

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Hasil Penelitian**

Penelitian ini telah terlaksana dengan 2 jenis tahapan yaitu *preliminary research* (investigasi awal) dan *prototyping phase* (pembuatan prototipe). Tahapan *preliminary research* berisi evaluasi diri (*self evaluation*), analisis Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan hasil eksperimen pembuatan biogas dari kotoran sapi dan eceng gondok. Tahapan *prototyping phase* berisi pembuatan prototipe buku saku pemanfaatan kotoran sapi dan eceng gondok menjadi biogas, yang kemudian buku tersebut di tinjau oleh ahli (*expert review*) dan uji perorangan oleh mahasiswa (*one to one evaluation*).

##### 1. *Preliminary Research* (Investigasi Awal)

Pada tahapan *preliminary research*, peneliti melakukan analisis RPS pada mata kuliah pengetahuan lingkungan program studi tadaris biologi UIN Antasari Banjarmasin. Evaluasi diri (*self evaluation*) juga dilakukan pada tahapan eskperimen pembuatan biogas dari kotoran sapi dan eceng gondok, hal tersebut dilakukan untuk menelaah diri tentang apa yang kurang pada penelitian ini secara mandiri.

##### a. Analisis Rencana Pembelajaran Semester (RPS)

RPS merupakan sebuah dokumen yang memiliki fungsi untuk mencapai suatu pembelajaran dengan indikator yang harus dipenuhi oleh mahasiswa pada perkuliahan tersebut. RPS digunakan oleh dosen pengampu

mata kuliah untuk menjadi panduan/pedoman dalam pembelajaran semester berlangsung. Peneliti melakukan analisis terhadap RPS mata kuliah pengetahuan lingkungan program studi tadaris biologi UIN Antasari Banjarmasin.

Tabel 7. Hasil Analisis CPMK dan IPK

<b>Materi Pokok: Pencemaran Lingkungan</b>			
<b>Capaian Pembelajaran Mata Kuliah</b>	<b>Indikator Pencapaian Kompetensi</b>	<b>Materi</b>	<b>Konsep</b>
i. Mampu menerapkan penguasaan konsep pengetahuan lingkungan dalam merancang pembelajaran biologi dengan memanfaatkan IPTEKS serta sesuai dengan Standar Nasional Pendidikan, permasalahan di kelas dan sekolah, perkembangan peserta didik, dan karakteristik lingkungannya sehingga menghasilkan desain pembelajaran yang mendorong partisipasi aktif dan mengembangkan potensi setiap peserta didik	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa mampu menjelaskan jenis-jenis pencemaran lingkungan</li> <li>2. Mahasiswa mampu menjelaskan dampak pencemaran</li> <li>3. Mahasiswa mampu menjelaskan harga pencemaran</li> <li>4. Mahasiswa mampu menjelaskan pencemaran tanah</li> <li>5. Mahasiswa mampu menjelaskan pencemaran air</li> <li>6. Mahasiswa mampu menjelaskan pencemaran udara</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jenis-jenis pencemaran lingkungan</li> <li>2. Dampak pencemaran</li> <li>3. Pengelolaan limbah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pencemaran tanah</li> <li>2. Pencemaran udara</li> <li>3. Pencemaran air</li> <li>4. Ketidakstabilan ekosistem</li> <li>5. Pembuatan biogas dari kotoran sapi dan eceng gondok</li> </ol>

Berdasarkan hasil dari analisis RPS pada mata kuliah pengetahuan lingkungan di program studi Tadris Biologi UIN antasari Banjarmasin. Terdapat 6 Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) yang memuat jenis-jenis pencemaran lingkungan, dampak pencemaran lingkungan, harga pencemaran, pencemaran tanah, air dan udara yang harus dipelajari dan

dipahami oleh mahasiswa. Berdasarkan IPK yang ada pada RPS tersebut, materi yang berkaitan dengan IPK ada 3 yaitu jenis pencemaran lingkungan, dampaknya terhadap lingkungan serta pengelolaan limbah. Dari hasil analisis muncul sebuah konsep yang berkaitan dengan pengelolaan limbah lingkungan yaitu pembuatan kotoran sapi dan eceng gondok yang dikelola menjadi biogas serta hasil dari pengelolaan ini akan dijadikan sebagai sumber belajar berupa buku saku.

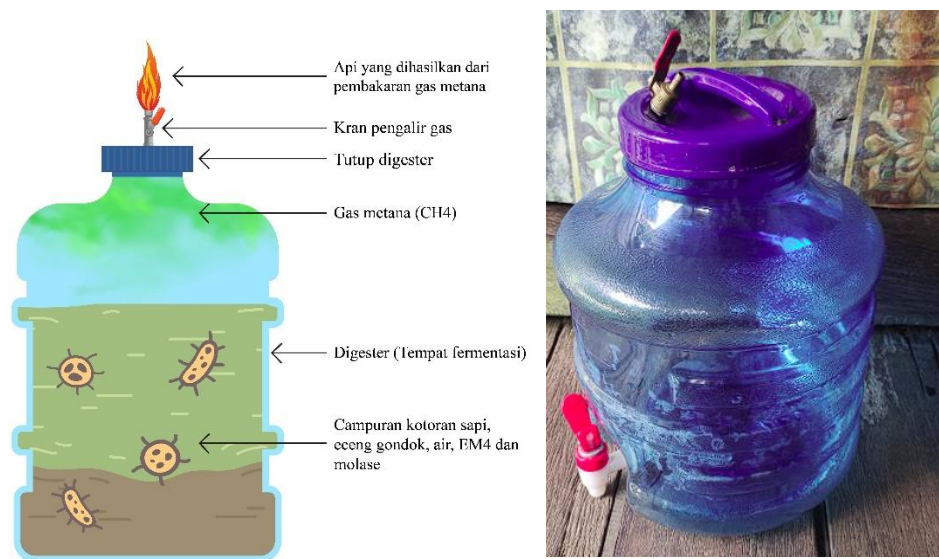
Kotoran sapi masih dibiarkan, ditumpuk dan dijadikan kompos, sementara eceng gondok masih banyak di sawah-sawah yang menutupi permukaan air. Hal ini merupakan sebuah permasalahan yang mampu mengganggu keseimbangan ekosistem, apabila kotoran sapi dan eceng gondok kalonya dikelola dengan baik bisa menjadi sumber daya energi alternatif yang mampu diperbaharui. Hal ini masih belum banyak orang yang mengetahui dan memanfaatkannya. Berdasarkan survei awal kepada mahasiswa biologi terdapat 52% dari mereka belum mencari informasi mengenai pengolahan biogas dari kotoran sapi dan ada 91% mereka belum pernah mencari informasi mengenai pengolahan biogas dari kotoran sapi dan eceng gondok. Minimnya literasi yang dimiliki oleh mahasiswa terkait pengolahan biogas dari kotoran sapi dan eceng gondok peneliti berinisiatif membuat kotoran sapi dan eceng gondok menjadi biogas sebagai sumber belajar berupa buku saku. Buku tersebut berisi materi dan runtutan tata cara pengolahan biogas yang bisa dipergunakan oleh mahasiswa untuk sumber belajar pada mata kuliah pengetahuan lingkungan.

b. Eksperimen

Tahapan penelitian selanjutnya yaitu melakukan eksperimen pembuatan biogas dari kotoran sapi dan eceng gondok yang meliputi dua tahapan yaitu pembuatan alat dan pembuatan biogas.

1) Pembuatan alat

Berikut ini merupakan skema hasil pembuatan alat untuk fermentasi biogas:



Gambar 6. Skema dan hasil pembuatan alat untuk biogas

Sumber: Dok. Pribadi (2024)

Rancangan alat yang sudah dibangun sebagai tempat fermentasi biogas terdiri dari komponen kran dan galon 12L. Cara pembuatan alat ini dengan melubangi pada bagian atas dari tutup galon, kemudian memasang kran pada tutup yang sudah dilubangi dan ditambahkan lem pada pinggiran kran agar tidak ada udara yang keluar. Isian bahan dalam digester itu disisakan ruang sebagai penampungan gas metana nantinya.

## 2) Pembuatan Biogas

Hasil eksperimen dari pembuatan kotoran sapi dan eceng gondok menjadi biogas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Hasil eksperimen dari pembuatan kotoran sapi dan eceng gondok menjadi biogas pada pengulangan I

Konsentrasi		Sampel Uji	Hari		
			0	14	21
I	Enceng gondok 50% (2,5 kg) Kotoran sapi 50% (2,5 kg) Air (4 liter) Starter EM4 (100 ml) Molase (100 ml)	Suhu	29,9°C	29°C	30,4°C
		Ph	3	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah
II	Enceng gondok 80% (4 kg) Kotoran sapi 20% (1 kg) Air (4 liter) Starter EM4 (100 ml) Molase (100 ml)	Suhu	29,1°C	29,7°C	30,2°C
		Ph	5	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah
III	Enceng gondok 20% (1 kg) Kotoran sapi 80% (4 kg) Air (2,5 liter) Starter EM4 (100 ml) Molase (100 ml)	Suhu	28,6°C	29,7°C	31,2°C
		Ph	5	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

Tabel 9. Hasil eksperimen dari pembuatan kotoran sapi dan eceng gondok menjadi biogas pada pengulangan II

Konsentrasi		Sampel Uji	Hari		
			0	14	21
I	Enceng gondok 50% (2,5 kg) Kotoran sapi 50% (2,5 kg) Air (4 liter) Starter EM4 (100 ml) Molase (100 ml)	Suhu	28,2°C	30,7°C	32,0°C
		Ph	6	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah
II	Enceng gondok 80% (4 kg) Kotoran sapi 20% (1 kg) Air (4 liter) Starter EM4 (100 ml) Molase (100 ml)	Suhu	28,3°C	31,9°C	32,7°C
		Ph	7	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah
III	Enceng gondok 20% (1 kg) Kotoran sapi 80% (4 kg) Air (2,5 liter) Starter EM4 (100 ml) Molase (100 ml)	Suhu	28,5°C	31,7°C	32,4°C
		Ph	7	-	3
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

## 2. Prototyping Phase (Pembuatan Prototipe)

### a. Prototipe I

Hasil eksperimen pembuatan biogas dari kotoran sapi dan eceng gondok kemudian dibuat menjadi sebuah produk buku saku yang dinamakan prototipe I.



Gambar 7. Produk Prototipe I  
Sumber: Dok. Pribadi (2024)

### b. Prototipe II

Hasil dari prototipe I dilakukan uji validasi kepada 3 dosen ahli (*expert review*) untuk mengoreksi dan menambahkan apa yang kurang dari aspek kebahasaan, materi dan media dengan 15 indikator penilaian serta uji validasi perorangan kepada 3 orang responden mahasiswa (*one to one evaluation*) yang sudah menyelesaikan mata kuliah pengetahuan lingkungan dengan mencakup 10 indikator penilaian.

1) *Expert Review*

Berdasarkan hasil uji validitas produk terdapat beberapa saran dan komentar dari para validator yang dicantumkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 10. Rekapitulasi saran dan komentar dari 3 validator pakar ahli (*expert review*)

No	Saran dan Komentar
1	Perbaiki cover lalu tambahkan penulis kedua dan editor
2	Penulisan kata bahasa inggris haru cetak miring
3	Angka romawi pada halaman awal harus huruf kecil
4	Paragraf terakhir pada bagian pendahuluan diperbaiki dan diparafrase
5	Gambar diperbesar
6	Cek penulisan kalimat dan pengutipan dengan benar
7	Perhatikan penulisan derajat
8	Pada pembuatan alat pakai kalimat aktif
9	Perhatikan penggunaan tanda baca
10	Sinopsis akhir harus interaktif
11	Data hasil penelitian jangan dicantumkan, tetapi pilih data yang terbaik saja
12	Perjelas materi yang ada di buku saku
13	Tambahkan pada bagian pendahuluan ayat suci Al-Quran
14	Perhatikan kaidah penulisan karya ilmiah
15	Tambahkan informasi menarik tentang biogas
16	Tambahkan sustainability dan dampak bagi lingkungan, keamanan, regulasi produk, pengembangan dan inovasi

Hasil uji validitas buku saku disesuaikan dengan referensi kriteria skala likert yang dimodifikasi menurut (Akbar, 2022). Angket validitas oleh ahli pakar mencakup 3 aspek penilaian yang terdiri dari 15 indikator penilaian.

Tabel 11. Rekapitulasi uji validiitas dari 3 validator pakar ahli  
(*expert review*)

No	Aspek	Persentase	Kategori Kevalidan
1	Kebahasaan	80%	Cukup valid
2	Materi	86,66%	Sangat valid
3	Media	80%	Cukup valid
Rata-rata		82,22%	Cukup valid

2) *One To One Evaluation*

Terdapat beberapa komentar dan saran untuk perbaikan buku saku yang dicantumkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 12. Rekapitulasi saran dan komentar dari 3 orang responden mahasiswa (*one to one evaluation*)

No	Saran dan Komentar
1	Produk sudah sangat baik, <i>step by step</i> nya di muat secara urut sehingga pembaca mudah memahaminya
2	Perlu diperhatikan lagi dalam penulisan kalimat sesuai dengan kaidah penulisan
3	Perbaiki penulisan yang typo
4	Perjelas tulisannya dan jangan terlalu ilmiah

Hasil uji validitas dari uji validitas kepada 3 orang responden mahasiswa (*one to one evaluation*) yang sudah menyelesaikan mata kuliah pengetahuan lingkungan dicantumkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 13. Rekapitulasi uji validiitas dari 3 orang responden mahasiswa (*one to one evaluation*)

No	Indikator Penilaian	Persentase	Kategori Kevalidan
1	Buku ini menggunakan bahasa yang baku dan dapat mudah dipahami oleh pembaca	75%	Cukup valid



2	Struktur kalimat yang digunakan mudah dipahami	75%	Cukup valid
3	Kata-kata dan ejaan dalam buku susai kaidah bahasa Indonesia yang tepat	83,33%	Cukup valid
4	Materi yang disajikan sesuai dengan judul yang diangkat	91,66%	Sangat valid
5	Materi disampaikan secara singkat, spesifik, dan jelas	91,66%	Sangat valid
6	Materi yang disajikan menarik dan mudah untuk dipahami bagi pembaca	75%	Cukup valid
7	Kesesuaian peletakan tulisan judul dan gambar	91,66%	Sangat valid
8	Warna tulisan dapat terbaca dengan baik	91,66%	Sangat valid
9	Desain buku menarik pembaca	91,66%	Sangat valid
10	Pemilihan jenis huruf yang digunakan menarik	91,66%	Sangat valid
Rata-rata		85,82%	Cukup valid

## B. Pembahasan

Limbah kotoran ternak sapi dan eceng gondok jika tidak dikelola dengan baik akan menjadi sebuah permasalahan bagi lingkungan di sekitar. Permasalahan terkait pencemaran lingkungan akibat limbah kotoran sapi dan eceng gondok juga menjadi isu umum yang belum dapat terpecahkan secara signifikan. Pencemaran limbah kotoran sapi dan eceng gondok dapat berdampak pada kualitas udara dan air bagi masyarakat peternak atau petani yang hidup berdampingan. Masyarakat yang hidup berdampingan dengan permasalahan kotoran sapi dan eceng gondok juga semakin terbiasa dengan bau menyengat di sekitar tempat tinggalnya.

Peneliti memberikan upaya untuk menangani permasalahan tersebut dengan cara mengolah kotoran sapi dan eceng gondok menjadi biogas guna mendapatkan energi alternatif tambahan untuk keperluan rumah tangga.

## 1. *Preliminary Research* (Investigasi Awal)

Pada tahapan investigasi awal memuat tahapan penelitian menganalisis RPS, melakukan eksperimen dan mengoreksi penelitian secara mandiri (*self evaluation*) yang penjabaran sebagai berikut:

### a. Eksperimen

#### 1) Pembuatan Alat

Setelah merancang skema alat biogas tahap selanjutnya yaitu membuat alat biogas menggunakan bahan-bahan yang sudah ditentukan berupa galon, kran besi dan lem. Galon yang digunakan untuk penampungan digester berukuran 12L alasan pemilihan galon ini karena dipasaran galon yang memiliki penutup galon bisa dibuka memiliki ukuran sebesar 12L maka dari itu peneliti memilih galon ini sebagai tempat fermentasi biogas nantinya. Pemilihan galon yang dipakai adalah jenis galon yang tutupnya bisa dibuka, galon jenis ini memudahkan untuk memasukkan isian biogas nantinya. Pada tutup galon dibuat lubang untuk memasukkan kran dan pada bagian sisi kran galon diberi lem untuk menutup rapat sisa bekas pemotongan yang tidak terlalu rapat. Selanjutnya kran yang dipakai adalah kran besi yang memiliki ketahanan dan kerapatan dalam menutup udara agar tidak ada yang keluar. Setelah semua komponen biogas sudah dirakit maka alat tersebut dapat digunakan untuk melakukan pembuatan biogas.

## 2) Pembuatan Biogas

Setelah alat sudah selesai dirakit, lalu peneliti melakukan uji coba alat sebelum digunakan untuk riset pengambilan data. Proses uji coba alat dengan memasukkan campuran antara kotoran sapi dan eceng gondok ke dalam galon (digester), terdapat kendala teknis di lapangan yang menyebabkan biogas tidak dapat menyala. Setelah dianalisis faktor penyebab permasalahan tersebut ternyata masih ada celah lubang kecil di bagian kran sehingga gas dapat keluar. Setelah dilakukan perbaikan dengan mengoleskan lem sampai tertutup rapat dan uji coba dilakukan kembali, pada awalnya pengamatan hanya memerlukan waktu selama 14 hari. Ketika memasuki hari ke-14 biogas tidak dapat menyala, setelah menganalisis dan mencari referensi waktu selama 14 hari fermentasi terlalu singkat karena aktivitas mikroba bisa ditandai dengan adanya peningkatan suhu di dalam digester. Biasanya peningkatan suhu terjadi menuju hari ke 8 sampai hari ke 21 (Wardana et al., 2021). Hal tersebut yang mendasari untuk memperpanjang tempo waktu pengamatan sampai hari ke 21.

Setelah memahami permasalahan tersebut dan dilakukan uji coba kembali dengan tempo waktu selama 21 hari. Waktu hari ke-21 ternyata biogas tidak dapat menyala juga. Setelah dilakukan analisis masalah dan mengkaji melalui literatur di internet dan jurnal-jurnal penelitian tentang biogas kotoran sapi dan eceng

gondok. Waktu digester dibuka ternyata isi yang ada di dalam hanya bagian atas saja membusuk pada bagian bawah masih dalam keadaan awal. Ternyata proses dekomposisi pada digester ini lambat sehingga memerlukan waktu fermentasi yang lama. Solusi untuk mengatasi hal tersebut maka eceng gondok dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil menggunakan blender *Chopper* untuk mempercepat proses pembusukannya serta ditambahkan mikroorganisme berupa EM4 untuk mempercepat proses dekomposisi fermentasi di dalam digester. Proses fermentasi memerlukan *starter* sebagai mikroorganisme yang akan ditumbuhkan dalam substrat sehingga *starter* bisa dikatakan sebagai pemicu untuk mempercepat proses fermentasi (Widari et al., 2020). Fungsi *starter* pada biogas ini memiliki peran pembantu dalam mempercepat proses fermentasi yang ada di dalam digester, *starter* yang digunakan pada penelitian ini adalah EM4 yang banyak dijual di pasaran. Penambahan *starter* EM4 diharapkan mampu mempercepat proses fermentasi biogas di dalam digester. Semua masalah sudah ditangani maka dilakukan uji coba kembali dan hasilnya biogas dapat muncul dengan sedikit api kecil. Uji coba ini berhasil tahap selanjutnya itu dilakukan riset penelitian kotoran sapi dan eceng gondok sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan.

Eskperimen pembuatan biogas dilakukan dengan tiga konsentrasi dari bahan pokok kotoran sapi dan eceng gondok

dengan perbandingan 50%:50%, 80%:20%, 20%:80%, air 4 L, *starter* EM4 100 ml dan molase (larutan gula) 100 ml. Pemilihan komposisi bahan ini diadaptasi dan dimodifikasi dari (Siswanto & Susanto, 2018) yang dimana menyatakan konsentrasi optimum eceng gondok dan kotoran sapi sebesar 25%:75%. Berdasarkan acuan konsentrasi yang sudah berhasil maka peneliti melakukan modifikasi penambahan sebesar 5% untuk mengetahui apakah hasil tersebut juga dapat mempengaruhi. Waktu fermentasi yang diperlukan selama 21 hari serta pengulangan sebanyak 2 kali yang diamati pada hari ke 14 dan 21.

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar dan dihasilkan melalui proses fermentasi melalui bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam keadaan tanpa oksigen). Pada penelitian ini menggunakan kotoran sapi dan eceng gondok yang difermentasi agar menjadi biogas. Setelah melalui proses menganalisis masalah di lapangan terkait kotoran sapi dan eceng gondok yang ada di lingkungan. Percobaan eksperimen dilakukan untuk mengetahui hasil dari solusi yang diberikan dalam memecahkan masalah tentang kotoran sapi dan eceng gondok.

a) Konsentrasi 50%:50%

Tabel 14. Hasil eksperimen konsentrasi 50%:50% eceng gondok dan kotoran sapi menjadi biogas pada pengulangan I

Konsentrasi	Sampel Uji	Hari			
		0	14	21	
I	50%:50%	Suhu	29,9°C	29°C	30,4°C
		Ph	3	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

Berdasarkan hasil dari eksperimen dengan perbandingan 50%:50% pada pengulangan ke I hari 0 pengukuran suhu pada digester sebesar 29,9°C dengan pH awal ada di angka 3. Memasuki di hari ke 14, pengukuran suhu di hari tersebut berada pada 29°C serta dilakukan pengamatan untuk menyalakan biogas dengan hasil pada hari ke 14 belum ada tanda-tanda keluar api pada lubang kran. Pada pengamatan di hari ke 21 dengan suhu berada pada 30,4°C, pH mengalami kenaikan yang ada di angka 4 dan waktu pengujian api ternyata menyala walaupun hanya sedikit api kecil yang keluar.

Tabel 15. Hasil eksperimen konsentrasi 50%:50% eceng gondok dan kotoran sapi menjadi biogas pada pengulangan II

Konsentrasi	Sampel Uji	Hari			
		0	14	21	
I	50%:50%	Suhu	28,2°C	30,7°C	32,0°C
		Ph	6	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

Pada pengulangan ke II dengan perbandingan 50%:50% di hari ke 0, suhu pada digester sebesar 28,2°C serta

ph yang ada diangka 6. Memasuki hari ke 14 pengukuran suhu ada di angka 30,7°C dengan tidak adanya api yang keluar melalui kran. Pada pengamatan hari ke 21 suhu pada digester sebesar 32°C dengan pH akhir yang dihasilkan diangka 4 serta timbul api yang kecil ketika pembakaran dilakukan.

Konsentrasi antara 50%:50% eceng gondok dan kotoran sapi pada pengulangan I suhu berada pada rentang 29,9°-30,4°C dan pada pengulangan II suhu berada pada rentang 28,2°-32,0°C, hasil suhu yang mendekati nilai optimum untuk konsentrasi 50%:50% eceng gondok dan kotoran sapi ada pada pengulangan II, karena temperatur yang optimal untuk digester berkisar pada 25-30°C (Prihatiningtyas et al., 2019). Hasil pH pada pengulangan I berada pada angka 3-4 dan pengulangan II berada pada angka 4-6, terdapat perbedaan pH yang signifikan. Adanya perbedaan pH tersebut dipengaruhi dari faktor proses fermentasi mikroba yang ada di dalam digester, asam organik dalam jumlah besar diproduksi oleh bakteri pembentuk asam, pH dalam digester dapat mencapai di bawah 5, keadaan tersebut cenderung menghentikan proses fermentasi (Saputra, 2021). Faktor tersebut yang mengakibatkan gas yang dikeluarkan sangat sedikit

Berdasarkan hasil konsentrasi antara 50%:50% eceng gondok dan kotoran sapi yang lebih mendekati nilai optimum ada pada pengulangan II. Sesuai dengan kenaikan maupun penurunan dari nilai pH akan membawa perubahan. Bakteri dalam membentuk CH<sub>4</sub> dapat aktif dalam rentang pH dari 7-9 (Rezeki et al., 2021). Temperatur yang optimal untuk *digester* berkisar pada 25-30°C (Prihatiningtyas et al., 2019). Hal inilah menjadikan pengulangan ke II mendekati optimum.

b) Konsentrasi 80%:20%

Tabel 16. Hasil eksperimen konsentrasi 80%:20% eceng gondok dan kotoran sapi menjadi biogas pada pengulangan I

Konsentrasi		Sampel Uji	Hari		
			0	14	21
II	80%:20%	Suhu	29,1°C	29,7°C	30,2°C
		Ph	5	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

Hasil yang didapatkan dari konsentrasi 80%:20% pada pengulangan I, di hari ke 0 suhu digester berada pada 29,1°C dengan pH awal ada diangka 5, memasuki hari ke 14 suhu berada pada 29,7°C dan waktu dilakukan pembakaran tidak muncul api. Pada pengamatan hari ke 21 dengan suhu digester berada pada 30,2°C dengan pH ada diangka 4 serta muncul api kecil waktu pembakaran dilakukan.



Tabel 17. Hasil eksperimen konsentrasi 80%:20% eceng gondok dan kotoran sapi menjadi biogas pada pengulangan II

Konsentrasi		Sampel Uji	Hari		
			0	14	21
II	80%:20%	Suhu	28,3°C	31,9°C	32,7°C
		Ph	7	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

Pada pengulangan II, di hari ke 0 suhu digester berada pada 28,3°C dengan pH diangka 7. Memasuki hari ke 14 suhu pada digester ada di 31,9°C serta tidak muncul api ketika dilakukan pembakaran. Pada hari ke 21 suhu digester sebesar 32,7°C dengan pH diangka 4 serta muncul api kecil ketika dilakukan pembakaran.

Konsentrasi 80%:20% eceng gondok dan kotoran sapi pada pengulangan I suhu berada pada rentang 29,1°-30,2°C dan pada pengulangan II suhu berada pada rentang 28,3°-32,7°C, hasil suhu yang mendekati nilai optimum untuk konsentrasi 80%:20% eceng gondok dan kotoran sapi ada pada pengulangan II, karena temperatur yang optimal untuk *digester* berkisar pada 25-30°C. Hasil pH pada pengulangan I berada pada angka 4-5 dan pengulangan II berada pada angka 4-7, terdapat perbedaan pH yang signifikan. Adanya perbedaan pH tersebut dipengaruhi dari faktor proses fermentasi mikroba yang ada di dalam digester dan *loading rate* (laju pengumpanan). *Loading rate* merupakan jumlah dari bahan

yang dimasukkan ke dalam digester per hari. Apabila terjadi pemasukan bahan yang berlebihan (*over load*), akan terjadi akumulasi asam dan produksi gas metana yang terganggu. Sebaliknya pula, ketika pengumpanan kurang dari kapasitas digester, produksi gas juga akan menjadi rendah. Hal ini selaras dengan proses fermentasi biogas hanya berjalan secara alami tidak ada penambahan ataupun pengurangan pada proses fermentasi ini. Agar proses fermentasi berjalan dengan optimal, perlu pengisian bahan organik yang berlanjut setiap harinya dengan memperhitungkan waktu tinggal dan volume digester pada digester. Faktor tersebut juga menyebabkan gas yang dikeluarkan sangat sedikit (Prihatiningtyas et al., 2019).

Berdasarkan perbandingan antara konsentrasi 80%:20% eceng gondok dan kotoran sapi yang mendekati nilai optimum ada pada pengulangan II. Sesuai dengan kenaikan maupun penurunan dari nilai pH akan membawa perubahan. Bakteri dalam membentuk  $\text{CH}_4$  dapat aktif dalam rentang pH dari 7-9 (Rezeki et al., 2021). Temperatur yang optimal untuk *digester* berkisar pada 25-30°C (Prihatiningtyas et al., 2019). Hal inilah menjadikan pengulangan ke II mendekati optimum.

c) Konsentrasi 20%:80%

Tabel 18. Hasil eksperimen konsentrasi 20%:80% kotoran sapi dan eceng gondok menjadi biogas pada pengulangan I

Konsentrasi		Sampel Uji	Hari		
			0	14	21
III	20%:80%	Suhu	28,6°C	29,7°C	31,2°C
		Ph	5	-	4
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

Hasil yang didapatkan dari konsentrasi 20%:80% pada pengulangan I di hari 0, suhu yang ada pada digester sebesar 28,6°C dengan pH yang ada diangka 5. Pada pengamatan hari ke 14 suhu pada digester sebesar 29,7°C dan waktu dilakukan pengujian pembakaran untuk mengetahui apakah ada atau tidaknya gas metana ternyata api belum muncul. Memasuki hari ke 21 suhu pada digester sebesar 31,2°C dengan pH yang ada diangka 4. Waktu dilakukan uji pembakaran ternyata muncul api yang kecil.

Tabel 19. Hasil eksperimen konsentrasi 20%:80% eceng gondok dan kotoran sapi menjadi biogas pada pengulangan II

Konsentrasi		Sampel Uji	Hari		
			0	14	21
III	20%:80%	Suhu	28,5°C	31,7°C	32,4°C
		Ph	7	-	3
		Warna Api	-	Tidak menyala	Menyala warna merah

Pada pengulangan II, suhu pada digester di hari ke 0 sebesar 28,5°C dengan pH yang ada diangka 7. Pada pengamatan di hari ke 14 suhu yang ada digester sebesar

31,7°C dan waktu pengujian pembakaran tidak mengeluarkan api. Pada hari ke 21 suhu di digester sebesar 32,4°C dengan pH yang ada diangka 3 serta muncul api yang kecil ketika dilakukan pembakaran.

Konsentrasi 20%:80% eceng gondok dan kotoran sapi pada pengulangan I suhu berada pada rentang 28,6°-31,2°C dan pada pengulangan II suhu berada pada rentang 28,5°-32,4°C, hasil suhu yang mendekati nilai optimum untuk konsentrasi 80%:20% eceng gondok dan kotoran sapi ada pada pengulangan II, karena temperatur yang optimal untuk *digester* berkisar pada 25-30°C (Prihatiningtyas et al., 2019). Hasil pH pada pengulangan I berada pada angka 4-5 dan pengulangan II berada pada angka 3-7. Pada konsentrasi 20%:80% adanya perbedaan pH yang signifikan karena hal itu dipengaruhi dari faktor proses fermentasi mikroba yang ada di dalam digester dan *loading rate* (laju pengumpanan). Bahan penghambat merupakan salah satu faktor juga mengapa gas yang dihasilkan sedikit karena bahan yang dapat itu menghambat pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme sehingga berpengaruh terhadap jumlah biogas yang dihasilkan seperti logam berat, tembaga, desinfektan, deterjen dan antibiotik (Sukmana & Muljatiningrum, 2016). Bahan penghambat tersebut bisa ada

ketika kotoran sapi bercampur dengan kandungan zat-zat yang ada itu sehingga gas yang dihasilkan tidak banyak dan maksimal

Hasil perbandingan antara kedua pengulangan, nilai yang mendekati optimum berada pada pengulangan ke II, karena kenaikan maupun penurunan dari nilai pH akan membawa perubahan terhadap hasil fermentasi yang ada di dalam digester. Bakteri dalam membentuk  $\text{CH}_4$  dapat aktif pada rentang pH dari 7-9 (Rezeki et al., 2021). Temperatur yang optimal untuk *digester* berkisar pada 25-30°C (Prihatiningtyas et al., 2019).

Faktor yang mempengaruhi dalam pembentukan biogas terletak ada pada suhu dan pH (Rezeki et al., 2021). Setiap kenaikan maupun penurunan dari nilai pH akan membawa perubahan. Bakteri dalam membentuk  $\text{CH}_4$  dapat aktif pada rentang pH dari 7-9, oleh sebab itu perlu dilakukan pengaturan pH sehingga biogas dapat diproduksi dengan maksimal (Rezeki et al., 2021). Temperatur yang optimal untuk *digester* berkisar pada 25-30°C (Prihatiningtyas et al., 2019). Suhu tersebut mampu membuat mikroorganisme dapat bekerja secara optimal dalam merombak bahan-bahan organik (Wardana et al., 2021), serta temperatur ini mengkombinasikan kondisi yang terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi metana di dalam *digester*. Bakteri juga

memerlukan asupan nutrisi untuk mereka tumbuh dan berkembang, molase (larutan gula) merupakan sumber karbon paling yang mudah diperoleh sehingga mempunyai potensi yang memadai sebagai media pertumbuhan mikroba. Penambahan EM4 pada biogas bertujuan untuk mempercepat proses fermentasi yang ada di dalam digester sedangkan molase sebagai sumber makanan untuk bakteri tersebut.

Pengulangan I dan II pada eksperimen biogas dilakukan pada bulan yang berbeda berturut-turut pada bulan september dan oktober sehingga mengalami perbedaan yang signifikan terhadap hasil fermentasi. Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Suhu yang tidak tetap pada digester dapat mempengaruhi kondisi kehidupan bakteri di dalamnya, apabila suhu terlalu tinggi maupun sebaliknya maka proses pembentukan biogas akan membutuhkan waktu lebih lama dalam menghasilkan gas metana (Yuliansyah et al., 2022).

Awal proses fermentasi pH akan mengalami penurunan, hal itu disebabkan oleh bakteri penghasil asam, hal ini menunjukkan bahwa adanya proses degradasi senyawa organik, pH yang lebih tinggi dari 8,5 akan berpengaruh negatif terhadap populasi bakteri metanaogen, sehingga hal tersebut mempengaruhi laju dari pembentukan biogas dalam reaktor (Saputra, 2021). Penambahan EM4 mampu menjaga keseimbangan pH pada angka

yang netral yaitu berkisar 6-7,5 (Saputra, 2021). Hal tersebut tidak menutup kemungkinan pH bisa naik ataupun turun.

Kecepatan dari pembentukan biogas dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya faktornya ada kecepatan fermentasi dari bahan organik, dengan penambahan larutan EM4 yang mampu mempercepat proses terjadinya fermentasi sehingga hal tersebut juga dapat memicu percepatan proses pembentukan biogas (Saputra, 2021). Bakteri berkembang dengan baik pada keadaan yang agak asam berkisar 6-7,5 dan pH tidak boleh di bawah 6. Karena kunci utama dalam kesuksesan operasional biodigester ini adalah dengan menjaga agar temperatur suhu dan pH agar konstan (tetap), perlunya melakuakn *loading rate* penambahan pokok berupa kotoran sapi dan eceng gondok yang dimasukkan ke dalam digester per hari serta meminimalisir zat penghambat yang tercampur dengan kotoran sapi dan eceng gondok.

Keterbatasan alat dalam penelitian ini merupakan faktor kenapa biogas yang dihasilkan tidak begitu maksimal, karena tidak dapat mengontrol suhu dan pH yang ada di dalam digester serta jumlah isian bahan yang terlalu sedikit, apabila ingin gas metan yang lebih banyak maka harus memperbanyak juga kuantitas jumlah isian agar menjadi lebih besar lagi. Hal inilah yang menyebabkan biogas yang keluar sedikit sekali. Dari hasil percobaan selama 2 kali pengulangan, pada pengulangan II dengan

konsentrasi 80%:20% eceng gondok dan kotoran sapi merupakan hasil yang optimum, karena suhu sudah mencapai nilai optimum untuk pertumbuhan bakteri di dalam digester yang berada pada rentang 28,3°-32,7°C, pH berada pada angka 4-7 dan biogas muncul api kecil. Keterbatasan alat dalam penelitian menyebabkan hasil dari biogas ini tidak maksimal.

## 2. *Prototyping Phase* (Pembuatan Prototipe)

### a. Prototipe I

Prototipe I merupakan hasil produk buku saku yang telah dibuat dan dievaluasi mandiri (*self evaluation*) dengan memperhatikan beberapa aspek yang ada di dalamnya, mulai dari cover, materi, tampilan dan juga keahasaanya sangat diperhatikan dalam pembuatanya. Buku yang sudah selesai ini juga dikonsultasikan kepada dosen pembimbing untuk menambahkan kekurangan ataupun kekeliruan yang ada sebelum dilakukan uji validasi kepada para ahli pakar dan mahasiswa.

### b. Prototipe II

Berdasarkan Hasil validasi dari ahli pakar (*expert review*) dan responden mahasiswa (*one to one evaluation*) memuat beberapa hal sebagai berikut.

#### 1) *Expert Review*

Hasil validitas dari 3 validator (*expert review*) telah memberikan beberapa saran dan perbaikan buku saku. Buku ini



kemudian ditinjau kembali untuk melakukan revisi sesuai dengan catatan yang telah diberikan oleh ketiga validator tersebut. Pemaparan tindak lanjut terhadap perbaikan buku saku dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 20. Rekapitulasi tindak lanjut saran dan komentar dari 3 validator pakar ahli (*expert review*)

No	Saran dan Komentar	Tindak Lanjut
1	Perbaiki <i>cover</i> lalu tambahkan penulis kedua dan editor	<i>Cover</i> sudah diperbaiki serta ditambahkan nama penulis kedua dan editor
2	Penulisan kata bahasa inggris haru cetak miring	Penulisan kata bahasa Inggris sudah diberi cetak miring
3	Angka romawi pada halaman awal harus huruf kecil	Penulisan angka romawai pada halaman sudah diperbaharui menjadi huruf kecil
4	Paragraf terakhir pada bagian pendahuluan diperbaiki dan diparafrase	Pada pragraf terakhir bagian pendahuluan sudah diperbaiki dan diparafrase
5	Gambar diperbesar	Gambar sudah diperbesar
6	Cek penulisan kalimat dan pengutipan dengan benar	Penulisan kalimat dan kutipan sudah ditinjau dan diperbaiki
7	Perhatikan penulisan derajat	Penulisan derajat sudah diperbaiki
8	Pada pembuatan alat pakai kalimat aktif	Penulisan pembuatan alat sudah diperbaiki menggunakan kalimat aktif
9	Perhatikan penggunaan tanda baca	Penggunaan tanda baca sudah diperbaiki
10	Sinopsis akhir harus interaktif	Sinopsis bagian akhir sudah diparafrase menjadi interaktif
11	Data hasil penelitian jangan dicantumkan, tetapi pilih data yang terbaik saja	Data hasil penelitian hanya dicantumkan hasil yang terbaik
12	Perjelas materi yang ada di buku saku	Materi pada buku saku sudah diperjelas

No	Saran dan Komentar	Tindak Lanjut
13	Tambahkan pada bagian pendahuluan ayat suci Al-Quran	Pada bagian pendahuluan sudah ditambahkan ayat suci Al-Qur'an
14	Perhatikan kaidah penulisan karya ilmiah	Kaidah penulisan karya ilmiah sudah diterapkan
15	Tambahkan informasi menarik tentang biogas	Informasi menarik tentang biogas sudah ditambahkan
16	Tambahkan <i>sustainability</i> dan dampak bagi lingkungan, keamanan, regulasi produk, pengembangan dan inovasi	Aspek <i>sustainability</i> dan dampak bagi lingkungan, keamanan, regulasi produk, pengembangan dan inovasi sudah diterapkan

Terdapat beberapa saran dan komentar oleh para pakar mengenai produk buku saku ini. Hal tersebut merupakan sebuah masukan untuk memperbaiki agar produk menjadi lebih baik lagi. Uji validitas dari para pakar yang meliputi 3 aspek yaitu kebahasaan, materi dan media serta ada 15 indikator penilaian. Aspek kebahasaan menunjukkan persentase 80% yang termasuk dalam kategori cukup valid, sesuai menurut (Akbar, 2022) yang menunjukkan apabila persentase 70,01%-85,00% termasuk dalam kriteria cukup valid. Pada aspek materi menunjukkan persentase 86,66% yang termasuk dalam kriteria sangat valid, hal ini sesuai menurut (Akbar, 2022) apabila 85,01%-100,00% itu menunjukkan kriteria sangat valid. Pada aspek media persentase menunjukkan 80% yang termasuk dalam kategori cukup valid, sesuai menurut (Akbar, 2022) yang menunjukkan apabila persentase 70,01%-85,00% termasuk dalam kriteria cukup valid. Materi biologi sulit dipahami jika tidak

didukung dengan data visual untuk merangsang otak manusia dalam mengingat dan memahami maksud dari sebuah konsep yang dipaparkan maka dari itu sangat penting untuk memvariasikan sebuah media pembelajaran salah satunya dengan penambahan aspek gambar pada buku saku (Suryanda et al., 2020). Berdasarkan hasil rekapitulasi uji validitas para pakar mendapatkan rata-rata persentase sebesar 82,22% yang termasuk dalam kategori cukup valid dengan keterangan produk tersebut dapat digunakan namun perlu revisi kecil. Keberhasilan pengembangan media buku saku tidak terlepas dari acuan yang digunakan dalam proses perancangan yaitu dirancang dengan memperhatikan konsistensi, format, organisasi, daya tarik, ukuran huruf, dan spasi kosong yang digunakan (Pas & Wardani, 2022).

## 2) *One To One Evaluation*

Hasil uji validitas oleh 3 orang mahasiswa (*one to one evaluation*) dengan 10 indikator penilaian. Terdapat beberapa saran dan komentar oleh responden yang sudah ditindak lanjuti yang dicantumkan pada tabel berikut ini.

Tabel 21. Rekapitulasi tindak lanjut saran dan komentar dari 3 responden mahasiswa (*one to one evaluation*)

No	Saran dan Komentar	Tindak Lanjut
1	Produk sudah sangat baik, <i>step by step</i> nya di muat secara urut sehingga pembaca mudah memahaminya	Produk sudah diperbaiki dan memuat secara sistematis bagi pembaca

No	Saran dan Komentar	Tindak Lanjut
2	Perlu diperhatikan lagi dalam penulisan kalimat sesuai dengan kaidah penulisan	Penulisan kalimat sudah diperbaiki sesuai pedoman penulisan ilmiah
3	Perbaiki penulisan yang <i>typo</i>	Penulisan <i>typo</i> sudah diperbaiki
4	Perjelas tulisannya dan jangan terlalu ilmiah	Penulisan sudah diperjelas

Berdasarkan hasil rekapitulasi uji validitas oleh 3 orang responden mahasiswa yang telah menyelesaikan mata kuliah Pengetahuan Lingkungan dengan meliputi 10 indikator penilaian yang mendapatkan rata-rata persentase sebesar 85,82% dengan kategori kevalidan cukup valid, kategori tersebut sesuai dengan validitas menurut (Akbar, 2022) apabila persentase menunjukkan 70,01%-85,00% maka dikategorikan cukup valid dengan catatan produk tersebut dapat digunakan namun perlu revisi kecil. Meskipun kategori buku ini sudah cukup valid, masih ada beberapa hal yang harus diperbaiki terutama dalam masalah penulisan sesuai dengan pedoman ilmiah, masih ada *typo* dan penulisan kurang jelas merupakan saran dan komentar yang diberikan oleh respon. Buku saku mempunyai nilai fungsi afektif, yang dipaparkan dalam bentuk penulisan rumus & penjelasan materi yang disertai gambar visual, hal tersebut dapat meningkatkan kenyamanan dalam belajar (Supit et al., 2021). Hal ini juga selaras dengan aspek kebahasaan yakni perlu diperhatikan dalam mendesain media grafis seperti penataan huruf, warna, gambar, tata letak dan background yang disesuaikan

dengan konsep tujuan, kemudian objek yang menarik akan memicu minat sebab adanya dorongan dan kecenderungan untuk menemukan, memperoleh atau mengeksplorasi dan merealisasikannya konsep materi (Iqbal et al., 2022). Semua saran dan komentar sudah dilakukan perbaikan demi menunjang agar kualitas produk yang dibuat sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.