

BIMBINGAN BELAJAR PENGGUNAAN KONSEP LAJU REAKSI (MATEMATIKA) UNTUK MEMAHAMI PROSES METABOLISME DALAM BIOLOGI TINGKAT SMA

Muhammad Hasbi^{1*}, Fitri²

^{1*,2} Universitas Islam As'adiyah Sengkang, Indonesia

muhammadhasbi@unisad.ac.id

fitri2103049201@gmail.com

Abstract

The intent of this community service activity (CSA) is to improve the understanding of 12th-grade senior high school students on the concept of metabolism in biology subjects by integrating knowledge of reaction rates from mathematics or chemistry subjects. So far, students often have difficulty in interpreting changes in the speed of biological processes, such as enzyme activity or cellular respiration, which can basically be modeled and analyzed using the principle of reaction rates. This CSA activity was carried out in the form of structured tutoring (Bimbel) in senior high schools in Wajo Regency. The methods used include (1) delivery of integrated material that explains the relationship between biological variables (e.g., substrate concentration, temperature) and reaction rate variables (e.g., initial rate); (2) analysis of existing biology experimental data, where students are trained to calculate and plot reaction rate graphs from enzyme activity rate data; and (3) interactive discussions to solve problems based on applications in the context of metabolism. The evaluation results showed a significant increase in students' abilities in (1) identifying and modeling the relationship between factors that influence metabolism with reaction rate equations, (2) interpreting enzyme activity and cellular respiration graphs quantitatively, and (3) connecting enzyme reaction kinetics curves with reaction rate curves (mathematics). The positive impact of this CSA is the creation of a deeper and more holistic understanding of biology, especially metabolism, through a quantitative approach. Therefore, it is concluded that tutoring that integrates the concept of reaction rate is very effective in bridging the gap in students' understanding of high school metabolic processes. This collaborative learning model is recommended to be implemented sustainably to strengthen students' numeracy and scientific literacy.

Keywords: Tutoring, High School Biology, Mathematics Integration, Reaction Rate, Metabolism.

Abstrak

Tujuan dari kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini adalah untuk meningkatkan pemahaman siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) kelas XII terhadap konsep metabolisme dalam mata pelajaran Biologi dengan mengintegrasikan pengetahuan laju reaksi dari mata pelajaran Matematika atau Kimia. Selama ini, siswa sering mengalami kesulitan dalam menginterpretasikan perubahan kecepatan proses biologis, seperti aktivitas enzim atau respirasi sel, yang pada dasarnya dapat dimodelkan dan dianalisis menggunakan prinsip laju reaksi. Kegiatan PkM ini dilaksanakan dalam bentuk Bimbingan Belajar (Bimbel) terstruktur di SMA di Kabupaten Wajo. Metode yang digunakan meliputi: (1) Penyampaian materi terintegrasi yang menjelaskan hubungan antara variabel biologi (misalnya, konsentrasi substrat, suhu) dengan variabel laju reaksi (misalnya, laju awal); (2) Analisis data eksperimen Biologi yang sudah ada, di mana siswa dilatih untuk menghitung dan memplot grafik laju reaksi dari data kecepatan kerja enzim; dan (3) Diskusi interaktif untuk memecahkan soal-soal berbasis aplikasi konteks metabolisme. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada kemampuan siswa dalam: (1) Mengidentifikasi dan memodelkan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi metabolisme dengan persamaan laju reaksi; (2) Menginterpretasikan grafik aktivitas enzim dan respirasi sel secara kuantitatif; serta (3) Menghubungkan kurva kinetika reaksi enzim dengan kurva laju reaksi (Matematika). Dampak positif PkM ini adalah terciptanya pemahaman yang lebih mendalam dan holistik terhadap Biologi, khususnya metabolisme, melalui pendekatan kuantitatif. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa bimbingan belajar yang mengintegrasikan konsep laju reaksi sangat efektif dalam menjembatani

*Correspondent Author: muhammadhasbi@unisad.ac.id

kesenjangan pemahaman siswa terhadap proses metabolisme SMA. Model pembelajaran kolaboratif ini direkomendasikan untuk diterapkan secara berkelanjutan guna memperkuat literasi numerasi dan saintifik siswa.

Kata Kunci: Bimbingan Belajar, Biologi SMA, Integrasi Matematika, Laju Reaksi, Metabolisme

Pendahuluan

Perkembangan pesat ilmu pengetahuan dan teknologi di abad ke-21 menempatkan tuntutan tinggi terhadap kualitas lulusan pendidikan menengah (González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022; Martinez, 2022). Kurikulum nasional saat ini secara eksplisit menekankan pentingnya pengembangan Literasi Numerasi dan Literasi Saintifik sebagai kompetensi esensial bagi siswa (Deda et al., 2023; Nugraha & Juniayanti, 2024). Literasi saintifik tidak hanya berarti memahami fakta-fakta ilmiah, tetapi juga kemampuan menganalisis, menginterpretasikan data, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti kuantitatif dan kualitatif (Romine, 2017; Ploj Virtič, 2022; Astuti & AR, 2023). Sementara itu, literasi numerasi mewajibkan siswa mampu menerapkan konsep matematis, termasuk perhitungan dan interpretasi grafik, dalam berbagai konteks kehidupan nyata dan ilmiah (Tout, 2020; Iswara et al., 2022).

Pencapaian tujuan pendidikan ini menuntut adanya pendekatan interdisipliner dalam pembelajaran, khususnya di kluster Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) (Goos et al., 2023; Maker et al., 2023; Zhan & Niu, 2023). Integrasi ini bertujuan menghilangkan sekat-sekat mata pelajaran, memungkinkan siswa melihat bahwa konsep-konsep matematika dan fisika adalah alat fundamental untuk memahami fenomena yang terjadi dalam biologi dan kimia (Gamage et al., 2022; Jamali et al., 2023). Sayangnya, pemisahan mata pelajaran yang kaku di sekolah sering kali menghalangi terjalannya koneksi konseptual ini, menimbulkan kesenjangan yang signifikan dalam pemahaman siswa, terutama pada materi yang bersifat kinetik dan dinamis.

Materi Metabolisme Sel merupakan salah satu topik inti dan paling kompleks dalam Biologi tingkat SMA, umumnya diajarkan di kelas XII (Machsun & Indana, 2023; Syahid, 2023). Metabolisme mencakup seluruh reaksi kimia yang mempertahankan kehidupan, termasuk katabolisme (seperti respirasi sel) dan anabolisme (seperti sintesis protein dan fotosintesis) (Abdurahman, 2021; Syahid, 2023). Seluruh proses ini dikatalisis oleh enzim, yang memiliki karakteristik kerja spesifik dan sangat sensitif terhadap faktor lingkungan seperti suhu, pH, dan konsentrasi substrat. Kesulitan yang dialami siswa dalam mempelajari metabolisme sering kali bersumber dari dua aspek utama: (1) Jumlah istilah dan tahapan proses yang banyak, mendorong pembelajaran berbasis hafalan tanpa pemahaman mendalam; dan (2) Karakteristik dinamis (berubah dari waktu ke waktu) dari reaksi tersebut. Ketika membahas aktivitas enzim atau laju respirasi, guru dan buku teks seringkali menyajikan grafik dan kurva. Namun, fokus pembelajaran seringkali berhenti pada deskripsi "meningkat, lalu menurun" atau "mencapai titik maksimum," tanpa menggali implikasi kuantitatif di balik bentuk kurva tersebut. Siswa kesulitan membedah kurva tersebut untuk menghitung laju reaksi awal (v_0) atau mengestimasi konstanta penting seperti kecepatan maksimum (V_{maks}) dan konstanta Michaelis-Menten (K_m).

Urgensi PkM ini terletak pada kesenjangan analisis kuantitatif dan literasi numerasi. Inilah titik urgensi utama dari pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat ini. Proses metabolisme sebagai rangkaian reaksi kimia secara fundamental diatur oleh prinsip-prinsip Kinetika Kimia, di mana konsep Laju Reaksi (Matematika atau Kimia) menjadi inti analisisnya (Fatya & Haitami, 2025). Kebutuhan Mendesak untuk Integrasi: Kegagalan untuk mengintegrasikan konsep laju reaksi secara eksplisit ke dalam pembelajaran Biologi menghasilkan yaitu (1) Pemahaman Superficial: Siswa tidak melihat bahwa perubahan konsentrasi glukosa dalam respirasi, atau peningkatan produk dalam aktivitas enzim, adalah manifestasi dari laju reaksi. Pengetahuan mereka menjadi terbatas pada apa yang terjadi, bukan seberapa cepat itu terjadi dan mengapa laju tersebut berubah. (2) Kelemahan dalam Pemecahan Masalah Kuantitatif (HOTS): Soal-soal ujian standar

tinggi seperti UTBK/SNBT, atau ujian masuk Fakultas Kedokteran/Farmasi/Bioteknologi, seringkali menyajikan data eksperimen real-time dan menuntut kemampuan siswa untuk: a) Menghitung laju perubahan dalam selang waktu tertentu, b) Memprediksi pengaruh perubahan variabel terhadap laju reaksi, dan c) Mengidentifikasi model matematis yang paling sesuai dengan kurva aktivitas biologis. Tanpa pemahaman mendasar tentang konsep laju, siswa tidak dapat menyelesaikan tugas analisis ini. (3) Hambatan Kesiapan Studi Lanjut: Laju reaksi adalah prasyarat utama dalam mata kuliah Biokimia dan Fisiologi di jenjang perguruan tinggi. Jika siswa memasuki jenjang tersebut tanpa pondasi kuat dalam kinetika, mereka akan menghadapi kesulitan serius dalam memahami materi lanjutan seperti kinetika enzim secara mendetail.

Dengan demikian, urgensi PkM ini sangat tinggi karena secara langsung menangani kelemahan krusial dalam Literasi Numerasi siswa yang berdampak langsung pada prestasi akademik mereka di tingkat menengah dan kesiapan mereka menghadapi tuntutan studi di perguruan tinggi. Selain itu, urgensi selanjutnya pada konteks laju reaksi sebagai solusi pemodelan biologis. Konsep laju reaksi yaitu perubahan konsentrasi produk per satuan waktu, menawarkan alat analisis yang kuat (Sidauruk & Anggraeni, 2024). Dalam konteks enzim, persamaan ini memungkinkan siswa untuk Menghitung seberapa cepat enzim mengubah substrat menjadi produk pada kondisi tertentu. Lebih lanjut, memahami mengapa pada konsentrasi substrat rendah, laju reaksi cenderung mengikuti orde satu (linier), dan pada konsentrasi tinggi, ia mencapai orde nol (maksimum/saturasi). Pemahaman ini adalah jembatan langsung ke model Michaelis-Menten. Dengan membandingkan laju reaksi pada kondisi optimal dan non-optimal seperti kondisi denaturasi, siswa dapat memahami peran lingkungan secara kuantitatif, bukan hanya secara deskriptif.

Integrasi ini mengubah Biologi dari subjek hafalan menjadi ilmu terapan yang dapat dimodelkan. Bimbingan belajar ini tidak hanya mengajarkan perhitungan, tetapi juga mengubah mindset siswa untuk selalu mempertanyakan "seberapa cepat" dan "mengapa lajunya seperti ini" saat mempelajari proses biologis. Menyikapi urgensi di atas, kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini diimplementasikan dalam bentuk Bimbingan Belajar (Bimbel) Intensif yang berfokus pada integrasi konsep. Sasaran utama PkM ini adalah siswa kelas XII IPA di SMA yang akan menghadapi ujian akhir dan persiapan masuk perguruan tinggi. Oleh karena itu, tujuan spesifik PkM ini adalah:

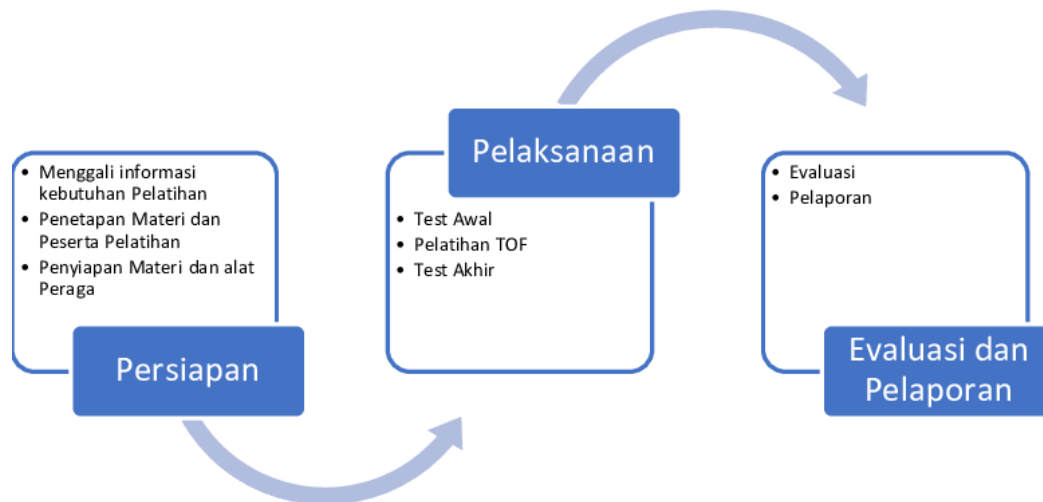
- 1) Membekali siswa dengan kemampuan menghitung dan menginterpretasikan laju reaksi dari data eksperimen yang relevan dengan proses metabolisme (misalnya, laju pembentukan CO₂ pada respirasi atau laju hilangnya substrat pada pencernaan).
- 2) Meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim melalui pendekatan kuantitatif.
- 3) Menciptakan model pembelajaran interdisipliner yang dapat direplikasi oleh guru mitra untuk penguatan Literasi Numerasi dalam mata pelajaran Biologi.

Melalui pendekatan ini, diharapkan PkM ini memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas pendidikan sains di tingkat menengah, menghasilkan lulusan yang tidak hanya menguasai konsep biologis, tetapi juga mahir dalam analisis data saintifik.

Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan kegiatan PkM ini dirancang secara sistematis untuk mencapai tujuan integrasi konsep laju reaksi dan metabolisme, serta meningkatkan literasi numerasi saintifik siswa SMA di Kabupaten Wajo. Lokasi pelaksanaan di SMAN 1 Wajo dan SMAN 7 Wajo yang berlokasi di Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada survei awal yang mengindikasikan adanya kebutuhan mendesak untuk penguatan kemampuan analisis kuantitatif pada mata pelajaran Biologi dan persiapan ujian masuk perguruan tinggi. Kegiatan dilaksanakan selama total 1 minggu dalam, dengan total tatap muka intensif selama 6 hari.

Peserta PkM adalah 50 siswa yang terdiri atas 25 orang siswa kelas XII IPA SMAN 1 Wajo dan 25 orang siswa SMAN 7 Wajo yang sedang atau akan mempelajari materi Metabolisme. Pemilihan kelas XII bertujuan agar pengetahuan yang didapatkan dapat langsung diaplikasikan dalam analisis data eksperimen Biologi, serta sebagai bekal persiapan menghadapi Ujian Tulis Berbasis Komputer (UTBK) yang banyak menyajikan soal analisis data kinetik. Pelaksanaan kegiatan ini dibagi menjadi empat tahapan utama, yaitu Persiapan, Pelaksanaan Inti (Bimbingan Belajar), Evaluasi, dan Pelaporan.



Gambar 1. Tahapan PkM

1. Tahap Persiapan

- 1) Melakukan komunikasi dan penandatanganan *Memorandum of Agreement (MoA)* dengan pihak sekolah mitra di Kab. Wajo, serta mengidentifikasi profil awal siswa (pre-test) terkait pemahaman dasar laju reaksi dan metabolisme.
- 2) Menyusun Modul Ajar Terintegrasi yang secara khusus membandingkan dan mengaitkan persamaan laju reaksi dari Matematika/Kimia dengan kurva kinetika enzim dan respirasi sel dalam Biologi.
- 3) Menyiapkan perangkat keras (misalnya, laptop, proyektor) dan perangkat lunak (simulasi GeoGebra atau spreadsheet untuk data fitting sederhana) serta contoh-contoh data eksperimen Biologi (misalnya, laju respirasi kecambah, pengaruh konsentrasi H_2O_2 terhadap laju dekomposisi oleh enzim katalase).

2. Tahap Pelaksanaan Inti (Bimbingan Belajar Interdisipliner)

Kegiatan Bimbel dilaksanakan dalam sesi tatap muka interaktif dengan fokus pada aplikasi konsep:

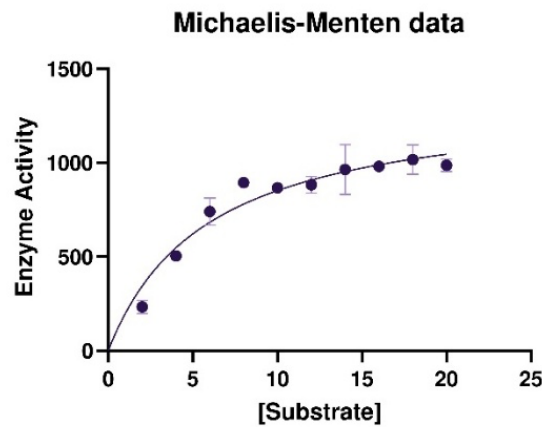
Sesi 1: Review Konsep Kunci dan Pemodelan Awal

- Biologi: Review proses metabolisme, fungsi dan faktor yang mempengaruhi kerja enzim.
- Matematika: Review dasar konsep Laju Perubahan dan turunan ($\frac{dy}{dx}$) sebagai fondasi laju reaksi.
- Integrasi: Pengenalan model laju reaksi orde satu/nol sederhana sebagai pendekatan awal untuk memodelkan proses biologis.

Sesi 2: Analisis Kuantitatif Kinetika Enzim

- Penyajian data mentah hasil eksperimen aktivitas enzim.

- Pelatihan perhitungan laju reaksi awal (v_0) dari data perubahan konsentrasi substrat atau produk terhadap waktu.
- Pelatihan interpretasi grafik kinetika enzim seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Michaelis-Menten

(Kurva Michaelis-Menten) dengan menghubungkan bentuk kurva dengan hukum laju reaksi pada berbagai konsentrasi substrat.

Sesi 3: Aplikasi dalam Respirasi dan Fotosintesis

- Membahas proses Respirasi Sel dan Fotosintesis sebagai reaksi redoks dengan laju yang dapat diukur.
- Pelatihan analisis grafik faktor lingkungan (suhu, CO_2), intensitas cahaya) terhadap laju proses biologis, menggunakan konsep gradien (kemiringan) kurva sebagai representasi laju.

Sesi 4: Diskusi dan Pemecahan Masalah HOTS

- Sesi kolaboratif untuk memecahkan soal-soal Higher Order Thinking Skills (HOTS) yang mensyaratkan integrasi konsep Laju Reaksi dan Metabolisme (misalnya, menghitung estimasi laju maksimal dari grafik yang diberikan).

3. Tahap Evaluasi

- Pre-test dan Post-test: Dilaksanakan sebelum (Tahap Persiapan) dan setelah (Tahap Pelaksanaan Inti) Bimbel. Soal evaluasi difokuskan pada kemampuan analisis kuantitatif dan interpretasi grafik kinetika biologis.
- Analisis Data: Data hasil tes dianalisis secara kuantitatif menggunakan uji statistik komparatif (misalnya, Uji t berpasangan) untuk mengukur signifikansi peningkatan pemahaman siswa.
- Kuesioner Respon: Penyebaran kuesioner kepada siswa untuk mengukur efektivitas metode pembelajaran interdisipliner dan tingkat kepuasan terhadap modul.

4. Tahap Pelaporan

- Merangkum semua tahapan, hasil, analisis, dan dampak kegiatan PkM untuk dipublikasikan dalam jurnal pengabdian yang terindeks.
- Menyampaikan rekomendasi model pembelajaran interdisipliner kepada pihak SMAN di Kab. Wajo untuk keberlanjutan program.

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil pelaksanaan Bimbingan Belajar (Bimbel) terintegrasi antara konsep Laju Reaksi (Matematika) dan Metabolisme (Biologi) di Kabupaten Wajo. Hasil diukur berdasarkan perbandingan skor peserta pada pre-test dan post-test, serta analisis kualitatif terhadap respon siswa.

1. Deskripsi Peserta dan Pelaksanaan

Kegiatan PkM dilaksanakan selama enam kali pertemuan intensif di SMAN 1 dan SMAN 7 di Kabupaten Wajo, melibatkan 50 orang siswa kelas XII IPA. Pelaksanaan berfokus pada sesi praktik perhitungan v_0 (laju awal) dan analisis grafik kinetika enzim dari data-data Biologi yang disimulasikan.



Gambar 3. Pelaksanaan dan Bimbingan Belajar

2. Analisis Peningkatan Pemahaman Kuantitatif (Pre-test vs. Post-test)

Untuk mengukur efektivitas program, dilakukan evaluasi menggunakan pre-test sebelum Bimbel dan post-test setelahnya. Soal evaluasi berfokus pada kemampuan analisis numerik, seperti menghitung gradien kurva metabolisme, menginterpretasikan pengaruh perubahan konsentrasi terhadap laju, dan mengidentifikasi V_{maks} . Tabel 1 berikut menyajikan rekapitulasi hasil rata-rata tes.

Tabel 1. Pemahaman Kuantitatif

Jenis Tes	Rata-rata Nilai (Skala 100)	Standar Deviasi	Keterangan
Pre-test	52.1	10.5	Siswa kuat di deskripsi, lemah di kuantitatif.
Post-test	81.4	8.2	Peningkatan signifikan dalam analisis data.

Hasil analisis statistik menunjukkan adanya peningkatan skor rata-rata yang signifikan dari 52,1 pada pre-test menjadi 81,4 pada post-test. Analisis lebih lanjut menggunakan Uji t Berpasangan (Paired t-Test) mengkonfirmasi bahwa peningkatan ini memiliki nilai signifikansi $p < 0,05$. Hal ini membuktikan bahwa metode pembelajaran yang mengintegrasikan konsep Laju Reaksi secara efektif meningkatkan kemampuan siswa dalam:

- Perhitungan dan Pemodelan Laju: Siswa menunjukkan peningkatan yang substansial dalam soal yang meminta perhitungan laju reaksi rata-rata dan laju awal dari data tabular. Sebelum Bimbel, banyak siswa yang tidak tahu bagaimana menggunakan konsep $\Delta y / \Delta x$ dalam konteks biologis; setelah Bimbel, mereka mampu menerapkan rumus laju reaksi ($v = \Delta P / \Delta t$) untuk menghitung kecepatan aktivitas enzim.
- Interpretasi Grafik Kinetika: Peningkatan terbesar terlihat pada kemampuan siswa dalam menginterpretasikan kurva kinetika enzim. Siswa tidak lagi hanya melihat bentuk kurva, tetapi mampu menjelaskan bahwa kemiringan (gradien) kurva pada fase awal mencerminkan laju awal dan mengapa kurva mendatar pada konsentrasi substrat tinggi (saturasi enzim), yang merupakan konsep penting dalam analisis kuantitatif Metabolisme.

3. Analisis Kualitatif Dampak Konseptual

Selain data numerik, pengamatan selama proses Bimbel dan kuesioner respon siswa menunjukkan dampak kualitatif sebagai berikut:

a. Pemahaman Holistik

Siswa menyatakan bahwa menghubungkan kurva Biologi dengan konsep turunan dan gradien (Matematika) membuat topik Metabolisme menjadi lebih logis dan tidak hanya sekadar hafalan. Mereka mulai melihat proses biologis sebagai fenomena yang dapat diukur dan diprediksi, bukan hanya dideskripsikan.

b. Penguatan Literasi Numerasi Saintifik

Pelatihan analisis data mentah (misalnya, data waktu dan jumlah O_2 yang dihasilkan) memungkinkan siswa untuk menghubungkan teori abstrak (laju reaksi) dengan praktikum riil. Ini secara langsung memperkuat Literasi Numerasi Saintifik mereka, menjadikan mereka lebih siap dalam menghadapi soal-soal berbasis konteks ilmiah dan Analisis Data (HOTS).

c. Respons Positif terhadap Metode Interdisipliner

Siswa memberikan respon sangat positif terhadap modul ajar terintegrasi. Mereka merasa bahwa metode ini menjembatani dua mata pelajaran yang sebelumnya dianggap terpisah, memberikan nilai tambah yang besar, terutama bagi siswa yang bercita-cita melanjutkan studi di bidang kesehatan atau rekayasa. Hasil PkM di Kabupaten Wajo ini menegaskan bahwa bimbingan belajar yang memanfaatkan konsep Laju Reaksi (Matematika) sangat efektif sebagai intervensi untuk meningkatkan pemahaman siswa SMA terhadap aspek kuantitatif proses Metabolisme. Peningkatan signifikan pada skor post-test membuktikan bahwa pendekatan interdisipliner adalah kunci untuk menguasai topik Biologi yang bersifat kinetik, sekaligus memperkuat kemampuan analisis numerik siswa di daerah mitra.

Selanjutnya, bagian diskusi ini bertujuan untuk mengelaborasi dan menafsirkan temuan dari kegiatan Bimbingan Belajar (Bimbel) terintegrasi di Kabupaten Wajo, yang berfokus pada penggunaan konsep Laju Reaksi (Matematika) untuk memahami Metabolisme (Biologi). Diskusi ini akan menyoroti efektivitas pendekatan interdisipliner, implikasinya terhadap literasi numerasi saintifik, dan relevansinya dalam konteks pendidikan lokal.

1. Efektivitas Pendekatan Interdisipliner dalam Peningkatan Pemahaman

Hasil uji post-test yang menunjukkan peningkatan skor rata-rata yang signifikan dari 52,1 menjadi 81,4 membuktikan efektivitas pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan Matematika dan Biologi. Peningkatan ini bukan hanya mencerminkan penguasaan materi Biologi secara deskriptif, tetapi yang lebih krusial, menunjukkan peningkatan dalam kemampuan analisis kuantitatif siswa.

- 1) Menghubungkan Konsep Kinetika: Sebelum intervensi, siswa cenderung melihat kurva aktivitas enzim sebagai representasi visual saja. Melalui Bimbel, siswa dilatih untuk memahami bahwa kemiringan (gradien) kurva pada fase awal adalah laju reaksi awal (v_0), yang dihitung menggunakan prinsip $\Delta y / \Delta t$. Pemahaman ini mengubah pandangan siswa dari menghafal kurva menjadi analisis kinetika.
- 2) Mengatasi Kesulitan Konseptual: Konsep seperti saturasi enzim (titik V_{maks}) yang sebelumnya mungkin hanya dihafal definisinya, kini dapat dipahami secara matematis sebagai kondisi di mana penambahan substrat tidak lagi signifikan mempengaruhi laju perubahan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian pendidikan sains modern yang menekankan bahwa pembelajaran STEM yang terintegrasi jauh lebih unggul dalam membangun pemikiran kritis dan pemecahan masalah dibandingkan pembelajaran yang terkotak-kotak (Felder, 2021; Roberts et al., 2022; Hwang et al., 2024).

2. Implikasi terhadap Literasi Numerasi dan Kesiapan Belajar

Tingginya angka peningkatan skor pasca-Bimbel memiliki implikasi langsung terhadap penguatan Literasi Numerasi Saintifik siswa SMA di Kab. Wajo. Literasi numerasi tidak hanya terbatas pada operasi hitung, melainkan kemampuan menggunakan model matematika untuk memecahkan masalah kontekstual (Hwang & Ham, 2021; Chang, 2023).

- 1) Analisis Data Eksperimen: Program ini secara spesifik melatih siswa untuk menangani data mentah atau data grafik eksperimen Biologi. Kemampuan ini sangat krusial mengingat soal-soal Higher Order Thinking Skills (HOTS) dan tes masuk perguruan tinggi di Indonesia semakin bergeser ke arah analisis data dan interpretasi grafis. Siswa yang memiliki literasi numerasi saintifik kuat akan lebih siap untuk menganalisis dan memprediksi hasil eksperimen daripada yang hanya mengandalkan hafalan.
- 2) Kesiapan Studi Lanjut: Pemahaman kinetika enzim merupakan fondasi untuk mata kuliah Biokimia dan Farmakologi. Dengan menguasai konsep laju reaksi, siswa Kab. Wajo mendapatkan modal awal yang kuat, mengurangi potensi learning gap yang sering terjadi saat transisi dari SMA ke perguruan tinggi. Hal ini sangat penting untuk daerah-daerah yang aksesnya terhadap bimbingan belajar khusus perguruan tinggi masih terbatas.

3. Relevansi Konteks Lokal dan Keberlanjutan

Pelaksanaan PkM di Kabupaten Wajo menyoroti pentingnya pengembangan model pembelajaran yang dapat diakses dan relevan di daerah. Kegiatan ini menunjukkan bahwa keterbatasan sarana laboratorium live dapat diatasi dengan memanfaatkan analisis data simulasi dan data historis yang diolah menggunakan perangkat lunak sederhana dan konsep Matematika dasar.

- 1) Pemberdayaan Guru Mitra: Keberlanjutan program sangat bergantung pada internalisasi model ajar terintegrasi oleh guru-guru di sekolah mitra. Rekomendasi yang muncul dari diskusi ini adalah penyediaan modul ajar terstruktur dan pelaksanaan Training of Trainers (ToT) bagi guru Biologi dan Matematika/Kimia di Kab. Wajo. Tujuannya adalah agar integrasi laju reaksi dan metabolisme dapat menjadi kurikulum sekolah, tidak hanya sebagai program Bimbel insidental.
- 2) Keterbatasan dan Tantangan: Meskipun hasilnya positif, tantangan yang dihadapi termasuk variasi latar belakang pengetahuan dasar Matematika siswa. Untuk mengatasi ini, kegiatan PkM di masa depan perlu menyertakan sesi remedial yang lebih intensif pada konsep-konsep Matematika dasar (seperti fungsi linear, gradien, dan grafik logaritma sederhana) sebelum masuk ke aplikasi Biologi.

Diskusi menggarisbawahi bahwa Bimbel integrasi Laju Reaksi dan Metabolisme tidak hanya berhasil meningkatkan nilai siswa, tetapi juga berhasil mengubah cara siswa SMA Kab. Wajo memandang ilmu Biologi, dari deskriptif menjadi analitis dan kuantitatif. Keberhasilan ini memperkuat argumen untuk mengadopsi pendekatan pembelajaran interdisipliner secara formal guna memperkuat literasi numerasi saintifik di seluruh jenjang pendidikan menengah (Weinberg & Sample McMeeking, 2017; Tytler et al., 2021; Santiani et al., 2024).

Kesimpulan dan Saran

Temuan menunjukkan bahwa hasil evaluasi pre-test dan post-test serta analisis kualitatif yang telah dipaparkan, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama mengenai efektivitas dan dampak kegiatan PkM ini meliputi (1) Peningkatan Kompetensi Kuantitatif Signifikan: Kegiatan Bimbel terintegrasi ini terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan analisis kuantitatif siswa. Terjadi peningkatan rata-rata nilai yang substansial dari 52,1 menjadi 81,4 pada soal-soal yang membutuhkan penerapan konsep Laju Reaksi (Matematika) dalam konteks Metabolisme (Biologi). (2) Penguatan Literasi Numerasi Saintifik: Program ini berhasil menjembatani kesenjangan konseptual antara Biologi deskriptif dan analisis numerik. Siswa di Kab. Wajo tidak lagi melihat proses metabolisme (seperti kinetika enzim) hanya sebagai hafalan, melainkan sebagai fenomena yang dapat diukur, dihitung lajunya ($v = \Delta [P] / \Delta t$), dan diprediksi menggunakan model matematis. (3) Model Pembelajaran Interdisipliner yang Relevan: Integrasi konsep laju reaksi, terutama dalam analisis grafik aktivitas enzim, merupakan model pembelajaran yang sangat relevan untuk mempersiapkan siswa SMA menghadapi soal-soal analisis data tingkat tinggi (HOTS) dan ujian masuk perguruan tinggi. Secara keseluruhan, kegiatan PkM ini berhasil mencapai tujuannya

untuk menguatkan pemahaman siswa terhadap Metabolisme melalui pendekatan interdisipliner di Kabupaten Wajo.

Sebagai saran, pihak sekolah, khususnya guru Biologi dan Matematika/Kimia, disarankan untuk secara formal mengadopsi dan mengintegrasikan model pembelajaran ini ke dalam silabus reguler, khususnya pada materi yang bersifat kinetik (misalnya, laju pertumbuhan, keseimbangan ekosistem, selain metabolisme). Penting untuk melaksanakan Training of Trainers (ToT) bagi semua guru sains di Kab. Wajo agar mereka mampu menggunakan Modul Ajar Terintegrasi yang dihasilkan dari PkM ini, sehingga manfaat program tidak hanya terbatas pada peserta Bimbel. Saran untuk pelaksana PkM dan peneliti selanjutnya, perlu dilakukan pengembangan instrumen evaluasi yang lebih mendalam, termasuk penggunaan kuesioner terbuka untuk menggali perubahan pola pikir siswa secara kualitatif terkait pemahaman kuantitatif. Selain itu, untuk PkM selanjutnya, disarankan untuk mengidentifikasi dan memberikan sesi penguatan dasar-dasar matematika (misalnya, fungsi linear dan eksponensial) yang relevan sebelum sesi aplikasi Biologi, untuk mengatasi variasi kemampuan numerasi awal siswa.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan, dukungan, dan kontribusi dari berbagai pihak, sehingga kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) yang berjudul "Bimbingan Belajar Penggunaan Konsep Laju Reaksi (Matematika) untuk Memahami Proses Metabolisme dalam Biologi Tingkat SMA di Kab. Wajo" ini dapat terlaksana dengan sukses dan menghasilkan luaran yang bermanfaat. Apresiasi dan penghargaan setinggi-tingginya kami sampaikan kepada: Rektor Universitas Islam As'adiyah Sengkang, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM), Kepala Sekolah, Bapak/Ibu SMAN 1 Wajo dan SMAN 7 Wajo, serta berbagai pihak yang tidak sempat saya sebutkan namanya. Semoga kontribusi ini dapat memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi peningkatan kualitas pendidikan dan penguatan literasi numerasi saintifik di Kabupaten Wajo.

Referensi

- Abdurahman, A. (2021). Upaya Peningkatan Keaktifan dan Prestasi Belajar Siswa dengan Menerapkan Model Pembelajaran Discovery pada Mata Pelajaran Biologi Materi Metabolisme Sel di SMAN 1 Palibelo Semester 1 Tahun Pelajaran 2020/2021. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Indonesia (JPPI)*, 1(2), 286-304. <https://doi.org/10.53299/jppi.v1i2.60>
- Astuti, Y. P., & AR, M. M. (2023). Implementation of the Campus Teaching Program Batch 3 in Building Scientific Literacy in Elementary Schools. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5140-5149. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.4049>
- Chang, I. (2023). Early numeracy and literacy skills and their influences on fourth-grade mathematics achievement: a moderated mediation model. *Large-scale Assessments in Education*, 11(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40536-023-00168-6>
- Deda, Y. N., Disnawati, H., & Daniel, O. (2023). How important of students' literacy and numeracy skills in facing 21st-century challenges: A systematic literature review. *Indonesian Journal of Educational Research and Review*, 6(3), 563-572. <https://doi.org/10.23887/ijerr.v6i3.62206>
- Fatya, A. I., & Haitami, I. (2025). Visualisasi Penurunan Konsentrasi Pereaksi Terhadap Waktu Sebagai Media Integrasi Konsep Laju Reaksi dan Kalkulus Dasar. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 1-14. <https://jurnal.uin-antasari.ac.id/index.php/jpm/article/view/17119>
- Felder, R. M. (2021). STEM education: A tale of two paradigms. *Journal of Food Science Education*, 20(1), 8-15. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12219>
- Gamage, K. A., Ekanayake, S. Y., & Dehideniya, S. C. (2022). Embedding sustainability in learning and teaching: Lessons learned and moving forward—Approaches in STEM higher education programmes. *Education Sciences*, 12(3), 225. <https://doi.org/10.3390/educsci12030225>

- González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st century skills frameworks: systematic review. *Sustainability*, 14(3), 1493. <https://doi.org/10.3390/su14031493>
- Goos, M., Carreira, S., & Namukasa, I. K. (2023). Mathematics and interdisciplinary STEM education: Recent developments and future directions. *ZDM–Mathematics Education*, 55(7), 1199-1217. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01533-z>
- Hwang, J., & Ham, Y. (2021). Relationship between mathematical literacy and opportunity to learn with different types of mathematical tasks. *Journal on Mathematics Education*, 12(2), 199-222. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1312949>
- Hwang, J., Choo, S., Morano, S., Liang, M., & Kabel, M. (2024). From silos to synergy in STEM education: Promoting interdisciplinary STEM education to enhance the science achievement of students with learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, 39(3), 117-131. <https://doi.org/10.1177/09388982241245452>
- Iswara, H. S., Ahmadi, F., & Da Ary, D. (2022). Numeracy literacy skills of elementary school students through ethnomathematics-based problem solving. *Interdisciplinary Social Studies*, 2(2), 1604-1616. <https://doi.org/10.55324/iss.v2i2.316>
- Jamali, S. M., Ale Ebrahim, N., & Jamali, F. (2023). The role of STEM Education in improving the quality of education: a bibliometric study. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(3), 819-840. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09762-1>
- Machsun, S. F., & Indana, S. (2023). Pengembangan Flipbook Berbasis Literasi Sains untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik pada Materi Metabolisme Sel. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 12(1), 016-031. <https://doi.org/10.26740/bioedu.v12n1.p016-031>
- Maker, C. J., Pease, R., & Zimmerman, R. (2023). Identifying and cultivating innovators and increasing diversity in science, technology, engineering, and mathematics (STEM): A needed paradigm shift. *Roeper Review*, 45(3), 161-177. <https://doi.org/10.1080/02783193.2023.2212362>
- Martinez, C. (2022). Developing 21st century teaching skills: A case study of teaching and learning through project-based curriculum. *Cogent Education*, 9(1), 2024936. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2021.2024936>
- Nugraha, D. M. D. P., & Juniayanti, D. (2024). Penguatan Literasi Siswa di Sekolah Dasar dalam Era Kurikulum Merdeka Belajar: A Systematic Literature Review. *Journal of Instructional and Development Researches*, 4(6), 499-509. <https://doi.org/10.53621/jider.v4i6.407>
- Ploj Vrtič, M. (2022). Teaching science & technology: components of scientific literacy and insight into the steps of research. *International Journal of Science Education*, 44(12), 1916-1931. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2105414>
- Roberts, T., Maiorca, C., Jackson, C., & Mohr-Schroeder, M. (2022). Integrated STEM as problem-solving practices. *Investigations in mathematics learning*, 14(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/19477503.2021.2024721>
- Romine, W. L., Sadler, T. D., & Kinslow, A. T. (2017). Assessment of scientific literacy: Development and validation of the Quantitative Assessment of Socio-Scientific Reasoning (QuASSR). *Journal of Research in Science Teaching*, 54(2), 274-295. <https://doi.org/10.1002/tea.21368>
- Santiani, S., Reffiane, F., & Winarto, W. (2024). Science interdisciplinary learning approach: a study interdisciplinary thinking skills and literacy environment. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 18(4), 1454-1459. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v18i4.21416>
- Sidauruk, S., & Anggraeni, M. E. (2024). Analisis Kesulitan Siswa dalam Memahami Konsep Laju Reaksi (Systematic Review). *Jurnal Ilmiah Kanderang Tingang*, 15(1), 215-225. <https://doi.org/10.37304/jikt.v15i1.228>

- Syahid, N. (2023). Analisis Kualitas Buku Teks Biologi Kelas XII Pada Materi Metabolisme Sel Berdasarkan Keterampilan Abad 21. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 10(2), 60-78. <https://doi.org/10.23887/jjpb.v10i2.66707>
- Tout, D. (2020). Evolution of adult numeracy from quantitative literacy to numeracy: Lessons learned from international assessments. *International Review of Education*, 66(2), 183-209. <https://doi.org/10.1007/s11159-020-09831-4>
- Tytler, R., Mulligan, J., Prain, V., White, P., Xu, L., Kirk, M., ... & Speldewinde, C. (2021). An interdisciplinary approach to primary school mathematics and science learning. *International Journal of Science Education*, 43(12), 1926-1949. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1946727>
- Weinberg, A. E., & Sample McMeeking, L. B. (2017). Toward meaningful interdisciplinary education: High school teachers' views of mathematics and science integration. *School Science and Mathematics*, 117(5), 204-213. <https://doi.org/10.1111/ssm.12224>
- Zhan, Z., & Niu, S. (2023). Subject integration and theme evolution of STEM education in K-12 and higher education research. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02303-8>