

BAB I PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang esensial bagi kehidupan. Pencemaran air limbah domestik menjadi salah satu masalah lingkungan yang serius di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2021, sebanyak 80% air limbah domestik di Indonesia belum diolah dengan baik. Hal ini menyebabkan pencemaran sumber air, seperti sungai, danau, dan air tanah, yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan (Budhiawan A et al., 2022); (Mildawati R et al., 2022); (Erika dan Eva Gusmira., 2024).

Pengolahan air limbah merupakan aspek penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Air limbah industri dan domestik mengandung berbagai senyawa berbahaya seperti logam berat, senyawa organik toksik, dan zat-zat kimia yang dapat mencemari sumber daya air dan tanah (Suryani M.Y et al., 2022); (Latosinska J, et al., 2021). Oleh karena itu, pengembangan teknologi pengolahan limbah yang efektif dan ramah lingkungan menjadi suatu kebutuhan mendesak (Younas F, et al., 2021).

Dalam pengolahan air limbah, banyak digunakan metode kimia dan fisika yang melibatkan bahan-bahan kimia sintetis. Namun, penggunaan bahan kimia sintetis ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif bahan pengolah yang alami dan ramah lingkungan, yaitu dengan memanfaatkan limbah padat pertanian. Meningkatnya volume limbah padat pertanian seperti kulit pisang seringkali dianggap sebagai limbah organik tanpa nilai tambah. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa kulit pisang dapat dikonversi menjadi bahan pengolah air limbah yang efektif; (Huzaisham N. A et al, 2020); (Rabiatul M. M, et al., 2020); (Makhwedzha D. R, et al., 2022). Transformasi ini tidak hanya mengurangi volume limbah padat tetapi juga meningkatkan kualitas air, sehingga akan berkontribusi pada perbaikan kualitas lingkungan secara keseluruhan.



Kulit pisang (*Musa paradisiaca*) merupakan salah satu limbah pertanian yang banyak dihasilkan dalam industri makanan. Di Indonesia, produksi pisang mencapai 8 juta ton per tahun, dan kulit pisang menyumbang sekitar 30% dari total berat buah (BPS, 2020). Terdapat potensi besar untuk memanfaatkan kulit pisang sebagai bahan pengolah air limbah. Kulit pisang mengandung senyawa polifenol,

yang telah diketahui memiliki sifat anti-mikroba, antioksidan, dan pengikat logam berat (Akanbong E. A, at al., 2021); (Xin H, et al., 2020).

Polifenol merupakan kelompok senyawa alami yang banyak ditemukan dalam tanaman, seperti flavonoid, tanin, dan asam fenolat. Penggunaan polifenol dalam teknologi pengolahan limbah menawarkan beberapa keuntungan. Pertama, polifenol dapat berperan sebagai agen pengoksidasi yang efektif dalam menguraikan senyawa organik yang sulit terurai, seperti polutan organik persisten (POP). Studi yang dilakukan oleh Verma et al., (2018) menunjukkan bahwa polifenol dapat mengoksidasi senyawa poliklorinasi bifenil (PCB), yang merupakan salah satu jenis POP yang sulit terdegradasi secara alami. Selain itu, polifenol juga memiliki kemampuan adsorpsi yang baik terhadap berbagai senyawa berbahaya dalam limbah. Penelitian yang dilakukan oleh Wang et al., (2020) menunjukkan bahwa tanin, salah satu jenis polifenol, dapat secara efektif mengadsorpsi logam berat seperti merkuri, timbal, dan kadmium dari larutan limbah.

Selain kemampuan pengoksidasi dan adsorpsi, polifenol juga memiliki aktivitas anti-mikroba yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dalam limbah. Penelitian yang dilakukan oleh Silva et al., (2019) menunjukkan bahwa senyawa-senyawa polifenol dari ekstrak tanaman memiliki aktivitas antimikroba terhadap berbagai jenis bakteri dan jamur yang umum ditemukan dalam limbah. Beberapa penelitian juga telah menunjukkan bahwa polifenol dapat efektif dalam menghilangkan polutan air limbah, seperti senyawa organik, nitrogen, dan fosfor (Moreno et al., 2022); (Pan et al., 2021); (Jamrah et al., 2023).

Sehubungan dengan hal tersebut, maka penelitian tentang penerapan polifenol dalam teknologi pengolahan air limbah domestik rumah tangga menjadi sangat penting, seperti melakukan penelitian terkait **“Efektivitas Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang (*Musa paradisiaca*) Sebagai Bahan Dasar Polifenol dalam Pengolahan Air Limbah Domestik Rumah Tangga”**. Dengan memanfaatkan sifat-sifat unik polifenol, diharapkan dapat dikembangkan teknologi pengolahan limbah yang efektif, ramah lingkungan, dan dapat digunakan secara luas. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam upaya pengurangan polusi dan perlindungan lingkungan melalui pemanfaatan polifenol dalam pengolahan air limbah.



alah

uraian dalam bagian latar belakang, maka penulis menjabarkan ng diperoleh yaitu:

1. Bagaimana cara menganalisis karakteristik polifenol berbahan dasar kulit pisang (*Musa paradiaca*) menggunakan metode ekstraksi konvensional (Maserasi) dan non-konvensional (Microwave)?
2. Bagaimana pengaruh polifenol dalam parameter air limbah domestik yaitu pH, TSS, COD, BOD, dan total colifom?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian dalam rumusan masalah, maka penulis menjabarkan tujuan penelitian yang akan diperoleh yaitu:

1. Menganalisis karakteristik polifenol dari limbah kulit pisang (*Musa paradiaca*) menggunakan metode ekstraksi konvensional (Maserasi) dan non-konvensional (Microwave).
2. Menganalisis pengaruh polifenol dalam parameter air limbah domestik yaitu pH, TSS, COD, BOD, dan total colifom.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan oleh penulis dalam penelitian tersebut antara lain:

1. Pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang lebih efektif, dimana penelitian ini akan memberikan wawasan dan pemahaman mendalam tentang potensi penggunaan polifenol dalam pengolahan limbah.
2. Pengurangan pencemaran dan dampak lingkungan negatif.
3. Peningkatan keberlanjutan pengolahan air limbah industri dan domestik.
4. Pemulihan sumber daya berharga dari limbah. Dengan menerapkan polifenol dalam teknologi pengolahan air limbah industri dan domestik, penelitian ini dapat memberikan kontrobusi dalam pemulihan sumber daya berharga seperti logam-logam berat dapat kembali digunakan.
5. Pengetahuan ilmiah dan pemahaman yang lebih baik dimasa mendatang.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan. Berikut adalah



g relevan dalam penelitian ini:

is: Penelitian ini difokuskan pada pengembangan teknologi enol berbahan dasar kulit pisang kepok (*Musa paradiaca*) dalam mbah di wilayah Makassar. Oleh karena itu, hasil dan temuan

penelitian ini mungkin tidak secara langsung dapat diterapkan pada wilayah lain yang memiliki karakteristik kulit pisang yang berbeda.

2. Jenis limbah yang akan diteliti: jenis limbah yang akan diteliti pada penelitian ini meliputi ialah air limbah domestik yaitu rumah tangga, khususnya di wilayah Makassar.
3. Batasan metode ekstaksi dalam mensintesis polifenol: penelitian ini akan mempertimbangkan beberapa metode ekstraksi yang umum digunakan dalam mensintesis polifenol, baik itu bersifat konvensional maupun non-konvensional. Metode ekstraksi yang difokuskan pada penelitian ini ialah ekstraksi maserasi dan microwave.
4. Batasan skala penelitian: Penelitian ini akan berfokus pada skala laboratorium dan eksperimen skala kecil untuk menguji efektivitas polifenol dalam pengolahan air limbah domestik. Implementasi dan pengujian teknologi pada skala industri tidak termasuk dalam lingkup penelitian ini.
5. Batasan waktu: Penelitian ini memiliki batasan waktu dalam hal durasi penelitian dan pengumpulan data. Oleh karena itu, beberapa aspek yang memerlukan waktu yang lebih lama untuk diamati, seperti efek jangka panjang dari peran polifenol dalam pengelolaan air limbah industri dan domestik, mungkin tidak tercakup secara mendalam dalam penelitian ini.

Batasan-batasan di atas penting untuk diperhatikan agar penelitian ini dapat berfokus pada tujuan yang telah ditetapkan dan memberikan hasil yang dapat diandalkan. Meskipun terdapat batasan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan teknologi terkait pemanfaatan polifenol dalam pengelolaan air limbah, baik itu industri maupun domestik.



BAB II KERANGKA KONSEPTUAN DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1 Kerangka Konseptual Penelitian

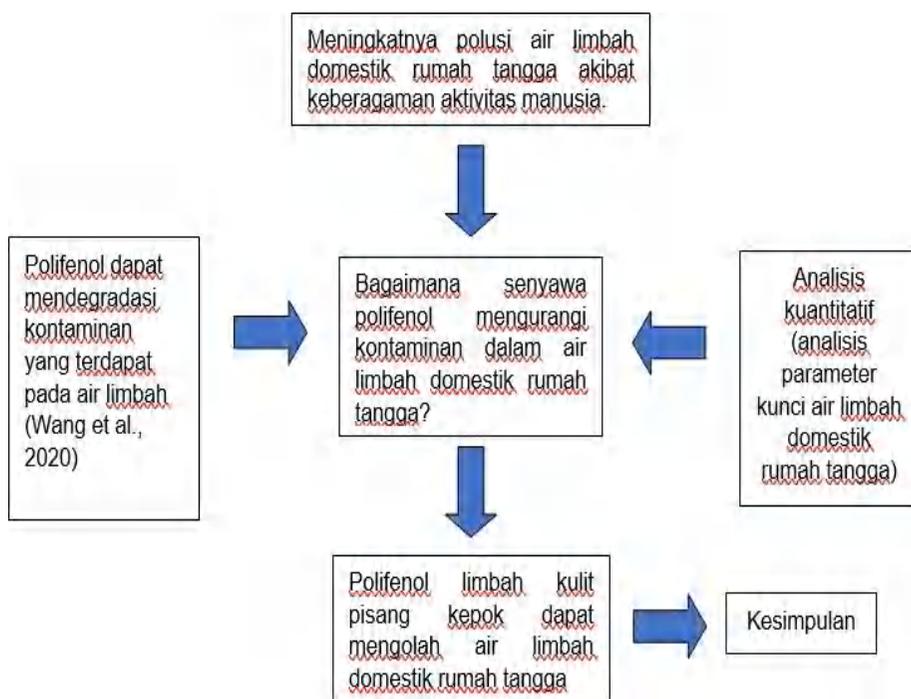
Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yaitu 1.) untuk menganalisis karakteristik dan konsentrasi senyawa polifenol berbahan dasar kulit pisang (*Musa paradiaca*) menggunakan metode ekstraksi maserasi dan microwave; 2.) menganalisis pengaruh polifenol terhadap air limbah domestik rumah tangga pada aspek fisika, kimia, dan biologi melalui parameter pH, TSS, COD, BOD, dan total coliform.

Pengumpulan data dilakukan melalui survei, observasi, pengambilan sampel kulit pisang (*Musa paradiaca*) dan air limbah domestik, serta analisis laboratorium. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan rancangan penelitian skala laboratorium. Adapun kerangka konseptual penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1

a)



b)



Gambar 2.1 Kerangka Konseptual Penelitian

a) kerangka konseptual topik penelitian 1; b) Kerangka konseptual topik penelitian 2.

2.2 Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar untuk proses ekstraksi senyawa polifenol dan pengujian kualitatif sedangkan untuk pengujian karakteristik kualitatif dilaksanakan di laboratorium Penelitian dan Pengembangan Fakultas MIPA UNHAS. Sementara itu, pengaplikasian polifenol dilaksakan di Laboratorium Kimia Dinas Pengelolaan Lingkungan Hidup Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan, rincian jadwal kegiatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1



Tabel 2.1 Jadwal rencana kegiatan penelitian

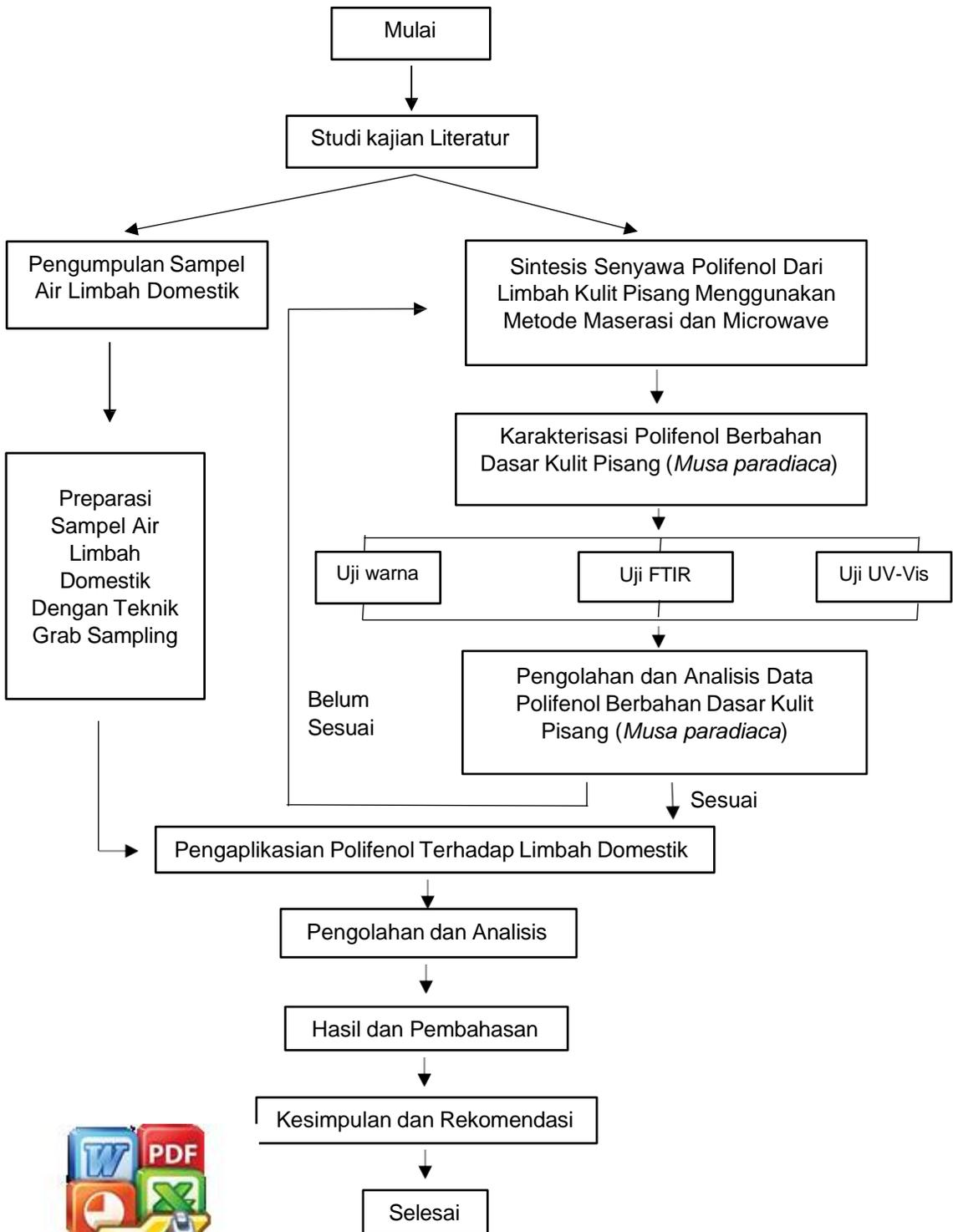
No	Kegiatan	Bulan				
		8	9	10	11	12
1.	Penyusunan proposal Penelitian					
2.	Persetujuan etik penelitian					
3.	Pengumpulan data					
4.	Pengolahan data					
5.	Analisis data					
6.	Penyusunan laporan akhir penelitian					

Keterangan:

- : Penyusunan dan persetujuan etik proposal penelitian
- : Pengumpulan data
- : Pengolahan data
- : Analisis data
- : Penyusun laporan akhir penelitian

Sumber data yang di gunakan pada penelitian tersebut meliputi data primer dan data sekunder. Data primer di analisis berdasarkan hasil analisa uji laboratorium menggunakan serangkaian instrumen laboratorium seperti Fourier Transformed Infrared (FTIR) dan Spektroskopi UV-Vis. Sementara itu, data sekunder ialah data yang bersumber dari hasil laporan riset dan literatur ilmiah terkait sifat dan karakteristik senyawa polifenol. Agar penelitian ini dapat berjalan secara sistematis dan terarah, diperlukan perencanaan yang matang mengenai tahapan-tahapan yang akan menjadi pedoman serta acuan dalam pelaksanaannya. Rangkaian tahapan tersebut disajikan pada Gambar 2.2





bar 2.2 Tahapan Bagan Alir Penelitian



2.3 Variabel Penelitian

Untuk topik penelitian satu, variabel bebas penelitian tersebut ialah metode ekstraksi maserasi dan microwave sedangkan untuk variabel terikatnya ialah karakteristik polifenol yang dihasilkan. Pada penelitian tersebut, dilakukan 2 jenis perlakuan utama yaitu; 1.) variasi jenis pelarut yaitu pelarut DES dan Etanol; 2.) variabel metode ekstraksi yakni metode ekstraksi maserasi dan metode ekstraksi microwave. Keberagaman jenis pelarut dan metode bertujuan untuk mengoptimalkan hasil dan kualitas senyawa yang diekstraksi. Untuk topik penelitian kedua, variabel bebas penelitian tersebut ialah kadar polifenol sedangkan untuk variabel terikatnya ialah perubahan parameter kualitas air limbah domestic rumah tangga yang dihasilkan.

2.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan pada uraian sebelumnya, maka hipotesis yang diharapkan pada penelitian tersebut antara lain:

1. Metode ekstraksi microwave dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi dengan menghasilkan rendemen lebih tinggi disertai aktivitas antioksidan yang lebih kuat dibandingkan maserasi.
2. Polifenol dari kulit pisang kepok dapat menurunkan nilai parameter pH, TSS, COD, BOD, dan total coliform serta berpotensi menstabilkan air limbah domestic rumah tangga.



BAB III TOPIK PENELITIAN 1

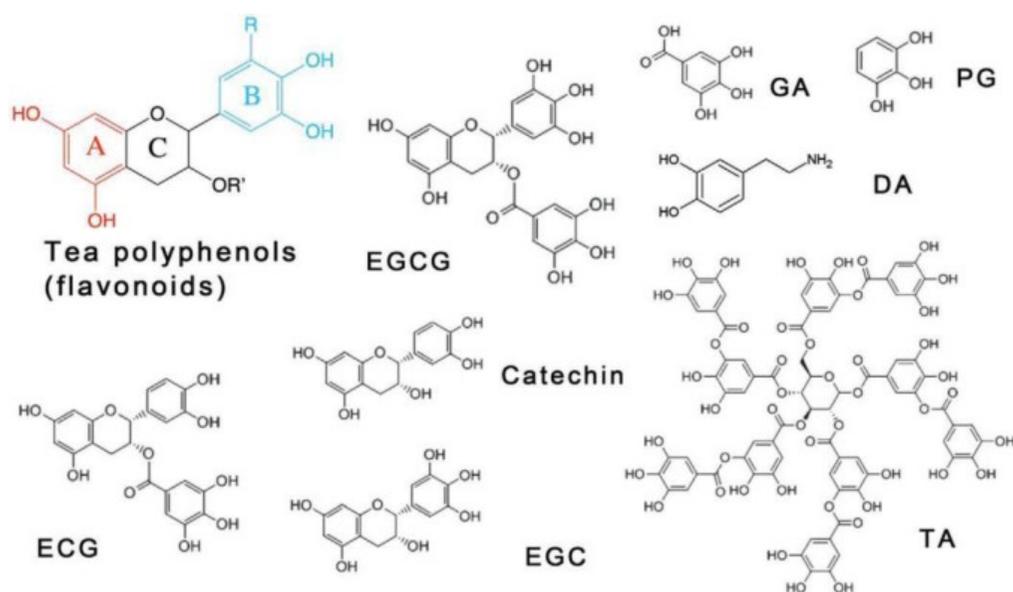
Analisis Komparatif Karakteristik Polifenol Kulit Pisang (*Musa Paradisiaca*) Dengan Metode Maserasi Dan Ekstraksi Microwave

3.1 Pendahuluan

Kulit pisang (*Musa paradisiaca*) merupakan limbah pertanian yang berlimpah dan seringkali dibuang tanpa diolah. Padahal, kulit pisang mengandung berbagai senyawa bioaktif yang bermanfaat, termasuk polifenol. Polifenol merupakan senyawa organik yang memiliki struktur cincin aromatik dengan satu atau lebih gugus hidroksil (-OH). Polifenol memiliki keragaman struktur yang mencakup flavonoid, tanin, lignin, dan stilben. Polifenol sendiri memiliki ciri khas tersendiri berupa molekul organik yang mengandung gugus hidroksil fenolik. Polifenol memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi dan bermanfaat untuk kesehatan. Polifenol dapat membantu melindungi tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas, yang dapat menyebabkan berbagai penyakit kronis seperti kanker, penyakit jantung, dan stroke (Mustafa S. K et al., 2020).

Struktur dan sifat fisikokimia polifenol mempengaruhi potensi aplikasinya dalam teknologi pengolahan limbah (Pandey dan Syed, 2009). Selain bermanfaat pada dunia kesehatan, polifenol juga memiliki peranan penting pada sistem pengolahan air limbah, seperti; agen pengoksidasi logam berat dan senyawa kimia berbahaya, anti-mikroba, dan Adsorben. Polifenol memiliki 5 kelas utama yaitu flavonoid, asam fenolik, stilbenoid, lignan, dan tanin. Di antara berbagai senyawa tersebut, senyawa yang paling melimpah dan sering dijumpai dalam bebas adalah flavonoid. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.1, flavonoid memiliki dua cincin fenil (cincin A dan B) dan cincin heterosiklik teroksigenasi (cincin C). Adapun dua jenis polifenol lainnya, asam fenolik merupakan turunan polifenol dari asam sinamat atau asam benzoat, dan stilbenoid adalah turunan hidroksilasi dari stilbene. Beberapa polifenol alami yang umum dijumpai diantaranya; epicatechin gallate (ECG), catechin, epigallocatechin (EGC), pyrogallol (PG), gallic acid (GA), dopamine (DA), epigallocatechin gallate (EGCG), and tannic acid (TA).





Gambar 3.1 Rumus molekul polifenol jenis flavanoid berbahan dasar daun teh (Gao et al., 2005)

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengekstrak polifenol dari kulit pisang. Dua metode yang umum digunakan adalah maserasi dan microwave. Maserasi adalah metode ekstraksi konvensional yang dilakukan dengan merendam bahan baku dalam pelarut selama waktu tertentu sedangkan microwave adalah metode ekstraksi non-konvensional yang menggunakan energi gelombang mikro untuk memanaskan bahan baku.

3.2 Tinjauan Pustaka

3.2.1 Pisang (*Musa paradiaca*)

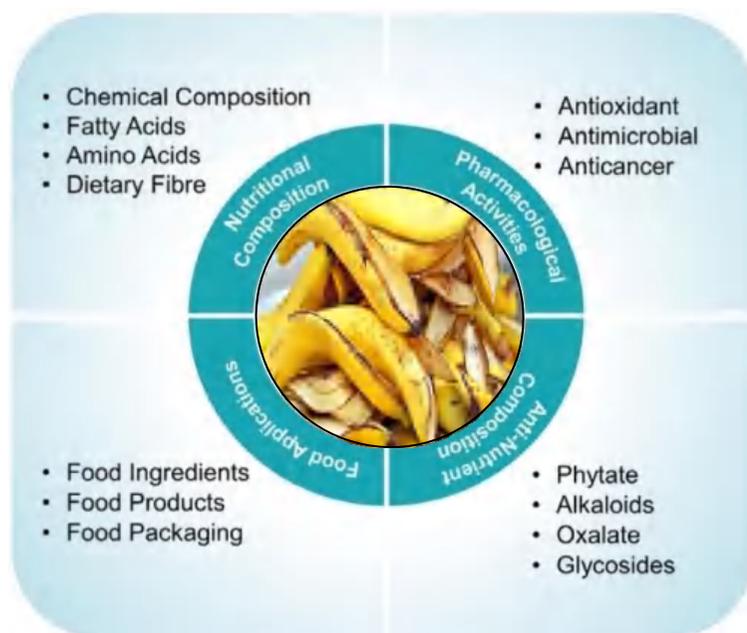
Polifenol dapat ditemukan dalam berbagai tumbuhan, termasuk buah-buahan, sayuran, biji-bijian, teh, kopi, dan rempah-rempah. Mereka juga dapat diekstraksi dari limbah pertanian dan industri, seperti kulit buah, sisa tanaman, serat kayu, dan limbah industri lainnya. Pemanfaatan sumber daya polifenol yang melimpah ini memiliki potensi untuk mengurangi limbah dan memanfaatkan bahan-bahan yang sebelumnya dianggap sebagai sisa, seperti kulit pisang.



ang terdiri dari beberapa jenis. Namun secara morfologi tanaman ada. Tanaman pisang merupakan tanaman dengan akar serabut dengan batang tanaman berupa batang sejati atau umbi batang dengan nama bonggol. Tanaman pisang juga memiliki bunga yang dengan bagian ujung yang runcing. Bunga pisang yang baru

muncul dikenal juga dengan nama jantung pisang. Kulit buah pisang (Gambar 3.2) memiliki bentuk yang beragam, ada yang bulat memanjang, bulat pendek dan bulat persegi. Selain itu, rasa, aroma, warna kulit dan daging buah juga berbeda tergantung varietasnya.

Buah pisang diterima secara luas oleh konsumen dikarenakan kaya akan kandungan nilai gizi, karbohidrat, fenolat, dan mineral (Yan et al., 2018). Selain buahnya, kulit pisang juga dilaporkan memiliki nilai kadar polifenol berkisar antara 7 hingga 32 %. (Faiqa et al., 2022); (J.W Zhang et al., 2019); (Chakraborty et al., 2017). Kandungan polifenol yang dimiliki oleh kulit pisang bergantung pada jenis pisang dan metode ekstraksi serta metode analisis yang digunakan. Selain kaya akan kandungan senyawa polifenol, kulit pisang juga kaya akan berbagai senyawa kimia lainnya seperti: Triterpenoid, Sikloalkanol, Amina, Steroid, Asam diskarboksilat, Asam lemak jenuh, Asam lemak hidroksi, Flavonoid, Galokatekin, Asam Amino, dan Mineral (Hikal Wafaa M et al., 2022).



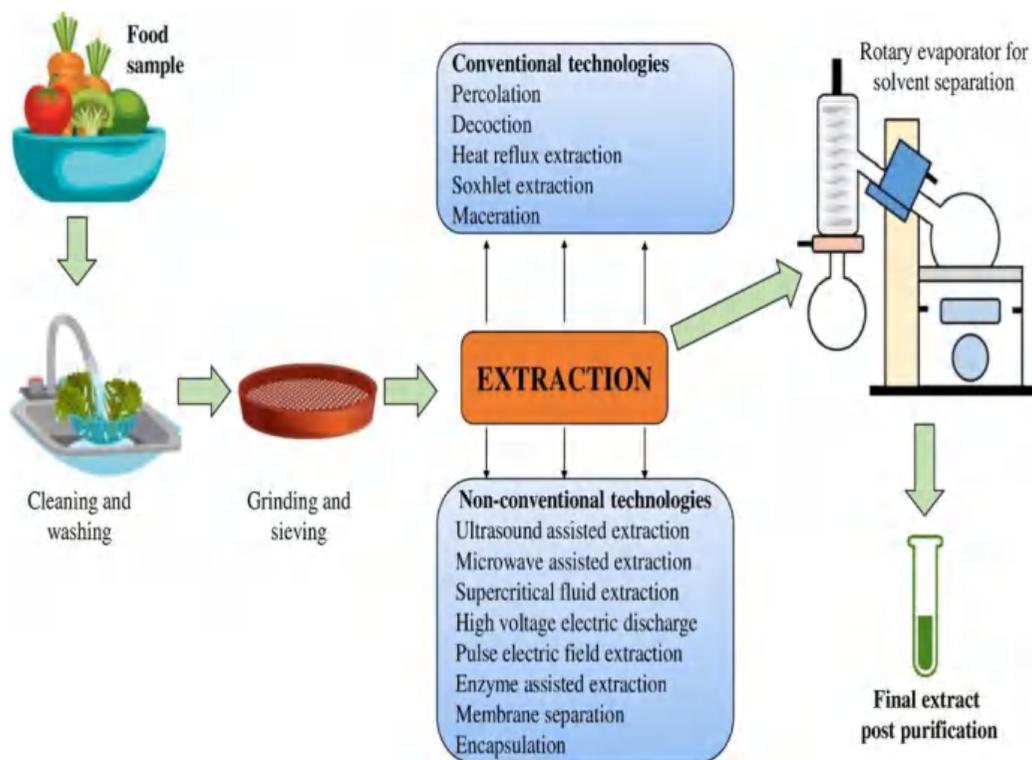
Gambar 3.2 Kulit Pisang (Sumber: Modifikasi Zaini H.M, et al., 2022)



aksi (Maserasi dan Microwave)

aksi merupakan salah satu peranan penting dalam melakukan un isolasi senyawa polifenol. Untuk mendapatkan ekstrak dari langkah-langkahnya seperti pengurangan ukuran, ekstraksi, filtrasi,

konsentrasi dan pengeringan harus merupakan suatu tindakan yang harus diperhatikan (Azmir.J et al., 2013); (Živković et al., 2018). Seperti diketahui polifenol banyak ditemui dalam bebas tidak dalam bentuk murninya, sehingga tindakan teknik pretreatment seperti pengeringan, penghancuran, dan penggilingan sangat diperlukan. Metode ekstraksi terdiri atas 2 jenis yaitu metode ekstraksi konvensional dan metode ekstraksi non-konvensional. Metode ekstraksi konvensional meliputi Perkolasi, Rebusan, Ekstraksi Refluks Panas, Ekstraksi Soxhlet dan Maserasi. Penerapan kedua metode ekstraksi tersebut dalam pemurnian senyawa polifenol diilustrasikan dalam Gambar 3.3



Gambar 3.3 Pemurnian polifenol dari material makanan (Sumber: Sridhar et al., 2021)

Maserasi adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk penentuan senyawa polifenol (Ćujić et al., 2016). Hal ini disebabkan oleh kesederhanaannya, peralatan yang paling sedikit, biaya rendah, serta karakteristik yang kecepatan agitasi dan waktu merupakan dua hal yang paling penting dalam teknik ini. Kecepatan pengaduk magnetik dapat menentukan pusaran, yang mana menyebabkan terjadinya turbulensi massa ketika kecepatan pengaduk bervariasi. Oleh karena itu,



kecepatan pengadukan magnetik harus dipertahankan antara 180 dan 240 rpm. Jika kecepatannya meningkat, maka konsentrasi kesetimbangan tidak berbanding lurus terhadap koefisien difusi dalam mencapai proses kestabilan produk (Shewale dan Rathod 2018). Penerapan metode maserasi dalam penentuan kadar polifenol dapat dilihat pada Tabel 3.1

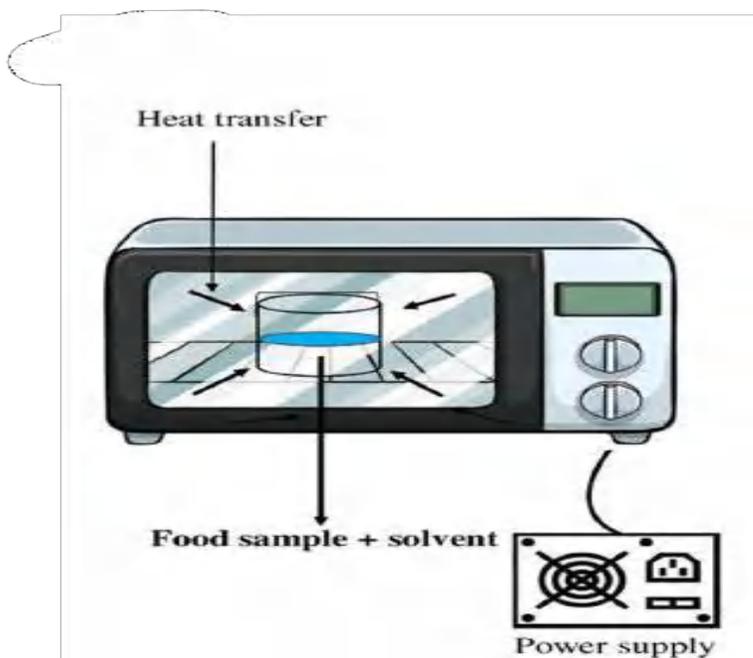
Tabel 3.1 Penerapan Metode Maserasi Pada Berbagai Prekursor

Prekursor	Waktu Maserasi (Jam)	Pelarut	Kadar Polifenol (%)	Referensi
Kulit jeruk	0,5	Aseton	63,35	Saini Anuradha, dkk. 2019
Tumbuhan tapak dara (<i>Catharanthus roseus</i>)	24	Etanol:Air (50:50)	5	Cacique Ane Patricia, dkk. 2020
Propolis	24	Etanol 75%	5,3	Oroian Mircea, Florina Dranca, dan Florin Ursachi. 2019
Bubuk akar pohon Acacia Senegal	24	Metanol PA	60	Elnour Ahmed A, dkk. 2022
Daun Ara	0,5	Etanol:Air (50:50)	18	Merzic Sabina, dkk. 2021
Biji kakao	24	Etanol	97	Aunillah A, E H Purwanto, E Wardiana, dan T Ifflah. 2021
Daun Moringa Oleifera	5	Etanol	59,7	Sukardi, dkk. 2021
Daun Sirsak	96	Etanol	14,1	Santos Ronald Keverson da Silva, dkk. 2022
Kulit Pisang	20	Etanol 50%	31,46	Faiqa, dkk. 2022
Kulit Apel dan Delima	20	Aseton 50% dan Metanol 50%	29,46% dan 31,45%	Ranjha muhammad Modassar Ali Nawaz, dkk. 2020
Kulit Mangga	20	Etanol 80%	24%	Safdar Muhammad Naeem, Tusneem Kausar, dan Muhammad Nadeem. 2016



elitian telah menunjukkan potensi metode ekstraksi konvensional
let dan maserasi dengan hasil yang menjanjikan. Namun, metode
an penggunaan pelarut, waktu, dan energi yang besar. Secara
g digunakan untuk ekstraksi seperti ekstraksi ultrasounik, ekstraksi

microwave dan ekstraksi fluida lebih menjanjikan (Luo et al., 2018). Teknik-teknik ini telah menunjukkan potensi yang menjanjikan untuk perbaikan dalam kandungan polifenol sebesar 32-36% dengan konsumsi energi sekitar 17,6 kali lipat lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan termal (Maza et al., 2019). Ilustrasi penerapan metode microwave dalam proses ekstraksi polifenol dari bahan dasar makanan dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Skema Ekstraksi Microwave (Sumber: Sridhar et al., 2021)

Ekstraksi senyawa polifenol berbasah dasar makanan menggunakan metode microwave, yang mana mekanisme ini melibatkan penerapan energi gelombang mikro ke matriks makanan disertai dengan perpindahan panas. Pelarut dengan konstanta dielektrik yang tinggi umumnya lebih disarankan untuk proses ini. Salah satu pelarut yang dapat digunakan dalam metode microwave ialah etanol. Peneliti sebelumnya juga telah melaporkan bahwa etanol pada suhu kamar memiliki konstanta dielektrik bernilai 24.77.



pada alat microwave disebabkan oleh perpindahan panas dan arus listrik dan medan magnet yang terdapat pada alat tersebut. Ruang lingkungan tertutup juga menyebabkan tumbukan beruntun yang meningkatkan dipol antara pelarut dan sampel sehingga ekstrak polifenol yang dihasilkan maksimal. Dalam proses ini, pemanasan seluruh sampel secara

menyeluruh melalui proses konveksi (Wen et al., 2020). Ekstraksi gelombang mikro memiliki waktu ekstraksi yang lebih kecil, kebutuhan pelarut yang minimal, peningkatan kemurnian ekstrak, efektivitas biaya, dan hasil ekstraksi fenolik yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional. Namun, metode tersebut membutuhkan energi panas dan suhu yang besar pada saat melakukan proses tersebut (Périno-Issartier et al., 2011). Penerapan Metode Microwave pada berbagai prekursor dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Penerapan Metode Microwave Pada Berbagai Prekursor

Prekursor	Waktu Microwave (Menit)	Pelarut	Kadar Polifenol (%)	Referensi
Kulit alpukat	3	Etanol	6,18	Mayol Igor Trujillo, dkk. 2019
Daun kelor	4	Aseton 90%	5,4	Nguyen Nguyen Hong Khoi, dkk. 2021
Daun <i>Tristaniopsis merguensis griff</i>	10	Etanol	23,68	Mahardika Robby Gus, dan Occa Roanisca. 2019
Bubuk biji carob	4	Etanol 45%	23,56	Huma Zill E, dkk. 2017
Tanaman Eleutherine bulbusa	20	Etanol	45,82	Ahmad Islamuddin, dkk. 2022
Daun Torbangun	3	Metanol	8,39	Hendrawan Yusuf, dkk. 2018
Tunas Bambu	4	Etanol	8,97	Milani Gualtiero, dkk. 2020
Kacang Kastanya	5	Air	3	Tomasi Isabella T, dkk. 2023
Bawang Dayak	10	NADES (asam laktat-sukrosa)	36,5	Kurnya, Hajrah, dan Islamuddin Ahmad. 2019
	1	Etanol 70%	17,13	Valdes Arantzazu, dkk. 2015

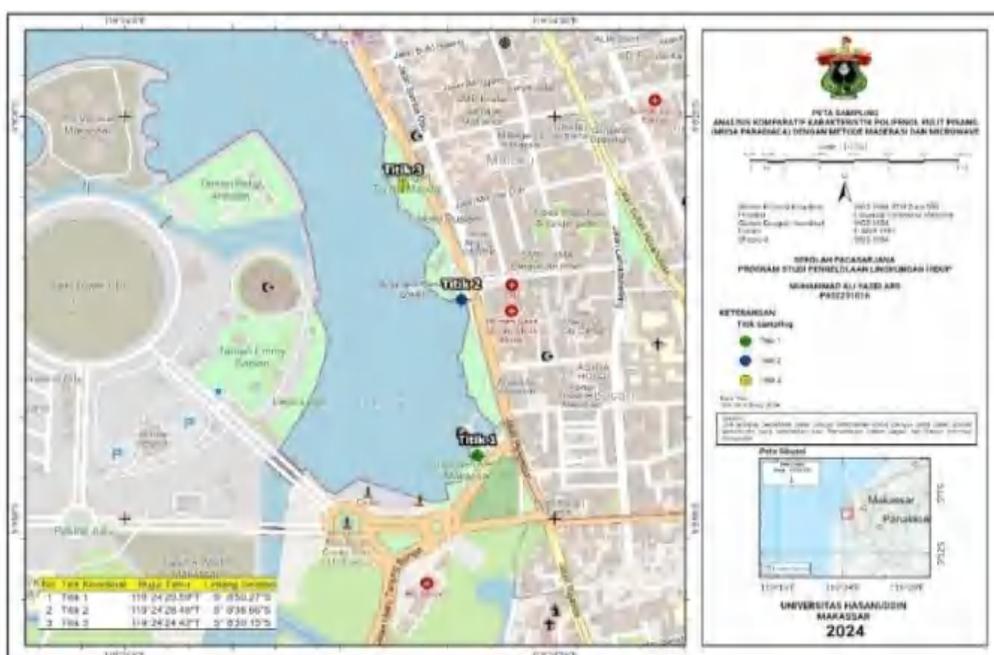


Biji Jelai	12	Etanol 70%	3,74	Lee Jae Jun, Dae Hee Park, dan Won young Lee. 2017
------------	----	------------	------	--

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini yaitu senyawa polifenol berbahan dasar kulit pisang (Musa paradisiaca) yang diekstraksi dengan metode maserasi (konvensional) dan microwave (non-konvensional). Kulit pisang diperoleh dari hasil buangan pedagang UMKM di sepanjang area destinasi wisata Pantai Losari, Makassar, Indonesia. Peta lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Lokasi pengambilan sampel kulit pisang

3.3.2 Alat dan Bahan Penelitian



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Oven, 1 set Spektroskopi UV-nsformed Infrared (FTIR), Desikator, Tang Krus, mesin penggiling sonic MX-E310, tabung reaksi, ayakan dan peralatan gelas seperti botol vial, dll. Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian pisang, etanol 96%, Akuades, Larutan DES, Asam Setat, Urea dan lainnya seperti tisu, kertas saring, dan lain-lain.

3.3.3 Prosedur Penelitian

Tahapan prosedur penelitian diawali dengan preparasi sampel kulit pisang, ekstraksi polifenol, dan karakterisasi polifenol.

3.3.3.1 Preparasi Sampel Kulit Pisang (*Musa paradiaca*)

Dilakukan pengambilan dan pengumpulan limbah kulit pisang pedagang pisang epe' pada area destinasi wisata Pantai Losari. Dipilih kulit pisang yang masih layak, kemudian dicuci dengan akuades untuk menghilangkan kotoran yang menempel, lalu dikeringkan. Proses pengeringan dilakukan di dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam, untuk mengurangi kadar air yang berpotensi mengurangi kualitas polifenol yang diperoleh. Kulit pisang kering kemudian dihancurkan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk menghasilkan ekstrak polifenol yang maksimal, sehingga diperoleh bubuk kulit pisang.

3.3.3.2 Preparasi Pelarut DES (Deep Eutectic Solvent)

Sistem Pelarut DES dipersiapkan berdasarkan metodologi yang telah dilaporkan sebelumnya (Bhushan C. T et al., 2018). Campuran dua komponen yang terdiri dari donor ikatan hidrogen (urea) dan akseptor ikatan hidrogen (kolin klorida) direaksikan dalam labu reaksi yang berisikan pengaduk magnetik stirer. Rasio perbandingan dari kedua komponen tersebut ialah 1 : 2 (gram/MI). Proses pencampuran dilakukan menggunakan hot plate pada suhu 70°C selama 60-120 menit.

3.3.3.3 Ekstraksi Polifenol Menggunakan Metode Maserasi (Konvensional)

Bubuk kulit pisang diremaserasi hingga 3 x 24 jam menggunakan 2 jenis pelarut yaitu DES dan etanol 96%. Maserat yang diperoleh dimasukkan kedalam vacum rotary evaporator sehingga diperoleh ekstrak kental yang akan dijadikan sampel pengukuran polifenol. Ekstrak kental kulit pisang selanjutnya dikarakterisasi untuk mengetahui sifat yang dimiliki oleh polifenol dari kulit pisang. Proses karakterisasi yang dilakukan meliputi; Fourier Transformed Infrared dan Spektroskopi UV-Vis. Analisis tersebut bertujuan untuk



yawa-senyawa individual dan gugus fungsional dari senyawa isar kulit pisang kepok (*Musa paradiaca*).

3.3.3.4 Ekstraksi Polifenol Menggunakan Metode Microwave (Non-konvensional)

Sistem ekstraksi microwave dilakukan berdasarkan metodologi yang telah dilaporkan sebelumnya (Vu H. T et al., 2019). Bubuk kulit pisang dicampur dalam gelas kimia 250 ML menggunakan 2 jenis pelarut yaitu DES dan Etanol 96%. Campuran kemudian direaksikan dalam alat microwave selama 6 menit dengan daya 960 W. Campuran yang diperoleh selanjutnya dimasukkan kedalam vacuum rotary evaporator sehingga diperoleh ekstrak kental yang akan dijadikan sampel pengukuran polifenol. Ekstrak kental kulit pisang selanjutnya dikarakterisasi untuk mengetahui sifat yang dimiliki oleh polifenol dari kulit pisang. Proses karakterisasi yang dilakukan meliputi; Fourier Transformed Infrared dan Spektroskopi UV-Vis. Analisis tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa individual dan gugus fungsional dari senyawa polifenol berbahan dasar kulit pisang kepok (*Musa paradiaca*).

3.3.3.5 Karakterisasi Polifenol Berbahan Dasar Kulit Pisang Kepok

3.3.3.5.1 Analisis Randemen Ekstrak Polifenol Kulit Pisang Kepok

Proses analisis metode ekstraksi yang efektif dilakukan dengan menggunakan persentase randemen hasil ekstrak yang diperoleh diukur dengan cara membagikan berat hasil ekstrak yang diperoleh (g) terhadap berat awal sampel (g) yang digunakan dikalikan 100%. Taraf signifikan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5% ($p < 0,05$). Adapun rumus yang digunakan yaitu:

$$(\%) = \frac{M_{\text{total ekstrak}} - M_{\text{gelas kimia}}}{M_{\text{bubuk sampel kulit pisang kepok}}}$$

3.3.3.5.2 Analisis Kualitatif Kandungan Jenis Polifenol

Proses analisis kualitatif bertujuan untuk mengidentifikasi jenis polifenol yang terkandung pada ekstrak kulit pisang kepok, yaitu melalui perubahan warna yang terjadi pada ekstrak. Pada uji flavonoid, Diambil sebanyak 4 ml ekstrak dan dimasukkan air panas secukupnya, setelah itu direbus dalam waktu 5 menit dan disaring. Kemudian 0,05 tetes HCl pekat ditambahkan ke dalam filtrat, dikocok kuat-kuat. Uji dengan terjadinya warna merah, jingga atau kuning (Cahyaningsih et al, 2019). Pada uji analisis senyawa tanin, 4 ml ekstrak diambil dan ditambahkan larutan FeCl_3 10%. Jika warnanya biru tua atau hitam kehijauan menunjukkan adanya tanin (Wahid and Safwan, 2020).



3.3.3.5.3 Analisis Fourier transform Infra-red (FTIR)

Ekstrak kental kulit pisang (filtrat) dipreparasi terlebih dahulu dengan cara disaring menggunakan kertas saring Whatmann. Proses penyaringan bertujuan untuk memastikan cairan sampel terbebas dari partikel padat yang dapat mengganggu proses analisis. Selanjutnya oleskan sampel cair pada permukaan ATR crystal. Pastikan sampel cair menyebar secara merata pada permukaan ATR crystal agar hasil analisa yang diperoleh semakin maksimal. Lakukan scanning terhadap sampel cair dalam rentang frekuensi 4000-400 cm^{-1} .

3.3.3.5.3 Analisis Ultraviolet-Visible (UV-Vis)

Ekstrak kental kulit pisang (filtrat) dipipet sebanyak 0,2 MI ke dalam gelas kimia 100 MI dan diencerkan dengan 9,8 MI aquadest. Sampel yang telah diencerkan dipipet sebanyak 1 MI ke dalam botol vial lalu ditambahkan dengan 1 MI Reagen Folin Ciocalteu 10% dan dikocok. Didiamkan selama 8 menit, lalu ditambah 8 MI larutan Na_2CO_3 7,5% dan dihomogenkan. Setelah itu, larutan didiamkan selama 2 jam pada suhu kamar. Serapannya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 250 – 800 nm.

3.4 Hasil dan Pembahasan

Telah dilakukan ekstraksi senyawa polifenol dari limbah kulit pisang dengan metode ekstraksi konvensional dan non-konvensional yaitu maserasi dan microwave. Pada tahap ini, digunakan 2 jenis pelarut yaitu Etanol dan DES. Hasil ekstrak polifenol yang diperoleh selanjutnya akan di aplikasikan terhadap air limbah domestic rumah tangga.

3.4.1 Studi Komparatif Ekstrak Polifenol Kulit Pisang Kepok

3.4.1.1 Hasil Ekstrak Polifenol Kulit Pisang Kepok

Ekstrak polifenol dari limbah kulit pisang kepok, telah berhasil diperoleh melalui proses ekstraksi maserasi dan microwave. Kulit pisang diperoleh dari hasil olahan UMKM masyarakat di area lokasi destinasi wisata pantai losari, makassar di kumpulkan dan dicuci dengan air mengalir. Pencucian berguna untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang mengganggu proses ekstraksi. Selain itu, proses pengeringan juga dilakukan selama 60 menit dengan suhu 100°C. Pengeringan bertujuan mengurangi kadar air yang terkandung dalam sampel hingga hasil ekstrak yang diperoleh semakin maksimal. Kulit pisang



kering dihancurkan dengan cara diblender sehingga diperoleh bubuk kulit pisang yang siap untuk diekstraksi. Proses penghancuran bertujuan untuk memperbesar luas permukaan pada sampel kulit pisang sehingga ekstrak yang diperoleh memiliki kualitas yang tinggi.

Bubuk kulit pisang bersih selanjutnya diekstraksi menggunakan metode maserasi dan microwave. Proses ekstraksi dilakukan dengan mencampurkan sampel bubuk kulit pisang dengan pelarut utama yaitu etanol dan DES. Variasi metode ekstraksi dan jenis pelarut bertujuan untuk mengetahui perbedaan jenis dan sifat polifenol yang diperoleh dari limbah kulit pisang kepek.

Untuk memastikan hanya senyawa polifenol yang terkandung dalam filtrat kulit pisang kepek, maka dilakukan proses evaporasi menggunakan evaporator pada suhu 80°C selama 30 menit. Senyawa polifenol yang diperoleh berwarna kuning pucat dibawah sinar matahari dan memancarkan warna hijau di bawah sinar UV. Adapun hasil ekstrak polifenol kulit pisang dapat di lihat pada Gambar 3.6.

a)



b)



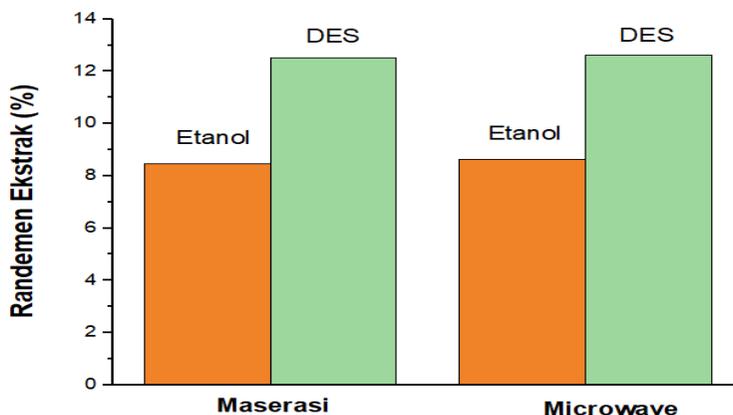
Gambar 3.6 Hasil Ekstrak Senyawa Polifenol Pada Kulit Pisang Kepok.

a). Ekstrak polifenol dibawah sinar matahari ; b). Ekstrak polifenol dibawah sinar UV.

Setiap metode ekstraksi dilakukan secara triplo kemudian dianalisis dengan Analisis Varians (ANOVA) menggunakan Perangkat lunak SPSS 16.0. Rendemen ekstrak kulit pisang kepek dengan metode maserasi dan microwave menggunakan pelarut etanol dan DES berkisar antara 8,40 – 12,64%. Analisis varian (Gambar 3.7) menunjukkan bahwa ekstraksi dengan pelarut DES memperoleh hasil yang jauh lebih



di. Hasil ANOVA juga menunjukkan bahwa metode ekstraksi tidak signifikan terhadap rendemen ekstrak kulit pisang kepek ($p > 0,05$).



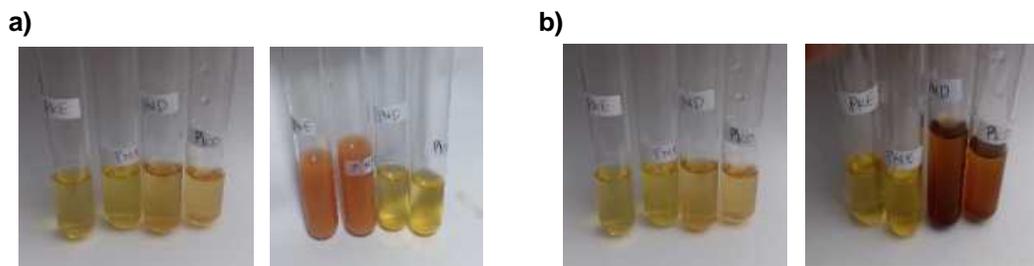
Gambar 3.7 Randemen Ekstrak Polifenol Kulit Pisang Kepok.

Metode ekstraksi microwave menggunakan pelarut etanol dan DES menghasilkan nilai randemen sedikit lebih tinggi yaitu 8,62% dan 12,61% dibandingkan dengan metode ekstraksi maserasi yang menghasilkan nilai randemen sedikit lebih rendah yaitu 8,45% dan 12,52%. Hasil yang diperoleh sejalan dengan peneliti sebelumnya yaitu variasi jenis pelarut memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap hasil ekstrak yang diperoleh (Feng.,2022); (Hidalgo et al., 2016); (Jisieike et al., 2020). Tidak adanya perbedaan hasil ekstrak pada berbagai metode disebabkan oleh faktor kesetimbangan kimia. Misalnya, dalam ekstraksi teh hijau, baik metode statis maupun dinamis pada akhirnya mencapai hasil komponen kimia yang sama, meskipun ada perbedaan dalam kinetika reaksi dan konsentrasi zat terlarut selama proses ekstraksi (Xu Y.W et al., 2018).

3.4.1.2 Hasil Karakterisasi Polifenol Kulit Pisang Kepok

Karakterisasi merupakan suatu proses yang dirancang oleh peneliti untuk mengetahui berbagai aspek dari senyawa polifenol kulit pisang kepok. Pada tahap ini, peneliti melakukan analisis kualitatif sebelum melakukan analisis kuantitatif dengan instrumen UV-Vis dan FTIR. Proses analisis kualitatif bertujuan untuk mengidentifikasi jenis polifenol yang dimiliki oleh ekstrak kental kulit pisang kepok. Sementara itu, hasil analisis kualitatif identifikasi polifenol pada ekstrak kulit pisang kepok dapat dilihat pada Gambar 2.8.





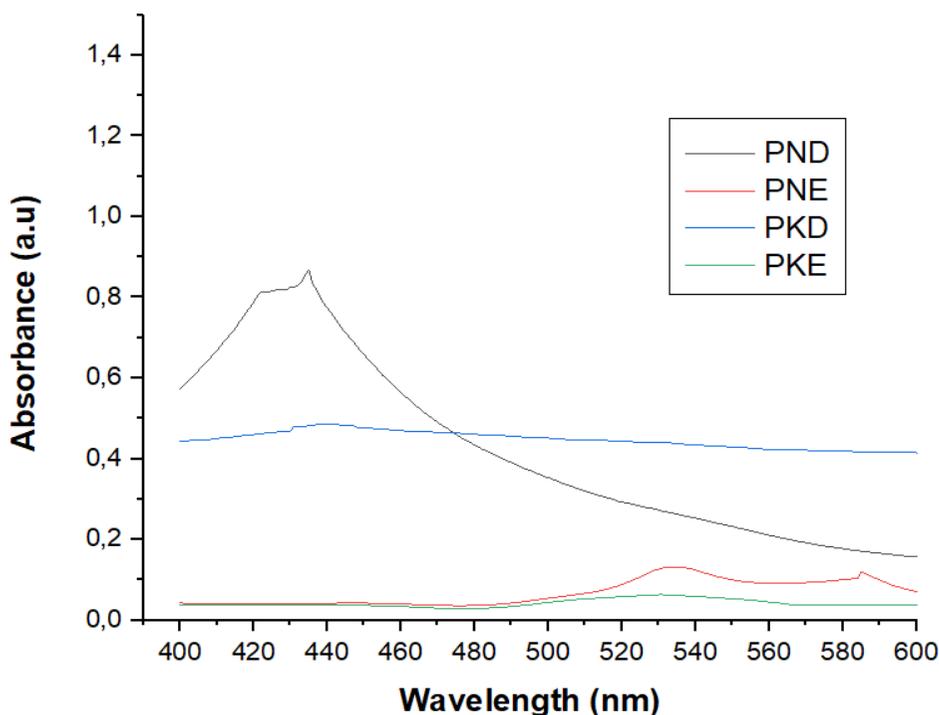
Gambar 3.8 Analisis Kualitatif Senyawa Polifenol Pada Ekstrak Kulit Pisang Kepok.
a). Ekstrak polifenol pada uji Flavonoid ; b). Ekstrak polifenol pada uji tanin

Hasil analisis kualitatif menunjukkan bahwa ekstrak polifenol kulit pisang kepok dari metode maserasi dan microwave mengandung senyawa polifenol jenis Flavonoid dan Tanin. Hal ini di buktikan dengan terjadinya perubahan warna pada ekstrak polifenol kulit pisang kepok terhadap pereaksi yang digunakan dalam mendeteksi senyawa Flavonoid dan Tanin. Hasil yang diperoleh sejalan dengan peneliti sebelumnya yang menyatakan bahwa kulit pisang mengandung senyawa bioaktif seperti Flavonoid dan Tanin (Dwi L. et al., 2023); (Hida A. et al., 2023); (Sonja V. et al., 2018). Hasil analisis kualitatif selanjutnya akan dikaji lebih lanjut pada analisis kuantitatif menggunakan peralatan instrumen yaitu spektrofotometer UV-Vis, dan FTIR. Analisis kuantitatif bertujuan untuk mengetahui senyawa monomer dari makro molekul Flavonoid dan Tanin.

3.4.1.3 Hasil Analisis Spektrofotometer UV-Vis

Analisis instrumen UV-Vis dilakukan dengan menentukan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}). Proses ini bertujuan untuk mengetahui jenis senyawa utama polifenol jenis flavonoid dan tanin. Adapun hasil analisis panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) pada metode maserasi dan microwave dengan pelarut etanol dan DES dapat dilihat pada Gambar 3.9.





Gambar 3.9 Panjang Gelombang Maksimum (λ_{maks}) Ekstrak Polifenol Kulit Pisang.

Hasil Analisis dengan instrumen UV-Vis menunjukkan bahwa variasi pelarut memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap keberagaman panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) oleh ekstrak polifenol kulit pisang kepok. Adapun panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) yang diperoleh pada pelarut etanol dan microwave dengan metode ekstraksi maserasi yaitu 529 nm dan 439 nm, Sedangkan pada metode microwave diperoleh panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) 534 nm dan 433 nm. Perbedaan nilai panjang gelombang yang begitu signifikan pada variasi pelarut mengindikasikan bahwa adanya perbedaan jenis atau struktur senyawa polifenol dominan yang terekstraksi. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan selektivitas masing-masing pelarut. Etanol, sebagai pelarut polar protik, cenderung mengekstrak senyawa polifenol dengan gugus



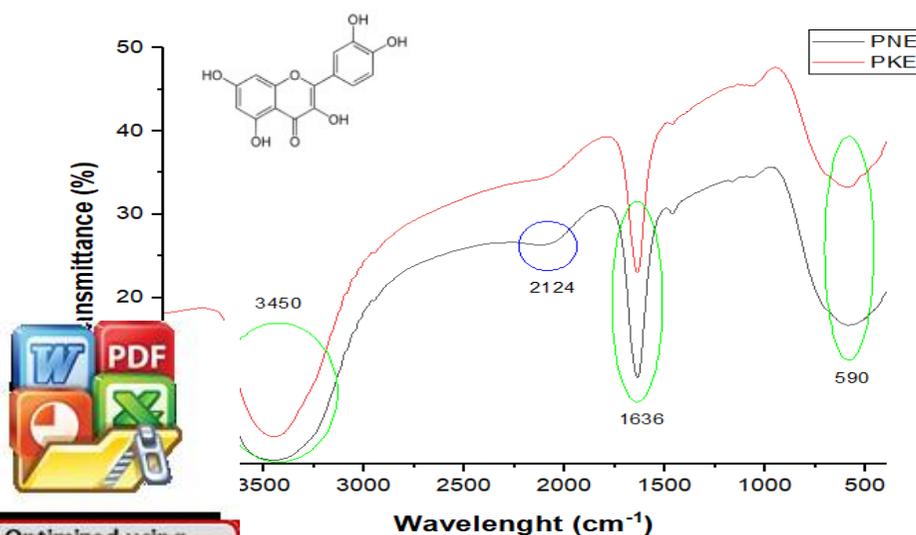
banyak (Ozturk et al., 2018); (Pontes et al., 2021). Sementara itu, hijau dengan struktur kompleks, dapat membentuk ikatan hidrogen dengan senyawa tertentu, sehingga mengekstrak senyawa polifenol lebih kompleks (Zhang et al., (2024); (Cegledi et al., 2024).

Sementara itu, perbedaan metode ekstraksi berpengaruh terhadap nilai intensitas serapan pada ekstrak polifenol kulit pisang kepok. Adapun nilai intensitas yang diperoleh pada metode ekstraksi maserasi dan microwave menggunakan pelarut DES yaitu 0,484 dan 0,853. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode microwave lebih efektif dalam mengekstrak senyawa polifenol. Hal ini dapat disebabkan oleh mekanisme interaksi dari masing-masing metode. Metode microwave bekerja dengan memanaskan sampel secara cepat dan merata melalui interaksi dengan molekul polar. Hal ini menyebabkan peningkatan tekanan dalam sel sampel (kulit pisang kepok), sehingga mempermudah pelepasan senyawa dari matriksnya (Chan et al., (2016); Zhang et al., 2008). Berdasarkan hasil tersebut, maka jenis polifenol yang diperoleh pada ekstrak kulit pisang kepok ialah quercetin (flavonoid) dan katekin (tanin), hal ini sejalan dengan peneliti sebelumnya yang menjabarkan bahwa senyawa quercetin terdeteksi pada panjang gelombang 430-440 nm (Gugler et al., 1973); (Taniguchi et al., 2023) dan senyawa katekin terdeteksi pada panjang gelombang 525-535 nm (Hartzfeld et al., 2002).

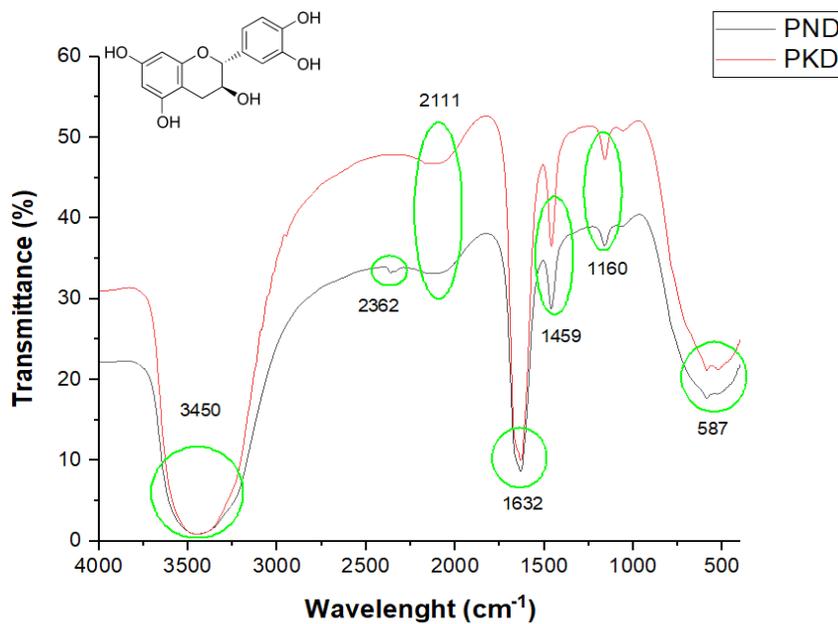
3.4.1.4 Hasil Analisis Fourier Transform Infra-red (FTIR)

Hasil analisis dengan instrumen FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang dimiliki oleh senyawa polifenol jenis flavonoid dan tanin. Gugus fungsi dari ekstrak polifenol kulit pisang kepok diidentifikasi pada spektrum 400 cm^{-1} hingga 4000 cm^{-1} . Adapun hasil analisis FTIR pada ekstrak polifenol limbah kulit pisang kepok dapat dilihat pada Gambar 3.10

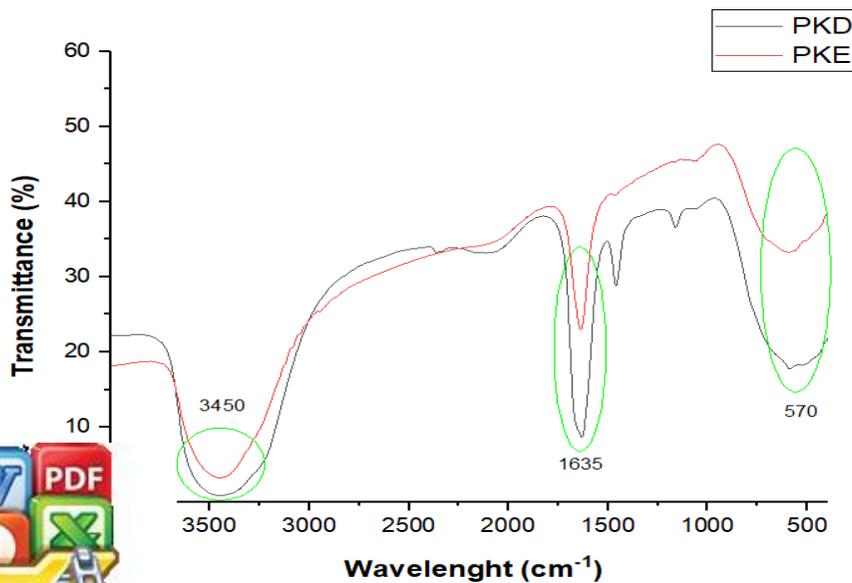
a)



b)



c.



ar 3.10 Gugus fungsi polifenol quarcetin dan katekin.



Hasil tersebut mengilustrasikan bahwa spektrum transmisi dari ekstrak kulit pisang kepok dari berbagai pelarut dan metode terindikasi senyawa polifenol. Gambar 10 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara sampel menggunakan metode maserasi dan microwave. Spektrum pita 3450 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi -OH yang ditandai dengan adanya pelebaran pita pada spektrum serapan. Spektrum pita 1636 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus karbonil yaitu C=O (Falcão et al., 2011). Selain itu, spektrum pita 590 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi senyawa aromatik. Deretan pita kompleks di daerah $1500\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ merupakan ciri khas untuk vibrasi rangka cincin aromatik; (Nidafauziah et al., 2021). Berdasarkan data tersebut, maka senyawa polifenol yang terkandung pada pelarut etanol ialah quercetin. Penyelidikan lebih lanjut menunjukkan bahwa ekstrak polifenol dari pelarut etanol (Gambar 12 a) memiliki sidik jari yang sama dengan polifenol jenis flavonoid yaitu quercetin (Diao et al., 2020).

Spektrum pita 3450 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi -OH, hal ini dibuktikan dengan terlihat puncak serapan yang lebar dan intens di sekitar 3450 cm^{-1} . Puncak serapan di sekitar 1632 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan rangkap karbon-karbon (C=C) yang merupakan bagian dari cincin benzene (Tiwow et al., 2021). Puncak serapan di sekitar 1160 cm^{-1} mengindikasikan adanya ikatan tunggal karbon-oksigen (C-O) (Maulina et al., 2019). Puncak serapan di daerah $3000\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan karbon-hidrogen (C-H) (Grasel et al, 2015). Berdasarkan data tersebut, maka senyawa polifenol yang terkandung pada pelarut DES ialah katekin. Penyelidikan lebih lanjut menunjukkan bahwa ekstrak polifenol dari pelarut DES (Gambar 12 b) memiliki sidik jari yang sama dengan polifenol jenis ketekin (Geng et al., 2016).

Sementara itu, perbedaan spektrum pita yang signifikan terlihat pada polifenol ekstrak dengan pelarut etanol dan DES terlihat pada Gambar 12 c. Hasil penelitian juga menjabarkan bahwa spektrum flavonoid dan tanin pada kisaran $1200 - 4000\text{ cm}^{-1}$ dipelajari dengan menggunakan ATR-FTIR (Ricci et al., 2015).



BAB IV TOPIK PENELITIAN 2

Pengaruh Polifenol Dalam Parameter Air Limbah Domestik Rumah Tangga

4.1 Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam yang esensial bagi kehidupan, sehingga kelangkaan sumber daya air berkualitas tinggi merupakan masalah global yang terus meningkat (Xingran et al., 2020); (Jayaprakash et al., 2016); (Ma S. et al., 2016). Diperkirakan pada tahun 2025, sekitar 67% dari populasi dunia akan mengalami kesulitan air (Xi Quan et al., 2018); (Seema et al., 2015). Pencemaran air limbah menjadi salah satu masalah lingkungan yang serius di Indonesia. Air limbah, yang biasanya dihasilkan dari aktivitas manusia seperti industri, rumah tangga, dan pertanian, mengandung berbagai macam polutan yang bersifat berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Air limbah ini mengandung berbagai senyawa berbahaya, termasuk logam berat, pestisida, dan bahan kimia organik. Senyawa-senyawa ini dapat mencemari kualitas air tanah, air sungai, dan air laut serta membahayakan kesehatan makhluk hidup (Morin J. V et al., 2022).

Selama bertahun-tahun, beragam metodologi telah digunakan untuk memulihkan kualitas air yang tercemar agar dapat dikonsumsi, seperti pemisahan gravitasi, adsorpsi, koagulasi, flokulasi, pengapungan, dan penguapan (Maryna et al., 2009); (Annarita Salladini et al., 2007); (J. Caki et al., 2000); (Zhe et al., 2019); (Quan et al., 2023); (Quaobin Hu et al., 2016); (Zhe et al., 2021). Namun, munculnya kontaminan organik baru yang sulit dipisahkan dan terurai menyebabkan pengolahan air konvensional menjadi tidak dapat diandalkan dan tidak efisien (Qiang He et al., 2006); (Li et al., 2018); (Wentao et al., 2020); (Marianne., 2021). Oleh karena itu, perlu adanya alternatif bahan pengolah yang alami dan ramah lingkungan.

Untuk mengatur pengelolaan air limbah domestik, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PERMENLHK) No. P.68 Tahun 2016 yang menetapkan baku mutu air limbah domestik. Peraturan ini menetapkan standar kualitas air limbah domestik yang harus dipenuhi sebelum dibuang ke badan air. Polifenol merupakan senyawa alami yang terdapat dalam berbagai tumbuhan. Senyawa ini memiliki sifat antioksidan yang kuat dan dapat mengikat logam berat dan bahan kimia organik (Li Y. et al, 2020). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh polifenol dalam parameter air limbah domestik yang diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PERMENLHK) No. P.68 Tahun 2016. Dengan memahami bagaimana polifenol



berinteraksi dengan komponen dalam air limbah, diharapkan dapat diperoleh informasi yang bermanfaat untuk mengembangkan teknologi pengolahan air yang lebih efektif dan efisien. Studi ini akan melibatkan analisis laboratorium terhadap sampel air limbah domestik sebelum dan setelah direaksikan dengan senyawa polifenol alami.

4.2 Tinjauan Pustaka

Polifenol terdiri dari struktur kimia dengan banyak gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada cincin aromatik. Pada umumnya senyawa ini banyak terdapat pada tumbuhan alami, dan telah digunakan untuk anti-inflamasi, antibiotik, dan perawatan kanker (C. Papuc et al., 2017); (Daglia, 2012). Polifenol dapat digunakan dalam pengolahan limbah sebagai agen pengoksidasi dan adsorben. Sebagai agen pengoksidasi, polifenol mampu mengoksidasi senyawa organik yang sulit terurai, dan meningkatkan efektivitas pengolahan air limbah. Sebagai adsorben, polifenol dapat mengadsorpsi kontaminan dari limbah, seperti logam berat dan senyawa organik berbahaya, serta membantu dalam pemulihan dan pemurnian limbah (Anerao et al., 2021). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Vlachogianni et al., 2012, menyatakan bahwa Polifenol memiliki sifat oksidatif yang kuat karena kemampuannya untuk menghasilkan radikal bebas melalui reaksi oksidasi. Dalam konteks pengolahan limbah, polifenol dapat digunakan sebagai agen oksidatif yang efektif untuk mengoksidasi senyawa organik berbahaya dalam limbah, termasuk senyawa toksik, bahan kimia beracun, dan senyawa refraktori yang sulit diuraikan. Proses oksidasi yang terjadi pada polifenol dapat memecah ikatan kimia dan mengubah senyawa berbahaya menjadi bentuk yang lebih mudah diolah atau dihilangkan dari limbah.

Hal demikian juga dibuktikan melalui penelitian yang dilakukan oleh Barakat et al., (2011) yang menyatakan bahwa Polifenol juga memiliki kemampuan adsorpsi yang signifikan. Mereka dapat menarik dan menahan kontaminan dalam limbah, termasuk logam berat, senyawa organik berbahaya, dan partikel-partikel terlarut lainnya. Dalam proses pengolahan limbah, polifenol dapat digunakan sebagai bahan adsorben untuk mengikat dan menghilangkan kontaminan tersebut dari larutan limbah. Sifat adsorpsi polifenol yang kuat dapat membantu memperbaiki kualitas limbah dan mengurangi lingkungan.



Polifenol dalam teknologi pengolahan limbah memiliki potensi yang signifikan. Kemampuan polifenol sebagai agen oksidatif dan adsorben dapat mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan. Selain itu, polifenol dari sumber-sumber alami yang melimpah seperti limbah pertanian dan

industri, sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis yang mahal dan berpotensi merusak lingkungan (Wang et al., 2020). Potensi ini mendorong penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan metode pengolahan limbah yang berkelanjutan dan efektif dengan memanfaatkan polifenol.

4.3 Metode Penelitian

4.3.1 Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini yaitu air limbah domestik rumah tangga yang diperoleh dari sumber buangan perumahan. Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel air limbah domestik ialah grab sampling.

4.3.2 Alat dan Bahan Penelitian

pH meter, Inkubator BOD, Botol BOD, Termometer, Stopwatch, Pipet ukur, Parshall flume, Flowmeter, Spektrofotometer UV-Vis, Gelas ukur, Corong, Erlenmeyer, Corong pemisah, Ball Pipet, N-heksana, Kloroform, Aseton, Anhydrous sodium sulfate, Reagen Nessler, Media pertumbuhan bakteri, Reagen Winkler, Reagen COD, dan Kertas Saring.

4.3.3 Prosedur Penelitian

Tahapan prosedur penelitian diawali dengan preparasi sampel limbah domestik rumah tangga, dan Pengaplikasian senyawa polifenol dalam mengolah air limbah domestik

4.3.3.1 Preparasi Sampel Air Limbah Domestik Rumah Tangga

Teknik sampling yang digunakan dalam pengambilan sampel air limbah domestik rumah tangga ialah grab sampling, yaitu pengambilan sampel air limbah domestik rumah tangga pada waktu tertentu, tanpa memperhitungkan waktu dan aliran air limbah. Teknik ini digunakan dengan pertimbangan bahwa analisis parameter kualitas air limbah yang tidak mudah berubah seiring waktu. Mekanisme pengambilan sampel air limbah domestik rumah tangga dilakukan sesuai dengan acuan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda pengambilan contoh air limbah



Polifenol Terhadap Air Limbah Domestik Rumah Tangga

Polifenol yang telah berhasil di ekstrak, selanjutnya di reaksikan air limbah domestik rumah tangga dengan perlakuan sebagai berikut:

Pengamatan	
Sebelum Perlakuan	Setelah Perlakuan

Penambahan PKD	-	+
Penambahan PKE	-	+
Penambahan PND	-	+
Penambahan PNE	-	+
Kontrol	-	-

Keterangan:

PKD: Polifenol Konvensional (Maserasi) pelarut DES

PKE: Polifenol Konvensional (Maserasi) pelarut Etanol 96%

PND: Polifenol Non-konvensional (Microwave) pelarut DES

PNE: Polifenol Non-konvensional (Microwave) pelarut Etanol 96%

Pengamatan analisis kualitas air limbah domestik rumah tangga meliputi: pH, BOD, COD, TSS, dan Total Coliform.

4.3.3.2.1 Pengamatan BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Proses pengamatan BOD beracukan SNI 6989.72:2009 tentang Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD). Siapkan larutan pengencer dengan menambahkan nutrien ke dalam air suling yang jenuh dengan oksigen. Jika diperlukan, encerkan sampel air limbah dengan larutan pengencer, lalu tambahkan benih mikroorganisme untuk memastikan dekomposisi bahan organik. Isi botol BOD dengan sampel yang telah diencerkan, tutup rapat, dan ukur oksigen terlarut awal (DO_0) menggunakan metode titrasi. Inkubasikan botol BOD dalam inkubator pada suhu 20°C selama 5 hari dalam keadaan gelap. Setelah inkubasi, ukur kembali oksigen terlarut (DO_5) dan hitung nilai BOD menggunakan rumus $BOD = (DO_0 - DO_5) \times \text{Faktor Pengenceran}$, dengan memperhitungkan faktor pengenceran jika sampel diencerkan sebelum inkubasi.

4.3.3.2.2 Pengamatan COD (Chemical Oxygen Demand)

Proses pengamatan COD beracukan SNI 6989.73:2009 tentang Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara titrimetri. Sampel air limbah domestik disaring untuk menghilangkan padatan kasar. Tempatkan sampel dalam tabung refluks bersama dengan larutan kalium dikromat dan asam sulfat pekat yang mengandung perak sulfat sebagai katalis, kemudian ekuivalen kalium dikromat untuk menghindari interferensi oleh klorida. Campuran direfluks pada suhu 150°C selama dua jam dalam sistem tertutup hingga reaksi oksidasi bahan organik berlangsung sempurna. Setelah itu, didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Titrasi campuran tersebut dengan kalium ferrous sulfat (FAS) menggunakan indikator ferroin hingga warna



berubah dari hijau ke merah kecoklatan, serta catat volume FAS yang digunakan. Hitunglah nilai COD menggunakan persamaan berikut:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{Volume contoh uji (ml)}}$$

dengan pengertian:

A adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (ml)

B adalah volume larutan FAS, yang dibutuhkan untuk contoh uji (ml)

M adalah molaritas larutan FAS

8000 adalah berat miliequivalent oksigen x 1000 ml/L.

4.3.3.2.3 Pengamatan TSS (Total Suspended Solid)

Proses pengamatan TSS beracukan SNI 06-6989.3-2004 tentang cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri. Langkah-langkah cara uji TSS secara gravimetri dimulai dengan mengambil sampel air limbah dan menyaringnya menggunakan kertas saring atau membran yang telah diketahui bobotnya. Setelah penyaringan, kertas saring yang telah menampung padatan tersuspensi dikeringkan dalam oven pada suhu 103-105°C hingga beratnya konstan. Kertas saring kemudian didinginkan dalam desikator untuk mencegah penyerapan kelembaban dari udara. Timbang kertas saring yang telah dikeringkan untuk mendapatkan berat akhir. Hitung nilai TSS menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{mg TSS per liter} = \frac{A-B \times 1000}{\text{Volume contoh uji (ml)}}$$

dengan pengertian:

A adalah berat kertas saring + residu kering, mg;

B adalah berat kertas saring, mg.

4.3.3.2.4 Pengamatan Total Coliform

Langkah-langkah pengujian total coliform dimulai dengan mengumpulkan sampel air secara aseptik dalam wadah steril. Lakukan pengenceran seri jika sampel diharapkan memiliki konsentrasi bakteri yang tinggi. Siapkan medium kultur yang sesuai, yaitu Lactose Broth (LST) broth, dan tambahkan indikator seperti bromocresol purple medium. Inokulasikan sampel atau pengencerannya ke dalam tabung-tabung kultur pada suhu 35°C selama 24-48 jam. Perhatikan perubahan warna atau produksi gas, yang menunjukkan adanya coliform. Untuk konfirmasi, lakukan subkultur dari tabung positif ke



medium selektif seperti brilliant green bile broth (BGBB) dan inkubasikan kembali pada suhu 35°C selama 24-48 jam. Tabung yang menunjukkan produksi gas atau perubahan warna pada medium konfirmasi dianggap mengandung total coliform. Hitung jumlah total coliform berdasarkan jumlah tabung positif dan gunakan tabel Most Probable Number (MPN) untuk menentukan konsentrasi coliform dalam sampel air.

4.4 Hasil dan Pembahasan

Telah dilakukan pengaplikasian senyawa polifenol bahan alami dari limbah kulit pisang kepok (*Musa paradiaca*) terhadap air limbah domestik rumah tangga. Pengambilan senyawa polifenol dari limbah kulit pisang dilakukan dengan metode ekstraksi konvensional dan non-konvensional yaitu maserasi dan microwave. Proses pengaplikasian senyawa polifenol terhadap air limbah domestik rumah tangga dilakukan selama beberapa hari hingga menghasilkan degradasi penurunan yang kontinyu pada parameter kunci baku mutu air limbah domestik dari aspek fisik, kimia, dan biologi.

4.4.1 Pengaruh Polifenol dalam Parameter Air limbah Domestik Rumah Tangga Pada Aspek Fisika, Kimia, dan Biologi

Pengamatan difokuskan pada aspek fisika, kimia, dan biologi dalam parameter baku mutu air limbah domestik No. P 68 Tahun 2016. Adapun penjabaran hasil yang diperoleh pada tiap-tiap parameter yaitu sebagai berikut:

4.4.1.1 Aspek Fisika (Parameter pH dan TSS)

Hasil pengamatan parameter pH dan TSS pada polifenol quarcetin dan katekin dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2

Tabel 4. Hasil Pengamatan Parameter pH Polifenol Kulit Pisang

Hari Pengamatan	Quarcetin (Maserasi)	Quarcetin Microwave	Katekin (Maserasi)	Katekin (Microwave)
1	7,42	7,42	7,42	7,42
2	7,42	7,42	7,42	7,42
3	7,41	7,41	7,41	7
4	7,4	7,4	7,41	7,3
5	7,42	7,42	7,41	7,3
6	7,42	7,45	7,41	7,3
7	7,42	7,45	7,41	7,3

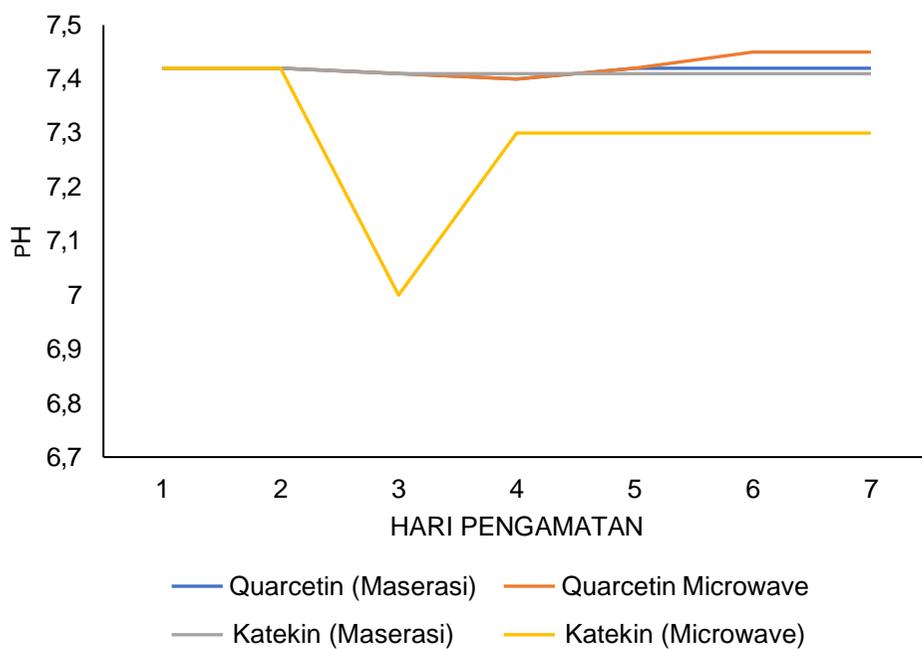


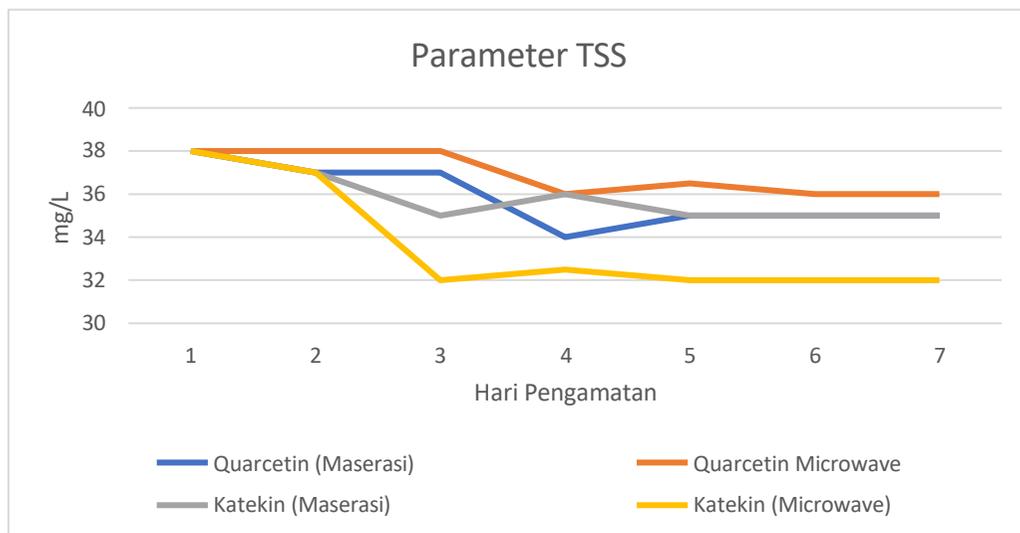
matan Parameter TSS Polifenol Kulit Pisang

Quarcetin (Maserasi)	Quarcetin Microwave	Katekin (Maserasi)	Katekin (Microwave)
----------------------	---------------------	--------------------	---------------------

1	38	38	38	38
2	37	38	37	37
3	37	38	35	32
4	34	36	36	32,5
5	35	36,5	35	32
6	35	36	35	32
7	35	36	35	32

Data mentah yang diperoleh selanjutnya diolah lebih lanjut dalam bentuk histogram dan grafik guna memudahkan proses pengamatan pengaruh polifenol terhadap air limbah domestik pada parameter pH, dan TSS. Adapun grafik yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.1





Gambar 4.1 Pengaruh polifenol pada aspek fisik terhadap air limbah domestik rumah tangga.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa polifenol baik quarcetin maupun katekin mampu menurunkan konsentrasi pH dan TSS. Waktu yang dibutuhkan senyawa quarcetin dalam menurunkan konsentrasi pH dan TSS sedikit lebih lama yaitu 4 hari sedangkan waktu yang dibutuhkan senyawa katekin dalam menurunkan konsentrasi pH dan TSS cenderung lebih cepat yaitu 3 hari. Namun, fenomena peningkatan konsentrasi air limbah juga terjadi setelah periode penurunan. Pada parameter pH air limbah yang direaksikan dengan senyawa polifenol quarcetin kembali meningkat pada hari ke-4. Air limbah mengandung zat-zat yang menyebabkan pH rendah (asam), misalnya asam-asam organik atau anorganik.

Mikroorganisme dalam air limbah dapat mengkonsumsi zat-zat ini melalui proses metabolisme. Seiring waktu, konsentrasi asam berkurang, dan jika ada proses lain yang menghasilkan basa (misalnya, deaminasi protein menghasilkan amonia), pH dapat mulai meningkat. Sementara itu, kenaikan nilai konsentrasi pada parameter TSS disebabkan oleh adanya proses re-suspensi atau pengendapan kembali zat-zat yang telah terdegradasi. Dalam konteks ini, senyawa polifenol seperti quercetin dan katekin dapat berinteraksi dengan mikroorganisme dalam air limbah, yang mungkin awalnya kemudian dapat kembali terlepas ke dalam larutan (Rahman, 2022).



ia (Parameter COD dan BOD)

ntan parameter COD dan BOD pada polifenol quarcetin dan pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Parameter COD Polifenol Kulit Pisang

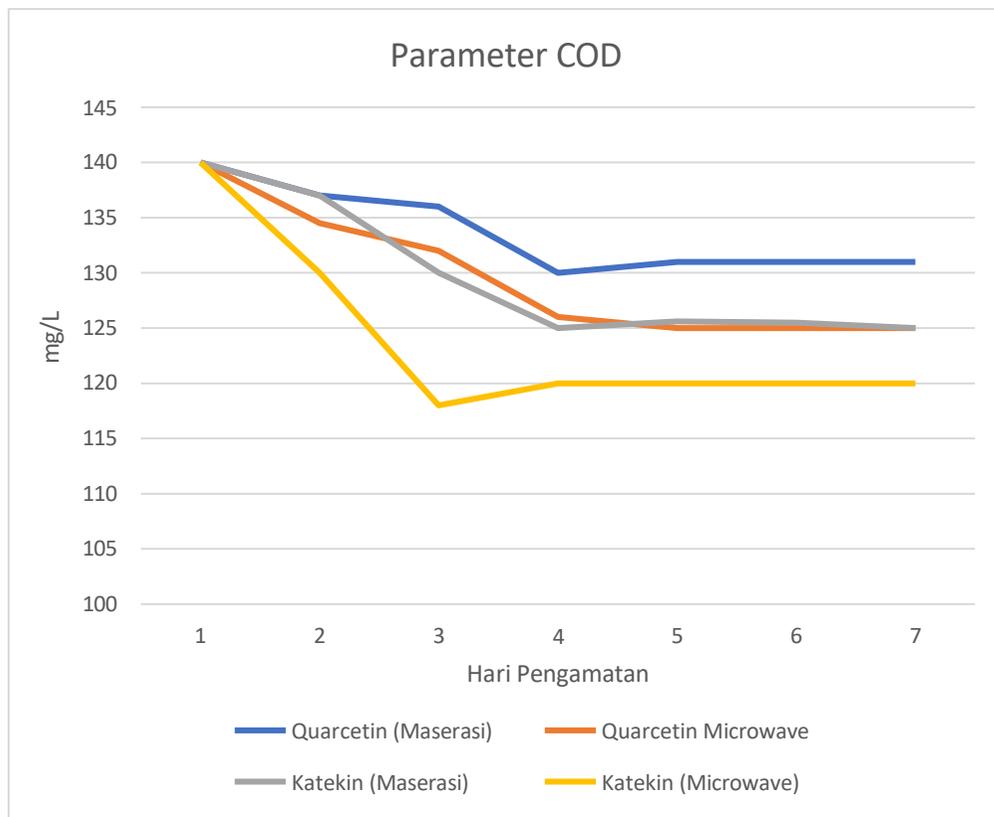
Hari Pengamatan	Quarcetin (Maserasi)	Quarcetin (Microwave)	Katekin (Maserasi)	Katekin (Microwave)
1	140	140	140	140
2	137	134,5	137	130
3	136	132	130	118
4	130	126	125	120
5	131	125	125,6	120
6	131	125	125,5	120
7	131	125	125	120

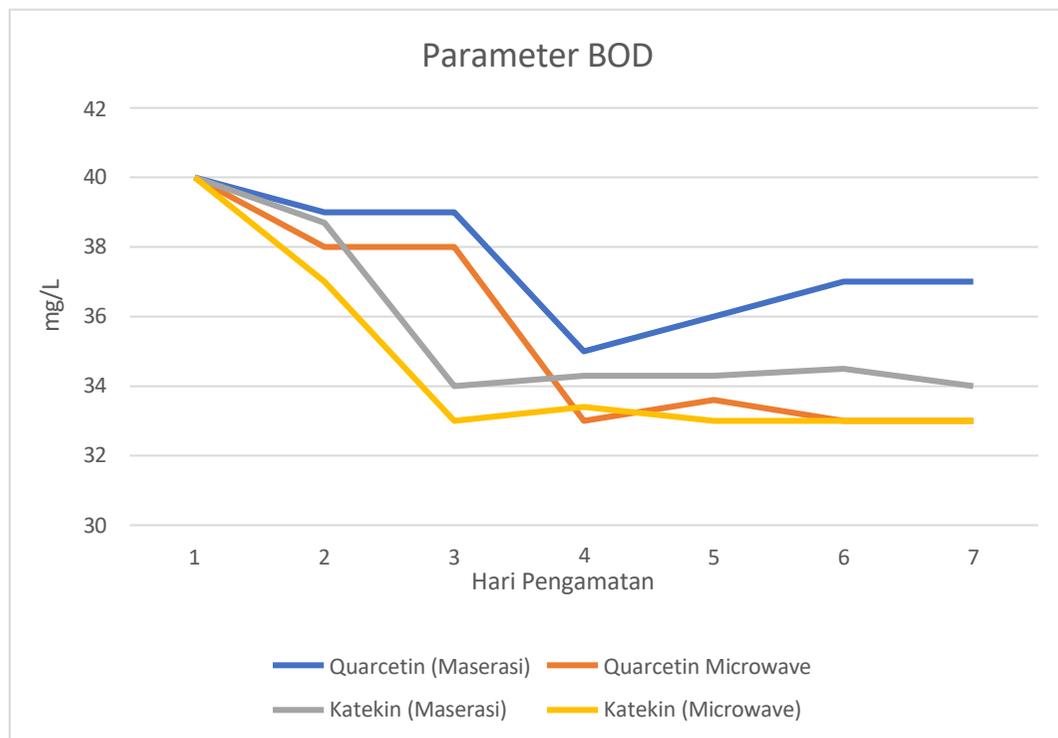
Tabel 4.4 Hasil Pengamatan Parameter BOD Polifenol Kulit Pisang

Hari Pengamatan	Quarcetin (Maserasi)	Quarcetin (Microwave)	Katekin (Maserasi)	Katekin (Microwave)
1	40	40	40	40
2	39	38	38,7	37
3	39	38	34	33
4	35	33	34,3	33,4
5	36	33,6	34,3	33
6	37	33	34,5	33
7	37	33	34	33

Data mentah yang diperoleh selanjutnya diolah lebih lanjut dalam bentuk grafik untuk memudahkan proses pengamatan pengaruh polifenol terhadap air limbah domestik pada parameter COD dan BOD. Adapun grafik yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.2.







Gambar 4.2 Pengaruh polifenol pada aspek kimia terhadap air limbah domestik rumah tangga.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa polifenol baik quarcetin maupun katekin mampu menurunkan konsentrasi COD dan BOD. Waktu yang dibutuhkan senyawa quarcetin dalam menurunkan konsentrasi COD dan BOD sedikit lebih lama yaitu 4 hari sedangkan waktu yang dibutuhkan senyawa katekin dalam menurunkan konsentrasi COD dan BOD cenderung lebih cepat yaitu 3 hari. Hasil peneliiian menunjukkan bahwa masing-masing senyawa polifenol yaitu quarcetin dan katekin memiliki potensi yang sangat menjanjikan dalam menurunkan konsentrasi COD dan BOD pada air limbah domestik rumah tangga. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh peranan senyawa polifenol dalam mengubah senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga memudahkan proses biodegradasi oleh mikroorganisme (Wadiana, 2023).



Terjadi fenomena peningkatan konsentrasi parameter COD pada air limbah yang senyawa polifenol katekin setelah melalui periode penurunan. Pada a polifenol katekin mendemonstrasikan kemampuannya dalam trasi Chemical Oxygen Demand (COD) secara efektif, yang adanya proses degradasi bahan organik dalam air limbah. Hal ini sifat antioksidan dari katekin yang mampu mengoksidasi senyawa

organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Namun, fenomena yang menarik terjadi ketika setelah periode penurunan konsentrasi, justru terjadi peningkatan nilai COD. Peningkatan ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme, seperti terjadinya dekomposisi senyawa katekin itu sendiri yang menghasilkan produk sampingan organik (Shahidi et al., 2019), atau adanya proses biotransformasi oleh mikroorganisme yang mengubah senyawa katekin menjadi metabolit sekunder yang berkontribusi pada peningkatan nilai COD (Madeira Junior et al., 2015).

Sementara itu, pada parameter BOD senyawa quercetin dari proses maserasi menunjukkan peningkatan nilai konsentrasi yang begitu signifikan setelah melalui periode penurunan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya saturasi pada senyawa quercetin yang menyebabkan penurunan efektivitas degradasi (Cunico et al., 2020), dan adanya interaksi antara quercetin dengan mikroorganisme indigenous dalam air limbah yang dapat menghasilkan metabolit sekunder (Taghinasab et al., 2020), sehingga berkontribusi pada peningkatan nilai BOD setelah periode penurunan awal.

4.4.1.3 Aspek Biologi (Parameter Total Coliform)

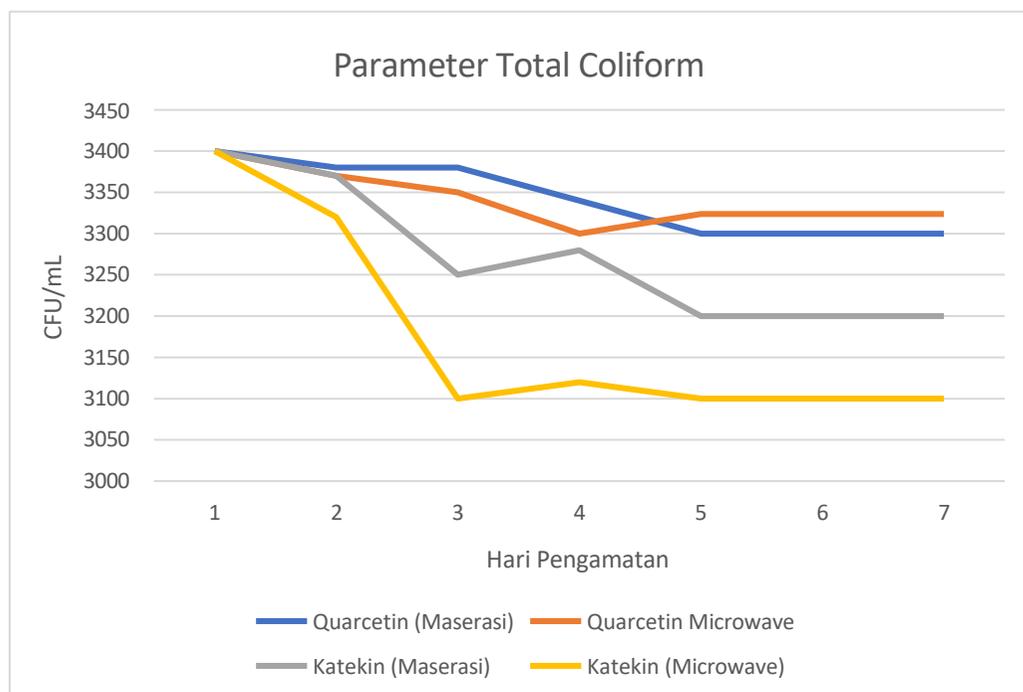
Hasil pengamatan parameter total coliform pada polifenol quercetin dan katekin dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 8. Hasil Pengamatan Parameter Total Coliform Polifenol Kulit Pisang

Hari Pengamatan	Quercetin (Maserasi)	Quercetin (Microwave)	Katekin (Maserasi)	Katekin (Microwave)
1	3400	3400	3400	3400
2	3380	3370	3370	3320
3	3380	3350	3250	3100
4	3340	3300	3280	3120
5	3300	3324	3200	3100
6	3300	3324	3200	3100
7	3300	3324	3200	3100

Data mentah yang diperoleh selanjutnya diolah lebih lanjut dalam bentuk grafik untuk memudahkan proses pengamatan pengaruh polifenol terhadap air limbah eter Total Coliform. Adapun grafik yang diperoleh dapat dilihat pada





Gambar 4.3 Pengaruh polifenol pada aspek biologi terhadap air limbah domestik rumah tangga.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa polifenol baik quarcetin maupun katekin mampu menurunkan konsentrasi total coliform. Waktu yang dibutuhkan senyawa quarcetin dalam menurunkan konsentrasi total coliform sedikit lebih lama yaitu 4 hari sedangkan waktu yang dibutuhkan senyawa katekin dalam menurunkan konsentrasi total coliform cenderung lebih cepat yaitu 3 hari. Penurunan ini dapat dijelaskan melalui mekanisme kerja senyawa polifenol yang memiliki sifat antimikroba, dimana quercetin dan katekin mampu merusak membran sel bakteri coliform melalui interaksi dengan protein membran dan lipid bilayer, sehingga menyebabkan kebocoran komponen intraseluler yang berujung pada kematian sel bakteri.

Namun, terjadi peningkatan konsentrasi total coliform setelah periode penurunan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, pertama; adanya kemampuan adaptasi dari bakteri yang tersisa terhadap senyawa polifenol yang mengakibatkan resistensi (Nancy et al., 2024). kedua, adanya kontaminasi sekunder atau pertumbuhan baru bakteri yang masih bertahan dalam kondisi lingkungan yang sekitarnya (Bodor et al., 2024), seperti ketersediaan nutrisi dan suhu yang mampu mengakibatkan pertumbuhan nilai konsentrasi total



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Telah dilakukan proses pengaplikasian senyawa polifenol dari bahan alami yaitu limbah kulit pisang kepok. Polifenol diperoleh menggunakan metode ekstraksi maserasi dan microwave. Adapun jenis polifenol yang diperoleh ialah flavonoid dan tanin yaitu quarcetin dan katekin. Keberagaman jenis polifenol disebabkan akibat variasi penggunaan jenis pelarut yaitu etanol dan DES. Pelarut jenis etanol menghasilkan polifenol jenis flavonoid yaitu quarcetin, sedangkan pelarut jenis DES menghasilkan polifenol jenis tanin yaitu katekin. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa konsentrasi ekstrak polifenol kulit pisang kepok berkisar antara 8,40 – 12,64%.

Selain itu, data pengaplikasian juga menunjukkan bahwa kedua senyawa ini memiliki potensi yang sama dalam mengolah air limbah. Senyawa polifenol tanin jenis katekin cenderung lebih efektif di bandingkan senyawa polifenol jenis flavonoid dikarenakan kemampuannya dalam menurunkan konsentrasi TSS, COD, BOD, dan total coliform hanya membutuhkan waktu 3 hari serta menghasilkan hasil yang kontinyu. Senyawa polifenol jenis katekin lebih efektif akibat struktur molekulnya yang lebih reaktif dan kemampuannya dalam berbagai mekanisme pengolahan. Hasil ini menunjukkan bahwa polifenol dari kulit pisang mampu mengolah air limbah domestik dalam mengurangi kadar polutan organik, meskipun nilai yang diperoleh masih mendekati baku mutu air limbah domestik No.P68 Tahun 2016. Penggunaan polifenol dari kulit pisang sebagai koagulan alami memberikan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berbiaya rendah dibandingkan dengan koagulan kimia konvensional yang dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, beberapa saran yang diajukan oleh penulis terhadap peneliti selanjutnya antara lain:

1. Penelitian lebih lanjut: Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai mekanisme



lasi polutan oleh polifenol kulit pisang, serta pengaruhnya terhadap lahan. Mengingat penelitian yang dilakukan hanya berfokus pada aspek mewakili aspek fisik, kimia, dan biologi. Selain itu, diperlukan untuk mengkombinasikan senyawa polifenol terhadap material nano

agar memperoleh hasil yang makin maksimal dalam menurunkan konsentrasi polutan yang terdapat pada air limbah.

2. Edukasi masyarakat: Perlu dilakukan sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat mengenai pentingnya pemanfaatan limbah organik, seperti kulit pisang, untuk mengatasi masalah lingkungan.

