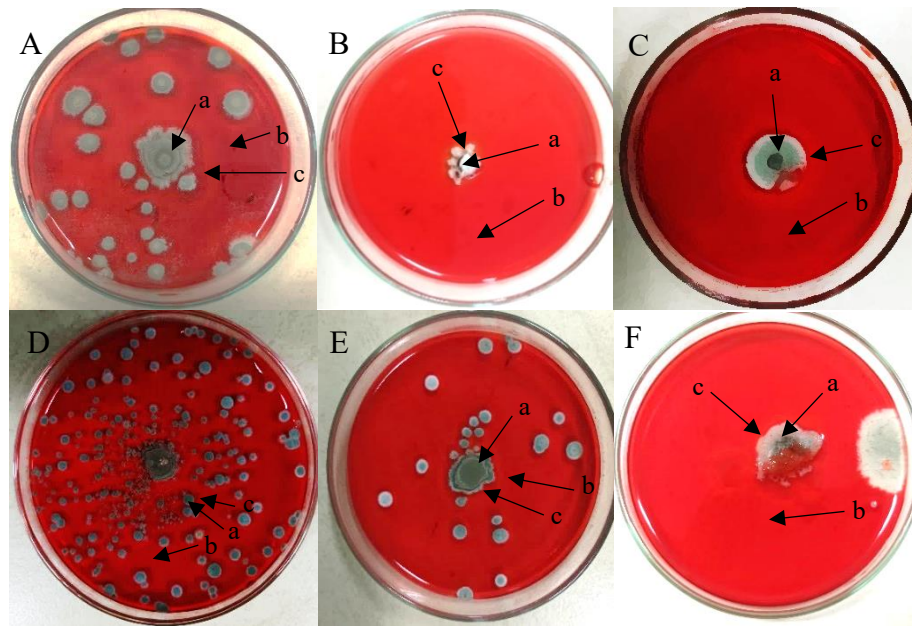
Fungi berhasil diisolasi dari tanah TPA Jabon sebanyak sembilan isolat dengan morfologi yang berbeda-beda. Isolat fungi yang memiliki morfologi berbeda-beda menunjukkan bahwa fungi beragam jenisnya dan dapat dijadikan sebagai pembeda pada setiap isolat. Hasil seleksi isolat fungi selulolitik ditunjukkan dengan adanya zona bening yang terbentuk di sekitar koloni yang tumbuh. Sembilan isolat fungi hasil isolasi (Lampiran 1) terdapat enam isolat yang mampu mendegradasi selulosa karena terbentuknya zona bening (Gambar 4.1).

Media CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*) digunakan sebagai media selektif dalam uji potensi fungi selulolitik. Koloni fungi mulai terbentuk pada hari ke-5 penanaman. Koloni fungi yang berpotensi sebagai fungi selulolitik juga terlihat adanya zona bening yang terbentuk. Harijani *et al.*, (1992) dalam Irwanto (2015) menyatakan bahwa setiap fungi yang tumbuh pada media *screening* menunjukkan aktivitas masing-masing. Fungi memiliki kemampuan dalam merombak selulosa muncul pada masa inkubasi hari ke-3 dan maksimal pada hari ke-12, namun pada hari ke-5 sampai hari ke-7 sudah menunjukkan zona bening yang jelas. Penapisan (*screening*) fungi selulolitik dilakukan dengan terbentuknya zona bening (*clear zone*) disekitar koloni fungi, *screening* terlebih dahulu diberi pewarna congo red untuk memperjelas adanya zona bening (*clear zone*) tersebut.

Isolat fungi yang membentuk zona bening tertinggi adalah isolat TS 1'1 dengan indeks aktivitas selulase 0,44 mm – 0,58 mm; TS 2'2 dengan indeks aktivitas selulase 0,45 mm – 0,74 mm; dan TS 3'4 dengan indeks aktivitas selulase 0,74 mm – 1,69 mm (Tabel 4.1). Ketiga isolat tersebut merupakan perwakilan

tertinggi dari tiga titik pengambilan sampel yang digunakan. TS 1'1 merupakan titik stasiun 1, TS 2'2 stasiun 2 dan TS 3'3 stasiun 3 dengan suhu rata-rata 36°C. Titik pengambilan sampel dibedakan berdasarkan lamanya timbunan limbah organik yang terbentuk, semakin lama limbah ditimbun dengan tanah maka diperkirakan akan semakin banyak pula mikroorganisme yang terkandung. Williams (2005) mengatakan bahwa semakin lama *sanitary landfill*, maka mikroorganisme yang terkandung di dalam tanah semakin banyak jumlahnya karena didalamnya terjadi proses dekomposisi bahan organik. Bahan organik tersebutlah yang digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi melalui proses penguraian. Jenis mikroorganisme dipengaruhi oleh kondisi lingkungan *sanitary landfill* yaitu suhu, kelembapan, dan pH memegang peran penting atas tumbuh kembang mikroorganisme.

Sutari (2020) menjelaskan bahwa zona bening yang terbentuk karena adanya pemutusan ikatan β -1,4 glikosidik yang berhubungan dengan monomer D-glukosa pada media CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*) sehingga isolat yang membentuk zona bening dapat dikatakan berpotensi dalam mendegradasi selulosa. Nurayni dan Handayani (2021) menambahkan bahwa fungi yang tidak membentuk zona bening pada saat *screening* merupakan fungi yang tidak berpotensi sebagai fungi selulolitik. Hal ini dikarenakan setiap mikroorganisme termasuk fungi memiliki kemampuan mendekomposisi substrat dalam rentang yang berbeda-beda. Fungi tersebut memiliki tahap dekomposisi pada tahap degradasi lignin atau gula sederhana, bukan dalam tahap pemecahan selulosa. Substrat terdekomposisi dalam beberapa tahap yaitu, (1) degradasi gula sederhana; (2) degradasi selulosa; dan (3) degradasi lignin.



Gambar 4.1 Hasil seleksi isolat fungi selulolitik secara kualitatif, (A) Isolat TS 1'1, (B) Isolat TS 2'1, (C) Isolat TS 2'2, (D) Isolat TS 3'1, (E) Isolat TS 3'3, (F) Isolat TS 3'4. (a) Koloni fungi, (b) Media, dan (c) Zona bening

Terbentuknya zona bening termasuk indikasi awal untuk mengetahui kemampuan fungi dalam mendekomposisi selulosa. Secara kualitatif, semakin luas dan semakin jelas zona bening yang terbentuk menunjukkan bahwa fungi selulolitik memiliki kemampuan yang potensial. Fungi selulolitik yang dapat tumbuh pada media spesifik CMC menunjukkan bahwa fungi tersebut menjadikan selulosa yang terkandung pada media sebagai salah satu sumber karbon untuk pertumbuhannya.

Media CMC merupakan media yang terdapat ikatan selulosa yang dapat larut (*amorf*). Koloni fungi yang tumbuh cepat pada media CMC dikarenakan dapat menghasilkan eksoglukanase lebih banyak. Menurut Ergun *et al.*, (2016) kuantitas dari suatu enzim eksoglukanase adalah mengkatalisis terbentuknya selobiosa, lalu dihidrolisis menjadi gula sederhana. Enari (2016) menyatakan bahwa β -glukosidase sangat menentukan proses hidrolisis selulosa karena semakin banyak menghasilkan

produk akhir yaitu glukosa. β -glukosidase, maka glukosa juga akan lebih banyak dihasilkan sehingga media yang mengandung selulosa akan terombak secara nyata.

Tabel 4.1 Hasil seleksi isolat fungi selulolitik berdasarkan keberadaan zona bening

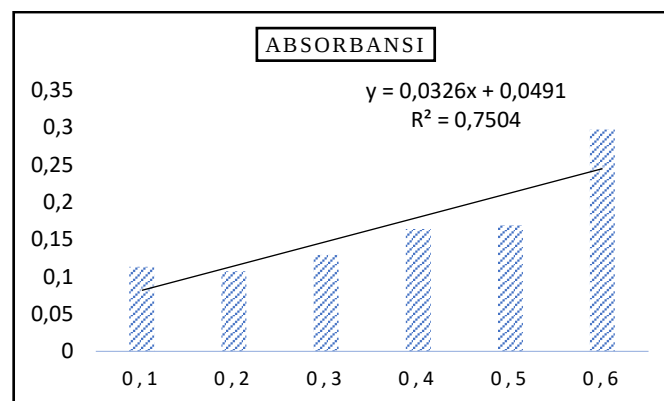
Isolat	Inkubasi Hari Ke-	Indeks Aktivitas Enzim	Karakter Pertumbuhan Isolat	Kategori
TS 1'1	5	0,44 mm – 0,58 mm	Cepat dan menyebar	Rendah
TS 2'1	5	0,57 mm	Lambat dan berpusat di tengah media	Rendah
TS 2'2	5	0,45 mm – 0,74 mm	Cepat dan berpusat di tengah media	Rendah
TS 3'1	5	0,34 mm – 0,64 mm	Cepat dan menyebar	Rendah
TS 3'2	5	0,47 mm – 0,95 mm	Cepat dan menyebar	Rendah
TS 3'4	5	0,74 mm – 1,69 mm	Cepat dan di pinggir media	Sedang

Enzim selulase merupakan enzim yang termasuk golongan ekstraseluler yang dihasilkan dalam sel dan dikeluarkan ke media pertumbuhan untuk mendegradasi senyawa polimer. Enzim selulase merupakan enzim kompleks yang mengandung tiga komponen utama dalam perannya mendegradasi selulosa. Tiga komponen utama tersebut yaitu endoglukanase atau endo- β -1,4-glukanase, eksoglukanase atau selobiohidrolase, dan β -glukosidase atau selobiase yang saling bekerja sama dalam menghidrolisis selulosa tak larut menjadi gula sederhana atau glukosa (Kartika & Ibrahim, 2021).

Uji aktivitas enzim secara kuantitatif dilakukan pada tiga isolat fungi yaitu isolat TS 1'1; TS 2'2; dan TS 3'4. Pemilihan isolat dilakukan untuk mengetahui kemampuan perwakilan fungi dari titik lokasi yang digunakan untuk pengambilan sampel dan dilakukan berdasarkan hasil *screening* secara kualitatif yang

menunjukkan hasil tertinggi. Titik lokasi berbeda pengambilan sampel tanah berada pada area *sanitary landfill* yaitu tanah yang digunakan untuk menutup timbunan limbah sehingga terdapat indikasi adanya mikroorganisme aktif dalam mengurai limbah. Monice and Perinov (2018) menyebutkan bahwa sistem *sanitary landfill* terdapat banyak mikroorganisme tanah yang akan mendekomposisi limbah organik dengan memanfaatkan kandungan karbon sebagai sumber energinya.

Kurva standar glukosa dibuat dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 ppm. Hasil kurva standar glukosa mendapatkan hasil persamaan $y = 0,0326x + 0,0491$ dengan nilai korelasi (R^2) sebesar 0,7504. Hasil persamaan ini akan digunakan untuk mengetahui kadar konsentrasi glukosa pada setiap sampel yang diuji (Gambar 4.2). Kadar gula reduksi dapat ditentukan dan diketahui dengan adanya kurva standar glukosa yang bermaksud untuk mengetahui konsentrasi larutan glukosa disertai nilai absorbansinya. Galung (2021) menjelaskan bahwa hasil tereduksi akan berwarna merah kecoklatan yang apabila diuji dengan panjang gelombang 540 nm akan terserap atau terabsorbansi secara maksimal. Semakin tinggi nilai absorbansi menandakan bahwa kandungan glukosa yang terkandung juga semakin tinggi.



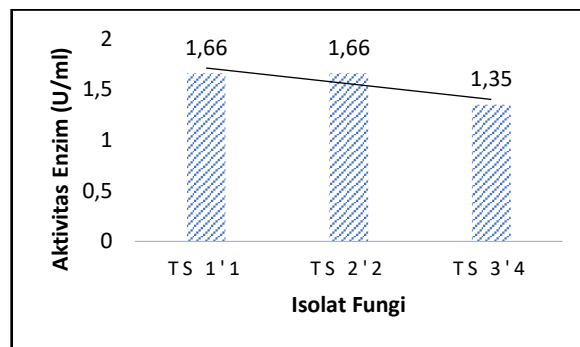
Gambar 4.2 Kurva standar glukosa

Hasil uji aktivitas enzim selulase secara kuantitatif, didapatkan bahwa dari tiga isolat yang berpotensi, isolat TS 1'1 dan isolat TS 2'2 memiliki aktivitas enzim sebesar 1,66 U/ml sedangkan isolat TS 3'4 memiliki aktivitas enzim sebesar 1,35 U/ml (Gambar 4.3). Hasil tersebut memiliki nilai yang berbeda apabila dibandingkan dengan hasil uji kualitatif dimana isolat TS 3'4 memiliki hasil tertinggi sedangkan pada uji kuantitatif memiliki nilai terendah. Adiguna dkk (2020) menyebutkan bahwa perbedaan hasil uji kualitatif dan kuantitatif fungi selulolitik disebabkan karena adanya kandungan zat-zat organik atau sumber nutrisi pada media yang digunakan.

Hasanah dan Iwan (2015) menjelaskan bahwa seleksi kuantitatif merupakan tahap konfirmasi dan tidak selalu memiliki hasil yang sama dengan uji kualitatif penapisan zona bening. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan mikro yang berbeda antara medium padat dan medium cair yang digunakan pada saat pengujian dapat berpengaruh terhadap produksi enzim. Hasil berbeda dapat dimungkinkan terhadap kebutuhan kadar oksigen dari fungi untuk pertumbuhannya. Setiap mikroba selulolitik menghasilkan kompleks enzim selulase yang tidak sama, bergantung pada gen dan sumber karbon yang digunakan. Hasil yang berbeda juga dapat disebabkan suhu pada saat perlakuan berlangsung. Kualitas dan kuantitas yang berbeda akan berpengaruh terhadap terombaknya selulosa yang terkandung pada media.

Suhu pada saat perlakuan berlangsung antara uji kualitatif dan kuantitatif memiliki tingkatan yang berbeda. Uji kualitatif menggunakan suhu ruang yaitu 27°C sampai 30°C, sedangkan uji kuantitatif menggunakan suhu 55°C karena melalui proses pemanasan. Hal tersebut menjadikan ketiga isolat tersebut memiliki

kemampuan yang berbeda dalam menghasilkan selulase apabila dilihat dari nilai aktivitas enzim yang diperoleh. Menurut Utami dkk (2019) perbedaan aktivitas enzim pada setiap isolat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah suhu. Suhu memiliki pengaruh yang cukup penting terhadap reaksi enzimatik. Perubahan suhu yang terjadi secara umum akan meningkatkan hasil produksi enzim, namun apabila suhu mengalami kenaikan secara maksimum akan menyebabkan terjadinya denaturasi enzim karena berubahnya struktur protein enzim. Suhu optimum untuk fungi dapat menghasilkan enzim adalah 30°C.



Gambar 4.3 Hasil uji aktivitas enzim secara kuantitatif

Uji aktivitas enzim secara kuantitatif menggunakan metode DNS untuk mengetahui estimasi glukosa yang terkandung sebagai hasil hidrolisis dari selulosa. Menurut Gaspersz dkk (2022) DNS termasuk senyawa yang bereaksi dengan gula reduksi hingga terbentuk asam 3-amino-5-nitrosalisilat. Senyawa ini mampu menyerap radiasi gelombang elektromagnetik mencapai 540 nm. Pengujian DNS berprinsip untuk mengetahui reaksi yang terjadi antara glukosa dan selulosa terhadap DNS. Interaksi yang berlangsung nantinya akan menghasilkan warna kompleks dengan larutan uji dan dijadikan sebagai indikator penunjuk adanya gula pereduksi. Gula reduksi yang semakin tinggi jumlahnya menunjukkan aktivitas

enzim yang tinggi, hal ini berarti bahwa nilai absorbansi yang terukur akan semakin tinggi pada spektrofotometer.

4.2 Identifikasi Isolat Fungi Selulolitik secara Makroskopis dan Mikroskopis

Hasil *screening* isolat fungi yang berpotensi sebagai fungi selulolitik dilakukan identifikasi secara morfologi. Isolat fungi selulolitik sebanyak enam isolat akan diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis (Tabel 4.3). Isolat yang diidentifikasi berdasarkan pada terbentuknya zona bening dan pertumbuhan fungi secara optimal pada media selektif.

Tabel 4.3 Hasil identifikasi morfologi isolat fungi

Dugaan Fungi	Karakter Morfologi					Isolat Fungi
	Permukaan Atas Koloni	Permukaan Bawah Koloni	Tekstur	Hifa	Konidia	
<i>Aspergillus</i>	Hijau tua dengan tepian putih	Putih kekuningan	Beludru	Tidak bersekat	Bulat	TS 1'1
	Putih	Putih kekuningan hingga kecoklatan	Beludru	Bersekat	Bulat	TS 2'1
	Warna putih	Coklat dengan tepi putih	Beludru	Bersekat	Bulat	TS 3'1
<i>Penicillium</i>	Hijau tua tepian putih	Putih kekuningan	Beludru dan sedikit kapas	Bersekat	Semi bulat	TS 2'2
	Hijau ke abu-abuan tepian putih	Putih kekuningan	Beludru	Bersekat	Bulat	TS 3'3
<i>Trichoderma</i>	Hijau ke abu-abuan tepian putih	Putih	Beludru, kasar, dan kapas	Bersekat	Bulat	TS 3'4

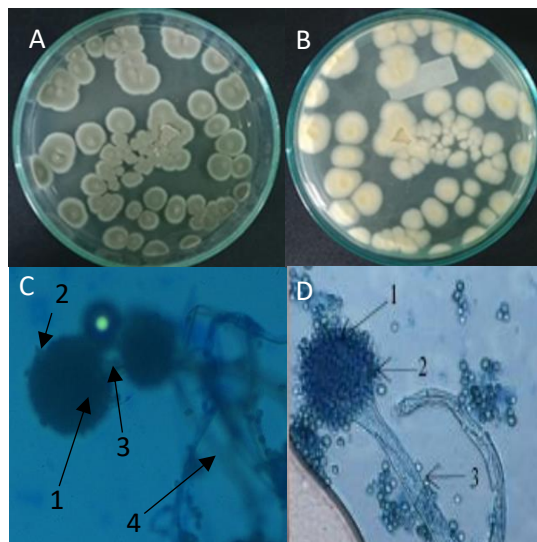
Hasil identifikasi isolat fungi TS 1'1 secara morfologi disajikan pada tabel

4.3. Hasil pengamatan makroskopis, permukaan atas koloni bertekstur beludru.

Isolat fungi termasuk dalam pertumbuhan cepat, hari ke-5 inkubasi isolat dapat

memenuhi cawan petri. Isolat fungi pada awal pertumbuhan memiliki misellium berwarna putih, semakin lama misellium berubah menjadi kekuningan. Misellium berubah menjadi warna hijau ketika masa inkubasi ke-5 hari dengan tepian koloni berwarna putih dan terdapat cincin sporulasi. Bagian permukaan bawah isolat fungi memiliki warna putih kekuningan dan terdapat lingkaran konsentris (Gambar 4.4)

Hasil pengamatan mikroskopis menggunakan perbesaran 100x menunjukkan hifa dengan karakter tidak bersekat dan hialin. Konidiofor tidak bercabang serta memiliki konidia berbentuk bulat. Konidia menempel secara teratur pada bagian sterigmata berupa batang pendek dan menghasilkan spora. Isolat fungi ini memiliki vesikel semi bulat hingga bulat (Gambar 4.4). Berdasarkan hasil identifikasi serta kajian literatur, isolat TS 1'1 diduga berasal dari kelompok Fungi *Aspergillus* sp..



Gambar 4.4 Isolat TS 1'1 *Aspergillus* sp. (A) Morfologi permukaan atas, (B) Morfologi permukaan bawah, (C) Hasil identifikasi mikroskopis, dan (D) Literatur identifikasi mikroskopis. Keterangan: (1) Vesikel, (2) Konidia, (3) Konidiofor, dan (4) Hifa (Putra dkk, 2020)

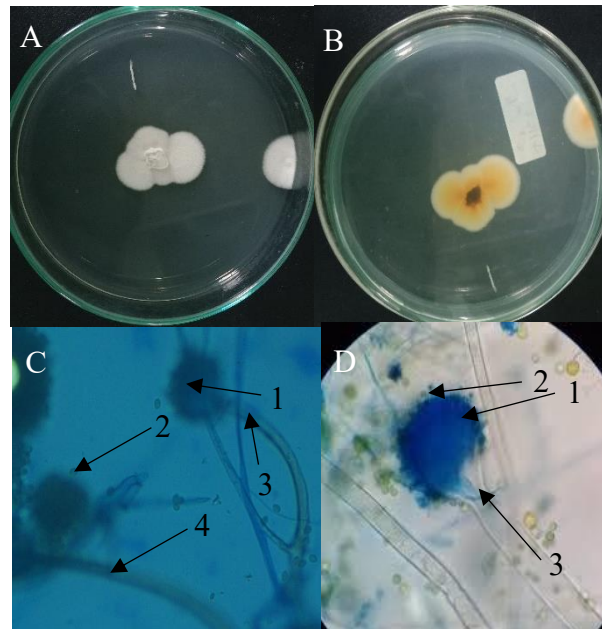
Hasil identifikasi makroskopis isolat fungi TS 1'1 sesuai dengan pengamatan Simangunsong dkk (2019), *Aspergillus* pada awal pertumbuhan memiliki warna misellium berwarna putih. Namun semakin lama masa inkubasi misellium akan berubah menjadi warna hijau tua hingga kehitaman dengan tepi koloni putih yang menandakan misellium berusia muda. Bentuk koloni circular dan memiliki tipe pertumbuhan yang mudah menyebar. *Aspergillus* memiliki karakter warna putih kekuningan pada bagian bawah koloninya serta adanya lingkaran cincin pada bagian tengah dan beberapa isolat terdapat cairan eksudat berwarna bening.

Hasil pengamatan mikroskopis isolat fungi TS 1'1 sesuai dengan penelitian Putra dkk (2020), *Aspergillus* memiliki hifa baik bersekat dan tidak bersekat serta hialin (tidak berwarna). Vesikel yang berbentuk bulat hingga semi bulat dengan diameter 25-45 μm . konidia yang dimiliki bulat berdiameter 3-6 μm . Konidia menempel secara teratur pada batang pendek yaitu sterigmata. Konidiofor memiliki karakter berukuran panjang antara 55-125 μm dan berbentuk silinder.

Hasil identifikasi isolat fungi TS 2'1 secara morfologi dapat dilihat pada tabel 4.3. Secara makroskopis isolat fungi TS 2'1 memiliki warna koloni putih dan bertekstur beludru. Isolat fungi ini pada hari ke-5 inkubasi masih menunjukkan warna putih dengan warna bagian bawah permukaan isolat berwarna putih kekuningan hingga kecoklatan dan terdapat lingkaran konsentris. Isolat fungi TS 2'1 mengalami keterlambatan dalam pertumbuhan.

Hasil pengamatan mikroskopis isolat fungi TS 2'1 memiliki tipe hifa yang bersekat dan hialin (bening), misellium bercabang, konidiofor panjang dengan vesikel terminal. Konidia pada isolat ini berbentuk bulat serta halus (Gambar 4.5).

Berdasarkan hasil identifikasi serta kajian literatur, isolat TS 2'1 diduga berasal dari kelompok Fungi *Aspergillus* sp..



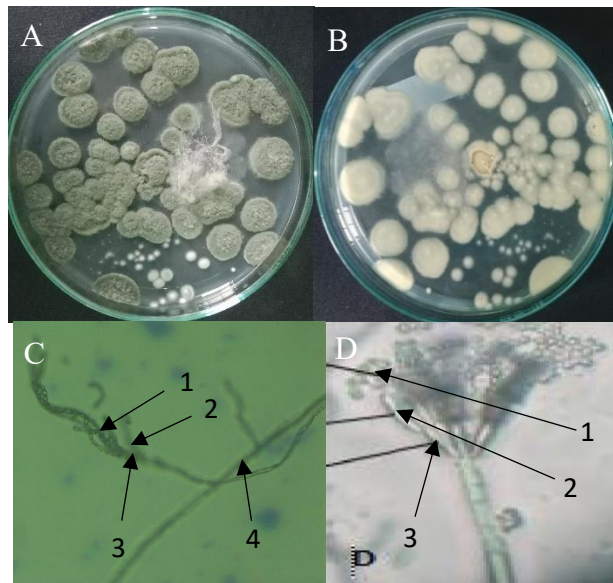
Gambar 4.5 Isolat TS 2'1 *Aspergillus* sp. (A) Morfologi permukaan atas, (B) Morfologi permukaan bawah, (C) Hasil identifikasi mikroskopis, dan (D) Literatur identifikasi mikroskopis. Keterangan: (1) Vesikel, (2) Konidia, (3) Konidiofor, dan (4) Hifa (Indriani dkk, 2020)

Hasil identifikasi morfologi isolat fungi TS 2'1 secara makroskopis sesuai dengan Praja dan Aditya (2017) bahwa koloni fungi *Aspergillus* sp. secara makroskopis pada awal pertumbuhan memiliki warna putih dan semakin lama akan berubah menjadi warna hijau tua. Fungi ini termasuk tipe koloni yang mudah tumbuh dengan cepat dan menyebar. Namun, pertumbuhan koloni fungi yang lambat menurut Hakim dkk (2020), umumnya pH optimum fungi berada pada pH 5-7. pH pertumbuhan dibawah 5 akan menyebabkan pertumbuhan fungi menjadi lambat dan mengurangi produksi pigmen. Tekstur dari fungi *Aspergillus* sp. adalah beludru.

Hasil identifikasi morfologi isolat fungi TS 2'1 secara mikroskopis sesuai dengan Watanabe (2002) Secara mikroskopis memiliki hifa yang hialin, konidia berbentuk bulat dan tegak, dan memiliki fialid sebagai penghasil spora. Konidiofor memiliki dinding halus dan tipis dengan tinggi antara 55-125 μm , vesikel yang dimiliki berukuran 12,5-16,3 μm , konidia berdiameter 2,4-2,7 μm serta kepala konidia memiliki diameter 175,1-243,3 x 15-55 μm .

Hasil identifikasi isolat fungi TS 2'2 secara morfologi dapat dilihat pada tabel 4.3. Hasil pengamatan secara makroskopis menunjukkan bahwa isolat fungi TS 2'2 memiliki tekstur seperti beludru dan ada sedikit tekstur seperti kapas. Koloni fungi pada awal pertumbuhan berwarna putih, semakin lama masa inkubasi misellium menunjukkan adanya perubahan warna menjadi hijau ke abu-abuan dengan tepi koloni sedikit berwarna putih yang menandakan misellium dalam usia muda. Bagian bawah permukaan koloni berwarna krem. Isolat fungi TS 2'2 memiliki tipe pertumbuhan yang cepat menyebar.

Hasil pengamatan mikroskopis isolat fungi TS 2'2 menunjukkan karakter hifa yang bersekat dan hialin, konidiofor bercabang sederhana, memiliki metula dan fialid di ujung konidiofor yang memiliki ciri khas berbentuk labu. Memiliki susunan kelompok yang unik dengan menyerupai kuas (penicilli). Konidia pada isolat ini berbentuk bulat serta uniseluler (Gambar 4.6). Berdasarkan hasil identifikasi serta kajian literatur, isolat TS 2'2 diduga berasal dari kelompok Fungi *Penicillium* sp..

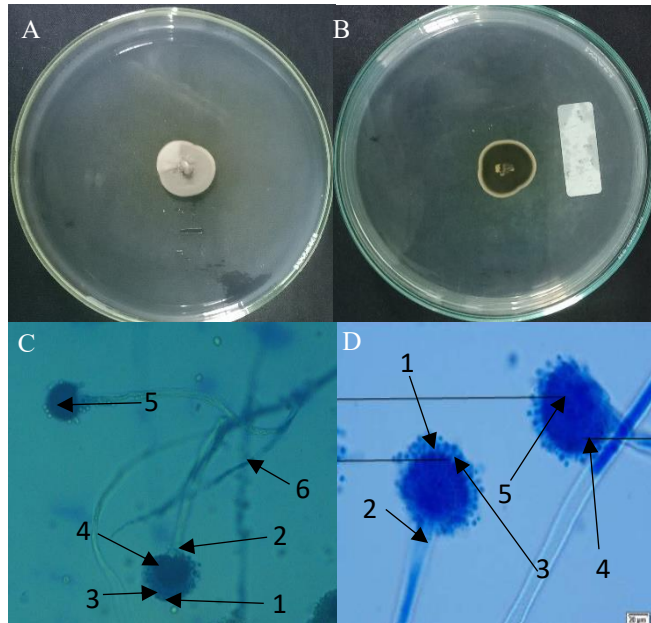


Gambar 4.6 Isolat TS 2'2 *Penicillium* sp. (A) Morfologi permukaan atas, (B) Morfologi permukaan bawah, (C) Hasil identifikasi mikroskopis, dan (D) Literatur identifikasi mikroskopis. Keterangan: (1) Konidia, (2) Fialid, (3) Metula, dan (4) Hifa (Anggraeni dan Usman, (2015))

Hasil identifikasi morfologi isolat fungi TS 2'2 secara makroskopis dan mikroskopis sesuai dengan Anggraeni dan Usman (2015) bahwa koloni fungi *Penicillium* sp. secara makroskopis pada awal pertumbuhan memiliki warna putih dan semakin lama akan berubah menjadi abu-abu kehijauan. Fungi ini termasuk tipe koloni yang mudah tumbuh dengan cepat dan menyebar. Tekstur dari fungi *Penicillium* sp. menyerupai kain beludru serta kapas. Secara mikroskopis memiliki hifa yang hialin, konidia berbentuk bulat, dan memiliki fialid. Ristiari dkk (2018) menambahkan, *Penicillium* sp. memiliki konidia dan konidiofor berdinding halus. Konidiofor memiliki tipe bercabang secara sederhana disertai metula dan fialid. Fialid pada ujung konidiofor memiliki ciri khas sendiri dengan menyerupai kuas yang disebut penicilli. Konidia berdiameter 2,5-5 μm berbentuk bulat, uniseluler, dan seperti rantai.

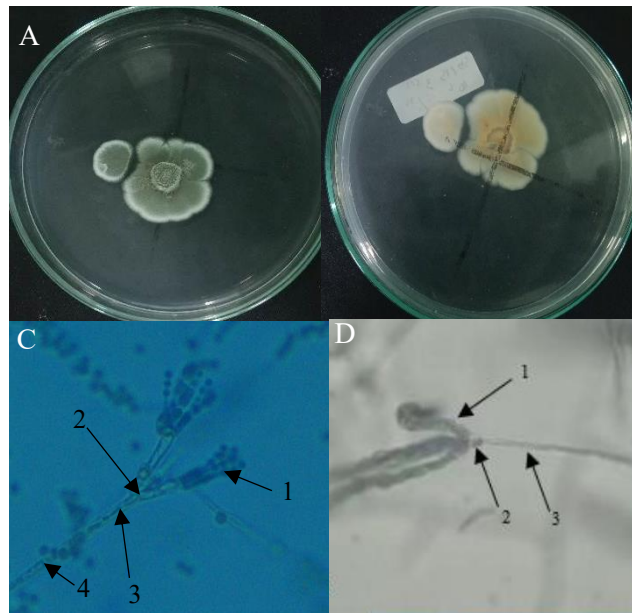
Hasil identifikasi isolat fungi TS 3'1 secara morfologi disajikan pada tabel 4.3. Berdasarkan hasil pengamatan secara makroskopis, bagian permukaan atas koloni bertekstur seperti beludru. Isolat termasuk dalam pertumbuhan yang lambat, hari ke-5 inkubasi isolat belum memenuhi cawan petri. Bagian permukaan atas koloni berwarna putih, sedangkan bagian permukaan belakang koloni berwarna coklat tua dengan tepi putih. Secara mikroskopis memiliki hifa bersekat, konidia bulat berukuran kecil yang berkumpul melekat pada sterigmata tertaur melingkar pada permukaan konidiofor bagian ujung (vesikel) (Gambar 4.7).

Berdasarkan hasil pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis, isolat fungi TS 3'1 diduga sebagai fungi dari genus *Aspergillus* sp. Hasil tersebut sesuai dengan Elmer *et al.*, dalam Syaifurrisal (2014) bahwa fungi *Aspergillus* sp. secara makroskopis memiliki koloni berwarna putih ketika awal pertumbuhan dan semakin lama atau pada usia dewasa akan memiliki warna hijau tua. Koloni fungi bertekstur beludru dan berbentuk bulat. Koloninya pada bagian bawah permukaan terdapat lingkaran konsentris. Secara mikroskopis fungi *Aspergillus* sp. memiliki rantai konidia kecil dalam bentuk oval yang melekat menjadi satu dalam vesikel. Konida memiliki kepala dengan ukuran panjang 100-200 μm dan lebar 50-60 μm . konidiofor hialin dan vesikel berbentuk bulat, sterigmata uniseriate, serta konidia menyerupai globose. Menurut Kusdarwati dkk (2016), *Aspergillus* sp. secara mikroskopis memiliki bentuk konidia dan vesikel yang bulat, konidiofor panjang berukuran 400-800 μm . vesikel memiliki ukuran 25-45 μm dan di atasnya terdapat fialid.



Gambar 4.7 Isolat TS 3'1 *Aspergillus* sp. (A) Morfologi permukaan atas, (B) Morfologi permukaan bawah, (C) Hasil identifikasi mikroskopis, dan (D) Literatur identifikasi mikroskopis. Keterangan: (1) Konidia, (2) Konidiofor, (3) Fialid, (4) Metula, (5) Vesikel, dan (6) Hifa (Kusdarwati dkk, (2016)

Hasil identifikasi isolat fungi TS 3'3 secara morfologi disajikan pada tabel 4.3. Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, permukaan atas koloni memiliki warna hijau ke abu-abuan dengan tepi koloni berwarna putih dan warna permukaan bawah koloni putih kekuningan. Pertumbuhan fungi pada masa inkubasi hari ke-5 belum memenuhi cawan petri. Koloni fungi bertekstur beludru. Secara mikroskopis menunjukkan konidia dan konidiofor memiliki dinding halus, memiliki tipe konidiofor bercabang yang membentuk fialid di ujung serta terdapat metula. Hifa menunjukkan karakter yang bersekat dan hialin (Gambar 4.8).



Gambar 4.8 Isolat 3'3 *Penicillium* sp. (A) Morfologi permukaan atas, (B) Morfologi permukaan bawah, (C) Hasil identifikasi mikroskopis, dan (D) Literatur identifikasi mikroskopis. Keterangan: (1) Konidia, (2) Fialid, (3) Konidiofor, dan (4) Hifa (Mahendra dkk, 2022)

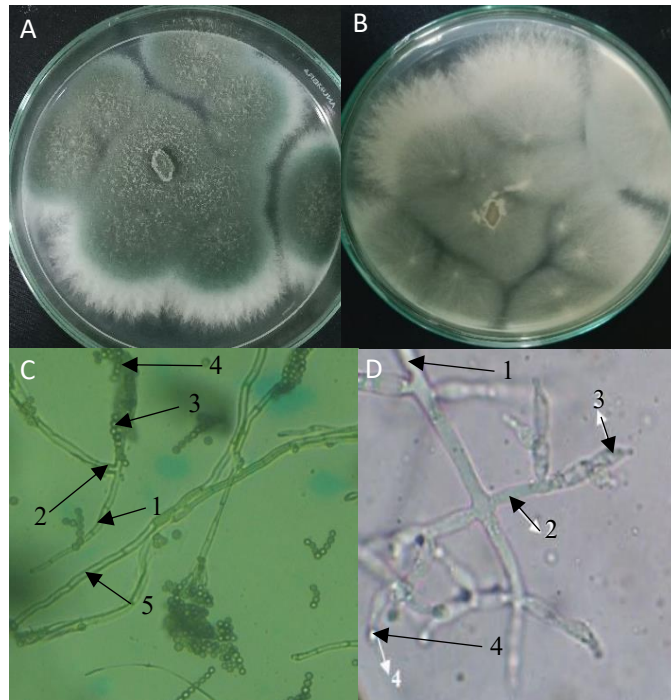
Berdasarkan hasil pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis, isolat fungi TS 3'3 diduga sebagai fungi dari genus *Penicillium* sp. Hasil tersebut sesuai dengan Mahendra dkk (2022) bahwa fungi *Penicillium* sp. secara makroskopis memiliki koloni berwarna hijau tua di bagian tengah serta warna putih di bagian tepi. Koloni fungi ini berbentuk bulat dan bertekstur halus. Koloninya dilengkapi dengan garis tepi yang melingkari. Secara mikroskopis fungi *Penicillium* sp. dilengkapi dengan konidiofor yang tumbuh bercabang dan membentuk fialid di bagian ujung. Konidia tumbuh pada ujung fialid dan memiliki warna hialin. Konidia tersusun seperti rantai panjang dan memiliki bentuk bulat.

Penicillium sp. menurut Barnett dan Hunter (1998) memiliki konidiofor yang dapat muncul dari misellium. Konidiofor akan membentuk fialid pada bagian ujung dan termasuk tipe konidiofor bercabang. Konidia berwarna hialin dan cerah.

Kondia *Penicillium* sp. menyerupai rantai panjang serta berbentuk bulat telur. Fungi dari genus *Penicillium* merupakan salah satu fungi dari kelas Eurotiomycetes, ordo Eurotiales serta dari famili Trichocomaceae.

Hasil identifikasi isolat fungi TS 3'4 secara morfologi disajikan pada tabel 4.3. Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, koloni fungi memiliki warna hijau tua ke abu-abuan dilengkapi dengan batas yang jelas dan warna putih yang melingkari. Koloni fungi bertekstur beludru, kasar, dan sedikit menyerupai kapas. Bentuk koloni bulat dan terdapat elevasi yang timbul. Bagian bawah permukaan koloni berwarna putih. Pertumbuhan fungi pada masa inkubasi hari ke-5 telah memenuhi cawan petri dan termasuk tipe pertumbuhan yang cepat. Secara mikroskopis menunjukkan bahwa hifa yang memiliki terdapat sekat dan bercabang. Memiliki konidiofor yang berwarna hialin, memiliki konidia dan fialid (Gambae 4.9).

Berdasarkan hasil pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis, isolat fungi TS 3'4 diduga sebagai fungi dari genus *Trichoderma* sp. Hasil tersebut sesuai dengan Suanda (2016) bahwa fungi *Trichoderma* sp. secara makroskopis koloni pada awal pertumbuhan berwarna putih lalu semakin lama akan berubah menjadi warna hijau tua dengan batas yang jelas. *Trichoderma* sp. berbentuk bulat, bertekstur kasar namun berserat serta bagian tepi halus menyerupai kapas. Secara mikroskopis fungi *Trichoderma* sp. memiliki hifa dan konidia berwarna hijau dan konidia berbentuk bulat. Memiliki fialid bertangkai pendek. Konidia tumbuh pada bagian ujung fialid serta terdapat konidium terletak secara bergerombol pada permukaan sel kondiofor. Fialid memiliki ukuran 11,1 μm sedangkan konidiofor 13,4 μm .



Gambar 4.9 Isolat 3'4 *Trichoderma* sp. (A) Morfologi permukaan atas, (B) Morfologi permukaan bawah, (C) Hasil identifikasi mikroskopis, dan (D) Literatur identifikasi mikroskopis. Keterangan: (1) Konidiofor, (2) Cabang konidiofor, (3) Fialid, (4) Konidia, dan (5) Hifa (Suanda, 2016)

Trichoderma sp. menurut Domsch et al., (1980) dan Watanabe (2002) memiliki konidiofor yang bercabang menyerupai piramid dimana percabangan semakin ujung semakin pendek. Fialid yang dimiliki memiliki tipe semakin langsing di bagian ujung. Konida berbentuk semi bulat hingga bulat disertai dinding yang halus. Hifa dari *Trichoderma* sp. termasuk hifa yang bersekat. *Trichoderma* merupakan fungi yang berasal dari kelas Sordariomycetes, ordo Hypocreales, dan dari famili Hypocreaceae.

4.3 Hasil Uji Biodegradasi Limbah Organik Secara *In Vitro*

Uji biodegradasi limbah organik secara *in vitro* menggunakan isolat fungi TS 1'1; TS 2'2; dan TS 3'4. Hasil uji biodegradasi antara ketiga isolat tersebut

menunjukkan hasil yang berbeda. Namun, apabila dibandingkan dengan kontrol dimana tanpa menggunakan isolat memiliki hasil yang jauh berbeda (Tabel 4.2). Siswanto dkk (2020) menjelaskan bahwa selulosa merupakan komponen organik utama yang berpengaruh terhadap ketersediannya karbon, hal ini menjadikan semakin tinggi kandungan selulosa maka karbon organik juga akan semakin tinggi. Fungi selulolitik akan memanfaatkan kandungan selulosa pada limbah organik sehingga limbah tersebut akan terus mengalami penurunan bobot berat kering.

Hasil perhitungan persentase penurunan berat kering limbah organik pada hari ke-15 dari ke-3 isolat fungi yang digunakan memiliki nilai yang berbeda dengan perlakuan kontrol dalam penurunan berat kering limbah organik meskipun tidak berbeda secara nyata. Perlakuan kontrol uji biodegradasi limbah organik secara *in vitro* hanya mengalami penurunan dengan nilai yang kecil yaitu 0,9% pada hari ke-15 inkubasi. Menurut Doraja dkk (2012) limbah organik dapat terdegradasi secara alami namun membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 2-4 bulan, sedangkan proses biodegradasi limbah organik yang menggunakan bantuan mikroorganisme dapat terdegradasi maksimal 60 hari. Lamanya proses degradasi limbah organik secara alami dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat adanya pembusukan limbah organik. Kondisi kladospore fungi indigenus diprediksi mampu bertahan pada substrat limbah dengan kondisi lembab sehingga berpengaruh terhadap suplai oksigen.

Penelitian sebelumnya, Nugraha, (2012) uji biodegradasi terjadi secara maksimal pada hari ke-60 oleh fungi selulolitik genus *Aspergillus sp.* Penelitian serupa dilakukan oleh Gautam *et al* (2012) uji biodegradasi limbah organik dengan masa inkubasi 60 hari dan berat kering awal limbah organik 25 kg mengalami

penurunan berat kering limbah sebanyak 40% oleh fungi genus *Aspergillus sp.* sedangkan oleh fungi *Trichoderma sp.* penurunan berat kering limbah sebanyak 33,35%. Wulandari dkk (2014) juga melakukan penelitian biodegradasi limbah organik Jerami padi oleh fungi *Penicillium sp.* dengan masa inkubasi 15 hari mengalami penurunan berat kering limbah sebanyak 15% dari total berat kering awal limbah 20 kg. Perbedaan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa selain adanya pengaruh karakteristik masing-masing isolat yang digunakan, juga terdapat pengaruh terhadap kondisi lingkungan awal tempat mikroorganisme hidup sehingga terdapat perbedaan aktivitas enzim selulase (Dali dkk, 2013).

Perhitungan berat kering merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui kemampuan isolat fungi yang berpotensi sebagai pendegradasi selulosa pada limbah organik. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan antara berat awal sampel limbah organik (sebelum perlakuan) dengan perlakuan setelah dilakukan inkubasi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa limbah organik terdekomposisi setelah ditambahkan isolat fungi selulolitik selama masa inkubasi. Proses dekomposisi limbah organik ditandai dengan adanya penurunan berat kering, perubahan warna, partikel, bau, serta penampakan limbah organik. Berat kering limbah organik mengalami penurunan secara teratur dalam interval 5 hari selama 15 hari pengamatan.

Berat kering limbah organik yang mengalami penurunan sedikit demi sedikit terjadi karena proses biodegradasi termasuk proses penghancuran molekul organik kompleks menggunakan bantuan mikroorganisme yang terjadi secara bertahap dan akan terurai menjadi bentuk yang lebih sederhana. Fitriani dkk (2018) mengatakan

bahwa kandungan serat yaitu selulosa pada sayuran hijau tidak memiliki perbedaan antara berat basah dan berat keringnya. Berat basah sayuran hijau mengandung 40-50% selulosa sedangkan berat kering sayuran hijau mengandung 35-50% selulosa. Maharani dan Wesen (2018) menambahkan bahwa proses biodegradasi merupakan proses terjadinya pemecahan cemaran organik yang mudah membusuk akibat tingginya kadar air menggunakan bantuan aktivitas mikroorganisme dengan melibatkan tahapan-tahapan reaksi enzimatik.

Tabel 4.2 Hasil uji biodegradasi fungi selulolitik terhadap limbah organik

Isolat	Masa inkubasi	Bobot awal (Gram)	Bobot akhir (Gram)	% kehilangan bobot kering
Kontrol (tanpa isolat)	5 hari	15,00	14,87	0,08
	10 hari		14,10	0,6
	15 hari		13,65	0,9
TS 1'1	5 hari	15,00	13,90	0,7
	10 hari		11,65	22
	15 hari		8,77	42
TS 2'2	5 hari	15,00	13,15	1
	10 hari		10,76	28
	15 hari		8,00	46
TS 3'4	5 hari	15,00	11,89	2
	10 hari		9,54	36
	15 hari		7,12	52

Penurunan berat kering pada limbah organik merupakan salah satu bukti dari adanya aktivitas fungi selulolitik dalam mendegradasi limbah organik. Fungi akan mendegradasi selulosa menjadi molekul yang lebih sederhana yaitu gula sederhana. Menurut Putri dkk (2019) fungi mendegradasi selulosa melalui mekanisme enzimatik. Enzim yang dihasilkan adalah enzim selulase yang diekskresikan pada hifa fungi bagian ujung untuk mengoptimalkan pendegradasian nutrisi polimer. Proses pendegradasian selulosa melibatkan tiga jenis enzim dalam proses kerjanya,

yaitu ikatan glikosidik β -1,4 dihidrolisis secara acak oleh enzim endoglukanase dan bekerja pada bagian amorf serat selulosa yang memproduksi oligosakarida serta polimer panjang tereduksi (Puspitasari & Ibrahim, 2020), Eksoglukanase, *1,4- β -D-glucan cellobiohydrolase*, *avicelase*, menghidrolisis rantai ujung selulosa yang tidak tereduksi dengan selobiosa sebagai struktur primer. Jadi β -glukosidase selobiosa diperlukan untuk hidrolisis lengkap oligosakarida dan selobiosa menjadi glukosa (Lee et al, 2016).

Kecepatan dalam proses biodegradasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yang harus diperhatikan. Dwicania (2019) menyebutkan bahwa faktor-faktor tersebut adalah konsentrasi bahan pencemar, kelembaban, pH, temperatur, jenis mikroorganisme, biomassa, oksigen, mineral, dan ketersediaan nutrien. Fan dan Lee et al (2016) menegaskan bahwa aktivitas biodegradasi oleh mikroorganisme tergantung pada enzim yang disekresikan. Enzim ekstraseluler disekresikan untuk membantu proses penguraian unsur hara terikat pada senyawa organik yang sulit untuk diubah menjadi senyawa organik terlarut. Proses penguraian akan menghasilkan senyawa asam malat, asam format, gula reduksi & non reduksi, dan unsur hara. Fungi memanfaatkan selulosa dalam proses pertumbuhannya dengan mengubah selulosa menjadi CO₂ serta materi sel.

Uji biodegradasi limbah organik menggunakan bantuan fungi selulolitik secara *in vitro* merupakan salah satu bukti ciptaan Allah yang tidak ada kecacatan dan memiliki kebermanfaatan. Semua ciptaan Allah adalah kehendaknya dengan penciptaan yang seimbang antara tujuan dan hasilnya. Hal ini dijelaskan oleh Allah

SWT dalam Al-Qur'an Surat Al-Mulk ayat 3-4 yang berbunyi:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَّا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوتٍ ۚ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ۚ ثُمَّ ارْجِعِ الْبَصَرَ كَرَّتَيْنِ يَنقَلِبْ إِلَيْكَ الْبَصَرُ خَاسِئًا وَهُوَ حَسِيرٌ ۚ

Artinya: “Yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Tidak akan kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih. Maka lihatlah sekali lagi, adakah kamu lihat sesuatu yang cacat? Kemudian ulangi pandangan(mu) sekali lagi (dan) sekali lagi, niscaya pandanganmu akan kembali kepadamu tanpa menemukan cacat dan ia (pandanganmu) dalam keadaan letih.” (QS Al-Mulk:3-4).

Tafsir ayat di atas menurut Al-Syeikh (2004) dalam Tafsir Ibnu Katsir, potongan kata (مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوتٍ) menjelaskan bahwa Allah sesungguhnya tidak menciptakan segala sesuatu dengan tidak seimbang. Tidak ada ketidakcocokan, kerusakan, dan kekurangan dalam kebermanfaatan. Tafsir tersebut menyebutkan bahwa manusia tidak akan melihat ketidakseimbangan, sebab Allah tidak menciptakan sesuatu yang melebihi batas yang telah ditentukan. Az-Zuhaili (2013) dalam Tafsir Al-Munir (هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ) menjelaskan bahwa segala ciptaan Allah menunjukkan keagungan, kekuasaan, kesempurnaan, dan keteraturan yang tanpa cacat sedikitpun. (ثُمَّ ارْجِعِ الْبَصَرَ) potongan ayat tersebut merupakan sebuah jawaban bahwa segala permasalahan membutuhkan sebuah proses. Artinya Allah menghendaki atas segala yang diciptakan dan mengendalikan apa yang dikehendaki untuk semua makhluk. Kemenag RI (2022) dalam Tafsir Tahlili menyebutkan bahwa Allah memiliki kuasa terhadap penciptaan alam raya dan tidak ada yang diciptakan secara tidak seimbang. Allah yang Maha Pengasih terhadap seluruh wujud baik ciptaan-Nya yang besar maupun kecil. Segala ciptaan-Nya tidak akan ditemukan cacat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari sembilan isolat fungi yang berhasil diisolasi dari tanah TPA jabon terdapat enam isolat berpotensi menghasilkan enzim selulase, dari enam isolat terpilih terdapat tiga isolat dengan hasil *screening* tertinggi dalam potensi mendegradasi limbah organik mewakili setiap lokasi pengambilan sampel yaitu isolat TS 1'1; TS 2'2; dan TS 3'4. Aktivitas enzim isolat TS 1'1 sebesar 0,44 mm - 0,58 mm (kualitatif) dan 1,66 U/ml (kuantitatif), isolat TS 2'2 sebesar 0,45 mm - 0,74 mm (kualitatif) dan 1,66 U/ml (kuantitatif), dan isolat TS 3'4 sebesar 0,74 mm - 1,69 mm (kualitatif) dan 1,35 U/ml (kuantitatif).
2. Karakteristik secara morfologi baik mikroskopis dan makroskopis pada isolat Fungi selulolitik yang memiliki potensi tertinggi dalam biodegradasi limbah organik yaitu fungi TS 1'1 merupakan genus *Aspergillus sp.*, fungi TS 2'2 merupakan genus *Penicillium sp.*, dan fungi TS 3'3 merupakan genus *Trichoderma sp.*
3. Persentase pengurangan berat kering limbah organik pada hari ke-15, pada isolat TS 1'1 sebesar 42%, isolat TS 2'2 sebesar 46%, sedangkan TS 3'4 sebesar 52%.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dengan identifikasi isolat fungi lebih lanjut hingga Tingkat spesies secara molekuler.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiguna, Galih Setyo, I Nyoman P., dan Aryantha. (2020). Aplikasi Fungi Rizosfer Sebagai Pupuk Hayati Pada Bibit Kelapa Sawit Dengan Memanfaatkan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Media Pertumbuhan. *Manfish Journal*. Vol. 1(1): 32-42
- Anand, A. A. P., Vennison, S. J., Sankar, S. G., Prabhu, D. I. G., Vasani, P. T., Raghuraman, T., Geoffrey, C. J., & Vandan, S. E. (2010). Isolation and characterization of bacteria from the gut of *Bombyx mori* that degrade cellulose, xylan, pectin and starch and their impact on digestion. *Journal of Insect Science*, Vol. 10(107), 1–20.
- Anggraeni, Dewi Nur dan Usman. (2015). Uji Aktivitas Dan Identifikasi Jamur Rhizosfer Pada Tanah Perakaran Tanaman Pisang (*Musa paradisiaca*) Terhadap Jamur *Fusarium*. *Jurnal Biologi Lingkungan, Industri, Kesehatan*. Vol. 1(2): 89-98
- Anggriyani, R., Pd, M., Alicia Farma, S., Pd, S., Biomed, M., Oktaviani, M., Yuliana, L., & Arya Fathir, M. (2022). Pemanfaatan Sampah Organik Domestik Berbahan Tumbuhan dan Hewan Untuk Pembuatan Kompos Secara Aerob. *Prosiding Seminar Nasional Bio*, 3(6), 527–537.
- Anna Heirina, Rozirwan, M. H. (2020). Isolasi dan aktivitas antibakteri jamur endofit pada mangrove *Sonneratia alba* dari Tanjung Carat Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 22(1), 16–24.
- Arisona, R. D. (2018). Pengelolaan Sampah 3r (Reduce, Reuse, Recycle) Pada Pembelajaran Ips Untuk Menumbuhkan Karakter Peduli Lingkungan. *Al Ulya: Jurnal Pendidikan Islam*, 3(1), 39–51.
- Ariyani, S. B., Asmawati, & Utomo, P. P. (2014). Optimasi Waktu Inkubasi Produksi Enzim Selulase Oleh *Aspergillus niger* Menggunakan Fermentasi Substrat Padat. *Biopropal Industri*, 5(2), 61–67.
- Azteria, V., Kusumaningtiar, D. A., Irfandi, A., Veronika, E., & Nitami, M. (2021). Aktualisasi Diet Limbah (Sampah) Padat. *Jurnal Abdidis*, 2(4), 783–789.
- Az-Zuhaili, Wahbah. (2013) Tafsir Al-Munir Jilid 1. Jakarta: GEMA INSANI
- Az-Zuhaili, Wahbah. (2013) Tafsir Al-Munir Jilid 2. Jakarta: GEMA INSANI
- Az-Zuhaili, Wahbah. (2013) Tafsir Al-Munir Jilid 11. Jakarta: GEMA INSANI
- Bachtiar, B., & Ahmad, A. H. (2019). Analisis Kandungan Hara Kompos Johar *Cassia siamea* Dengan Penambahan Aktivator Promi. *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*, 4(1), 68–76.
- Baldrian, P., & Valášková, V. (2008). Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS Microbiology Reviews*, 32(3), 501–521.
- Barnett, H.L., and Hunter, B.B. (1998). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Third Edition. Burges Publishing Company. Minneapolis.

- Boyer, P. D., Chance, B., Ernster, L., Mitchell, P., Racker, E., & Slater, E. C. (1977). Oxidative Phosphorylation and Photophosphorylation. In *Annual Review of Biochemistry* Vol. 46 (1).
- Bremer, J. R. A. (2022). *Journal of Ecosystem & Ecography Aerobic and Anaerobic Biodegradation*. 12(4), 1000325.
- Dahruji, D., Wilianarti, P. F., & Totok Hendarto, T. (2016). Studi Pengolahan Limbah Usaha Mandiri Rumah Tangga dan Dampak Bagi Kesehatan di Wilayah Kenjeran, Surabaya. *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 36.
- Dali S, Arfah R, Karim A and Patong AR, (2013). Eksplorasi Enzim Amilase dari Mikroba yang Diisolasi dari Sumber Air Panas di Sulawesi Selatan dan Aplikasinya dalam Produksi Maltodekstrin. Laporan Akhir. Makassar: Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin
- Deby, A., Rahman, H., & Widyaningrum, A. (2014). Pemanfaatan Sampah Sayuran Sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Jurnal Konversi*, 3(1), 13–18.
- Dhanti, K. R., & Sudarsono, T. A. (2018). Karakterisasi Morfologi Jamur dan Deteksi Aflatoksin pada Buah, Biji dan Sayuran dari Pasar Swalayan di Purwokerto. *Jurnal Ilmiah Kesehatan (JIK)*, 17(2), 87–94.
- Ding, H., Han, Z., Li, J., Li, X., Dong, Z., Zhao, J., Wang, S., & Shao, T. (2022). Effect of Fibrolytic Enzymes, Cellulolytic Fungi and Lactic Acid Bacteria on Fermentation Characteristics, Structural Carbohydrate Composition and In Vitro Digestibility of Rice Straw Silage. *Fermentation*, 8(12).
- Domsch K. H., Gams W. dan Anderson T. H. (1980). *Compendium of Soil Fungi*. Volume 1. Academic Press. London.
- Doraja, P. H., Shovitri, M., & Kuswyasari, N. D. (2012). Biodegradasi limbah domestik dengan menggunakan inokulum alami dari tangki septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), 44- 47.
- Dwicania, Elsa. (2019). Biodegradasi Limbah Plastik Oleh Mikroorganisme. Skripsi. Universitas Trisakti
- Elawati, N. E., Pujiyanto, S., & Kusdiyantini, E. (2018). Karakteristik Dan Sifat Kinetika Enzim Kitinase Asal Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana*. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBi)*, 5(1), 1.
- Enari, T.M. 2016. Microbial Celullose. In: Forgaty, W.M. (1985). *Microbial Enzymes and Biotechnology*. Appl.Sci.Publ. New York.
- Ergun R, Guo J, Huebner-Keese B. (2016). Cellulose. In: Caballero B, Finglas PM, Toldra F, editors. *Encyclopedia of food and health*. Elsevier. p. 694–702.
- Eva Disniwati, Munawar Khalil, F. F. (2021). Status Karbon Organik dan Nitrogen Total Tanah serta Pertumbuhan Jagung (*Zea mays* L.) Akibat Aplikasi Fungi Selulolitik Indigenous dan Jerami Padi pada Inceptisol Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(4), 664–670.

- Fadhila Rohmah, H., & Setyaningsih, R. (2019). Optimasi produksi selulase dari fungi selulolitik *Thielaviopsis ethacetica* SLL10 yang diisolasi dari serasah daun salak (*Salacca edulis*) Optimization of cellulase production from cellulolytic fungi *Thielaviopsis ethacetica* SLL10 isolated from salak leaf l. *Universitas Sebelas Maret. Jl. Ir Sutami 36A Surakarta*, 5(2), 126.
- Faruqi, R., Susetyo, I. B., & Hendrawati, T. Y. (2017). Pengaruh Waktu Liquefaction Terhadap Kandungan Gliserol Pada Poliol Dari Tisu Dengan Pelarut Gliserol. *Prosiding Semnastek, November*, 1–2.
- Fidiastuti, H. R. (2014). Potensi bakteri indigen dalam biodegradasi air sungai. *Saintifika*, 16(1), 29–39.
- Fikrinda, F., Susanna, S., Khalil, M., Sriwati, R., Syafruddin, S., & Sufardi, S. (2020). Characterization and pathogenicity test of indigenous cellulolytic fungi as biofertilizer candidate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 486(1).
- Fitriani, F., Rauf, J., Novieta, I. D., & R, M. S. (2018). Kandungan Sellulosa, Hemisellulosa Dan Lignin Pakan Komplit Berbasis Tongkol Jagung Yang Disubstitusi *Azolla Pinnata* Pada Level Yang Berbeda. *Jurnal Galung Tropika*, 7(3), 220–228.
- Galung, F. S. (2021). Analisis Kandungan Karbohidrat (Glukosa) Pada Salak Golla – Golla. *Journal of Agritech Science*, 5(1), 10–14.
- Gaol, Martha L., dan Warmadewanthi. (2017). Prediksi Dampak Lingkungan Pengelolaan Sampah di TPA Jabon, Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 6(2): 462-467
- Gaspersz, N., Fransina, E. G., & Ngarbingan, A. R. (2022). Uji Aktivitas Penghambatan Enzim α -Amilase dan Glukoamilase dari Ekstrak Etanol Daun Kirinyuh (*Chromolaena odorata* L.). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 19(2), 51–57.
- Haedar, N., Fahrudin, A. A., Syam, N. A., & Talessang, N. H. (2019). Dekolorisasi dan Degradasi Limbah Zat Warna Naftol Oleh Jamur Dari Limbah Industri Batik. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 10(2), 1–8.
- Hakim, Luqmanul, Rikhsan K., dan Rahmawati. (2020). Karakteristik Fisiologis Jamur Halofilik Berdasarkan Faktor Lingkungan Dari Sumur Air Asin Di Desa Suak, Sintang, Kalimantan Barat. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. Vol. 5(2): 227-232
- Haqq, I. M., Dewi, R. S., Mumpuni, A., Hikam, A. R., & Yulianti, D. M. (2022). Identifikasi dan Uji Potensi Amilolitik Isolat Jamur Pendegradasi Sampah Organik. *BioEksakta : Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 4(1), 19–27.
- Harianja, J. W., Idyawati, N., & Rudiyanasyah. (2015). Optimasi Jenis dan Konsentrasi Asam Pada hidrolisis Selulosa dalam Tongkol Jagung. *Jurnal Kovalen*, 4(4), 66–71.

- Hasanah, Nur, dan Iwan Saskiawan. (2015). Aktivitas Selulase Isolat Jamur dari Limbah Media Tanam Jamur Merang. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon. Vol. 1(5) : 1110-1115
- Hasibuan, R. (2016). Analisis dampak limbah/sampah rumah tangga terhadap lingkungan hidup. *Jurnal Ilmiah "Advokasi,"* 04(01), 42–52.
- Helal, G. A., Khalil, R. R., Galal, Y. G., Soliman, S. M., & Abd Elkader, R. S. (2022). Studies on cellulases of some cellulose-degrading soil fungi. *Archives of Microbiology*, 204(1), 1–16.
- Herawati, E., Badarina, I., & Akbarillah, T. (2023). Total Digestible Nutrient (TDN) dan Performa Kambing Kacang yang Diberi Pakan Asal Limbah Sayuran Pasar (Total Disgestible Nutrient and performance of kacang goat given diet contain vegetables waste of traditional market) pet. *Buletin Peternakan Tropis*, 4(1), 1–7.
- Hidayah Murtiyaningsih, M. H. (2017). Isolasi Dan Uji Aktivitas Enzim Selulase Pada Bakteri Selulolitik Asal Tanah Sampah Isolation. *Agritop*, 15(2), 293–308.
- Huda, H. F. N., Fakhirah Ramadhani, P., Kusumawati, E., & Ghozali, M. (2022). Utilization Of Blotong, Molasses, Bran, And Coconut Husk Into Compost Using Mol Of Stale Rice And Trichoderma sp. *Jurnal Kimia Riset*, 7(1), 38–46.
- Ichdatunnisa, R., & Sitogasa, P. S. A. (2023). Pengelolaan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Griyo Mulyodesa Kalisogo, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo. *Environmental Engineering Journal ITATS*, 3(2), 144–152.
- Ikenganyia et al., (2017). Plant tissue. Tissue Culture Regeneration and Aseptic Techiques. Asian Journal of.
- Indriani, C., FR, F., & L, K. (2020). Identification Of Aspergillus Sp Growth On White Bread Against Storage Temperature. *Jurnal Kesehatan Rajawali*, 10(2), 92–103. <http://ojs.rajawali.ac.id/index.php/JKR/article/view/75>
- Irawan, D., & Arifin, Z. (2010). Pemanfaatan Sampah Organik Kota Samarinda Menjadi Bioetanol : Klasifikasi Dan Potensi Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses 2010 Issn : 1411-4216. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*, 1–6.
- Irwanto, R., (2015). Diversitas Bakteri yang Berasosiasi dengan Kompetisi Seresah Mangrove di Pantai Utara Surabaya, Skripsi Biologi FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Jamilatun, M., Azzahra, N., & Aminah, A. (2020). Perbandingan Pertumbuhan Aspergillus fumigatus pada Media Instan Modifikasi Carrot Sucrose Agar dan Potato Dextrose Agar. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 4(1), 168–174.
- Jumiyati, Siti Harnina Bintari, I. M. (2012). Isolasi Dan Identifikasi Khamir Secara Morfologi Di Tanah Kebun Wisata Pendidikan Universitas Negeri Semarang. *Biosantifika*, 4(1), 27–35.

- Kartika, I. N., & Ibrahim, M. (2021). Efek Manipulasi pH pada Aktivitas Enzim Selulase Bakteri *Bacillus subtilis* Strain FNCC 0059 dalam Mendegradasi Selulosa. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 10(1), 51–57.
- Klemm, D., Schumann, D., Kramer, F., Heßler, N., Hornung, M., Schmauder, H. P., & Marsch, S. (2006). Nanocelluloses as innovative polymers in research and application. *Advances in Polymer Science*, 205(1), 49–96.
- Kusumaningrum, A., Wayan Gunam, I. B., & Mahaputra Wijaya, I. M. (2019). Optimasi Suhu Dan Ph Terhadap Aktivitas Enzim Endoglukanase Menggunakan Response Surface Methodology (RSM). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 243.
- Lazuardi Budi, K., Kusdiyantini, E., & Soedarto, J. (2018). Aktivitas Enzym Selulase Yang Dihasilkan Oleh Bakteri *Serratia marcescens* Pada Substrat Jerami. *Jurnal Biologi*, 7(1), 35–42.
- Lee, K.W. Shim, J.M., Park, S.K. Heo, H.J. Kim, H.J., Ham, K.S. and Kim, J.H. (2016). Isolation of lactic acid bacteria with probiotic potentials from kimchi, traditional Korean fermented vegetable. *LWT-Food Science and Technology*. 71:130-137.
- Lubis, S. S., Faradilla, M., & Harahap, D. (2022). Karakterisasi Fungi Selulolitik Dari Serasah Daun Mangrove Asal Hutan Mangrove Lamnga Kabupaten Aceh Besar. *KENANGA : Journal of Biological Sciences and Applied Biology*, 2(2), 1–10.
- Lumban Gaol, M., & Warmadewanthi, I. D. A. A. (2017). Prediksi Dampak Lingkungan Pengelolaan Sampah di TPA Jabon, Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 2–7.
- Maharani, M. (2018). Degradasi Las dan Bod dengan Proses Lumpur Aktif Aeruginosa dan *Pseudomonas Putida*. *Jurnal Envirotek*, 9(2).
- Mahendra, M. I., Mintarto M., dan Fery Abdul C. (2022). Eksplorasi Jamur Tanah Yang Berpotensi Sebagai Bioremediator Fungisida Berbahan Aktif Propineb Pada Tanaman Jeruk (*Citrus reticulata* L.). *Jurnal HPT*. Vol. 10(4): 174-186
- Marannu Talantan, V., Lambui, O., & Nengah Suwastika Laboratorium Bioteknologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, I. (2018). Uji Aktivitas Selulase Dari Jamur Selulolitik Asal Tanah Danau Kalimpa'a Sulawesi Tengah Cellulase Activity Of Cellulolytic Fungi On Soil From Lake Kalimpa'a Central Sulawesi. *Natural Science: Journal of Science and Technology ISSN*, 7(3), 323–333.
- Marwan, Abu Yahya. (2014). Tafsir Al-Qur'an Hidayatul Insan.
- Muchlisinalahuddin, D. S. K. (2020). Tempat Pembakaran Sampah Organik Ramah Lingkungan. *Rang Teknik Journal*, 3(1), 131–138.
- Mukhlis. (2016). Biodegradasi Bahan Organik Oleh Mikroba Dan Pengaruhnya Terhadap Tanaman Padi Di Lahan Gambut. *Agric*, 26(1), 37.

- Mulyadi, I. (2019). Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa : Review. *Jurnal Saintika Unpam : Jurnal Sains Dan Matematika Unpam*, 1(2), 177.
- Nofa Wiratno, E., & Soleman Rupilu, N. (2018). Isolation, Identification and Ethanol Production of Indigenous Yeast of Toddy Palm (*Borassus Flabellifer* L.) Juice From Tuban, East Java, Indonesia. *Biotropika - Journal of Tropical Biology*, 6(1), 6–9.
- Norfajrina, Istiqamah, S. I. (2021). Jenis-Jenis Jamur (Fungi) Makroskopis Di Desa Bandar Raya Kecamatan Tamban Catur. *Al Kawnu : Science And Local Wisdom Journal*, 01(01), 17–33.
- Nugraha, Aldila W., (2012). Isolasi dan Biodegradasi Limbah Daduk oleh Kapang Selulolitik dari Perkebunan Tebu, Skripsi Biologi FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Nur Hidayah, M., & Rodiyah, I. (2022). Commitment of the Department of Environment and Hygiene in Waste Management. *Indonesian Journal of Public Policy Review*, 18, 1–9.
- Nurayni, S., & Handayani, D. (2021). *Optimization Of Andalas Endophytic Fungi Fermentation Conditions (Morus Macroura Miq.) Isolate CED 3 To Produce Antibacterial Compounds Optimasi Kondisi Fermentasi Cendawan Endofit Andalas (Morus Macroura Miq.) Isolat CED 3 Untuk Menghasilkan Senyawa Antibakteri*. 6(2), 42–46.
- Nuridin, A., Lidiawati, M., & Khairi, N. F. (2020). Pengaruh Sampah Organik, Anorganik dan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) terhadap Kesehatan pada Pekerja di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gampong Jawa Kota Banda Aceh. *Jurnal Aceh Medika*, 4(2), 113–121.
- Nurfitriani, S., & Handayanto, E. (2017). Dekomposisi Kulit Kopi Oleh Bakteri Selulolitik Yang Diisolasi Dari Timbunan Kulit Kopi Di Perkebunan Kalibendo, Jawa Timur. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 4(2), 2549–9793.
- Paramita P, Maya Shovitri, & N D Kuswytasari. (2012). Biodegradasi Limbah Organik Pasar dengan Menggunakan Mikroorganisme Alami Tangki Septik. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 1, 23–26.
- Praja RN, Aditya Y. (2017). Isolasi dan identifikasi *Aspergillus* spp. pada paru-paru ayam kampung yang dijual di pasar Banyuwangi. *Jurnal Medik Veteriner*. Vol. 1(1): 6-11
- Prasetya, D. A., & Setyawan, A. (2022). Analisis Potensi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) di Kecamatan Marangkayu, Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(2), 181–190.
- Perinov, M. (2018). Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di TPA Muara Fajar Pekanbaru. *JMP Universitas PGRI Semarang*, 1(2), 215–220.

- Pujiati, Ardhi, M. W., & Prasetyo, E. N. (2018). Bioteknologi Berbasis Proyek (produksi purifikasi enzim selulase dari kapang *trichoderma virde* dan potensinya dalam bioscouring). *Suparyanto Dan Rosad (2015, 5(3)*, 248–253.
- Purkan, Purnama, D. H., & Sumarsih, S. (2015). Production of Cellulase Enzyme from *aspergillus niger* using Rice Husk and Bagasse as Inducer. *Jurnal Ilmu Dasar*, 16(2), 95–102.
- Puspitasari, D., & Ibrahim, M. (2021). Optimasi Aktivitas Selulase Ekstraseluler Isolat Bakter EG 2 Isolasi dari Bungkil Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* jacq.). *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 9(1), 42–50.
- Putra, G. W., Ramona, Y., & Proborini, M. W. (2020). Eksplorasi Dan Identifikasi Mikroba Pada Rhizosfer Tanaman Stroberi (*Fragaria x ananassa* Dutch.) Di Kawasan Pancasari Bedugul. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 7(2), 62.
- Putra, W. A., Diharmi, A. R., & Karnila, R. (2021). Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Kolagenase dari Organ Dalam Ikan Malong (*Congresox talabon*) pada pH Berbeda. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 13(1), 27–30.
- Putri, D., Nasir, N., & Agustien, A. (2019). White Root Fungus Capability (*Rigidoporus microporus* (Swartz: Fr.) Van Ov.) in Degrading Cellulose Waste. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 6(1), 102.
- Radityaningrum, A. D., Pramestyawati, T. N., Ni'Am, A. C., Wahyudi, E., Aulady, M. F. N., & Hamidah, N. L. (2022). Environmental Assessment Using Integrated Risk Based Approach (IRBA) at Jabon Landfill, Sidoarjo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1111(1).
- Rahayu Kusdarwati, Sudarno, dan A. H. (2016). Isolasi dan Identifikasi Fungi pada Ikan Maskoki (*Carassius auratus*) di Bursa Ikan Hias Gunung Sari Surabaya, Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 8(1), 1–15.
- Rahayuni, R., Suhartono, S., & Sudiana, I. M. (2013). Penapisan Khamir Selulolitik Dan Xilanolitik Dalam Mendukung Pembentukan Bioetanol. *JRSKT: Jurnal Riset Sains Dan Kimia Terapan*, 3(1), 263–270.
- Rahman, D. F., Apamarta, H. W., & Widjaja, A. (2020). Effect of Dilute Acid Pretreatment of Vegetable Waste on Sugar Production and Inhibitor Formation. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 31(1), 75.
- Rahmawati, R., & Nurjanah, S. (2020). Pengaruh Konsentrasi Enzim Papain Terhadap Mutu Gelatin Bubuk Dari Tulang Dan Cakar Ayam. *Konversi*, 9(1), 39–51.
- Remijawa, E. S., Rupidara, A. D. N., Ngginak, J., & Radjasa, O. K. (2020). Isolasi Dan Seleksi Bakteri Penghasil Enzim Ekstraseluler Pada Tanah Mangrove Di Pantai Noelbaki. *Jurnal Enggano*, 5(2), 164–180.
- Reni Rosidah, Amelia Septiani Azizah, Halifa Putri Megawati, R. (2023). Analisis Morfologi Fungi pada Tempe Kemasan Daun dan Tempe Kemasan Plastik. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Biologi Dan Sains*, 2(1), 48–57.

- Resti, K. E., Adelina, A., & Suharman, I. (2021). Pemanfaatan Tepung Limbah Sayur Sawi dan Kubis yang Difermentasi dengan Kombucha dalam Pakan Benih Ikan Gurami (*Osphronemus goramy*). *Jurnal Akuakultur Sebatin*, 2(1), 73–86.
- Ristiari, N. P. N., Julyasih, K. S. M., & Suryanti, I. A. P. (2018). Isolasi dan identifikasi jamur mikroskopis pada rizosfer tanaman jeruk siam (*Citrus nobilis* Lour.) di Kecamatan Kintamani, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 6(1), 10–19.
- Saragih Evi Warintan, Purwaningsih, P., Noviyanti, & Angelina Tethool. (2021). Pupuk Organik Cair Berbahan Dasar Limbah Ternak untuk Tanaman Sayuran. *Dinamisia : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(6), 1465–1471.
- Satriadi, I. (2009). Tujuan Penciptaan Manusia Dan Nilai Edukasinya (Kajian Tafsir Tematis). *Ta'dib*, 11(2).
- Setiono. (2023). Pendidikan Akhlak dalam Q.S. Al-Qashash Ayat 76-81 Tafsir Al-Mishbah Karya M. Quraish Shihab. *ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(2), 597–608.
- Setyo Adiguna, G., & Aryantha, I. N. P. (2020). Aplikasi Fungi Rizosfer Sebagai Pupuk Hayati Pada Bibit Kelapa Sawit Dengan Memanfaatkan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Media Pertumbuhan. *Manfish Journal*, 1(01), 32–42.
- Shihab, Quraish. (2002). Tafsir Al-Misbah. Jakarta: Lentera Hati
- Simangunsong, Muhammad Iqbal, Wiwik Ekyastuti, dan A. Oramahi. (2019). Potensi Serangan Kelompok Crustacea Di Semai Mangrove Desa Mendalok Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*. Vol. 7(2): 799-807
- Siswanto, A., Darmayasa, I. B. G., & Muksin, I. K. (2020). Biodegradasi Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Oleh Kapang *Aspergillus niger* Dengan Variasi Jumlah Inokulum Dan Waktu Inkubasi. *Simbiosis*, 8(1), 41.
- Siva, D., Srivethi, G., Vasan, P. T., Rajesh, D., Alfarhan, A., & Rajagopal, R. (2022). Enhanced cellulase enzyme production by *Aspergillus niger* using cellulase/iron oxide magnetic nano-composites. *Journal of King Saud University - Science*, 34(1), 101695.
- Solahuddin, Hanifa, N. I., Deccati, R. F., & Muliasari, H. (2021). Isolasi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dari Rumen Sapi (*Bibos javanicus*). *Journal of Science, Technology, and Entrepreneurship*, 3(1), 3–9.
- Suanda, I Wayan. (2016). Karakterisasi Morfologis *Trichoderma* Sp. Isolat Jb Dan Daya Antagonisme Terhadap Patogen Penyebab Penyakit Rebah Kecambah (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) Pada Tanaman Tomat. Prosiding Seminar Nasional MIPA.
- Sumartini, A. R., Indriyani, N. M. V., & Darma Putra, I. W. G. Y. (2021). PKM Pemasaran Komposter Pengolahan Sampah Organik Menjadi Pupuk Pada Kelompok Usaha Tebe Komposter Di Badung. *International Journal of*

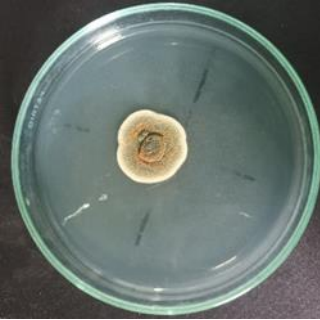
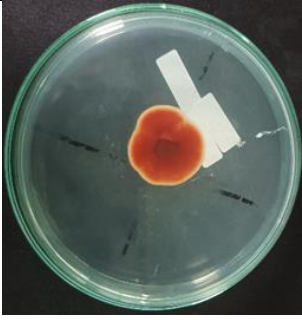
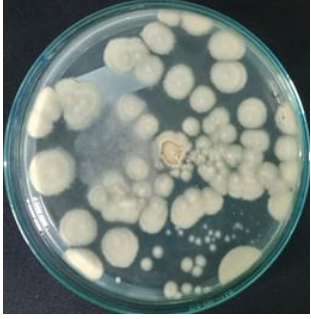
Community Service Learning, 5(2), 129–135.

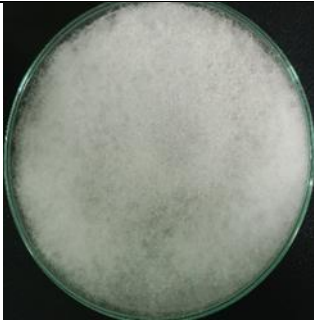
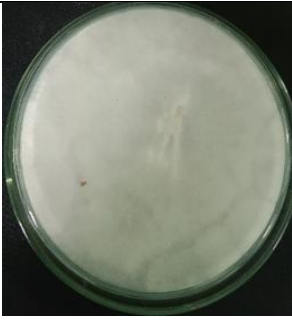
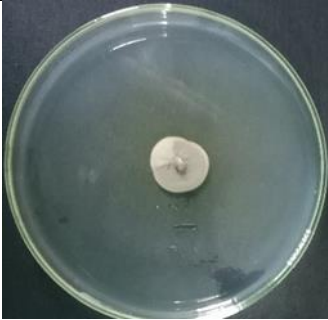
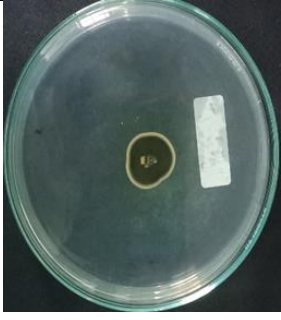
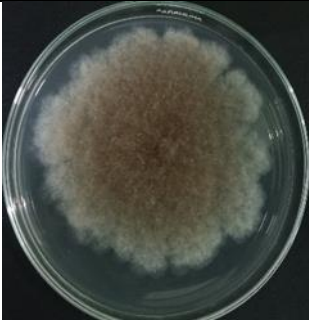
- Sutari, N. W. S. (2020). Isolasi dan Identifikasi Morfologi Jamur Selulolitik dari Limbah Rumah Tangga di Desa Sanur Kauh, Bali. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(2), 100–105.
- Syaifurrisal, A. (2014). Pengaruh Penyimpanan Pakan Udang Komersial Dengan Penambahan Volume Air Berbeda Terhadap Pertumbuhan Jamur Dan Kandungan Protein Kasar. Fakultas Perikanan Dan Kelautan Universitas Airlangga Surabaya
- Szymanska-Chargot, M., Chylinska, M., Gdula, K., Koziol, A., & Zdunek, A. (2017). Isolation and characterization of cellulose from different fruit and vegetable pomaces. *Polymers*, 9(10).
- Talantan, Vrillia M., Mariana, Orryani L., dan I Nengah S. (2018). Uji Aktivitas Selulase Dari Jamur Selulolitik Asal Tanah Danau Kalimpa'a Sulawesi Tengah. *Natural Science: Journal of Science and Technology*. Vol 7 (3) : 323 – 333
- Turista, D. D. R. (2017). Biodegradation of organic liquid waste by using consortium bacteria as material preparation of environmental pollution course textbook. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 3(2), 95–102.
- Umroningsih. (2022). Limbah Cair Menyebabkan Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Ilmu Sosial*, 1(8.5.2017), 2003–2005.
- Usman Khuzzaman.A, Henita Rahmaya, A. N. A. (2013). Pengelolaan Sampah Dengan Modifikasi Sanitary Landfill (Jalan Rawa bebek Rt. 05/01 Kelurahan Pulogebang, Kecamatan Cakung, Jakarta Timur). *Jurnal Menara Jurusan Teknik Sipil FT.UNJ*, VIII(1), 40–50.
- Utami, A. P., Setyaningsih, R., Pangastuti, A., & Sari, S. L. A. (2019). Optimasi produksi enzim selulase dari jamur *Penicillium* sp. SLL06 yang diisolasi dari serasah daun salak (*Salacca edulis*). *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 5(2), 145–149.
- Wardani, N. E., Subaidah, W. A., & Muliasari, H. (2021). Ekstraksi dan Penetapan Kadar Glukomanan dari Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Menggunakan Metode DNS. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 3(3), 383–391.
- Watanabe T. (2002). Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. Ed ke-2. USA: CRC Press.
- Widjaja, G., & Lovianda Gunawan, S. (2022). Dampak Sampah Limbah Rumah Tangga Terhadap Kesehatan Lingkungan. *Zahra: Journal of Health and Medical Research*, 2(Oktober), 266–275.
- Williams, P. T. (2005). Waste Treatment and Disposal. Second Edition. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Wulandari, Asri Peni, Ema W., dan Ida I. (2014). Biodegradasi Jerami Padi Oleh *Penicillium* spp. Dengan Variasi Ukuran Partikel Jerami. *Jurnal Selulosa*. Vol. 4(2): 107-113

- Yuli Rismawati, Syaiful Bahri, P. (2016). Produksi Glukosa Dari Jerami Padi (*Oryza Sativa*) Menggunakan Jamur *Trichoderma sp.* *Kovalen*, 2(2), 67–76.
- Yulistia, E., & Chimayati, R. L. (2021). Pemanfaatan Limbah Organik menjadi Ekoenzim. *Unbara Environment Engineerring Journal*, 02(01), 1–6.
- Yustinah, Y., Hasyim, U. H., Syamsudin, A. B., & ... (2018). Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Pada Proses Hidrolisis Dedak Padi Menjadi Glukosa Untuk Pembuatan Plastik Biodegradabel. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Jakarta

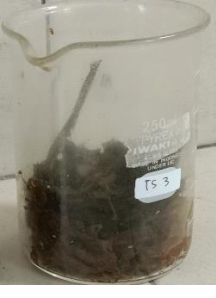
LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil isolasi fungi dari tanah TPA jabon Hari ke-7 Inkubasi

Kode isolat	Tampak depan	Tampak belakang
TS 1'1		
TS 1'2		
TS 2'1		
TS 2'2		

TS 2'3		
TS 3'1		
TS 3'2		
TS 3'3		
TS 3'4		

Lampiran 2 Uji Biodegradasi secara *In Vitro*

Fungi	Hari ke-			
	0	5	10	15
TS 1'1				
TS 2'2				
TS 3'4				

Lampiran 3 Perhitungan Aktivitas Ezim secara Kuantitatif

Rumus:

$$AE = \frac{C}{BM \text{ Glukosa} \times T} \times \frac{H}{E}$$

Keterangan:

AE = Aktivitas enzim (U/mL)

C = Konsentrasi glukosa dalam sampel (mg/mL)

BM = Berat Molekul glukosa (180 g/mol)

T = Waktu inkubasi (menit)

H = Volume total enzim – substrat (mL)

E = Volume enzim (mL)

TS 1'1

Perhitungan:

$$AE = \frac{75,180}{(1,5 \times 168 \times 180)} \times 1000 = 1,66 \text{ U/ml}$$

TS 2'2

Perhitungan:

$$AE = \frac{75,180}{(1,5 \times 168 \times 180)} \times 1000 = 1,66 \text{ U/ml}$$

TS 3'4

Perhitungan:

$$AE = \frac{61,285}{(1,5 \times 168 \times 180)} \times 1000 = 1,35 \text{ U/ml}$$

Lampiran4. Denah Sanitary Landfill TPA Jabon



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
 Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi

Nama : Sekar Ayu Putri Adiningrum
NIM : 200602110071
Judul : Potensi Fungi Selulolitik Dari Tanah Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)
 Jabon Kabupaten Sidoarjo Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Organik

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si	24	
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc		

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P

NIP. 19741018 200312 2 002



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341) 551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200602110071
Nama : SEKAR AYU PUTRI ADININGRUM
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : BIOLOGI
Dosen Pembimbing 1 : PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc
Dosen Pembimbing 2 : DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Potensi Fungi Selulolitik Dari Tanah Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jabon Kabupaten Sidoarjo Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Organik

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	19 Mei 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Bimbingan mengenal Judul penelitian dan jurnal referensi acuan yang akan digunakan selama penelitian	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
2	03 Juli 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Bimbingan terkait Judul dan jurnal acuan dasar penelitian	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	16 Oktober 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Bimbingan terkait Judul dan Metode Penelitian	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	07 November 2023	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	Bimbingan Agama BAB I	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	08 November 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Bimbingan Bab I dan Bab II	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
6	14 November 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Revisi BAB I, BAB II, dan BAB III	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	15 November 2023	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	Bimbingan Integrasi Bab I dan Bab 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	14 Mei 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Bimbingan BAB IV	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9	31 Mei 2024	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	Bimbingan Agama Bab I, Bab II, dan Bab IV	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	31 Mei 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Bimbingan BAB IV	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
11	02 Juni 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	revisi Bab I, Bab II Bab III, Bab IV, dan Bab V	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
12	03 Juni 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc	Revisi BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV, BAB V dan ACC Skripsi	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
13	04 Juni 2024	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	Bimbingan integrasi agama	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si

Malang, _____

Dosen Pembimbing 1

PRILYA DEWI FITRIASARI, M.Sc

