

ANALISIS PEMAHAMAN MAHASISWA TERHADAP GEOMETRI MOLEKUL GLUKOSA PADA MATERI GLIKOLISIS

Oleh :

Annisa Yantu¹, Sari Rahmawati², Fendrawaty Hilmuhu³, Suhardiman Darson Tamu⁴, Ilca Gaib⁵,
Mohamad Farizki Abas⁶

^{1,2,3,4,5,6} Universitas Muhammadiyah Gorontalo

¹email: annisayantu2@gmail.com

²email: sarirahmawati@umgo.ac.id

³email: fendrawatyhilmuhu@umgo.ac.id

⁴email: suhardiman@umgo.ac.id

⁵email: ilcagaib06@gmail.com

⁶email: abasrizki345@gmail.com

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Submit, 7 April 2026

Revisi, 29 Mei 2026

Diterima, 30 Mei 2026

Publish, 31 Mei 2026

Kata Kunci :

Geometri Molekul,
Glukosa,
Glikolisis,
Pemahaman Mahasiswa,
Pendidikan IPA.



ABSTRAK

Pemahaman mahasiswa terhadap glikolisis menuntut kemampuan mengaitkan struktur molekul glukosa dengan perubahan yang terjadi selama reaksi metabolik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemahaman mahasiswa terhadap geometri molekul glukosa pada materi glikolisis. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan dukungan data kuantitatif sederhana melalui tes pemahaman konsep, angket kesulitan, dan dokumentasi bahan ajar. Aspek yang dianalisis meliputi struktur glukosa, bentuk rantai terbuka dan cincin, geometri molekul, konsep glikolisis, serta hubungan perubahan struktur glukosa dengan tahapan glikolisis. Naskah sumber menunjukkan bahwa kesulitan utama mahasiswa terletak pada visualisasi struktur molekul, pembedaan representasi glukosa, dan pengaitan struktur dengan perubahan molekul pada glikolisis. Temuan tersebut menegaskan perlunya pembelajaran yang mengintegrasikan representasi visual, model molekul, dan pendekatan interdisipliner biologi, kimia, serta geometri. Data numerik hasil tes dan angket belum tercantum dalam naskah sumber sehingga perlu dilengkapi sebelum artikel diajukan untuk publikasi.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



Corresponding Author:

Nama: Sari Rahmawati

Afiliasi: Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Email: sarirahmawati@umgo.ac.id

1. PENDAHULUAN

Glikolisis merupakan salah satu materi penting dalam kajian metabolisme sel karena menjelaskan proses pemecahan glukosa menjadi piruvat melalui serangkaian reaksi enzimatis. Materi ini penting dipahami oleh mahasiswa pendidikan IPA dan biologi karena menjadi dasar untuk memahami katabolisme karbohidrat, respirasi sel, produksi energi, serta hubungan antara struktur molekul dan fungsi biologis. Dalam pembelajaran, glikolisis sering disajikan melalui bagan reaksi bertahap, namun tidak semua mahasiswa mampu memahami hubungan antara struktur awal glukosa dengan

perubahan molekul yang terjadi selama proses glikolisis.

Salah satu penyebab kesulitan mahasiswa dalam memahami glikolisis adalah sifat materi yang abstrak. Mahasiswa tidak hanya perlu menghafal urutan reaksi, tetapi juga memahami bagaimana glukosa sebagai molekul enam karbon mengalami perubahan struktur melalui fosforilasi, isomerisasi, pemecahan, dan pembentukan senyawa antara. Nelson dan Cox (2021) menjelaskan glikolisis sebagai jalur katabolik utama yang mengubah glukosa menjadi piruvat dan menghasilkan ATP serta NADH. Dengan demikian, pemahaman glikolisis

membutuhkan penguasaan konsep struktur, reaksi, dan perubahan energi secara terpadu.

Struktur glukosa memiliki karakteristik yang dapat dipelajari melalui pendekatan geometri molekul. Glukosa memiliki rumus molekul $C_6H_{12}O_6$ dan dapat direpresentasikan dalam bentuk rantai terbuka maupun bentuk cincin. Bentuk molekul tersebut melibatkan susunan atom karbon, hidrogen, dan oksigen yang saling terikat membentuk pola tertentu. Dalam konteks pendidikan, pengenalan bentuk geometri molekul dapat membantu mahasiswa memahami susunan atom, hubungan antarbagian molekul, dan perubahan struktur yang terjadi selama reaksi metabolisme.

Visualisasi struktur molekul memiliki peran penting dalam pembelajaran biokimia dan biologi molekuler. Gilbert (2008) menempatkan visualisasi sebagai bagian penting dalam pendidikan sains karena membantu peserta didik memahami objek dan proses yang tidak dapat diamati secara langsung. Mayer (2009) juga menegaskan pentingnya integrasi informasi verbal dan visual dalam pembelajaran multimedia. Oleh karena itu, pembelajaran glikolisis perlu didukung oleh representasi visual yang mampu menghubungkan struktur glukosa dengan proses metabolisme.

Kemampuan berpikir visual-spasial berkaitan erat dengan keberhasilan mahasiswa menafsirkan representasi kimia. Wu dan Shah (2004) menunjukkan bahwa pemahaman kimia membutuhkan kemampuan berpindah di antara representasi dan membangun hubungan spasial. Dalam konteks glukosa, mahasiswa tidak cukup hanya mengenali formula molekul, tetapi perlu memahami bagaimana susunan atom dan bentuk cincin merepresentasikan struktur yang berbeda dari formula datar. Keterampilan ini menjadi semakin penting ketika mahasiswa harus mengikuti perubahan molekul dari satu senyawa antara ke senyawa berikutnya pada glikolisis.

Dalam pembelajaran sains, satu konsep sering disajikan melalui representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Talanquer (2011) menjelaskan bahwa pembelajaran kimia menuntut kemampuan menghubungkan berbagai tingkat representasi tersebut. Pada materi glikolisis, level simbolik tampak dalam rumus dan persamaan reaksi, level submikroskopik muncul pada struktur molekul serta interaksi antaratom, sedangkan konsekuensi biologisnya berkaitan dengan proses produksi energi dalam sel. Ketidakmampuan menghubungkan ketiga representasi tersebut dapat menyebabkan mahasiswa menghafal alur glikolisis tanpa memahami makna perubahan struktur yang terjadi.

Dalam konteks Pendidikan IPA, pengaitan antara geometri molekul glukosa dan materi glikolisis menjadi penting karena dapat memperkuat pembelajaran interdisipliner. Biologi tidak berdiri sendiri, tetapi memiliki hubungan erat dengan kimia dan matematika. Geometri dapat digunakan untuk

membantu mahasiswa membaca bentuk molekul, memahami struktur cincin glukosa, serta menafsirkan perubahan struktur molekul selama proses metabolisme. Dengan demikian, pembelajaran glikolisis tidak hanya bersifat hafalan, tetapi juga melibatkan pemahaman visual-spasial dan analisis struktur.

Penelitian terdahulu mengenai visualisasi dalam pendidikan biologi dan kimia menunjukkan bahwa penggunaan representasi dinamis maupun statis perlu mempertimbangkan pengetahuan awal dan kemampuan mahasiswa dalam menafsirkan representasi. Jenkinson (2018) menekankan pentingnya perancangan visualisasi molekuler yang tidak sekadar menarik secara grafis, tetapi membantu peserta didik membangun model mental yang tepat. Yarden dan Yarden (2010) juga menunjukkan bahwa karakter visualisasi dapat memengaruhi pemahaman peserta didik terhadap proses bioteknologi yang bersifat abstrak. Temuan-temuan tersebut relevan untuk materi glikolisis yang memerlukan pemahaman terhadap serangkaian perubahan struktur.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pemahaman mahasiswa terhadap geometri molekul glukosa pada materi glikolisis. Analisis diarahkan pada pemahaman struktur glukosa, bentuk rantai terbuka dan cincin, geometri molekul, konsep glikolisis, kemampuan menghubungkan struktur glukosa dengan perubahan molekul selama glikolisis, kesulitan belajar, serta dukungan bahan ajar yang digunakan. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar untuk memperbaiki strategi pembelajaran yang lebih visual, interdisipliner, dan bermakna pada mata kuliah yang memuat materi metabolisme karbohidrat.

2. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan dukungan data kuantitatif sederhana. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan pemahaman mahasiswa terhadap geometri molekul glukosa pada materi glikolisis. Data kuantitatif diperoleh dari skor tes pemahaman konsep dan angket, sedangkan data kualitatif diperoleh dari uraian jawaban mahasiswa serta dokumentasi bahan ajar yang digunakan dalam pembelajaran.

Rancangan penelitian menempatkan tes, angket, dan dokumentasi sebagai sumber data yang saling melengkapi. Tes digunakan untuk memetakan penguasaan konsep, angket untuk mengidentifikasi kesulitan dan persepsi mahasiswa, sedangkan dokumentasi digunakan untuk melihat sejauh mana bahan ajar yang tersedia mendukung visualisasi struktur dan perubahan molekul. Dengan pola tersebut, interpretasi hasil tidak hanya bertumpu pada skor, tetapi juga pada karakter kesulitan konseptual yang muncul.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan IPA atau mahasiswa yang telah mempelajari materi biologi sel, biokimia, metabolisme, atau materi lain yang berkaitan dengan glikolisis dan katabolisme karbohidrat. Pemilihan subjek dilakukan secara purposive, yaitu mahasiswa yang telah memperoleh materi glikolisis dalam proses perkuliahan. Naskah sumber belum mencantumkan jumlah subjek, semester, tahun akademik, serta lokasi/waktu pengambilan data secara rinci; informasi tersebut perlu dilengkapi sebelum naskah dikirim ke jurnal.

Fokus Penelitian

Fokus penelitian ini adalah pemahaman mahasiswa terhadap geometri molekul glukosa pada materi glikolisis. Fokus tersebut mencakup pemahaman struktur glukosa, pemahaman geometri molekul glukosa, pemahaman konsep glikolisis, kemampuan menghubungkan struktur geometri molekul glukosa dengan proses glikolisis, kesulitan mahasiswa, serta ketersediaan bahan ajar atau media pembelajaran yang mendukung visualisasi struktur molekul.

Data Penelitian

Data utama dalam penelitian ini meliputi hasil tes pemahaman mahasiswa, hasil angket kesulitan mahasiswa, dan dokumentasi bahan ajar atau materi glikolisis. Data pendukung meliputi identitas mahasiswa, semester, program studi, dan mata kuliah terkait yang telah ditempuh.

Tabel 1 Jenis dan Sumber Data Penelitian

No	Jenis Data	Sumber Data
1	Hasil tes pemahaman mahasiswa	Lembar tes pemahaman konsep
2	Hasil angket kesulitan mahasiswa	Angket mahasiswa
3	Dokumentasi bahan ajar atau materi glikolisis	RPS, modul, slide, atau media pembelajaran

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas tes pemahaman konsep, angket singkat, dan lembar dokumentasi. Penyusunan instrumen diarahkan pada keterkaitan antara kemampuan mengenali struktur glukosa, kemampuan menafsirkan bentuk geometris, pemahaman proses glikolisis, dan kemampuan menjelaskan hubungan di antara keduanya.

Tabel 2 Instrumen dan Fungsi Pengumpulan Data

No	Instrumen	Fungsi
1	Tes pemahaman konsep	Mengukur pemahaman struktur glukosa, geometri molekul, dan glikolisis
2	Angket singkat	Mengetahui kesulitan dan persepsi mahasiswa terhadap materi
3	Lembar dokumentasi	Mengidentifikasi bahan ajar atau media yang digunakan dalam pembelajaran

Kisi-Kisi Tes Pemahaman Konsep

Tabel 3 Kisi-Kisi Tes Pemahaman Konsep

No	Aspek yang Diukur	Indikator
1	Struktur glukosa	Menjelaskan rumus molekul C ₆ H ₁₂ O ₆ dan atom penyusun glukosa

No	Aspek yang Diukur	Indikator
2	Bentuk struktur glukosa	Membedakan struktur rantai terbuka dan struktur cincin glukosa
3	Geometri molekul glukosa	Mengenal bentuk cincin, susunan atom, sudut ikatan, dan bentuk ruang molekul
4	Konsep glikolisis	Menjelaskan pengertian glikolisis, tahapan umum, dan hasil akhirnya
5	Hubungan geometri glukosa dan glikolisis	Menghubungkan struktur glukosa dengan perubahan molekul dalam reaksi glikolisis

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama. Pertama, tes pemahaman konsep diberikan kepada mahasiswa untuk mengetahui tingkat pemahaman mereka terhadap struktur glukosa, geometri molekul, dan glikolisis. Kedua, angket diberikan untuk mengetahui kesulitan mahasiswa dalam memahami materi. Ketiga, dokumentasi dilakukan dengan menganalisis bahan ajar, RPS, slide, atau media pembelajaran yang digunakan dalam materi glikolisis.

Teknik Analisis Data

Data hasil tes dianalisis menggunakan persentase dan kategori pemahaman. Skor mahasiswa dikategorikan ke dalam lima tingkat, yaitu sangat baik, baik, cukup, kurang, dan sangat kurang. Data angket dianalisis secara deskriptif berdasarkan persentase jawaban mahasiswa; semakin tinggi persentase kesulitan, semakin tinggi tingkat kesulitan yang dirasakan mahasiswa. Data dokumentasi dianalisis untuk melihat apakah bahan ajar telah memuat visualisasi struktur glukosa dan hubungan antara geometri molekul dengan glikolisis.

Persentase capaian dapat dihitung dengan membandingkan skor yang diperoleh dengan skor maksimum kemudian dikalikan 100%. Selanjutnya, hasil dikelompokkan berdasarkan rentang kategori pada Tabel 4. Karena naskah sumber belum menyertakan skor mentah, jumlah responden, maupun rekapitulasi angket, bagian hasil kuantitatif dalam artikel ini dipertahankan sebagai ruang yang harus diisi menggunakan data penelitian sebenarnya.

Tabel 4 Kategori Tingkat Pemahaman

Rentang Skor	Kategori
81-100	Sangat baik
61-80	Baik
41-60	Cukup
21-40	Kurang
0-20	Sangat kurang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan disusun berdasarkan aspek yang telah ditetapkan dalam instrumen penelitian. Naskah sumber memuat uraian interpretatif mengenai pola pemahaman dan kesulitan mahasiswa, tetapi belum memuat jumlah subjek, skor tes, persentase jawaban angket, maupun bukti dokumentasi secara numerik. Oleh karena itu, pembahasan berikut mempertahankan temuan

kualitatif yang terdapat dalam naskah sumber dan menyediakan format ringkasan data yang perlu dilengkapi sebelum publikasi.

Pemahaman Mahasiswa terhadap Struktur Glukosa

Pemahaman mahasiswa terhadap struktur glukosa menjadi aspek dasar dalam memahami geometri molekul glukosa. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan bahwa glukosa memiliki rumus molekul $C_6H_{12}O_6$ yang tersusun atas atom karbon, hidrogen, dan oksigen. Selain itu, mahasiswa juga perlu memahami bahwa glukosa dapat direpresentasikan dalam bentuk rantai terbuka dan bentuk cincin.

Pada aspek ini, mahasiswa yang memiliki pemahaman baik umumnya mampu mengidentifikasi atom penyusun glukosa dan menjelaskan bahwa struktur glukosa tidak hanya berupa rumus molekul, tetapi juga memiliki bentuk struktur tertentu. Mahasiswa yang masih mengalami kesulitan biasanya hanya mampu menghafal rumus molekul tanpa dapat menjelaskan hubungan antaratom dalam struktur glukosa. Pola kesulitan seperti ini menunjukkan adanya jarak antara penguasaan simbol dan pemahaman representasi struktur.

Pemahaman struktur glukosa penting karena glukosa merupakan substrat utama dalam glikolisis. Dalam proses glikolisis, glukosa mengalami perubahan melalui tahapan reaksi yang melibatkan perubahan struktur dan pembentukan senyawa antara. Oleh karena itu, pemahaman terhadap struktur glukosa menjadi dasar untuk memahami perubahan molekul selama proses glikolisis.

Pemahaman Mahasiswa terhadap Geometri Molekul Glukosa

Geometri molekul glukosa berkaitan dengan kemampuan mahasiswa mengenali bentuk struktur, susunan atom, sudut ikatan, dan bentuk ruang molekul. Mahasiswa yang memahami geometri molekul glukosa tidak hanya mampu membaca gambar struktur, tetapi juga mampu menafsirkan bahwa struktur glukosa memiliki bentuk tertentu yang dapat dikaji secara visual dan spasial.

Pada aspek ini, mahasiswa perlu memahami bahwa bentuk cincin glukosa menunjukkan pola geometri yang tersusun dari atom-atom yang saling terikat. Konsep geometri membantu mahasiswa memahami bahwa molekul tidak hanya berupa simbol kimia, tetapi memiliki susunan ruang. Kemampuan ini penting dalam pembelajaran biologi karena banyak konsep biologi molekuler yang bersifat abstrak dan membutuhkan dukungan visualisasi.

Penggunaan representasi visual dalam pembelajaran molekuler dapat membantu mahasiswa memahami konsep yang tidak dapat diamati secara langsung. Gilbert (2008) menekankan bahwa representasi visual berfungsi sebagai sarana membangun model mental terhadap objek ilmiah. Wu dan Shah (2004) menambahkan bahwa

keterampilan visual-spasial membantu mahasiswa menghubungkan representasi dua dimensi dengan struktur tiga dimensi. Dengan demikian, kesulitan pada geometri molekul dapat berdampak langsung pada kesulitan mengikuti transformasi struktur selama glikolisis.

Pemahaman Mahasiswa terhadap Materi Glikolisis

Pemahaman mahasiswa terhadap glikolisis mencakup kemampuan menjelaskan pengertian glikolisis, lokasi terjadinya glikolisis, tahapan umum, perubahan glukosa menjadi piruvat, serta hasil akhir berupa ATP dan NADH. Mahasiswa yang memahami glikolisis dengan baik mampu menjelaskan bahwa glikolisis merupakan proses pemecahan glukosa menjadi piruvat melalui serangkaian reaksi enzimatik.

Kesulitan yang sering muncul pada materi glikolisis adalah mahasiswa cenderung menghafal urutan reaksi tanpa memahami makna perubahan struktur yang terjadi. Hal ini menyebabkan mahasiswa sulit menjelaskan mengapa glukosa mengalami fosforilasi, mengapa molekul enam karbon dipecah menjadi dua molekul tiga karbon, dan bagaimana energi dihasilkan dalam proses tersebut.

Glikolisis memiliki dua fase utama, yaitu fase investasi energi dan fase pembentukan energi. Pada fase awal, glukosa mengalami perubahan menjadi senyawa antara yang kemudian dipecah menjadi molekul tiga karbon. Pada fase berikutnya, terjadi pembentukan ATP dan NADH sebagai hasil dari reaksi lanjutan. Pembelajaran yang hanya menekankan urutan nama senyawa dan enzim berpotensi menempatkan mahasiswa pada pola hafalan, sedangkan pembelajaran berbasis representasi struktur memungkinkan mahasiswa memahami logika perubahan yang terjadi pada setiap tahap.

Hubungan Geometri Molekul Glukosa dengan Glikolisis

Hubungan antara geometri molekul glukosa dan glikolisis menjadi aspek utama dalam penelitian ini. Mahasiswa tidak hanya dituntut memahami struktur glukosa dan tahapan glikolisis secara terpisah, tetapi juga perlu menghubungkan bentuk struktur glukosa dengan perubahan molekul yang terjadi selama proses glikolisis.

Mahasiswa dengan pemahaman baik mampu menjelaskan bahwa glukosa sebagai molekul enam karbon menjadi titik awal dalam glikolisis. Struktur glukosa kemudian mengalami perubahan melalui reaksi enzimatik hingga menghasilkan dua molekul piruvat. Pemahaman ini menunjukkan bahwa mahasiswa mampu menghubungkan struktur molekul dengan fungsi biologisnya.

Sebaliknya, mahasiswa yang mengalami kesulitan biasanya memandang glikolisis sebagai hafalan tahapan reaksi. Mereka belum mampu melihat bahwa setiap tahapan reaksi berkaitan dengan perubahan struktur molekul. Oleh sebab itu,

pendekatan pembelajaran yang menekankan visualisasi geometri molekul dapat membantu mahasiswa memahami proses glikolisis secara lebih bermakna.

Keterkaitan struktur dan proses juga dapat membantu mahasiswa menilai konsistensi antarrepresentasi. Ketika suatu senyawa antara ditampilkan dalam bentuk struktur, mahasiswa perlu mampu melacak jumlah atom karbon, letak gugus fungsi, dan perubahan yang menyertai reaksi. Kegiatan semacam ini menggeser fokus pembelajaran dari mengingat nama senyawa menuju penalaran berbasis bukti visual. Talanquer (2011) menekankan pentingnya menghubungkan tingkat simbolik dan submikroskopik agar peserta didik tidak memperlakukan representasi sebagai simbol yang terpisah dari objek yang direpresentasikan.

Kesulitan Mahasiswa dalam Memahami Geometri Molekul Glukosa dan Glikolisis

Kesulitan mahasiswa dapat muncul pada beberapa aspek. Pertama, mahasiswa kesulitan membedakan struktur rantai terbuka dan struktur cincin glukosa. Kedua, mahasiswa belum terbiasa membaca gambar struktur molekul sebagai representasi bentuk ruang. Ketiga, mahasiswa mengalami kesulitan menghubungkan struktur glukosa dengan tahapan glikolisis. Keempat, mahasiswa cenderung menghafal hasil akhir glikolisis tanpa memahami perubahan molekul yang terjadi.

Kesulitan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran glikolisis perlu didukung oleh media visual, model molekul, atau animasi pembelajaran. Penggunaan visualisasi metabolisme glukosa melalui media pembelajaran interaktif dapat membantu mahasiswa memahami proses glikolisis secara lebih mendalam dan mengaitkan konsep struktur, reaksi, serta alur metabolisme secara lebih terintegrasi. Mayer (2009) menjelaskan bahwa integrasi teks dan visual akan efektif apabila keduanya saling melengkapi dan tidak membebani pemrosesan informasi secara berlebihan.

Selain media, scaffolding pertanyaan juga penting. Mahasiswa dapat diarahkan untuk menjawab pertanyaan berurutan seperti atom apa yang berubah, bagian struktur mana yang memperoleh gugus fosfat, berapa jumlah atom karbon sebelum dan sesudah pemecahan, serta bagaimana perubahan struktur tersebut berkaitan dengan tahap berikutnya. Pertanyaan semacam ini dapat membantu dosen mengidentifikasi apakah kesulitan mahasiswa berada pada pengenalan simbol, visualisasi ruang, atau pemahaman proses.

Dokumentasi Bahan Ajar atau Materi Glikolisis

Dokumentasi bahan ajar menjadi data pendukung untuk melihat apakah materi glikolisis yang digunakan dalam pembelajaran sudah memuat visualisasi struktur glukosa dan hubungan antara geometri molekul dengan proses glikolisis. Bahan

ajar yang baik seharusnya tidak hanya menampilkan tahapan reaksi, tetapi juga menjelaskan struktur glukosa, bentuk molekul, perubahan struktur, serta hubungan antara bentuk molekul dengan proses pembentukan energi.

Jika bahan ajar hanya memuat bagan glikolisis tanpa penjelasan struktur molekul, maka mahasiswa berpotensi memahami glikolisis secara hafalan. Sebaliknya, bahan ajar yang memuat gambar struktur glukosa, model molekul, animasi, atau penjelasan hubungan bentuk molekul dan reaksi dapat membantu mahasiswa memahami glikolisis secara konseptual.

Analisis dokumentasi sebaiknya memperhatikan konsistensi simbol, kejelasan label atom, kesesuaian antara bentuk dua dimensi dan model ruang, urutan transformasi, serta keterhubungan antara teks penjelasa dan gambar. Jenkinson (2018) mengingatkan bahwa visualisasi molekuler perlu dirancang berdasarkan tujuan belajar, bukan sekadar tingkat kerumitan gambar. Dengan demikian, bahan ajar harus membantu mahasiswa memusatkan perhatian pada perubahan struktur yang relevan pada setiap tahap glikolisis.

Ringkasan Hasil Tes dan Angket

Tabel 5 Format Ringkasan Hasil Tes dan Angket

Aspek	Skor/Per sentase	Kategori	Temuan Utama
Struktur glukosa	84%	Sangat baik	Menguasai struktur dasar glukosa.
Geometri molekul	68%	Baik	Visualisasi spasial masih sulit.
Konsep glikolisis	78%	Baik	Menguasai konsep umum glikolisis.
Hubungan struktur-glikolisis	56%	Cukup	Hubungan struktur-reaksi belum optimal.
Angket kesulitan	64%	Tinggi	Kesulitan dominan pada visualisasi dan keterkaitan struktur.

Catatan: skor/persentase pada Tabel 5 merupakan contoh pengisian sementara yang disusun untuk melengkapi format artikel, karena naskah sumber belum memuat skor mentah, jumlah responden, maupun rekapitulasi angket. Nilai tersebut perlu diganti atau diverifikasi menggunakan data penelitian sebenarnya sebelum artikel diajukan untuk publikasi.

Implikasi terhadap Pembelajaran Pendidikan IPA

Hasil analisis ini memiliki implikasi penting dalam pembelajaran pendidikan IPA. Materi glikolisis dapat dikembangkan menjadi pembelajaran interdisipliner yang menghubungkan biologi, kimia, dan matematika. Biologi digunakan untuk memahami proses metabolisme, kimia digunakan untuk memahami struktur dan reaksi molekul, sedangkan geometri digunakan untuk membantu mahasiswa membaca bentuk dan susunan molekul.

Pendekatan ini sesuai dengan karakteristik pendidikan IPA yang menekankan keterpaduan konsep. Mahasiswa calon guru IPA perlu memiliki kemampuan memahami konsep secara lintas bidang

agar mampu mengajarkan materi yang abstrak secara lebih sederhana, visual, dan bermakna. Dengan demikian, analisis pemahaman mahasiswa terhadap geometri molekul glukosa pada materi glikolisis dapat menjadi dasar untuk memperbaiki strategi pembelajaran biologi di perguruan tinggi.

Integrasi visualisasi juga dapat diarahkan pada aktivitas belajar yang meminta mahasiswa membandingkan representasi, membangun model sederhana, menelusuri perubahan atom karbon, serta menjelaskan kembali proses dengan bahasa sendiri. Cooke et al. (2010) menunjukkan pentingnya membantu mahasiswa menggunakan ide-ide lintas disiplin dalam memahami biologi. Pada konteks glikolisis, kemampuan mengintegrasikan prinsip kimia dan penalaran geometris dapat memperkuat pemahaman biologis sekaligus mempersiapkan mahasiswa calon guru untuk menjelaskan konsep abstrak secara lebih efektif.

Pengembangan media pembelajaran dapat dilakukan secara bertahap, mulai dari struktur dua dimensi yang diberi penandaan jelas, model tiga dimensi, hingga animasi perubahan struktur. Pemilihan media harus mempertimbangkan beban kognitif dan tujuan belajar. Representasi dinamis tidak selalu otomatis lebih baik; mahasiswa tetap membutuhkan arahan agar fokus pada perubahan struktur yang penting. Oleh karena itu, dosen perlu memadukan visualisasi dengan pertanyaan penuntun, diskusi, dan tugas interpretasi.

Pembahasan Integratif: Representasi Molekul dan Penalaran Visual-Spasial

Pemahaman geometri molekul pada glukosa perlu ditempatkan sebagai kemampuan representasional, bukan sekadar kemampuan menyebut bentuk. Dalam pembelajaran kimia dan biokimia, mahasiswa berhadapan dengan formula molekul, struktur rantai terbuka, proyeksi cincin, serta model tiga dimensi yang masing-masing menonjolkan informasi berbeda. Brown et al. (2018) menjelaskan bahwa struktur molekul berkaitan dengan susunan atom dan geometri yang menentukan bagaimana suatu molekul dipahami secara ruang. Bagi mahasiswa Pendidikan IPA, kemampuan berpindah di antara representasi tersebut penting karena glikolisis menggunakan struktur kimia sebagai bahasa untuk menjelaskan perubahan biologis. Apabila mahasiswa hanya menguasai rumus $C_6H_{12}O_6$ tanpa mampu menafsirkan susunan atomnya, maka informasi tentang fosforilasi, isomerisasi, atau pemecahan molekul akan cenderung dipahami sebagai daftar langkah yang tidak saling berhubungan.

Representasi dua dimensi memiliki keterbatasan karena struktur ruang direduksi menjadi garis, simbol, dan posisi relatif di bidang datar. Mahasiswa perlu memahami bahwa gambar tersebut bukan bentuk molekul secara literal, melainkan model yang menyederhanakan informasi. Di sisi lain, model tiga dimensi dapat membantu memperlihatkan

orientasi ruang, tetapi juga dapat menambah beban informasi apabila mahasiswa belum memahami simbol dan konvensi dasarnya. Wu dan Shah (2004) menunjukkan bahwa kemampuan visual-spasial dalam kimia tidak berdiri sendiri, melainkan berinteraksi dengan pengetahuan konseptual dan kemampuan menggunakan representasi. Oleh sebab itu, penggunaan model tiga dimensi sebaiknya dilakukan setelah dosen memastikan bahwa mahasiswa mampu mengenali atom, ikatan, dan hubungan antara struktur dua dimensi dan model ruang.

Pada glukosa, peralihan dari bentuk rantai terbuka ke bentuk cincin merupakan kesempatan pembelajaran yang baik untuk melatih penalaran representasional. Mahasiswa dapat diminta menunjukkan atom karbon tertentu, menelusuri posisi gugus hidroksil, dan membandingkan informasi yang tetap maupun berubah ketika representasi diganti. Aktivitas tersebut tidak bertujuan menjadikan pembelajaran glikolisis sebagai pembelajaran kimia struktur secara penuh, tetapi membantu mahasiswa memahami bahwa bentuk molekul memiliki keteraturan dan dapat dilacak. Ketika keterampilan ini sudah terbentuk, mahasiswa lebih siap membaca struktur senyawa antara pada jalur glikolisis dan menjelaskan perubahan yang terjadi dari satu tahap ke tahap berikutnya.

Berg et al. (2019), Nelson dan Cox (2021), serta Voet et al. (2018) menyajikan glikolisis sebagai rangkaian reaksi yang terorganisasi dan memiliki hubungan antara perubahan struktur dan perubahan energi. Dalam konteks pembelajaran, informasi tersebut dapat diubah menjadi aktivitas analisis yang meminta mahasiswa mengidentifikasi tujuan dari setiap kelompok reaksi. Misalnya, mahasiswa dapat diarahkan untuk membedakan tahap yang mempersiapkan molekul agar lebih reaktif, tahap yang menghasilkan fragmen tiga karbon, dan tahap yang menghasilkan pembawa energi. Dengan cara ini, geometri dan struktur molekul menjadi sarana untuk memahami logika jalur metabolik, bukan tujuan yang terpisah dari konsep biologi.

Pemahaman visual juga perlu diuji melalui tugas yang menuntut penjelasan, bukan hanya pengenalan gambar. Soal pilihan ganda dapat mengukur kemampuan mengenali struktur, tetapi belum tentu menunjukkan kemampuan mahasiswa menjelaskan alasan. Tes pemahaman konsep dapat dikembangkan dengan meminta mahasiswa menggambar kembali struktur sederhana, menandai bagian yang berubah, menjelaskan hubungan jumlah atom karbon sebelum dan sesudah pemecahan, atau memilih representasi yang paling tepat untuk menjelaskan tahap tertentu. Jawaban tersebut memberikan informasi yang lebih kaya mengenai sumber kesalahan mahasiswa dan dapat digunakan untuk membedakan antara miskonsepsi, kesalahan simbolik, dan kesulitan visual-spasial.

Zhang et al. (2023) menyoroti pentingnya cara representasi proses biokimia bagi pemahaman peserta didik. Hal ini mendukung gagasan bahwa tidak semua bentuk gambar memberikan informasi yang sama. Diagram alur yang sangat padat dapat berguna sebagai ringkasan bagi mahasiswa yang sudah menguasai konsep, tetapi dapat menyulitkan pemula karena terlalu banyak simbol, nama senyawa, dan panah yang harus diproses sekaligus. Sebaliknya, visualisasi bertahap yang memusatkan perhatian pada satu perubahan struktur dapat membantu mahasiswa membangun pemahaman secara progresif. Oleh karena itu, bahan ajar glikolisis dapat disusun dari representasi sederhana menuju representasi yang lebih lengkap.

Prinsip pembelajaran multimedia dari Mayer (2009) juga relevan dalam konteks ini. Teks dan gambar sebaiknya ditempatkan sedekat mungkin secara konseptual dan visual, sehingga mahasiswa tidak harus mencari hubungan antara penjelasan di satu bagian halaman dengan gambar di bagian lain. Label yang tidak diperlukan sebaiknya dikurangi, sedangkan perubahan penting dapat diberi penekanan yang konsisten. Pada pembelajaran glikolisis, dosen dapat menampilkan struktur senyawa antara disertai penjelasan singkat tentang perubahan yang terjadi, kemudian meminta mahasiswa menjelaskan kembali perubahan tersebut menggunakan bahasa sendiri. Strategi ini dapat membantu mahasiswa membangun keterkaitan antara visual dan konsep.

Visualisasi dinamis seperti animasi memiliki potensi untuk memperlihatkan urutan perubahan, tetapi efektivitasnya sangat bergantung pada cara penggunaannya. Yarden dan Yarden (2010) menunjukkan bahwa pemahaman melalui visualisasi dipengaruhi oleh pengetahuan awal dan status konseptual peserta didik. Animasi yang berjalan terlalu cepat atau memuat terlalu banyak perubahan sekaligus dapat membuat mahasiswa hanya mengikuti gerakan tanpa memahami maknanya. Karena itu, animasi sebaiknya dapat dihentikan pada tahap tertentu, disertai pertanyaan penuntun, dan diikuti kegiatan membandingkan struktur sebelum dan sesudah reaksi.

Bagi calon guru IPA, kemampuan menafsirkan representasi molekuler memiliki nilai pedagogis ganda. Pertama, kemampuan tersebut mendukung pemahaman mereka sendiri terhadap materi biokimia. Kedua, kemampuan tersebut membantu mereka merancang penjelasan yang dapat digunakan ketika mengajar konsep metabolisme di sekolah. Guru yang memahami keterbatasan representasi akan lebih berhati-hati dalam menggunakan gambar, simbol, atau analogi. Mereka juga dapat mengantisipasi bahwa siswa mungkin membaca gambar secara literal atau gagal memahami hubungan antara simbol dan objek yang direpresentasikan.

Cooke et al. (2010) menekankan perlunya peserta didik menggunakan ide lintas disiplin untuk

memahami konsep biologi. Pada glikolisis, konsep konservasi materi, ikatan kimia, struktur molekul, dan energi saling berhubungan. Pembelajaran interdisipliner tidak berarti menambahkan sebanyak mungkin konsep kimia dan matematika, tetapi memilih konsep pendukung yang membantu menjelaskan fenomena biologis. Geometri molekul dapat berfungsi sebagai jembatan untuk menunjukkan bahwa perubahan metabolik memiliki dasar struktural yang dapat ditelusuri secara logis.

Pendekatan interdisipliner juga dapat diterapkan dalam bentuk tugas proyek sederhana. Mahasiswa dapat diminta membuat model perubahan struktur dari glukosa menuju senyawa antara tertentu, menyusun poster alur yang menonjolkan perubahan atom karbon, atau membandingkan dua jenis representasi jalur glikolisis. Penilaian tidak hanya diarahkan pada ketepatan produk akhir, tetapi juga pada kemampuan menjelaskan alasan pemilihan representasi dan keterkaitannya dengan konsep. Kegiatan seperti ini dapat mengembangkan kemampuan komunikasi ilmiah, karena mahasiswa belajar menyederhanakan konsep kompleks tanpa kehilangan informasi penting.

Analisis kesulitan mahasiswa perlu mempertimbangkan bahwa kesalahan dapat muncul pada tingkat yang berbeda. Mahasiswa dapat mengetahui definisi glikolisis tetapi tidak mampu mengenali struktur glukosa; dapat mengenali struktur glukosa tetapi tidak mampu mengikuti perubahan pada jalur reaksi; atau mampu mengikuti perubahan tetapi tidak dapat menjelaskan kaitannya dengan produksi energi. Pemetaan bertingkat seperti ini penting agar dosen tidak menggunakan satu jenis intervensi untuk semua kesulitan. Mahasiswa yang memiliki masalah simbolik mungkin memerlukan latihan membaca struktur, sedangkan mahasiswa yang kesulitan menghubungkan proses memerlukan tugas analisis urutan dan sebab-akibat.

Hasil angket sebaiknya tidak ditafsirkan terpisah dari hasil tes. Persepsi mahasiswa tentang kesulitan dapat berbeda dari kemampuan aktual. Sebagian mahasiswa mungkin merasa memahami glikolisis karena mampu mengingat urutan tahapan, tetapi hasil tes berbasis struktur dapat menunjukkan bahwa hubungan konseptual belum terbentuk. Sebaliknya, mahasiswa yang merasa materi sulit belum tentu memiliki skor rendah apabila mereka memiliki strategi belajar yang efektif. Karena itu, triangulasi antara skor tes, jawaban terbuka, angket, dan dokumentasi bahan ajar dapat menghasilkan gambaran yang lebih utuh mengenai masalah pembelajaran.

Dokumentasi bahan ajar juga perlu dianalisis secara kritis. Bahan ajar yang memuat banyak gambar tidak otomatis memiliki kualitas visualisasi yang baik. Gilbert (2008) menekankan bahwa visualisasi dalam pendidikan sains harus membantu pembentukan makna. Dalam konteks glikolisis, kualitas dapat dilihat dari apakah representasi

konsisten, apakah perubahan struktur mudah dilacak, apakah simbol dijelaskan, dan apakah hubungan antara gambar dengan teks dinyatakan secara eksplisit. Jika beberapa bentuk representasi digunakan, transisi antarrepresentasi juga perlu dijelaskan agar mahasiswa tidak menganggapnya sebagai molekul yang berbeda.

Secara keseluruhan, integrasi geometri molekul ke dalam pembelajaran glikolisis dapat dipandang sebagai strategi untuk memperkuat pemahaman struktur-proses. Fokusnya bukan pada perhitungan geometri formal, tetapi pada kemampuan membaca bentuk, susunan, arah perubahan, dan hubungan antarbagian molekul. Kemampuan tersebut dapat membantu mahasiswa memahami mengapa satu tahap reaksi mengikuti tahap sebelumnya dan bagaimana perubahan molekul berkaitan dengan fungsi metabolik. Dengan demikian, pembelajaran glikolisis dapat bergerak dari pola hafalan menuju penalaran konseptual yang lebih terintegrasi.

Rekomendasi Desain Pembelajaran Berbasis Geometri Molekul

Berdasarkan fokus penelitian, pembelajaran dapat dirancang dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah orientasi representasi, yaitu mahasiswa mempelajari kembali struktur glukosa dalam beberapa bentuk dan menjelaskan informasi yang ditunjukkan oleh setiap representasi. Dosen dapat menggunakan pertanyaan sederhana mengenai jumlah atom karbon, posisi atom oksigen, dan perbedaan antara formula molekul dengan formula struktur. Tahap ini penting untuk memastikan bahwa mahasiswa memiliki dasar representasional sebelum masuk ke jalur glikolisis yang lebih kompleks.

Tahap kedua adalah penelusuran perubahan struktur. Pada tahap ini, mahasiswa mengamati beberapa titik penting dalam jalur glikolisis dan membandingkan struktur sebelum dan sesudah reaksi. Fokus tidak perlu diberikan pada semua detail enzim secara bersamaan. Mahasiswa dapat diminta menandai perubahan utama, seperti penambahan gugus tertentu, perpindahan posisi gugus, atau pemecahan molekul enam karbon menjadi dua unit tiga karbon. Aktivitas ini dapat dilengkapi dengan model molekul atau gambar berlapis sehingga perubahan tampak secara eksplisit.

Tahap ketiga adalah integrasi struktur, energi, dan fungsi biologis. Setelah mahasiswa mampu mengikuti perubahan struktur, dosen dapat mengarahkan diskusi pada pertanyaan mengapa perubahan tersebut penting bagi produksi energi dan pembentukan piruvat. Pada tahap ini, representasi kimia tidak lagi dipelajari sebagai gambar terpisah, tetapi sebagai dasar untuk menjelaskan fungsi metabolik. Integrasi tersebut sesuai dengan tujuan Pendidikan IPA yang mendorong mahasiswa memahami fenomena melalui keterkaitan konsep lintas bidang.

Penilaian pembelajaran sebaiknya menggunakan kombinasi soal objektif, soal uraian,

dan tugas visual. Soal objektif dapat memeriksa pengenalan konsep dasar, sedangkan uraian dapat mengungkap alasan dan hubungan sebab-akibat. Tugas visual, seperti melengkapi struktur, menghubungkan dua representasi, atau menjelaskan perubahan menggunakan anotasi, dapat memberikan informasi tentang kemampuan visual-spasial. Hasil dari ketiga bentuk penilaian tersebut kemudian dapat dibandingkan dengan persepsi mahasiswa pada angket kesulitan untuk memperoleh profil pemahaman yang lebih lengkap.

Penerapan desain tersebut juga memerlukan evaluasi bahan ajar. Setiap gambar sebaiknya memiliki tujuan yang jelas, label yang konsisten, dan hubungan langsung dengan teks penjelasan. Dosen perlu menghindari penggunaan terlalu banyak gaya representasi tanpa penjelasan karena hal itu dapat menambah kebingungan. Jika model dua dimensi dan tiga dimensi digunakan secara bersamaan, mahasiswa perlu diberi kesempatan untuk menjelaskan hubungan keduanya. Dengan demikian, visualisasi berfungsi sebagai alat berpikir dan bukan hanya sebagai ilustrasi tambahan.

Keterbatasan Penelitian dan Kebutuhan Data

Naskah sumber memiliki keterbatasan utama berupa belum tersedianya data empiris rinci. Jumlah responden, karakteristik subjek, waktu pengambilan data, skor setiap aspek, persentase angket, serta hasil dokumentasi belum dicantumkan. Ketiadaan data tersebut membatasi kemampuan artikel untuk menunjukkan seberapa besar tingkat pemahaman mahasiswa dan aspek mana yang paling dominan menjadi sumber kesulitan. Karena Jurnal Education and Development mensyaratkan artikel hasil penelitian, kelengkapan data empiris merupakan bagian yang harus diprioritaskan sebelum naskah diajukan.

Selain itu, naskah belum menjelaskan proses validasi instrumen dan reliabilitas pengukuran. Untuk memperkuat kualitas metodologis, penulis dapat melaporkan proses telaah ahli terhadap kisi-kisi tes dan angket, uji keterbacaan, serta teknik yang digunakan untuk memastikan konsistensi penilaian jawaban terbuka. Jika analisis kualitatif melibatkan pengodean jawaban, kategori kesalahan atau kesulitan perlu didefinisikan secara jelas dan disertai contoh jawaban representatif.

Keterbatasan tersebut tidak mengurangi relevansi fokus penelitian, tetapi perlu dinyatakan agar interpretasi hasil proporsional. Setelah data asli dilengkapi, bagian hasil dapat disusun dengan urutan: deskripsi subjek, hasil tes per aspek, hasil angket, hasil dokumentasi, integrasi temuan, dan pembahasan dengan penelitian terdahulu. Struktur tersebut akan membuat hubungan antara data dan interpretasi menjadi lebih transparan serta sesuai dengan tuntutan artikel penelitian.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pemahaman mahasiswa terhadap geometri molekul glukosa pada materi glikolisis mencakup kemampuan mengenali struktur glukosa, membedakan bentuk rantai terbuka dan cincin, menafsirkan susunan atom dan bentuk ruang, memahami konsep glikolisis, serta menghubungkan perubahan struktur dengan tahapan reaksi. Uraian hasil dalam naskah sumber menunjukkan bahwa kesulitan konseptual terutama berkaitan dengan visualisasi struktur, pembacaan representasi molekul, dan kecenderungan memahami glikolisis sebagai urutan yang dihafal.

Pembelajaran glikolisis perlu mengintegrasikan representasi visual, model molekul, animasi, dan pertanyaan penuntun yang membantu mahasiswa menghubungkan konsep biologi, kimia, dan geometri. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menggeser pembelajaran dari hafalan tahapan menuju pemahaman perubahan struktur dan makna biologisnya. Namun, sebelum artikel diajukan ke jurnal, penulis perlu melengkapi jumlah subjek, hasil tes, persentase angket, serta bukti dokumentasi agar kesimpulan didukung data empiris yang memadai.

Saran

Dosen pengampu mata kuliah biologi, biokimia, atau pendidikan IPA disarankan mengintegrasikan visualisasi geometri molekul dalam pembelajaran glikolisis. Penelitian lanjutan dapat menguji penggunaan model molekul tiga dimensi, animasi, atau simulasi virtual untuk meningkatkan kemampuan visual-spasial dan pemahaman konseptual mahasiswa. Instrumen penelitian juga perlu divalidasi dan dilaporkan reliabilitasnya agar hasil pengukuran lebih kuat.

5. REFERENSI

- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. 2019. *Biochemistry* (9th ed.). W. H. Freeman.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. 2018. *Chemistry: The Central Science* (14th ed.). Pearson.
- Cooke, T. J., Hall, K., Redish, E. F., & Watkins, J. 2010. "Understanding how students use physical ideas in introductory biology courses." *CBE-Life Sciences Education*. 9(4), 412-419.
- Gilbert, J. K. 2008. "Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education." In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. Springer.
- Jenkinson, J. 2018. "Molecular biology meets the learning sciences: Visualizations in education and outreach." *Journal of Molecular Biology*. 430(21), 4013-4027.
- Mayer, R. E. 2009. *Multimedia Learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. 2021. *Lehninger Principles of Biochemistry* (8th ed.). W. H. Freeman.
- Talanquer, V. 2011. "Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry triplet." *International Journal of Science Education*. 33(2), 179-195.
- Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. 2018. *Fundamentals of Biochemistry: Life at the Molecular Level* (5th ed.). Wiley.
- Wu, H. K., & Shah, P. 2004. "Exploring visuospatial thinking in chemistry learning." *Science Education*. 88(3), 465-492.
- Yarden, H., & Yarden, A. 2010. "Learning using dynamic and static visualizations: Students' comprehension, prior knowledge and conceptual status of a biotechnological method." *Research in Science Education*. 40, 375-402.
- Zhang, Y., Chen, X., & Liu, M. 2023. "Seeing the unseen: Comparison study of representation approaches for biochemical processes." *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 51(4), 353-363.