BAB II
KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Monograf

Monograf merupakan salah satu bentuk karya ilmiah yang memiliki peranan signifikan dalam konteks akademik karena fokus pembahasannya yang sangat terarah pada satu isu atau topik tertentu. Secara etimologis, istilah monograf berasal dari bahasa Yunani, yaitu mono dan graph, masing-masing bermakna “tunggal” dan “menulis”, yang menunjukkan bahwa monograf dimaksudkan untuk menyajikan karya tulisan yang menelaah satu pokok bahasan secara komprehensif (Fatmawati, 2021).

Dalam ranah publikasi akademik, monograf dikategorikan sebagai karya ilmiah berbentuk buku yang memuat analisis mendalam terhadap suatu subbidang ilmu tertentu, berbeda dengan buku ajar yang umumnya bersifat lebih luas dan difungsikan sebagai materi pembelajaran umum bagi mahasiswa (Fatmawati, 2021).

Monograf merupakan bentuk publikasi ilmiah yang disusun berdasarkan hasil penelitian atau kajian ilmiah yang memiliki fokus dan kedalaman pada satu bidang tertentu. Ciri khas monograf terletak pada pembahasan yang terarah dan mendalam, berbeda dengan buku ajar yang cenderung lebih umum dan digunakan sebagai bahan pembelajaran dasar. Tujuan utama penulisan monograf adalah untuk menyebarluaskan hasil riset dan gagasan ilmiah sehingga dapat dimanfaatkan oleh kalangan

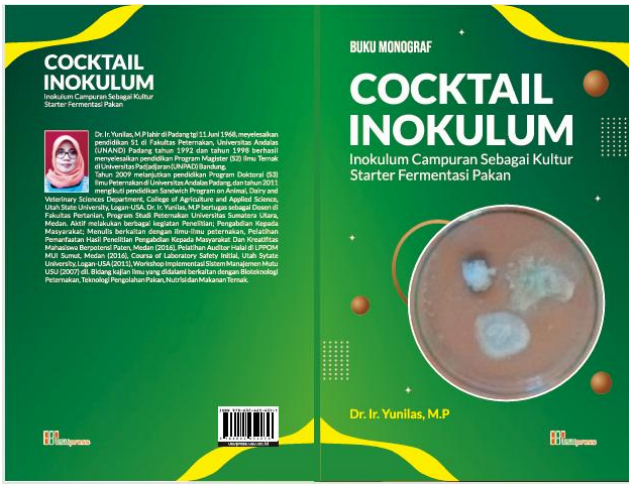
akademisi dan masyarakat ilmiah secara luas. Hal ini menunjukkan bahwa monograf bukan hanya sekadar kumpulan tulisan, tetapi merupakan media komunikasi keilmuan yang serius antara penulis dan pembaca ilmiah (Shaw et al., 2023).

Monograf merupakan salah satu bentuk karya ilmiah yang memiliki nilai penting dalam dunia akademik karena disusun dari hasil penelitian atau kajian yang fokus pada satu bidang tertentu. Melalui monograf, penulis dapat menggabungkan teori dengan hasil penelitian secara utuh sehingga menunjukkan kemampuan analisis dan pemahaman yang mendalam terhadap topik yang dibahas. Selain itu, monograf juga berperan sebagai sarana berbagi gagasan dan temuan ilmiah antarpeneliti secara lebih sistematis (Indihadi et al., 2025).

Keunggulan monograf juga terlihat dari kemampuannya dalam mengulas suatu permasalahan secara lebih luas dan mendalam. Penulis memiliki ruang yang cukup untuk menyajikan kajian pustaka yang lengkap, data pendukung, serta contoh atau studi kasus yang dapat memperjelas pembahasan. Hal ini membuat monograf menjadi sumber rujukan yang bermanfaat bagi dosen, peneliti, mahasiswa, maupun praktisi yang membutuhkan pembahasan ilmiah yang detail dan terstruktur (Fatmawati, 2021).

Namun demikian, monograf juga memiliki beberapa keterbatasan. Karena hanya membahas satu topik secara spesifik, monograf kurang sesuai bagi pembaca yang ingin memperoleh gambaran dari berbagai

topik dalam satu buku. Selain itu, proses penulisannya membutuhkan waktu yang cukup lama karena menuntut kajian pustaka yang luas dan analisis yang mendalam. Akibatnya, isi monograf berpotensi menjadi kurang relevan jika perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi berlangsung sangat cepat, terutama pada bidang-bidang yang bersifat dinamis seperti sains dan teknologi modern (Shaw et al., 2023).



Gambar 2. 1 Tampilan Monograf

Sumber: (Yulinas, 2022)

2. Biogas dan *Anaerobic Didestion*

a. Biogas

Biogas merupakan campuran beberapa jenis gas yang muncul karena penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen (anaerobik). Gas ini terbentuk melalui fermentasi limbah organik seperti kotoran ternak, sisa hasil pertanian, dan limbah rumah tangga, sehingga menghasilkan gas utama berupa metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), bersama sejumlah kecil gas lain

seperti hidrogen sulfida (H_2S), oksigen (O_2), karbon monoksida (CO), serta nitrogen (N_2) (Sihlangu et al., 2024).

Komposisi biogas pada umumnya didominasi oleh metana dan karbon dioksida karena kedua gas ini merupakan hasil utama dari proses anaerobik. Metana biasa berkisar antara sekitar 50–70% dari total volume biogas, sedangkan CO_2 berada di kisaran 30–50% berdasarkan penelitian terbaru yang komprehensif terhadap gas yang dihasilkan dari berbagai limbah organik. Di samping itu, biogas juga mengandung gas lain seperti H_2S dalam kadar kecil yang dapat memberikan bau tidak sedap dan sifat korosif jika tidak diolah lebih lanjut (Khaleel et al., 2024).

Kandungan metana sangat penting karena menentukan nilai energi biogas. semakin tinggi persentase metana, semakin besar potensi energi yang bisa dihasilkan. Sebagai contoh, metana murni memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga menjadikan biogas sebagai alternatif bahan bakar yang layak dibandingkan sumber energi fosil. Selain itu, biogas biasanya memiliki sifat fisik yang tidak berwarna dan dapat menghasilkan nyala api biru ketika dibakar, mirip dengan LPG (Sihlangu et al., 2024).

Tabel 2. 1 Komposisi Kandungan Secara Umum

No	Komponen	Presentase (%)
1	Metana (CH_4)	50 – 75%
2	Karbon dioksida (CO_2)	25-45%
3	Hydrogen (H_2)	1-5%
4	Nitrogen (N_2)	0-0,3%
5	Oksigen (0_2)	0,1-0,5%
6	Hydrogen sulfida (H_2S)	1-5%

Sumber : (Wardana et al., 2023)

Dari sisi karakteristik fisik, biogas memiliki massa jenis sekitar 20% lebih ringan dibandingkan udara, sehingga mudah menyebar dan aman digunakan selama sistem penyimpanannya tertutup rapat. Berdasarkan sifat tersebut, biogas dikategorikan sebagai energi terbarukan yang efisien, ekonomis, serta ramah lingkungan, dan berpotensi besar mendukung transisi menuju energi berkelanjutan.

b. Anaerobic Didestion

Pencernaan anaerobik atau *anaerobic digestion* merupakan proses alami ketika mikroorganisme menguraikan bahan organik tanpa adanya oksigen. Dalam proses ini, berbagai jenis limbah organik seperti kotoran ternak, sisa hasil pertanian, dan sampah rumah tangga diuraikan sehingga menghasilkan biogas. Biogas yang terbentuk umumnya didominasi oleh metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Teknologi ini dianggap ramah lingkungan karena tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga menghasilkan

sumber energi terbarukan yang memiliki nilai ekonomi dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan (Delavega-quintero et al., 2025).

Selain menghasilkan energi, teknologi pencernaan anaerobik juga berfungsi sebagai metode pengolahan limbah organik. Berbagai limbah seperti kotoran ternak, limbah pertanian, dan sampah organik rumah tangga dapat diolah melalui proses ini, sementara sisa hasil fermentasinya masih dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik karena mengandung unsur hara yang bermanfaat bagi tanah (Habib et al., 2025) Keberhasilan proses pencernaan anaerobik sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional seperti suhu, pH, rasio karbon dan nitrogen, serta lama waktu proses di dalam reaktor. Kondisi yang tidak stabil dapat menghambat aktivitas mikroorganisme dan menurunkan produksi metana (Habib et al., 2025).

Berdasarkan suhu kerjanya, sistem pencernaan anaerobik umumnya dibedakan menjadi sistem mesofilik dan termofilik. Sistem mesofilik lebih stabil dan banyak digunakan pada skala kecil hingga menengah, sedangkan sistem termofilik mampu mempercepat proses penguraian namun membutuhkan pengendalian suhu yang lebih ketat (Delavega-quintero et al., 2025).

3. Reaktor biogas

Reaktor biogas merupaakan Reaktor biogas merupakan perangkat yang dirancang untuk mengolah limbah organik seperti kotoran hewan, kotoran manusia, dan bahan organik lainnya menjadi biogas yang dapat

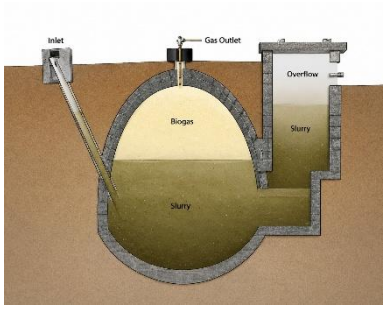
dimanfaatkan. Pada skala rumah tangga, biogas yang dihasilkan umumnya digunakan sebagai sumber energi alternatif, misalnya untuk bahan bakar memasak dan penerangan (Holewa-rataj et al., 2025). Salah satu reaktor biogas yaitu kubah tetap

1. Tipe kubah tetap (*fixed dome)*

   Reaktor biogas tipe fixed dome merupakan salah satu desain reaktor yang paling banyak digunakan, terutama di Indonesia dan beberapa negara berkembang lainnya. Reaktor ini dikenal memiliki kapasitas ruang yang permanen, sehingga volume total reaktor tidak berubah selama proses berlangsung. Secara umum, konstruksi reaktor fixed dome terdiri dari dua bagian utama, yaitu ruang pencernaan bahan organik (digester) dan kubah tetap yang berfungsi sebagai tempat penampungan gas hasil fermentasi anaerobic (Rukmi et al., 2022).

   Kubah pada reaktor *fixed dome* biasanya dibuat dari material bangunan seperti bata, beton, dan semen, sehingga memiliki kekuatan struktural yang baik dan mampu menahan tekanan gas. Selama proses pencernaan anaerobik berlangsung, biogas yang terbentuk akan terkumpul di bagian kubah. Seiring meningkatnya jumlah gas yang dihasilkan, tekanan di dalam kubah juga meningkat, sehingga gas dapat dialirkan melalui pipa untuk langsung dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Holewa-rataj et al., 2025).

Karakteristik utama dari reaktor ini adalah volume digester yang tetap, yang menyebabkan tekanan gas di dalam sistem berubah-ubah tergantung pada jumlah gas yang diproduksi. Ketika produksi gas meningkat, tekanan akan naik, dan sebaliknya akan menurun saat gas digunakan. meskipun sistem ini relatif sederhana dan memiliki biaya perawatan yang rendah, fluktuasi tekanan gas menjadi salah satu tantangan yang perlu diperhatikan dalam pengoperasiannya (Rukmi et al., 2022).



Gambar 2. 1 Reaktor biogas tipe kubah tetap

Sumber: (Yusmiati & Singgih, 2021)

Gambar 2. 2 Instalasi Biogas Tipe Kubah

Sumber: https://share.google/WoZI3xbx610vC60nF

4. *Slurry*

Slurry adalah campuran cair yang terdiri dari partikel padat (biasanya berupa serbuk halus) yang tercampur atau tersuspensi dalam cairan, umumnya air. Campuran ini memiliki konsistensi kental, seperti bubur encer, dan tidak sepenuhnya larut partikel padatnya tetap ada dalam bentuk suspensi. Menurut Naha et al., (2023), *Slurry* merupakan campuran antara kotoran hewan atau limbah organik dengan air yang diproses di dalam reaktor biogas. Selama berada di dalam reaktor, *slurry* mengalami penguraian oleh mikroorganisme anaerob sehingga menghasilkan biogas, terutama gas metana, serta sisa hasil fermentasi yang dikenal sebagai digestate atau bio-*slurry*. bio-*slurry* ini tidak hanya berperan sebagai sisa proses, tetapi juga memiliki nilai guna karena mengandung unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang bermanfaat bagi tanaman.

Slurry memiliki beberapa karakteristik khas yang membedakannya dari cairan biasa. Pertama, *slurry* terdiri dari dua fase, yaitu fase padat berupa partikel-partikel halus dan fase cair yang menjadi media pembawanya, biasanya air. Kedua, tingkat kekentalan *slurry* dapat bervariasi tergantung pada perbandingan jumlah padatan terhadap cairan; semakin banyak padatan yang tercampur, semakin kental pula *slurry* yang dihasilkan. Ketiga, meskipun kental, *slurry* umumnya masih dapat dipompa atau dialirkan melalui pipa, sehingga cocok digunakan dalam proses transportasi material di industri. Terakhir, jika *slurry* didiamkan

dalam waktu yang cukup lama tanpa pengadukan, partikel padat di dalamnya cenderung mengendap ke bagian bawah karena perbedaan massa jenis antara padatan dan cairan.

Dalam proses produksi biogas, kondisi *slurry* perlu diperhatikan secara cermat. Parameter seperti volume, tingkat keasaman (pH), dan suhu berpengaruh langsung terhadap aktivitas mikroba dan efisiensi pembentukan biogas. Pengendalian parameter tersebut penting untuk menjaga stabilitas proses fermentasi anaerobik dan mencegah penurunan produksi metana (Delavega-quintero et al., 2025).

Setelah proses fermentasi selesai, *slurry* yang tersisa memerlukan pengelolaan lanjutan agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Umumnya, *slurry* hasil biogas dimanfaatkan kembali sebagai pupuk organik. Bagian cair sering diolah menjadi pupuk organik cair (POC), sedangkan bagian padat dapat dikeringkan dan dimanfaatkan sebagai pupuk kompos atau pupuk padat. Secara umum, *slurry* biogas diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *slurry* cair dan *slurry* padat, yang masing-masing memiliki potensi pemanfaatan berbeda dalam bidang pertanian (Rathod et al., 2021).

Gambar 2. 3 Slurry

Sumber: https://surl.li/dmalgb, https://bertuahpos.com/lingkungan/selamat-tinggal-pupuk-kimia-bio-slurry-solusi-pertanian-masa-kini.html

5. Proses pembuatan biogas

1. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahap awal pencernaan anaerobik, ketika senyawa organik kompleks seperti karbohidrat, protein, dan lemak dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana. Proses ini dilakukan oleh bakteri hidrolitik melalui kerja enzim seperti selulase, protease, dan lipase sehingga menghasilkan senyawa terlarut seperti gula sederhana, asam amino, dan asam lemak (Kurniawan et al., 2024). Kecepatan hidrolisis sangat menentukan kelancaran proses selanjutnya karena senyawa hasil tahap ini menjadi bahan baku utama bagi tahap berikutnya (Sarlinda & Nurkhoiriyah, 2023).

2. Asidogenesis

Pada tahap asidogenesis, hasil hidrolisis kemudian difermentasi oleh bakteri asidogenik menjadi asam lemak volatil (VFA), alkohol, hidrogen (H_2), dan karbon dioksida (CO_2). Senyawa-senyawa ini menjadi substrat penting untuk tahap lanjutan, namun

penumpukan VFA atau amonia yang berlebihan dapat menurunkan pH dan mengganggu kestabilan proses biogas (Sasmita et al., 2022).

3. Asetogenesis

Tahap asetogenesis merupakan proses lanjutan ketika VFA rantai panjang seperti propionat dan butirat diubah menjadi asetat, CO_2, dan H_2. Proses ini melibatkan bakteri asetogenik yang bekerja sama secara sintrofik dengan mikroorganisme pengonsumsi hidrogen. Hubungan ini penting karena konsentrasi hidrogen yang terlalu tinggi dapat menghambat reaksi asetogenesis (Kakuk et al., 2021).

4. Metanogenesis

Metanogenesis adalah tahap akhir di mana mikroorganisme metanogen menghasilkan gas metana (CH_4) dari asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. Proses ini berlangsung dalam kondisi anaerob dan melibatkan kerja sama antara bakteri penghasil asam dan archaea metanogen. Hasil akhirnya berupa biogas yang umumnya mengandung sekitar 55–75% metana dan 25–45% karbon dioksida, serta sejumlah kecil gas lain seperti hidrogen (H_2), nitrogen (N_2), oksigen (O_2), dan hidrogen sulfida (H_2S) (Dewantara et al., 2024).

6. Faktor yang mempengaruhi produksi biogas

a. Suhu

Suhu memegang peranan penting dalam proses pembentukan biogas karena berpengaruh langsung pada aktivitas mikroorganisme anaerob. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu dapat

mempercepat reaksi fermentasi dan meningkatkan volume gas yang dihasilkan. Produksi biogas cenderung lebih tinggi pada kondisi termofilik dibandingkan mesofilik karena bakteri termofilik bekerja lebih aktif dalam menguraikan bahan organik (Rezeki et al., 2021). Selain itu, suhu yang lebih tinggi juga mempercepat kerja enzim sehingga proses penguraian senyawa organik menjadi metana berlangsung lebih efisien (Wisnu et al., 2022).

b. pH

pH berperan dalam menjaga keseimbangan proses biologis selama fermentasi anaerobik. Kondisi pH yang mendekati netral (sekitar 6–8) terbukti paling ideal untuk mendukung pertumbuhan bakteri metanogen. Pada tahap awal fermentasi, pH biasanya menurun akibat pembentukan asam lemak volatil, namun akan kembali meningkat seiring meningkatnya aktivitas mikroorganisme penghasil metana. pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat pembentukan metana dan menurunkan efisiensi produksi biogas (Rezeki et al., 2021).

c. Rasio C:N

Rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) menentukan keseimbangan nutrisi bagi mikroorganisme. Karbon berfungsi sebagai sumber energi, sedangkan nitrogen dibutuhkan untuk pertumbuhan sel mikroba. Rasio C/N yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat proses fermentasi. Berbagai penelitian

menunjukkan bahwa rasio C/N ideal untuk produksi biogas berada pada kisaran 20–30:1, karena pada rentang ini aktivitas mikroorganisme berada pada kondisi optimal (Nwokolo et al., 2020). Kombinasi bahan organik dengan sumber karbon dan nitrogen yang seimbang terbukti meningkatkan produksi metana (Cahyono & Nurhadi, 2023).

d. Komposisi substrat

Jenis dan komposisi bahan baku sangat memengaruhi jumlah serta kualitas biogas yang dihasilkan. Limbah organik seperti kotoran sapi sering digunakan karena mengandung mikroorganisme alami yang mendukung proses fermentasi. Namun, untuk hasil yang lebih optimal, kotoran ternak perlu dikombinasikan dengan bahan kaya karbon seperti limbah sayur atau jerami agar keseimbangan nutrisi tetap terjaga. Pencampuran substrat yang tepat dapat meningkatkan stabilitas proses dan mencegah penumpukan asam yang menghambat pembentukan metana (Nwokolo et al., 2020).

7. Karakteristik morfologi kapang

a. Karakteristik morfologi kapang

Kapang merupakan kelompok jamur multiseluler yang memiliki ciri khas struktur yang mudah dikenali baik secara makroskopis maupun mikroskopis. Secara umum, kapang membentuk benang-benang halus yang disebut hifa, yang saling bercabang serta berkembang menjadi struktur yang lebih kompleks

seperti miselium. hifa pada kapang biasanya berbentuk silindris dan dapat tumbuh memanjang serta bercabang untuk menyerap nutrien dari substrat (Mahardhika *et al.*, 2022). Pada pengamatan makroskopis, koloni kapang dapat dilihat dari permukaan media (seperti agar) berdasarkan warna, bentuk, dan tekstur koloni yang tumbuh. Warna koloni dapat bervariasi dari putih, keabu-abuan, kehijauan hingga hitam tergantung pada spesies dan fase pertumbuhan. Selain itu, tekstur permukaan koloni dapat tampak halus, berbulu, atau berjamur yang mencerminkan kepadatan miselium yang terbentuk (Mahardhika et al., 2022).

Selain itu, pada kapang seperti Rhizopus yang sering ditemukan pada fermentasi tempe, struktur mikroskopisnya meliputi hifa yang bercabang serta pembentukan sporangiofor yang menjulang ke atas dengan sporangium di ujungnya. Sporangium ini berisi spora aseksual yang berukuran kecil dan ringan sehingga mudah tersebar oleh udara. Struktur lain yang khas adalah rhizoid yang berfungsi sebagai “akar” untuk menambatkan kapang pada substrat dan menyerap nutrisi (Rosidah et al., 2023).

Karena struktur yang kompleks ini, pengamatan morfologi kapang sering dilakukan melalui pengamatan makroskopis (koloni) untuk memperoleh gambaran lengkap tentang karakteristik fisik kapang.

B. Kajian penelitian terdahulu

Penelitian mengenai penyusunan monograf berbasis riset isolasi dan karakterisasi k apang dari reaktor biogas tipe fixed dome bertumpu pada dua kajian utama, yaitu kajian mengenai keberadaan dan karakter kapang pada sistem reaktor biogas, serta kajian mengenai pengembangan bahan ajar berbasis riset dalam bentuk monograf. Kedua kajian tersebut saling melengkapi, karena data keanekaragaman dan karakteristik morfologi kapang yang diperoleh dari penelitian lapangan menjadi dasar substansi bagi penyusunan monograf sebagai produk akhir penelitian.

Menurut Fidela *et al.* (2024) melaporkan bahwa kapang seperti Aspergillus dan Rhizopus sering ditemukan dominan pada *slurry* biogas berbahan baku kotoran sapi, meskipun identifikasinya masih berbasis karakter morfologi. Hal serupa juga dikemukakan Dewi & Detiawan (2021) yang menemukan bahwa konsorsium kapang selulolitik berkontribusi terhadap efektivitas degradasi bahan organik dalam produksi biogas berbahan limbah tani dan ternak. Sementara itu, Obi et *al.* (2025) menegaskan bahwa komposisi komunitas fungi dalam digester anaerob sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan reaktor, seperti pH, suhu, dan interaksi dengan komunitas bakteri. Pendekatan isolasi dan identifikasi morfologi kapang secara konvensional juga digunakan pada objek limbah organik lain, sebagaimana dilakukan (Shofa et al., 2024) pada media pertumbuhan maggot Black Soldier Fly berbahan feses ternak. Pendekatan morfologi semacam ini masih relevan digunakan sebagai dasar pengenalan

keragaman kapang, meskipun objek dan konteksnya berbeda dari *slurry* reaktor biogas serta belum banyak dikembangkan lebih lanjut menjadi bahan ajar ilmiah.

Pada aspek kedua, penelitian yang secara khusus relevan dengan penyusunan monograf berbasis riset kapang adalah penelitian (Wanda et al., 2024) yang menyusun e-monograf berbasis riset uji potensi dan karakterisasi kapang pendegradasi pestisida karbofuran melalui pendekatan penelitian dan pengembangan (R&D). Penelitian tersebut membuktikan bahwa hasil karakterisasi kapang dapat diintegrasikan menjadi produk bahan ajar berbasis riset yang teruji validitasnya. Konsep monograf sebagai sarana publikasi hasil penelitian yang mengkaji satu topik secara mendalam, terstruktur, dan terfokus juga dikemukakan (Fatmawati, 2021). Sejalan dengan itu, Yulis (2024) menunjukkan bahwa modul bioteknologi lingkungan yang disusun berdasarkan hasil penelitian biodegradasi terbukti layak digunakan sebagai bahan ajar biologi, sehingga memperkuat gagasan bahwa temuan penelitian mikrobiologi lingkungan dapat dikembangkan menjadi sumber belajar kontekstual. Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan karena memadukan dua unsur sekaligus, yaitu isolasi dan karakterisasi morfologi kapang dari *slurry* reaktor biogas tipe fixed dome yang belum banyak dikaji di Indonesia, dengan penyusunan monograf berbasis riset sebagai produk akhir yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan ajar mikrobiologi lingkungan. Perbedaan dan persamaan penelitian ini

dengan penelitian-penelitian terdahulu secara ringkas disajikan pada Tabel 2.2 berikut.

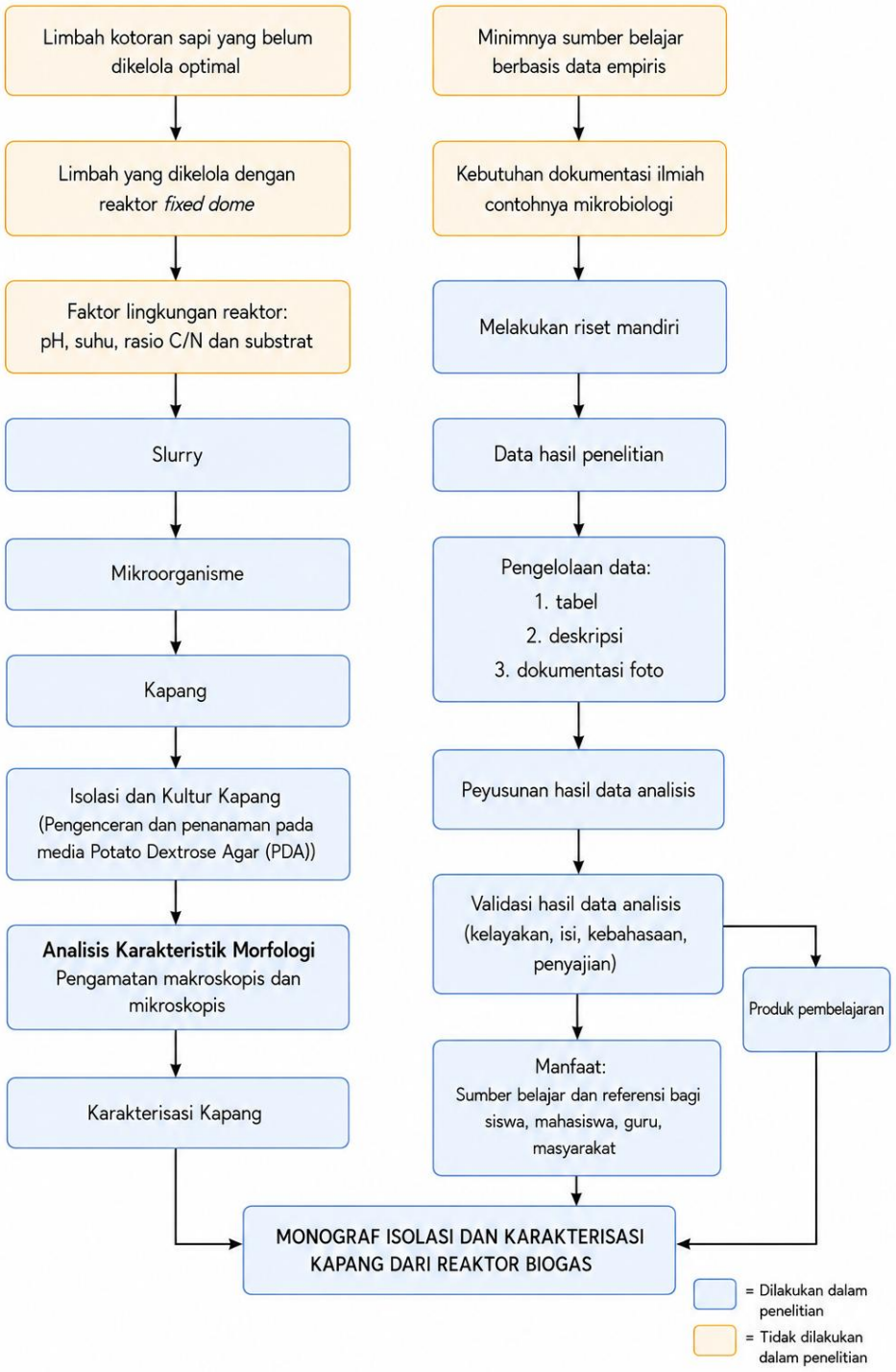
Tabel 2. 2 Penelitian yang Relevan

Nama Peneliti (Tahun)	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
(Fidela et al., 2024)	Pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan baku produksi biogas untuk pengendalian limbah peternakan	Proses fermentasi anaerob menghasilkan biogas, dengan kapang seperti Aspergillus dan Rhizopus ditemukan dominan pada *slurry*	Sama-sama mengkaji kapang pada *slurry* reaktor biogas berbahan baku kotoran ternak	Fokus pada aspek pengendalian limbah peternakan, bukan pada karakterisasi kapang atau penyusunan monograf
(Dewi & Detiawan, 2021)	Pemberdayaan masyarakat melalui pemanfaatan konsorsium kapang selulolitik dalam produksi biogas	Konsorsium kapang selulolitik terbukti mendukung proses degradasi bahan organik pada produksi biogas	Sama-sama mengkaji peran kapang selulolitik dalam sistem reaktor biogas	Berbasis program pengabdian kepada masyarakat, bukan penelitian isolasi dan morfologi kapang untuk bahan ajar.
(Dewi & Detiawan, 2021)	Pemberdayaan masyarakat melalui pemanfaatan konsorsium kapang selulolitik dalam produksi biogas	Konsorsium kapang selulolitik terbukti mendukung proses degradasi bahan organik pada produksi biogas	Sama-sama mengkaji peran kapang selulolitik dalam sistem reaktor biogas	Berbasis program pengabdian kepada masyarakat, bukan penelitian isolasi dan morfologi kapang untuk bahan ajar
(Obi et al., 2025)	Analisis dinamika komunitas fungi pada digester anaerob yang dibioaugmentasi bakteri	Komposisi komunitas fungi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan reaktor dan interaksi dengan komunitas bakteri	Sama-sama mengkaji keberadaan dan dinamika kapang/fungi dalam sistem digestasi anaerob	Pendekatan berbasis molekuler dan bioaugmentasi, sedangkan penelitian ini berbasis isolasi-morfologi konvensional dan diarahkan pada penyusunan monograf
(Shofa et al., 2024)	Isolasi dan identifikasi kapang serta	Diperoleh beragam genus kapang dan	Sama-sama menggunakan pendekatan	Sampel berasal dari media biokonversi

	khamir pada media pertumbuhan maggot Black Soldier Fly berbahan feses ternak, endapan susu, dan sampah organik dapur, berdasarkan karakter morfologi koloni	khamir (seperti Aspergillus, Penicillium, dan Rhizopus) yang teridentifikasi berdasarkan karakter morfologi koloni	isolasi dan identifikasi morfologi kapang dari limbah organik	maggot BSF, bukan *slurry* reaktor biogas fixed dome, dan tidak diarahkan pada pengembangan bahan ajar/monograf
(Vi, Wanda, 2024)	Penelitian dan pengembangan (R&D): uji potensi dan karakterisasi kapang, dilanjutkan penyusunan e-monograf	Dihasilkan e-monograf berbasis riset karakterisasi kapang yang dinyatakan valid sebagai bahan ajar	Sama-sama menyusun monograf berbasis riset karakterisasi kapang dengan pendekatan R&D	Kapang berasal dari uji potensi degradasi pestisida karbofuran dan produk berbentuk e-monograf, sedangkan penelitian ini mengkaji kapang dari *slurry* reaktor biogas fixed dome dengan produk monograf cetak
(Fatmawati, 2021)	Kajian konseptual mengenai monograf sebagai bentuk publikasi ilmiah hasil penelitian	Monograf merupakan sarana publikasi yang mengkaji satu topik secara mendalam, terstruktur, dan terfokus	Sama-sama menjadikan monograf sebagai produk akhir dari sebuah penelitian	Bersifat kajian konseptual/teoretis tanpa disertai data empiris lapangan seperti pada penelitian ini
(Anjarukmi et al., 2018)	R&D: penyusunan modul bioteknologi lingkungan berbasis riset biodegradasi pewarna nafthol	Modul bioteknologi lingkungan berbasis riset dinyatakan layak digunakan sebagai bahan ajar biologi SMA	Sama-sama mengembangkan bahan ajar berbasis riset pada bidang mikrobiologi/bioteknologi lingkungan	Produk berupa modul untuk jenjang SMA dengan tema biodegradasi pewarna, bukan monograf untuk jenjang mahasiswa dengan tema kapang biogas

C. Kerangka berfikir

Pendidikan di era abad ke-21 tidak lagi hanya menekankan penguasaan konsep secara teoretis, tetapi juga menuntut keterkaitan yang kuat antara ilmu pengetahuan, hasil penelitian, dan realitas lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan bahan ajar yang bersumber dari penelitian lapangan agar pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna. Kajian mengenai keanekaragaman kapang pada *slurry* reaktor biogas tipe *fixed dome* merupakan salah satu bentuk penelitian mikrobiologi lingkungan yang relevan, mengingat peran kapang dalam tahap awal penguraian bahan organik melalui aktivitas enzimatik. Temuan penelitian terkait jenis, jumlah, dominansi, serta karakteristik morfologi kapang kemudian disusun dalam bentuk monograf berbasis riset. Penyusunan monograf ini diharapkan dapat menjadi sumber belajar yang aplikatif, menghubungkan teori dengan kondisi nyata, serta mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis dan analitis sesuai dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21.



Gambar 2.4 Kerangka Berpikir