

Rekonstruksi LKPD Fermentasi Alkohol Berbasis Diagram Vee Menggunakan Spirometer Syringe Sederhana

Ririn Mardiana Saputri ✉, Amprasto, Widi Purwianingsih, Bambang Supriatno, Kusnadi

Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

| ririnmardianasaputri@upi.edu ✉ | DOI : <https://doi.org/10.37729/jips.v7i1.7663> |

Article Info

Submitted

10/03/2026

Revised

23/04/2026

Accepted

18/05/2026

Abstrak – Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) praktikum fermentasi alkohol di sekolah cenderung bersifat prosedural dan memuat ketidaktepatan konsep sehingga kurang mendukung kegiatan inkuiri ilmiah. Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan LKPD fermentasi alkohol yang digunakan di SMA Negeri 1 Janapria, merekonstruksinya berdasarkan diagram Vee Novak dan Gowin, serta mengembangkan spirometer syringe sederhana sebagai alat pengukuran volume CO₂ yang lebih kuantitatif. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi rekonstruksi LKPD berbasis diagram Vee dengan penggunaan blanko biologis dan pengembangan spirometer Syringe sederhana untuk mendukung pengukuran kuantitatif hasil fermentasi alkohol. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-eksperimental melalui analisis LKPD, rekonstruksi perangkat praktikum, dan uji coba laboratorium. Data dianalisis secara deskriptif menggunakan rata-rata dan standar deviasi serta diuji menggunakan ANOVA satu arah. Hasil analisis menunjukkan bahwa LKPD awal memperoleh skor 44,4% sehingga memerlukan rekonstruksi, terutama pada aspek focus question, ketepatan konsep, dan transformasi data. Setelah rekonstruksi, skor kelayakan meningkat menjadi 100%. Uji coba menunjukkan bahwa volume CO₂ meningkat seiring bertambahnya konsentrasi gula, dengan perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($p < 0,001$), sedangkan blanko biologis menghasilkan volume yang dapat diabaikan sehingga mengonfirmasi bahwa gas yang terukur berasal dari aktivitas *Saccharomyces cerevisiae*. Penggunaan spirometer syringe memungkinkan pengukuran volume CO₂ secara lebih langsung dan kuantitatif dibandingkan metode balon konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LKPD hasil rekonstruksi berpotensi mendukung praktikum fermentasi alkohol berbasis inkuiri pada sekolah dengan fasilitas laboratorium terbatas. Fementasi perangkat dalam pembelajaran serta memvalidasi kinerja alat secara lebih komprehensif.

Kata kunci: Diagram Vee; Fermentasi alkohol; *Saccharomyces cerevisiae*; Spirometer syringe.

Abstract – Student worksheets (LKPD) for alcohol fermentation practical activities commonly used in schools tend to be procedural and still contain conceptual inaccuracies, thereby limiting opportunities for scientific inquiry. This study aimed to analyze the feasibility of an alcohol fermentation worksheet used at SMAN 1 Janapria, reconstruct it based on Novak and Gowin's Vee Diagram framework, and develop a simple syringe spirometer as a more quantitative tool for measuring CO₂ production. The novelty of this study lies in the integration of Vee Diagram-based worksheet reconstruction with the inclusion of a biological blank control and the development of a simple syringe spirometer to support quantitative measurement of alcohol fermentation products. A descriptive-experimental approach was employed through worksheet analysis, worksheet reconstruction, and laboratory testing. Data were analyzed descriptively using means and standard deviations and further examined using one-way ANOVA. The results showed that the original worksheet achieved a feasibility score of 44.4%, indicating the need for reconstruction, particularly in the aspects of focus question formulation, conceptual accuracy, and data transformation. Following reconstruction, the feasibility score increased to 100%. Experimental testing demonstrated that CO₂ volume increased with increasing sugar concentration, with significant differences among treatments ($p < 0.001$), while the biological blank produced negligible CO₂ volume, confirming that the measured gas originated from the activity of *Saccharomyces cerevisiae*. The syringe spirometer enabled more direct and quantitative measurement of CO₂ volume compared with the conventional balloon method. These findings suggest that the reconstructed worksheet has the potential to support inquiry-based alcohol fermentation practical work in schools with limited laboratory facilities.



Keywords: Vee diagram, Alcohol fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, Syringe spirometer

1. Pendahuluan

Praktikum biologi memiliki peran sentral dalam membangun pemahaman siswa tentang proses kehidupan melalui pengalaman langsung [1]. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada kualitas instrumen yang digunakan, termasuk Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). Studi oleh Supriatno [2] terhadap ratusan LKPD biologi di Indonesia menunjukkan bahwa sebagian besar dirancang sebagai panduan prosedural semata, tanpa memfasilitasi siswa membangun hubungan antara data empiris dan konsep ilmiah. Kondisi ini menempatkan siswa sebagai pelaksana instruksi, bukan sebagai subjek yang mengonstruksi pengetahuan. LKPD praktikum fermentasi alkohol yang dikembangkan SMA Negeri 1 Janapria, Lombok Tengah menjadi objek kajian dalam penelitian ini. Analisis awal dengan kerangka Diagram Vee Novak dan Gowin [3] menunjukkan skor 8/18 (44,4%), termasuk kategori tidak layak. Terdapat tiga masalah mendasar: (1) *focus question* yang tidak terukur dan tidak memuat variabel eksplisit; (2) kesalahan konsep biokimia, yaitu fermentasi alkohol dikaitkan dengan Siklus Krebs dan rantai transpor elektron yang sesungguhnya tidak terlibat dalam proses anaerob sitoplasmatik ini [4]; dan (3) data pengamatan yang sepenuhnya kualitatif sehingga tidak memungkinkan analisis laju fermentasi secara terukur.

Diagram Vee merupakan kerangka metakognitif yang mengeksplisitkan hubungan antara domain konseptual (teori, prinsip, konsep) dan domain metodologis (objek/peristiwa, pencatatan, transformasi, klaim pengetahuan) dalam kegiatan saintifik [3]. Penggunaan diagram Vee sebagai basis rekonstruksi LKPD telah terbukti meningkatkan kualitas kegiatan laboratorium dan membantu peserta didik menghubungkan aspek konseptual dan metodologis dalam membangun pengetahuan ilmiah [5],[6],[11]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa rekonstruksi LKPD berbasis diagram Vee mampu menghasilkan perangkat praktikum yang lebih sesuai dengan tuntutan kurikulum, mendukung konstruksi pengetahuan, serta meningkatkan kualitas pengalaman belajar peserta didik dalam kegiatan laboratorium [11-14]. Rekonstruksi berbasis diagram Vee mengubah LKPD dari dokumen prosedural menjadi alat bantu inkuiri yang lebih terstruktur.

Novelty penelitian ini terletak pada empat aspek: (1) rekonstruksi LKPD berbasis diagram Vee yang memperbaiki seluruh komponen secara sistematis; (2) penambahan blanko biologis sebagai kontrol untuk memverifikasi bahwa gas CO₂ bersumber dari aktivitas *Saccharomyces cerevisiae*; (3) pengembangan spirometer syringe sederhana dari bahan mudah diperoleh sebagai alat pengukuran volume CO₂ yang lebih kuantitatif dan praktis dibanding metode balon konvensional; dan (4) integrasi pengukuran kuantitatif dengan transformasi data grafik dan perhitungan laju produksi CO₂ sebagai proksi aktivitas fermentasi. Kombinasi keempat aspek ini belum pernah diterapkan dalam rekonstruksi LKPD fermentasi alkohol di tingkat sekolah menengah. Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji analisis dan rekonstruksi LKPD berbasis diagram Vee, sebagian besar penelitian masih berfokus pada evaluasi kualitas struktur LKPD dan konstruksi pengetahuan siswa [11-14]. Di sisi lain, praktikum fermentasi alkohol yang umum digunakan di sekolah masih didominasi pengamatan kualitatif menggunakan balon sehingga belum mendukung transformasi data dan penyusunan *knowledge claim* secara optimal. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan rekonstruksi LKPD berbasis diagram Vee dengan penggunaan kontrol biologis serta pengembangan alat ukur kuantitatif sederhana untuk fermentasi alkohol masih sangat terbatas. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait pengembangan LKPD fermentasi alkohol yang secara simultan mengintegrasikan kerangka Diagram Vee, blanko biologis, dan pengukuran kuantitatif volume CO₂ menggunakan alat sederhana yang mudah diterapkan di sekolah.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini dirancang untuk menjawab pertanyaan penelitian berikut: (1) bagaimana profil kelayakan LKPD fermentasi alkohol yang digunakan di SMA Negeri 1 Janapria berdasarkan komponen diagram Vee; (2) bagaimana karakteristik LKPD hasil rekonstruksi yang dikembangkan berdasarkan diagram Vee; (3) bagaimana kinerja *spirometer syringe* sederhana dalam mendukung pengukuran kuantitatif volume CO₂ pada praktikum fermentasi alkohol; dan (4) bagaimana peningkatan kualitas LKPD setelah dilakukan rekonstruksi.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-eksperimental. Tahap deskriptif digunakan untuk menganalisis kelayakan LKPD asli menggunakan rubrik diagram Vee yang diadaptasi dari Novak dan Gowin [3] dengan modifikasi Tamba dan Supriatno [6]. Tahap eksperimental digunakan untuk menguji prosedur LKPD rekonstruksi melalui praktikum fermentasi alkohol.

2.1. Analisis LKPD Asli

Instrumen analisis adalah rubrik diagram Vee dengan lima komponen: (1) *focus question* (skor maks. 3), (2) objek dan peristiwa (maks. 3), (3) teori dan konsep (maks. 4), (4) pencatatan dan transformasi data (maks. 4), dan (5) klaim pengetahuan (maks. 4). Total skor maksimum 18 poin. Kategori kelayakan mengacu pada Riduwan [7]: $\geq 80\%$ = layak, 60–79% = cukup layak, 50–59% = kurang layak, $< 50\%$ = tidak layak. Rubrik diagram Vee yang digunakan dalam penelitian ini diadaptasi dari Novak dan Gowin [3] serta dimodifikasi berdasarkan Tamba dan Supriatno [6]. Sebelum digunakan, rubrik ditelaah dan divalidasi melalui expert judgment oleh dosen ahli pendidikan biologi yang memiliki kompetensi dalam bidang pengembangan praktikum dan analisis LKPD. Hasil validasi menunjukkan bahwa seluruh komponen rubrik telah sesuai untuk digunakan dalam analisis dan rekonstruksi LKPD fermentasi alkohol.

2.2. Desain Eksperimen Uji Coba

Ujicoba dilakukan menggunakan tiga perlakuan konsentrasi gula: P1 (3 gr ragi, 0 gr gula, 100 mL air hangat $37 \pm 2^\circ\text{C}$) sebagai kontrol negatif; P2 (3 gr ragi, 5 gr gula, 100 mL air hangat) sebagai perlakuan pertama; P3 (3 gr ragi, 15 gr gula, 100 mL air hangat) sebagai perlakuan kedua; dan Botol D (0 gr ragi, 5 gr gula, 100 mL air hangat) sebagai blanko biologis. Setiap perlakuan (P1, P2, P3) dilakukan dalam tiga replikasi menggunakan spirometer syringe masing-masing untuk memperkuat reliabilitas data. Variabel bebas adalah konsentrasi gula (0 gr, 5 gr, dan 15 gr); variabel terikat adalah volume CO_2 yang terukur dari spirometer syringe (mL); variabel kontrol mencakup massa ragi, volume air, suhu, dan ukuran botol.

2.3. Pengembangan Spirometer Syringe Sederhana

Alat spirometer syringe sederhana dikembangkan dari bahan yang mudah diperoleh: syringe 25 mL bekas, selang infus, konektor tiga arah (*stopcock*), dan papan MDF sebagai dudukan. Gas CO_2 yang dihasilkan fermentasi dialirkan melalui selang menuju syringe yang telah dikosongkan; pergerakan piston mencerminkan akumulasi volume gas. Syringe dikalibrasi dengan memompa udara terukur menggunakan syringe lain bervolume diketahui. Alat ini memberikan pengukuran volume CO_2 yang lebih kuantitatif dan langsung terbaca dibanding metode estimasi geometri dari keliling balon. Foto alat dapat dilihat pada Gambar 1. Desain spirometer syringe sederhana dan prosedur penggunaannya juga dikonsultasikan kepada dosen ahli pendidikan biologi untuk memperoleh masukan terkait kesesuaian fungsi alat, keamanan penggunaan, dan penerapannya dalam kegiatan praktikum sekolah. Hasil konsultasi digunakan sebagai dasar penyempurnaan desain alat sebelum dilakukan uji coba laboratorium.

2.4. Pengumpulan dan Analisis Data

Data utama penelitian ini adalah volume CO_2 yang terbaca pada skala syringe (mL) setiap 5 menit selama 30 menit untuk masing-masing replikasi. Data pendukung berupa keliling balon (cm) diukur menggunakan benang dan penggaris sebagai observasi visual tambahan. Laju produksi CO_2 dihitung dari kemiringan grafik volume terhadap waktu (mL/menit). Data kualitatif dari uji air kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,1 M digunakan untuk memverifikasi identitas gas CO_2 melalui terbentuknya endapan putih CaCO_3 . Data dianalisis secara deskriptif menggunakan nilai rata-rata dan standar deviasi dari tiga replikasi. Untuk memperkuat interpretasi hasil, dilakukan uji ANOVA satu arah (*One-Way ANOVA*) pada taraf signifikansi 5% terhadap volume CO_2 pada menit ke-30 guna mengetahui perbedaan antar perlakuan konsentrasi gula.



Gambar 1. Spirometer Syringe Sederhana Untuk Mengukur Volume CO₂ Hasil Fermentasi Alkohol

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis LKPD Asli dan Peningkatan Skor Rekonstruksi

Hasil analisis menunjukkan bahwa LKPD asli memperoleh skor 8/18 atau 44,4%. Skor tersebut menunjukkan bahwa LKPD memerlukan rekonstruksi, terutama pada aspek pertanyaan fokus, teori dan konsep, serta pencatatan dan transformasi data. Perbandingan skor LKPD asli dan LKPD rekonstruksi disajikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Perbandingan Skor Komponen Diagram Vee LKPD Asli dan Rekonstruksi

Komponen	Skor LKPD Asli	Skor Rekonstruksi	Peningkatan
<i>Focus Question</i>	1 (33,3%)	3 (100%)	+2
Objek dan Peristiwa	2 (66,7%)	3 (100%)	+1
Teori dan Konsep	1 (25,0%)	4 (100%)	+3
Pencatatan dan Transformasi	2 (50,0%)	4 (100%)	+2
Klaim Pengetahuan	2 (50,0%)	4 (100%)	+2
Total	8/18 (44,4%)	18/18 (100%)	+10

Skor terendah pada LKPD asli terdapat pada komponen teori dan konsep karena adanya ketidaktepatan konsep. LKPD asli mengaitkan fermentasi alkohol dengan Siklus Krebs dan rantai transpor elektron, padahal fermentasi alkohol oleh *saccharomyces cerevisiae* berlangsung di sitoplasma melalui glikolisis, dekarboksilasi piruvat, dan reduksi asetaldehid menjadi etanol dengan regenerasi NAD⁺ [4]. Selain itu, *focus question* pada LKPD asli belum memuat variabel bebas dan terikat secara eksplisit, sehingga siswa tidak memperoleh arah yang jelas dalam mengumpulkan dan menafsirkan data.

Rekonstruksi dilakukan dengan merumuskan pertanyaan fokus yang terukur, meluruskan konsep fermentasi alkohol, menambahkan blanko biologis, serta mengubah data pengamatan dari deskriptif menjadi kuantitatif. Pada LKPD rekonstruksi, pertanyaan fokus dirumuskan menjadi: bagaimana pengaruh konsentrasi gula terhadap laju produksi CO₂ oleh *saccharomyces cerevisiae* yang diukur menggunakan spirometer syringe selama 30 menit pertama. Rumusan tersebut mengikat kegiatan praktikum pada hubungan antara variabel, data, dan klaim pengetahuan. Selain meningkatkan kualitas struktur LKPD, rekonstruksi berbasis diagram Vee juga berpotensi mengembangkan keterampilan ilmiah peserta didik. Melalui penyusunan *focus question*, pencatatan data kuantitatif, transformasi data dalam bentuk tabel dan grafik, serta penyusunan *knowledge claim*, peserta didik didorong untuk melakukan proses berpikir ilmiah secara lebih sistematis. Kegiatan tersebut tidak hanya menekankan keterampilan observasi, tetapi juga kemampuan interpretasi data, penalaran berbasis bukti, dan pengambilan kesimpulan ilmiah.

Penggunaan data kuantitatif hasil pengukuran spirometer juga membuka peluang integrasi literasi digital dalam pembelajaran. Data yang diperoleh siswa dapat diolah menggunakan perangkat lunak spreadsheet sederhana untuk menghasilkan grafik dan melakukan interpretasi pola hubungan antar variabel. Dengan demikian, LKPD hasil rekonstruksi tidak hanya mendukung keterampilan proses sains, tetapi juga berkontribusi terhadap pengembangan literasi data dan literasi teknologi peserta didik.

3.2. Data Volume CO₂ Spirometer Syringe

Data utama penelitian berupa volume CO₂ pada menit ke-30 yang terbaca langsung pada skala syringe. Setiap perlakuan diuji dalam tiga replikasi. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan laju produksi CO₂ disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Volume CO₂ (mL) Pada Menit ke-30

Perlakuan	Replikasi 1 (mL)	Replikasi 2 (mL)	Replikasi 3 (mL)	Rata-rata (mL)	SD
P1 (0 gr gula)	3,5	4,1	3,8	3,8	0,30
P2 (5 gr gula)	17,8	19,3	18,7	18,6	0,76
P3 (15 gr gula)	50,4	53,6	52,8	52,3	1,68
Blanko biologis (0 gr ragi)	0,6	0,8	0,7	0,7	0,10

Tabel 3. Hasil Uji ANOVA Satu Arah Volume CO₂ pada Menit ke-30

Sumber Variasi	JK	db	KT	F	P
Antar perlakuan	3653,58	2	1826,79	1617,16	< 0,001
Dalam perlakuan	6,78	6	1,13	-	
Total	3660,36	8	-	-	

Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan bahwa konsentrasi gula berpengaruh signifikan terhadap volume CO₂ yang dihasilkan selama fermentasi alkohol ($F(2,6) = 1617,16$; $p < 0,001$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi gula diikuti oleh peningkatan volume CO₂ yang berbeda secara nyata antar perlakuan. Temuan ini mendukung hasil pengamatan deskriptif yang menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi gula tertinggi menghasilkan volume CO₂ paling besar dibandingkan perlakuan lainnya. Temuan ini memperkuat hasil analisis deskriptif bahwa peningkatan konsentrasi gula berpengaruh terhadap aktivitas fermentasi *saccharomyces cerevisiae*. Secara biologis, peningkatan ketersediaan substrat menyediakan sumber karbon yang lebih besar bagi metabolisme khamir sehingga produksi CO₂ meningkat secara nyata.

Tabel 4. Laju Produksi CO₂ Rata-Rata Per Perlakuan

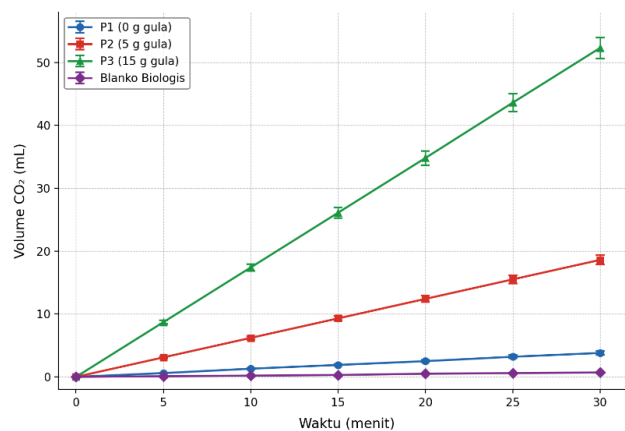
Perlakuan	Laju Produksi CO ₂ (mL/menit)	Keterangan
P1 (0 gr gula)	0,13	Aktivitas fermentasi sangat rendah
P2 (5 gr gula)	0,62	Fermentasi sedang, CO ₂ terdeteksi jelas
P3 (15 gr gula)	1,74	Laju fermentasi tertinggi
Blanko biologis (0 gr ragi)	0,02	Tidak ada fermentasi biologis yang berarti

Data pada Tabel 4 menunjukkan pola yang searah dengan konsentrasi substrat. P3 (15 g gula) menghasilkan volume CO₂ rata-rata 52,3 mL, jauh lebih tinggi dibanding P2 (18,6 mL) dan P1 (3,8 mL).

Blanko biologis menghasilkan volume yang dapat diabaikan (rata-rata 0,7 mL), mengkonfirmasi bahwa gas yang terukur pada perlakuan lain bukan berasal dari reaksi kimia non-biologis. Standar deviasi antar replikasi relatif kecil (0,10–1,68 mL), menunjukkan bahwa prosedur cukup konsisten untuk diulang oleh siswa.

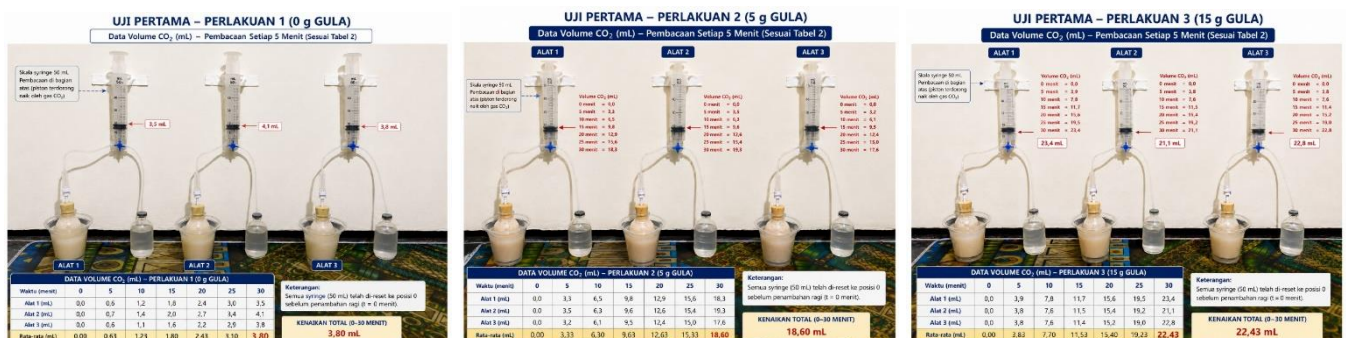
Peningkatan volume CO₂ seiring bertambahnya konsentrasi gula menunjukkan bahwa ketersediaan substrat berperan penting dalam mendukung aktivitas metabolisme *saccharomyces cerevisiae*. Pada proses fermentasi alkohol, glukosa diuraikan melalui jalur glikolisis menjadi piruvat yang selanjutnya dikonversi menjadi etanol dan CO₂. Semakin tinggi jumlah substrat yang tersedia, semakin besar peluang terjadinya reaksi enzimatik yang menghasilkan energi serta produk fermentasi berupa gas CO₂. Temuan ini sejalan dengan teori fermentasi alkohol yang menyatakan bahwa produksi CO₂ dapat digunakan sebagai indikator aktivitas fermentasi dan laju metabolisme khamir.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi gula dalam batas tertentu mampu meningkatkan laju fermentasi dan produksi CO₂ oleh *saccharomyces cerevisiae*. Selain menunjukkan pola biologis yang sesuai dengan teori, hasil ini mengindikasikan bahwa spirometer syringe sederhana mampu mendeteksi perbedaan respons fermentasi antar perlakuan secara konsisten. Dengan demikian, alat yang dikembangkan memiliki potensi untuk digunakan sebagai alternatif media praktikum kuantitatif pada pembelajaran fermentasi alkohol di sekolah. Hasil percobaan dapat ditunjukkan pada [Gambar 2](#).

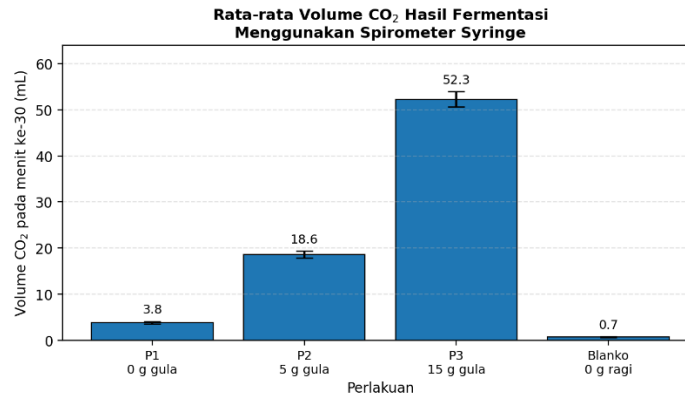


Gambar 2. Grafik Volume CO₂ Hasil Fermentasi Alkohol Diukur Menggunakan Spirometer Syringe.

[Gambar 3](#) merupakan pengukuran volume CO₂ menggunakan spirometer syringe pada perlakuan 1 (0 gr gula). Rata-rata volume CO₂ pada t₃₀ = 3,80 mL. Pengukuran volume CO₂ menggunakan spirometer syringe pada Perlakuan 2 (5 gr gula). Rata-rata volume CO₂ pada t₃₀ = 18,60 mL. Pengukuran volume CO₂ menggunakan spirometer syringe pada Perlakuan 3 (15 gr gula). Rata-rata volume CO₂ pada t₃₀ = 22,43 mL.



Gambar 3. Pengukuran Volume CO₂ Menggunakan Spirometer Syringe Pada Tiga Perlakuan



Gambar 4. Rata-Rata Volume CO₂ Pada Menit ke-30 Hasil Fermentasi Alkohol

Data pada [Gambar 4](#) menunjukkan peningkatan volume CO₂ seiring bertambahnya konsentrasi gula. P3 (15 gr gula) menghasilkan volume rata-rata tertinggi, yaitu 52,3 mL, diikuti P2 sebesar 18,6 mL dan P1 sebesar 3,8 mL. Blanko biologis menghasilkan volume rata-rata 0,7 mL sehingga dapat dianggap tidak menunjukkan aktivitas fermentasi biologis yang berarti. Nilai standar deviasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa alat spirometer syringe memberikan hasil pengukuran yang cukup konsisten antar replikasi.

3.3. Data Pendukung Keliling Balon

Keliling balon tetap dicatat sebagai data pendukung karena metode ini umum digunakan dalam praktikum fermentasi di sekolah. Data tersebut membantu siswa membandingkan metode visual konvensional dengan metode pengukuran volume yang lebih langsung menggunakan syringe. [Tabel 5](#) menunjukkan data keliling balon (cm) per interval waktu sebagai data observasi pendukung

Tabel 5. Data Keliling Balon (cm) per Interval Waktu Sebagai Data Observasi Pendukung

Waktu (menit)	P1 (0 g gula)	P2 (5 g gula)	P3 (15 g gula)	Blanko biologis
0	0	0	0	0
5	1,2	3,2	5,0	0,1
10	2,4	6,4	10,3	0,1
15	3,6	9,6	15,0	0,2
20	4,6	12,3	18,8	0,2
25	5,6	14,7	21,8	0,3
30	6,2	16,4	24,3	0,3

Tren keliling balon sejalan dengan data volume spirometer, yaitu P3 menunjukkan pertambahan terbesar, diikuti P2 dan P1. Namun, data balon tidak digunakan sebagai data utama karena estimasi volume gas dari keliling balon bergantung pada asumsi bentuk bola dan elastisitas balon. Sebaliknya, spirometer syringe memungkinkan pembacaan volume langsung dari skala alat sehingga lebih mudah diinterpretasikan siswa.

Rendahnya skor LKPD asli (44,4%) mencerminkan ketidakselarasan antara tujuan, prosedur, dan pencatatan data yang ada di dalamnya. Tanpa focus question yang jelas, kegiatan praktikum cenderung menjadi rutinitas mengamati balon mengembang tanpa arah analisis yang bermakna [8]. Rekonstruksi berbasis diagram Vee mengatasi masalah ini dengan menyusun kembali seluruh komponen secara koheren: dari *focus question*, dasar teori yang diluruskan, hingga transformasi data dan klaim pengetahuan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Tamba dan Supriatno [11] yang menunjukkan bahwa banyak LKPD praktikum biologi masih belum mampu menghubungkan aspek konseptual dan metodologis secara utuh sehingga siswa cenderung mengikuti prosedur tanpa memahami proses konstruksi pengetahuan yang mendasarinya.

Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa rekonstruksi LKPD berbasis diagram Vee dapat meningkatkan kualitas desain praktikum melalui penyelarasan antara focus question, transformasi data, dan *knowledge claim* [11-13]. Dengan demikian, peningkatan kualitas LKPD pada penelitian ini tidak hanya menunjukkan perbaikan struktur dokumen, tetapi juga memperkuat potensi LKPD sebagai sarana pengembangan penalaran ilmiah peserta didik.

Pola data volume CO₂ yang meningkat seiring konsentrasi gula konsisten dengan prinsip umum kinetika enzim, yaitu bahwa ketersediaan substrat memengaruhi laju katalisis hingga batas tertentu [9]. Laju produksi CO₂ pada P3 (1,74 mL/menit) sekitar 2,8 kali lebih tinggi dibanding P2 (0,62 mL/menit) dan jauh melampaui P1 (0,12 mL/menit). Aktivitas fermentasi yang tetap terdeteksi pada P1 (0 g gula) kemungkinan disebabkan oleh kandungan gula residual pada ragi instan dari proses pengeringan, bukan aktivitas fermentasi gula pasir. Blanko biologis menegaskan bahwa tanpa ragi tidak terjadi produksi CO₂ yang signifikan.

Spirometer syringe sederhana yang dikembangkan dalam penelitian ini memungkinkan pengamatan fermentasi dilakukan secara lebih kuantitatif menggunakan bahan yang murah dan mudah diperoleh. Penggunaan alat ini berpotensi membantu sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium untuk tetap melaksanakan praktikum berbasis inkuiri dan analisis data. Dibanding metode balon konvensional yang mengestimasi volume melalui geometri, spirometer syringe memberikan pembacaan langsung yang lebih mudah diinterpretasikan siswa tanpa memerlukan perhitungan matematika tambahan. Nilai standar deviasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil pengukuran antar replikasi cenderung konsisten. Namun, konsistensi tersebut belum dapat sepenuhnya digunakan sebagai dasar penetapan reliabilitas instrumen karena pengujian validitas dan reliabilitas formal terhadap alat belum dilakukan. Hasil ini memperkuat temuan berbagai penelitian terkini yang menekankan pentingnya penggunaan alat praktikum sederhana dan kontekstual dalam pembelajaran sains untuk meningkatkan aksesibilitas kegiatan laboratorium tanpa mengurangi kualitas pengalaman belajar siswa. Dalam konteks pendidikan biologi, ketersediaan data kuantitatif memungkinkan peserta didik melakukan interpretasi data, membangun argumen berbasis bukti, dan mengevaluasi hubungan antara variabel eksperimen secara lebih mendalam. Oleh karena itu, penggunaan spirometer syringe tidak hanya berfungsi sebagai alat pengukur volume CO₂, tetapi juga sebagai sarana untuk mendukung keterampilan proses sains dan literasi data yang menjadi tuntutan pembelajaran abad ke-21.

Penambahan blanko biologis merupakan aspek yang sering absen dalam LKPD fermentasi konvensional. Tanpa kontrol ini, siswa sulit membedakan apakah pengembangan balon atau pergerakan piston disebabkan oleh aktivitas ragi atau sebab lain seperti peningkatan suhu atau kelarutan gas. Data blanko biologis yang nyaris nol (rata-rata 0,7 mL) menjadi bukti empiris yang dapat langsung dikaitkan dengan konsep fermentasi oleh siswa, sesuai skema *knowledge claim* dalam diagram Vee [3]. Selain mendukung penyusunan *knowledge claim*, data kuantitatif yang dihasilkan spirometer syringe membuka peluang integrasi literasi digital (ICT literacy) dalam pembelajaran. Data hasil pengukuran dapat diolah menggunakan perangkat lunak spreadsheet sederhana untuk menghasilkan tabel, grafik, dan analisis tren sehingga siswa tidak hanya melakukan observasi, tetapi juga berlatih mengelola dan menginterpretasikan data digital. Aktivitas tersebut selaras dengan tujuan diagram Vee yang menekankan hubungan antara data empiris dan konstruksi pengetahuan ilmiah. Dengan demikian, LKPD hasil rekonstruksi berpotensi mendukung pengembangan keterampilan ilmiah sekaligus literasi data dan teknologi yang diperlukan dalam pembelajaran sains modern.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada belum dilakukannya uji implementasi di kelas untuk mengukur dampak LKPD rekonstruksi terhadap kemampuan inkuiri dan pemahaman konsep siswa. Selain itu, variasi konsentrasi gula yang digunakan masih terbatas pada tiga level. Penelitian lanjutan dapat memperluas rentang perlakuan, menambahkan variabel suhu, atau melakukan validasi alat spirometer oleh ahli instrumen untuk memperkuat klaim kelayakan alat. Meskipun menunjukkan kinerja yang baik dalam membedakan tingkat fermentasi antar perlakuan, spirometer syringe sederhana masih memiliki beberapa keterbatasan.

Faktor seperti gesekan piston, kemungkinan kebocoran pada sambungan selang, dan keterbatasan kapasitas volume syringe dapat memengaruhi akurasi pengukuran. Selain itu, alat belum dibandingkan secara langsung dengan instrumen laboratorium standar sehingga tingkat akurasinya belum dapat ditentukan secara kuantitatif. Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu dipandang sebagai tahap pengembangan awal yang masih memerlukan validasi lebih lanjut. Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada beberapa aspek. Pertama, menguji implementasi LKPD hasil rekonstruksi dalam pembelajaran biologi di kelas untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap keterampilan proses sains, kemampuan argumentasi ilmiah, dan hasil belajar peserta didik. Kedua, melakukan validasi spirometer syringe sederhana dengan membandingkannya terhadap instrumen laboratorium standar. Ketiga, mengembangkan variasi praktikum dengan faktor perlakuan lain, seperti jenis gula, suhu fermentasi, atau konsentrasi ragi. Keempat, mengintegrasikan pengolahan data digital untuk mendukung pengembangan literasi data dan keterampilan abad 21 peserta didik.

4. Kesimpulan

LKPD fermentasi alkohol yang digunakan di sekolah masih menunjukkan beberapa kelemahan pada aspek pertanyaan fokus, ketepatan konsep, dan transformasi data sehingga perlu dilakukan rekonstruksi. Rekonstruksi berbasis Diagram Vee berhasil menghasilkan LKPD yang lebih sesuai dengan prinsip pembelajaran inkuiri melalui integrasi pertanyaan ilmiah yang terarah, penggunaan blanko biologis, serta pengukuran kuantitatif menggunakan spirometer syringe sederhana. Penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan alternatif desain praktikum fermentasi alkohol yang tidak hanya menekankan pengamatan fenomena, tetapi juga mendukung konstruksi pengetahuan ilmiah melalui pengumpulan, analisis, dan interpretasi data. Secara praktis, LKPD hasil rekonstruksi dapat digunakan oleh guru biologi sebagai alternatif perangkat pembelajaran untuk melaksanakan praktikum fermentasi alkohol yang lebih bermakna, terutama pada sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium. Penggunaan spirometer syringe sederhana juga memungkinkan siswa memperoleh data kuantitatif yang dapat digunakan untuk melatih keterampilan berpikir ilmiah, literasi data, dan kemampuan menyusun klaim berbasis bukti. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menguji implementasi LKPD dalam pembelajaran di kelas serta memvalidasi kinerja alat secara lebih komprehensif.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pengampu mata kuliah Inovasi Praktikum Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Pendidikan Indonesia atas bimbingan dan masukan selama proses penyusunan artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] A. Hofstein dan V. N. Lunetta, "The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century," *Sci. Educ.*, vol. 88, no. 1, pp. 28–54, 2004.
- [2] B. Supriatno, "Pengembangan program perkuliahan pengembangan praktikum biologi sekolah berbasis ANCORB," Disertasi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 2013.
- [3] J. D. Novak dan D. B. Gowin, *Learning How to Learn*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [4] N. A. Campbell et al., *Biology: A Global Approach*, 12th ed. Hoboken: Pearson, 2021.
- [5] A. Hofstein et al., "The laboratory in science education," *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–18, 2023.
- [6] R. S. H. Tamba dan B. Supriatno, "Analysis and reconstruction of student worksheets based on vee diagrams of biotechnology concept," *Assimilation: Indonesian J. Biol. Educ.*, vol. 7, no. 2, pp. 109–120, 2024.
- [7] Riduwan, *Dasar-dasar Statistika*. Bandung: Alfabeta, 2016.

- [8] A. Abrahams dan R. Millar, "Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science," *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 30, no. 14, pp. 1945–1969, 2008.
- [9] L. Stryer, J. M. Berg, J. L. Tymoczko, dan G. J. Gatto, *Biochemistry*, 9th ed. New York: W.H. Freeman, 2019.
- [10] N. G. Lederman, "Nature of science: Past, present, and future," in *Handbook of Research on Science Education*, S. K. Abell dan N. G. Lederman, Eds. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2007, pp. 831–879.
- [11] Tamba, R. S. H., & Supriatno, B. (2024). Analysis and reconstruction of student worksheets based on vee diagrams of biotechnology concept. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 7(2), 109–120.
- [12] Saputra, A. D., & Supriatno, B. (2024). Revolutionizing learning: Enhancing student worksheets on plant tissue structure through vee diagrams in alignment with the Merdeka Curriculum. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 7(1).
- [13] Zahrani, N. P., Supriatno, B., & Purwianingsih, W. (2025). Analisis dan Rekonstruksi LKPD Uji Kandungan Urin: Kajian Kurikulum, Struktural, Kepraktisan, dan Konseptual Berbasis Diagram Vee. *Jurnal Riset dan Inovasi Pembelajaran*, 5(2).
- [14] Qisthi, N., & Supriatno, B. (2023). Analisis dan Rekonstruksi Desain Kegiatan Laboratorium Berbasis Diagram Vee pada Materi Pertumbuhan dan Perkembangan. *JlIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(12), 10109–10113.
- [15] Handyanie, Y., Anggraeni, S., & Supriatno, B. (2020). Analisis Lembar Kerja Siswa Praktikum Struktur Darah Berbasis Diagram Vee. *BIODIK*, 6(3), 361–371.