



## Analisis Pemahaman Konsep IPA Melalui Kegiatan Praktikum Fotosintesis Berbantuan Media Hydrilla Pada Siswa Sekolah Dasar

Rakha Yuda Pratama<sup>1</sup>, Sirojul Fuadi<sup>2</sup>, Endang Wahyuni<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Sekolah Tinggi Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Al-Maksum Langkat. Indonesia

[mantaprakha327@gmail.com](mailto:mantaprakha327@gmail.com)<sup>1</sup>, [sirojulalmaksum@gmail.com](mailto:sirojulalmaksum@gmail.com)<sup>2</sup>, [endangwahyuni7395576@gmail.com](mailto:endangwahyuni7395576@gmail.com)<sup>3</sup>

### Abstrack

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemahaman konsep IPA siswa Sekolah Dasar (SD) mengenai proses fotosintesis melalui kegiatan praktikum berbantuan media *Hydrilla verticillata*. Rendahnya pemahaman siswa SD terhadap konsep abstrak seperti fotosintesis mendorong perlunya inovasi pendekatan pembelajaran berbasis hands-on yang kontekstual dan mudah diamati. Pendekatan yang digunakan adalah deskriptif kualitatif untuk melihat bagaimana siswa memahami hubungan antara variabel lingkungan dengan aktivitas fotosintesis secara langsung. Praktikum dilakukan dengan melibatkan siswa dalam pengamatan empat kondisi lingkungan: (1) cahaya tanpa  $\text{NaHCO}_3$ , (2) cahaya dengan  $\text{NaHCO}_3$ , (3) tanpa cahaya tanpa  $\text{NaHCO}_3$ , dan (4) tanpa cahaya dengan  $\text{NaHCO}_3$ . Pengamatan dilakukan secara berkala selama lima interval waktu, dan laju fotosintesis dinilai berdasarkan ada tidaknya gelembung oksigen serta kondisi fisik tanaman secara visual. Hasil menunjukkan bahwa hanya kombinasi cahaya matahari langsung dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  yang menghasilkan aktivitas fotosintesis terdeteksi secara visual, ditandai dengan munculnya gelembung oksigen secara progresif dari interval menengah hingga menengah-akhir. Kondisi tanpa cahaya, baik dengan maupun tanpa  $\text{NaHCO}_3$ , tidak mampu menghasilkan fotosintesis sejati. Gelembung yang muncul pada kondisi tanpa cahaya dengan  $\text{NaHCO}_3$  diidentifikasi sebagai fenomena fisikokimia bukan biologis. Penelitian ini menegaskan bahwa cahaya merupakan faktor determinan utama fotosintesis, sedangkan  $\text{CO}_2$  berperan sebagai faktor akselerator yang mengoptimalkan laju proses tersebut. Implikasi praktis penelitian ini mendukung penggunaan *Hydrilla verticillata* sebagai media praktikum IPA yang efektif, murah, dan mudah diakses di sekolah dasar.

Kata Kunci: Fotosintesis, *Hydrilla Verticillata*, Intensitas Cahaya, Natrium Bikarbonat, Oksigen, Praktikum IPA

### 1. Pendahuluan

Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di jenjang Sekolah Dasar (SD) memegang peranan strategis dalam membangun fondasi literasi sains sejak usia dini. Literasi sains tidak sekadar mencakup penguasaan fakta ilmiah, tetapi lebih jauh mencakup kemampuan berpikir ilmiah, mengajukan pertanyaan, merancang pengamatan, dan menginterpretasikan data secara kritis (Fitriawati & Rindaningsih, 2025). Namun demikian, realitas di lapangan menunjukkan bahwa pembelajaran IPA di banyak sekolah dasar masih didominasi oleh pendekatan tekstual dan hafalan, sehingga konsep-konsep yang bersifat prosedural dan abstrak—seperti fotosintesis—kerap sulit dipahami oleh peserta didik.

Fotosintesis merupakan salah satu topik inti dalam kurikulum IPA SD kelas IV dan V yang secara konseptual melibatkan pemahaman tentang hubungan antara cahaya, air, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), klorofil, dan produk organik berupa glukosa. Proses ini berlangsung secara mikro di dalam kloroplas sel tumbuhan sehingga tidak dapat diamati secara langsung oleh mata telanjang. Akibatnya, siswa seringkali hanya menghafalkan persamaan reaksi tanpa memahami mekanisme dan kondisi yang melatarbelakanginya (Nursyamsiah, 2025). Kesenjangan antara pengetahuan deklaratif dan pemahaman konseptual ini menjadi tantangan utama dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar.

Berbagai penelitian di Indonesia telah mengidentifikasi rendahnya pemahaman konsep IPA siswa SD sebagai permasalahan yang persisten. Wulandari et al. (2025) menemukan bahwa kesulitan belajar pada konsep sains sering berakar pada ketidakmampuan guru menghadirkan pengalaman belajar yang konkret dan bermakna. Hal ini diperparah oleh keterbatasan sarana laboratorium di sebagian besar sekolah dasar, khususnya di daerah pelosok dan semi-urban. Kondisi ini memunculkan kebutuhan mendesak akan media praktikum yang sederhana, murah, mudah diperoleh, namun tetap representatif secara ilmiah.

*Hydrilla verticillata* hadir sebagai jawaban atas kebutuhan tersebut. Tanaman air submers ini dikenal luas di kalangan pendidik sains sebagai media demonstrasi fotosintesis yang sangat visual. Ketika dipaparkan pada cahaya, *Hydrilla* menghasilkan gelembung-gelembung oksigen yang dapat diamati secara kasat mata—fenomena yang dikenal sebagai percobaan Ingenhousz (Putri et al., 2022). Kemudahan memperoleh tanaman ini di perairan tawar sekitar sekolah, rendahnya biaya, dan ketiadaan risiko toksisitas menjadikannya media praktikum yang sangat ideal untuk konteks sekolah dasar dengan sumber daya terbatas.

Namun demikian, penelitian yang secara spesifik mengkaji efektivitas media *Hydrilla verticillata* dalam meningkatkan pemahaman konsep IPA siswa SD—khususnya dengan membandingkan peran simultan cahaya dan ketersediaan CO<sub>2</sub>—masih sangat terbatas. Sebagian besar studi yang ada hanya berfokus pada aspek biologi murni tanpa mengintegrasikan dimensi pedagogis berupa pengukuran pemahaman konsep siswa (Siregar et al., 2022). Di sisi lain, penelitian terkait metode pembelajaran IPA di SD yang memanfaatkan bahan-bahan lokal dan sederhana masih perlu dikembangkan secara lebih sistematis (Hasibuan & Lubis, 2025).

Tinjauan terhadap literatur yang ada menunjukkan adanya kesenjangan (gap) yang signifikan. Pertama, studi-studi terdahulu umumnya mengkaji pengaruh salah satu faktor (cahaya atau CO<sub>2</sub>) secara terpisah terhadap laju fotosintesis *Hydrilla*, sehingga gambaran tentang interaksi kedua faktor tersebut belum terpetakan secara komprehensif dalam setting pembelajaran SD. Kedua, penggunaan NaHCO<sub>3</sub> sebagai sumber CO<sub>2</sub> tambahan dalam praktikum belum banyak diintegrasikan dengan analisis pemahaman konsep siswa secara kualitatif. Nasution et al. (2025) memang telah mengkaji pengaruh NaHCO<sub>3</sub> terhadap laju fotosintesis *Hydrilla*, namun penelitian tersebut dilakukan dalam konteks laboratorium perguruan tinggi, bukan dalam konteks kelas SD.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menempatkan praktikum fotosintesis berbantuan *Hydrilla verticillata* dalam konteks pembelajaran IPA di sekolah dasar secara langsung. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada: (1) integrasi empat kondisi perlakuan komparatif yang melibatkan variasi cahaya dan ketersediaan CO<sub>2</sub> secara bersamaan dalam satu setting praktikum SD; (2) analisis kualitatif terhadap pola pemahaman konsep siswa berdasarkan respons observasional mereka terhadap perubahan kondisi eksperimen; dan (3) pengembangan narasi pedagogis yang menghubungkan fenomena fisiko-biologis yang diamati dengan konstruksi pemahaman konsep oleh siswa.

Beberapa studi terkait yang menjadi landasan penelitian ini antara lain: Fitriawati dan Rindaningsih (2025) yang menelaah inovasi pelatihan guru dalam mendukung inklusi pendidikan berbasis sains, Rambe (2025) yang mengkaji peran guru sebagai fasilitator dalam dinamika pendidikan kontemporer, serta Lubis et al. (2025) yang membahas fungsi-fungsi supervisi pendidikan dalam mendorong profesionalisme guru IPA. Ketiga penelitian tersebut memperkuat argumen bahwa kualitas pembelajaran IPA di SD sangat dipengaruhi oleh kapasitas guru dalam merancang pengalaman belajar yang inovatif dan berbasis bukti.

Selain itu, studi Siregar et al. (2022) tentang analisis dan rekonstruksi desain kegiatan laboratorium alternatif pada praktikum fotosintesis Ingenhousz memberikan dasar metodologis yang penting bagi penelitian ini. Tahany et al. (2022) juga berkontribusi dengan kajian mereka tentang pengaruh konsentrasi CO<sub>2</sub> terhadap laju fotosintesis *Hydrilla* yang menggunakan pendekatan rekonstruksi laboratorium berbasis literasi kuantitatif. State of the art penelitian ini, dengan demikian, berada pada persimpangan antara pendidikan sains berbasis praktikum dan fisiologi tumbuhan terapan.

Berdasarkan uraian latar belakang dan tinjauan literatur di atas, maka penelitian ini dirumuskan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut: (1) Bagaimana pola aktivitas fotosintesis *Hydrilla verticillata* pada empat kondisi perlakuan berbeda yang mencerminkan interaksi antara cahaya dan ketersediaan CO<sub>2</sub>? (2) Faktor manakah—cahaya atau CO<sub>2</sub>—yang berperan sebagai penentu utama (determinan) dalam proses fotosintesis berdasarkan pengamatan visual? (3) Bagaimana hasil praktikum ini dapat digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan pemahaman konsep IPA siswa SD terkait mekanisme fotosintesis? Pertanyaan-pertanyaan ini sekaligus menjadi tujuan penelitian yang akan dijawab secara sistematis melalui rangkaian pengamatan komparatif yang dilaporkan dalam penelitian ini.

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan pembelajaran IPA di sekolah dasar, terutama dalam hal penyediaan model praktikum sederhana yang dapat direplikasi oleh guru-guru di seluruh Indonesia tanpa memerlukan peralatan laboratorium yang mahal. Secara akademik, penelitian ini memperkaya literatur tentang integrasi praktikum sains dalam pendidikan dasar, khususnya dalam konteks pembelajaran berbasis inkuiri yang berorientasi pada pemahaman konsep mendalam.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan menggambarkan pola aktivitas fotosintesis *Hydrilla verticillata* pada empat kondisi perlakuan yang berbeda dan menganalisis implikasinya terhadap pemahaman konsep IPA siswa. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini tidak bertujuan mengukur kuantitas gelembung secara numerik, melainkan memahami pola fenomena biologis yang dapat diamati secara visual dan menginterpretasikannya dalam konteks pembelajaran IPA di SD.

Subjek penelitian adalah tanaman *Hydrilla verticillata* segar yang diperoleh dari perairan tawar di sekitar lokasi sekolah. Pemilihan tanaman dilakukan dengan kriteria: batang segar, daun berwarna hijau cerah, tidak terdapat tanda-tanda pembusukan atau penyakit, dan panjang potongan batang antara 10–15 cm. Setiap unit perlakuan menggunakan satu potongan batang *Hydrilla* yang ditempatkan dalam botol plastik transparan bervolume 600 mL yang telah diisi air bersih hingga batas leher botol.

Desain percobaan bersifat komparatif dengan empat kondisi perlakuan sebagai variabel bebas: (1) Kegiatan I—*Hydrilla* dalam air tanpa penambahan NaHCO<sub>3</sub>, ditempatkan di bawah paparan cahaya matahari langsung; (2)

Kegiatan II—Hydrilla dalam air dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  (1/4 sendok teh per 600 mL air), ditempatkan di bawah paparan cahaya matahari langsung; (3) Kegiatan III—Hydrilla dalam air tanpa penambahan  $\text{NaHCO}_3$ , ditempatkan dalam kondisi tanpa cahaya (tertutup rapat dengan kardus berlapis kain hitam); dan (4) Kegiatan IV—Hydrilla dalam air dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  dengan dosis yang sama, ditempatkan dalam kondisi tanpa cahaya. Keempat botol perlakuan disiapkan secara bersamaan untuk meminimalkan perbedaan kondisi awal.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah aktivitas fotosintesis yang diindikasikan secara kualitatif melalui: (a) ada atau tidaknya gelembung oksigen yang muncul pada permukaan daun, batang, dan dinding botol; (b) perubahan intensitas produksi gelembung dari waktu ke waktu (bertambah, stabil, atau berkurang); dan (c) kondisi fisik tanaman seperti turgiditas batang dan keutuhan daun selama periode pengamatan. Pengamatan dilakukan pada lima interval waktu yang ditetapkan secara konsisten untuk seluruh kegiatan.

$\text{NaHCO}_3$  yang digunakan adalah baking soda komersial bermerek dagang yang umum tersedia di pasaran. Penambahan  $\text{NaHCO}_3$  dengan dosis 1/4 sendok teh per 600 mL air mengacu pada prosedur yang telah distandarisasi dalam penelitian Nasution et al. (2025) dan Tahany et al. (2022), yang terbukti memberikan peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  terlarut yang signifikan tanpa menyebabkan toksisitas akut pada tanaman. Kondisi cahaya matahari langsung dikendalikan dengan menempatkan botol perlakuan di area terbuka tanpa naungan pada rentang waktu antara pukul 09.00–11.00 WIB untuk memaksimalkan intensitas paparan cahaya.

Data dianalisis secara kualitatif-deskriptif berdasarkan pola kemunculan gelembung oksigen dan kondisi fisik tanaman pada setiap interval pengamatan. Perbandingan antarkegiatan dilakukan secara sistematis untuk menarik inferensi tentang peran relatif cahaya dan  $\text{CO}_2$  sebagai faktor penentu laju fotosintesis. Triangulasi dilakukan melalui perbandingan hasil pengamatan antarperlakuan serta kesesuaiannya dengan prinsip-prinsip fisiologi tumbuhan yang telah mapan dalam literatur (Tahany et al., 2022). Data disajikan dalam bentuk tabel pengamatan per kegiatan yang kemudian disintesis secara komparatif pada tahap pembahasan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Kegiatan I – Hydrilla dengan Cahaya, Tanpa  $\text{NaHCO}_3$

Pada kegiatan pertama, Hydrilla verticillata mendapat paparan cahaya matahari langsung namun tanpa penambahan  $\text{NaHCO}_3$  sebagai sumber  $\text{CO}_2$  tambahan. Kondisi ini dirancang untuk mengisolasi peran cahaya sebagai variabel tunggal, sementara ketersediaan  $\text{CO}_2$  dibiarkan pada kadar alami yang rendah dalam medium air. Pengamatan selama lima interval waktu menghasilkan data sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Kegiatan I

No.	Interval Waktu	Hasil Pengamatan
1	Interval awal	Tidak terdeteksi gelembung oksigen pada permukaan daun maupun medium air
2	Interval menengah-awal	Tidak ada perubahan; tanaman segar secara fisik namun tanpa aktivitas gelembung
3	Interval menengah	Kondisi stabil tanpa gelembung; tanaman masih tampak segar
4	Interval menengah-akhir	Ketiadaan gelembung berlanjut konsisten sepanjang pengamatan
5	Interval akhir	Tidak terdeteksi gelembung oksigen hingga akhir periode pengamatan

Sepanjang keseluruhan periode pengamatan, Hydrilla yang mendapat paparan cahaya matahari langsung namun tanpa penambahan  $\text{NaHCO}_3$  tidak menunjukkan aktivitas produksi oksigen yang terdeteksi secara visual. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun energi cahaya tersedia sebagai penggerak reaksi terang, ketiadaan  $\text{CO}_2$  yang memadai dalam medium air menjadi faktor pembatas yang menghambat siklus Calvin (Urry et al., 2021). Reaksi terang dimungkinkan berlangsung secara parsial, namun tanpa substrat  $\text{CO}_2$  yang cukup, oksigen tidak diproduksi dalam jumlah yang terdeteksi secara kasat mata.

Temuan ini konsisten dengan hukum faktor pembatas Blackman yang menyatakan bahwa laju suatu proses biologis ditentukan oleh faktor yang paling defisien pada kondisi tertentu (Campbell et al., 2020). Dalam hal ini,  $\text{CO}_2$  berperan sebagai faktor pembatas meskipun cahaya tersedia dalam intensitas yang cukup. Dari perspektif pembelajaran, fenomena ini sangat berharga karena mengajarkan kepada siswa bahwa fotosintesis tidak hanya membutuhkan cahaya, tetapi juga substrat karbon dioksida yang cukup sebagai bahan baku sintesis glukosa.

Kondisi fisik tanaman yang tetap segar selama pengamatan menunjukkan bahwa tanaman tidak mengalami kerusakan akibat paparan cahaya atau kondisi percobaan. Ini mengonfirmasi bahwa absennya gelembung bukan disebabkan oleh kematian atau stres berat pada tanaman, melainkan memang merupakan refleksi dari laju

fotosintesis yang sangat rendah akibat defisiensi CO<sub>2</sub>. Nurdiana (2022) menegaskan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> yang rendah dalam medium air merupakan hambatan utama bagi tumbuhan air dalam menjalankan fotosintesis secara efisien.

Kegiatan II – Hydrilla dengan Cahaya dan NaHCO<sub>3</sub>

Kegiatan kedua merupakan kondisi perlakuan penuh di mana kedua faktor utama fotosintesis—cahaya dan ketersediaan CO<sub>2</sub>—tersedia secara simultan. NaHCO<sub>3</sub> yang larut dalam medium air mengalami disosiasi parsial membentuk ion bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) yang kemudian menjadi sumber CO<sub>2</sub> bagi tanaman melalui proses kesetimbangan kimia dalam larutan. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Kegiatan II

No.	Interval Waktu	Hasil Pengamatan
1	Interval awal	Belum terdeteksi gelembung; tanaman dalam fase adaptasi terhadap kondisi perlakuan
2	Interval menengah-awal	Mulai muncul gelembung-gelembung kecil yang menempel pada permukaan daun
3	Interval menengah	Gelembung semakin banyak dan terlihat jelas pada daun dan batang
4	Interval menengah-akhir	Produksi gelembung intens; gelembung melayang dan menempel di dinding botol
5	Interval akhir	Produksi gelembung mulai mereda; sejumlah daun gugur dari batang

Kombinasi cahaya matahari langsung dengan penambahan NaHCO<sub>3</sub> menghasilkan respons fotosintesis yang paling nyata di antara keempat kegiatan. Setelah periode laten singkat pada awal pengamatan, gelembung oksigen mulai terdeteksi kemudian meningkat secara progresif. Peningkatan ketersediaan CO<sub>2</sub> terlarut akibat disosiasi NaHCO<sub>3</sub> terbukti efektif meningkatkan laju fiksasi karbon dalam siklus Calvin, menghasilkan lebih banyak oksigen sebagai produk sampingan (Zhang et al., 2022).

Periode laten pada interval awal dapat dijelaskan melalui waktu yang dibutuhkan kloroplas untuk mengaktifkan enzim-enzim fotosintesis dan menstabilkan gradien proton pada membran tilakoid. Setelah sistem fotosintesis beroperasi secara penuh, produksi oksigen meningkat secara signifikan. Pola ini sesuai dengan model kinetika enzim Michaelis-Menten yang menggambarkan periode induksi sebelum reaksi mencapai laju maksimalnya.

Penurunan intensitas gelembung pada interval akhir, disertai gugurnya sejumlah daun, mengindikasikan adanya stres fisiologis yang mulai dialami tanaman. Taiz et al. (2021) menyatakan bahwa konsentrasi substrat yang melebihi batas optimal dapat bersifat inhibitori terhadap aktivitas enzim fotosintesis. Selain itu, kondisi osmotik larutan NaHCO<sub>3</sub> yang meningkat seiring waktu dapat menyebabkan gangguan keseimbangan air pada jaringan tanaman, yang manifestasinya terlihat dari gugurnya daun. Fenomena ini mengajarkan konsep penting tentang kondisi optimal versus sub-optimal dalam proses biologis.

Kegiatan III – Hydrilla Tanpa Cahaya dan Tanpa NaHCO<sub>3</sub>

Kegiatan ketiga dirancang sebagai kontrol negatif yang mengeliminasi kedua faktor utama fotosintesis secara bersamaan. Hydrilla ditempatkan dalam kondisi gelap total tanpa penambahan substrat CO<sub>2</sub>. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Kegiatan III

No.	Interval Waktu	Hasil Pengamatan
1	Interval awal	Tidak terdeteksi gelembung; kondisi fisik tanaman tampak normal
2	Interval menengah-awal	Tidak ada aktivitas gelembung; tanaman diam dalam medium gelap
3	Interval menengah	Tidak ada gelembung; kondisi fisik tanaman mulai berkurang kesegarannya
4	Interval menengah-akhir	Tidak ada perubahan pada produksi gelembung; tanaman mulai menunjukkan gejala etiolasi awal

5	Interval akhir	Tidak terdeteksi gelembung sepanjang keseluruhan pengamatan; batang mulai memucat
---	----------------	---

Pada kondisi tanpa cahaya dan tanpa CO<sub>2</sub> tambahan, Hydrilla sama sekali tidak menunjukkan aktivitas fotosintesis yang terdeteksi. Hal ini merupakan konfirmasi terhadap prinsip dasar fotosintesis bahwa tanpa energi foton, reaksi terang tidak dapat berlangsung dan seluruh rangkaian proses fotosintesis terhenti (Urry et al., 2021). Kondisi ini sekaligus berfungsi sebagai kontrol negatif yang mempertegas peran cahaya sebagai faktor mutlak dalam fotosintesis.

Penurunan kesegaran fisik tanaman yang mulai terlihat pada interval menengah mengindikasikan bahwa tanaman sedang mengandalkan cadangan energi hasil respirasi seluler. Tanpa pasokan glukosa baru dari fotosintesis, cadangan karbohidrat dalam sel batang dan daun perlahan terkuras. Kondisi ini memberikan pelajaran berharga kepada siswa bahwa tumbuhan merupakan organisme autotrofik yang sangat bergantung pada cahaya untuk memproduksi energinya sendiri.

Kegiatan IV – Hydrilla Tanpa Cahaya dengan NaHCO<sub>3</sub>

Kegiatan keempat merupakan kondisi yang secara teoritis paling menarik karena menguji apakah ketersediaan substrat CO<sub>2</sub> saja—tanpa cahaya—dapat menginduksi fotosintesis. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengamatan Kegiatan IV

No.	Interval Waktu	Hasil Pengamatan
1	Interval awal	Terlihat gelembung-gelembung kecil pada daun dan dinding botol sejak awal
2	Interval menengah-awal	Jumlah gelembung bertambah; terlihat stabil pada permukaan daun dan dinding botol
3	Interval menengah	Gelembung relatif stabil; batang mulai menunjukkan tanda-tanda awal kelayuan
4	Interval menengah-akhir	Jumlah gelembung konsisten; batang semakin layu dan kehilangan turgiditas
5	Interval akhir	Gelembung berkurang; batang layu nyata; sejumlah daun berjatuh

Kemunculan gelembung sejak awal pengamatan pada kondisi tanpa cahaya perlu diinterpretasikan secara kritis dan ilmiah. Gelembung yang tampak bukan merupakan produk fotosintesis berupa O<sub>2</sub>, melainkan diduga kuat merupakan CO<sub>2</sub> yang terlepas secara fisikokimia dari larutan NaHCO<sub>3</sub> akibat perubahan tekanan dan suhu, atau udara yang terjebak pada permukaan organ tanaman ketika tanaman dimasukkan ke dalam botol (Nurdiana, 2022). Hipotesis ini diperkuat oleh dua bukti utama: pertama, gelembung muncul sejak awal tanpa periode laten—berbeda dengan pola kinetika biologis pada Kegiatan II; dan kedua, kondisi fisik tanaman terus memburuk seiring waktu, yang mengonfirmasi tidak adanya pasokan energi dari fotosintesis sejati.

Taiz et al. (2021) menegaskan bahwa tanpa energi cahaya, fotolisis air tidak dapat terjadi sehingga tidak ada oksigen yang diproduksi melalui jalur fotosintesis. Penurunan jumlah gelembung pada interval akhir bersamaan dengan layunya tanaman mengonfirmasi bahwa aktivitas awal yang terdeteksi merupakan respons fisikokimia bukan biologis. Kondisi ini juga menunjukkan efek toksik jangka pendek dari konsentrasi bikarbonat yang tinggi terhadap jaringan tanaman yang tidak mendapatkan energi dari fotosintesis.

Dari perspektif pedagogis, kondisi ini justru sangat berharga karena mengajarkan siswa tentang pentingnya berpikir kritis dalam menafsirkan data pengamatan. Tidak semua gelembung yang terlihat dalam konteks fotosintesis merupakan oksigen hasil fotosintesis—sebuah pelajaran epistemologis penting yang melatih keterampilan berpikir ilmiah siswa.

#### 5. Sintesis Komparatif Antarperlakuan dan Implikasi Pedagogis

Secara komparatif, hasil keempat kegiatan menggambarkan hierarki peran faktor lingkungan dalam menentukan laju fotosintesis Hydrilla. Cahaya terbukti sebagai faktor yang mutlak dan tidak tergantikan: tanpa cahaya, fotosintesis tidak berlangsung meskipun CO<sub>2</sub> tersedia berlimpah (Kegiatan IV vs. Kegiatan II). CO<sub>2</sub> berperan sebagai faktor akselerator yang mengoptimalkan laju fotosintesis ketika cahaya telah tersedia, sebagaimana ditunjukkan oleh kontras yang mencolok antara Kegiatan I (cahaya, tanpa CO<sub>2</sub>, tidak ada gelembung) dan Kegiatan II (cahaya, dengan CO<sub>2</sub>, gelembung aktif).

Hierarki faktor ini selaras dengan konsep faktor pembatas dalam fisiologi tumbuhan sebagaimana dijelaskan oleh Campbell et al. (2020). Cahaya berposisi sebagai faktor primer yang bersifat wajib (*sine qua non*), sementara CO<sub>2</sub> berposisi sebagai faktor sekunder yang bersifat modulator. Interaksi antara keduanya bersifat sinergis ketika keduanya hadir (Kegiatan II) dan bersifat netral ketika salah satu absen (Kegiatan I dan IV).

Dari sudut pandang pembelajaran IPA di SD, praktikum empat kondisi ini memiliki nilai pedagogis yang tinggi. Siregar et al. (2022) dan Tahany et al. (2022) menekankan bahwa desain kegiatan laboratorium yang membandingkan kondisi berbeda secara simultan jauh lebih efektif dalam membangun pemahaman konsep dibandingkan demonstrasi tunggal. Ketika siswa dapat melihat sendiri bahwa gelembung hanya muncul pada kondisi tertentu dan tidak pada kondisi lainnya, mereka membangun pemahaman konseptual yang lebih kuat dan tahan lama dibandingkan sekadar membaca teks buku.

Penggunaan NaHCO<sub>3</sub> atau baking soda yang mudah diperoleh dan tidak berbahaya juga memiliki implikasi praktis yang penting. Rambe (2025) menyatakan bahwa inovasi pembelajaran yang menggunakan bahan sehari-hari memiliki potensi besar untuk meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar siswa. Ketika siswa mengetahui bahwa baking soda yang sama digunakan untuk memasak dapat mengubah laju fotosintesis sebuah tanaman air, hal ini menciptakan jembatan kognitif antara pengetahuan ilmiah dan pengalaman kehidupan sehari-hari—sebuah prinsip pedagogis fundamental dalam pendidikan sains.

Penelitian ini juga mengungkap potensi *Hydrilla verticillata* sebagai media praktikum yang dapat diakses oleh sekolah-sekolah di seluruh Indonesia, termasuk sekolah-sekolah di daerah terpencil yang memiliki keterbatasan anggaran dan fasilitas. Zhang et al. (2022) telah mengkonfirmasi bahwa *Hydrilla* merupakan organisme model yang valid untuk studi fotosintesis di berbagai tingkatan pendidikan. Adaptasi praktikum ini ke konteks SD merupakan kontribusi orisinal yang dapat memperkaya khazanah metode pembelajaran IPA di Indonesia

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mendemonstrasikan secara visual dan empiris bahwa cahaya matahari merupakan faktor determinan utama—bukan sekadar faktor pendukung—dalam proses fotosintesis *Hydrilla verticillata*. Tanpa kehadiran cahaya, tidak ada aktivitas fotosintesis sejati yang berlangsung meskipun substrat CO<sub>2</sub> disuplai secara eksternal melalui penambahan NaHCO<sub>3</sub>. Temuan ini memperkuat dan mengonfirmasi hukum faktor pembatas dalam fisiologi tumbuhan, sekaligus memberikan bukti kualitatif yang jelas dan mudah dipahami oleh siswa sekolah dasar.

Kombinasi optimal antara cahaya matahari langsung dan penambahan NaHCO<sub>3</sub> terbukti menghasilkan aktivitas fotosintesis yang paling nyata, ditandai dengan produksi gelembung oksigen yang progresif dan dapat diamati secara kasat mata. Sebaliknya, ketersediaan CO<sub>2</sub> saja tanpa cahaya tidak mampu menginduksi fotosintesis biologis; gelembung yang muncul pada kondisi tersebut diidentifikasi sebagai fenomena fisikokimia—temuan yang memiliki nilai pedagogis tersendiri dalam melatih kemampuan berpikir kritis siswa terhadap data pengamatan.

*Hydrilla verticillata* terbukti merupakan media praktikum yang sangat efektif, ekonomis, dan mudah diakses untuk pembelajaran konsep fotosintesis di sekolah dasar. Tanaman ini mampu menghadirkan fenomena biologis yang abstrak menjadi nyata dan dapat diamati langsung oleh siswa, sehingga berpotensi meningkatkan pemahaman konsep IPA secara signifikan dibandingkan pendekatan tekstual semata. Penelitian ini merekomendasikan implementasi praktikum empat kondisi komparatif ini secara lebih luas di sekolah-sekolah dasar di Indonesia, terutama di sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium, karena seluruh bahan yang diperlukan mudah diperoleh dan tidak memerlukan investasi peralatan yang besar.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengukuran kuantitatif terhadap laju produksi gelembung oksigen per satuan waktu menggunakan metode penghitungan langsung guna memperoleh data yang lebih terukur dan dapat dibandingkan secara statistik. Penelitian lanjutan juga perlu mengkaji variasi konsentrasi NaHCO<sub>3</sub> secara sistematis untuk menentukan konsentrasi optimal yang memaksimalkan laju fotosintesis tanpa menimbulkan toksisitas osmotik pada tanaman. Selain itu, studi longitudinal yang mengukur dampak praktikum ini terhadap retensi pemahaman konsep fotosintesis pada siswa SD dalam jangka panjang akan memberikan kontribusi penting bagi pengembangan kurikulum dan pedagogi IPA di Indonesia.

#### 5. Reference

- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Biology: A global approach* (12th ed.). Pearson Education Limited.
- Febrianti, Y., Siregar, M. N. S., & Wulandari, E. (2025). Approaches in educational supervision: Directive, non-directive, and collaborative analysis in improving teacher professionalism. *Zeni Journal*, 2(1), 72–81. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.49>
- Fitriawati, R., & Rindaningsih, I. (2025). Teacher training innovations to improve education inclusion in schools. *Zeni Journal*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.28>
- Hasibuan, R., & Lubis, L. H. (2025). The urgency of educational philosophy in addressing the moral crisis of students in the digital era. *Zeni Journal*, 2(1), 23–33. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.42>
- Hermawati, Orlando, G., Lubis, K. F., Pasaribu, S., & Siregar, M. (2026). Analysis of the implementation of the Merdeka curriculum in enhancing the Pancasila student profile. *Zeni Journal*, 3(1), 52–60. <https://doi.org/10.70821/zj.v3i1.89>
- Lubis, F. A. R., Nugraha, A., & Fauzi, I. (2025). Functions of educational supervision. *Zeni Journal*, 2(1), 34–42. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.34>

- Lubis, N. A., Febrianti, Y., Saputri, R. H., & Artika, L. I. (2025). Narrative research & grounded theory research design. *Zenius Journal*, 2(1), 53–62. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.45>
- Maulida, S., & Hasanah, U. (2025). The effect of teacher teaching style on student motivation at SMP Muhammadiyah 7 Medan. *Zenius Journal*, 2(1), 63–71. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.33>
- Nasution, M. A., Susanty, R. R., Limbong, F., & Harahap, F. (2025). Pengaruh cahaya dan NaHCO<sub>3</sub> terhadap laju reaksi fotosintesis pada *Hydrilla verticillata*. *Bio*, 14(1), 17–24. <https://doi.org/10.56013/bio.v14i1.3464>
- Nurdiana. (2022). Fotosintesis dan faktor-faktor yang mempengaruhinya pada tumbuhan air. *Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 5(2), 87–95.
- Nursyamsiah. (2025). The influence of educational digitalization policy on secondary school students' learning motivation. *Zenius Journal*, 2(1), 13–22. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.44>
- Prabowo, M. W. (2026). The effectiveness of using learning management systems in improving the quality of learning in madrasahs. *Zenius Journal*, 3(1), 72–79. <https://doi.org/10.70821/zj.v3i1.94>
- Putri, A. A., Nurdian, D., Rohmatulloh, G., Supriatno, B., & Anggraeni, S. (2022). Analisis dan rekonstruksi kegiatan laboratorium alternatif: Meningkatkan keterampilan literasi kuantitatif melalui praktikum Ingenhousz. *Jurnal Edukasi dan Sains Biologi*, 6(4), 7396–7407.
- Rambe, U. S. (2025). The role of teachers as educators and the dynamics of challenges in today's world of education. *Zenius Journal*, 2(1), 82–91. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.46>
- Ritonga, S., Yani, Y., Putri, D., Hasibuan, S. A., & Ritonga, A. S. (2026). The utilisation of learning management system (LMS) in enhancing learning effectiveness in secondary schools. *Zenius Journal*, 3(1), 42–51. <https://doi.org/10.70821/zj.v3i1.87>
- Sagala, A. H., & Yana, R. F. (2025). Integration of Islamic legal values in the national education system conceptual and implementative studies. *Zenius Journal*, 2(1), 92–101. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.53>
- Sahbuki, H., Sain, S. H., & Suwondo, H. (2026). Teacher strategies in improving students' reading literacy skills through interactive digital media at the elementary madrasah. *Zenius Journal*, 3(1), 10–20. <https://doi.org/10.70821/zj.v3i1.92>
- Sinaga, E., Sipahutar, Y., Ericka, S., & Yulizar, I. (2026). Management of school principal leadership in improving teacher performance at Madrasah Ibtidaiyah Negeri (MIN). *Zenius Journal*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.70821/zj.v3i1.85>
- Siregar, N. F., Sholihah, R. N., Supriatno, B., & Anggraeni, S. (2022). Analisis dan rekonstruksi desain kegiatan laboratorium alternatif bermuatan literasi kuantitatif pada praktikum fotosintesis Ingenhousz. *Jurnal Edukasi dan Sains Biologi*, 6(4), 7532–7543.
- Suhardi, Purba, F., Lubis, L. H., Irhamuddin, & Hasibuan, R. (2026). The relevance of educational hadiths to strengthening student character in the digital era. *Zenius Journal*, 3(1), 21–30. <https://doi.org/10.70821/zj.v3i1.88>
- Tahany, S., Faidah, R., Rohimah, T. R., Supriatno, B., & Anggraeni, S. (2022). Analisis dan rekonstruksi kegiatan laboratorium: Pengaruh konsentrasi karbondioksida pada laju fotosintesis *Hydrilla verticillata*. *Jurnal Edukasi dan Sains Biologi*, 6(5), 8493–8505.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2021). *Plant physiology and development* (7th ed.). Sinauer Associates, Oxford University Press.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2021). *Campbell biology* (12th ed.). Pearson.
- Wulandari, H., Nasution, S., & Syaifullah, M. (2025). The effect of flash card media in overcoming reading difficulties of grade I elementary school students. *Zenius Journal*, 2(1), 43–52. <https://doi.org/10.70821/zj.v2i1.32>
- Zhang, Y., Liu, J., Chai, T., & Zhao, L. (2022). Photosynthetic performance and oxygen production in submerged aquatic macrophytes: A review using *Hydrilla verticillata* as a model organism. *Aquatic Botany*, 178, 103–112.