INDEXIA: Informatic and Computational Intelligent Journal
Vol.07, No.01, Mei 2025, hlm. 1-10
P-ISSN: 2657-0424
E-ISSN: 2657-0432

ANALISIS PERSEPSI MAHASISWA TERHADAP EFEKTIVITAS VIRTUAL LAB DALAM PEMBELAJARAN PCR DI BIOLOGI MOLEKULER

Ayu Yuliana[1)], Sailana Mira Rangkuty[2)], Kezia Romora[3)]
[1,2,3)] Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Medan
Jl. Willem Iskandar/Pasar V, Medan, Sumatera Utara, 20122
e-mail: yulianalase126@gmail.com[1)]
*corresponding author

(Naskah masuk : 02 April 2025 Diterima untuk diterbitkan : 18 April 2025)

ABSTRAK

Biologi molekuler berkembang pesat dengan berbagai aplikasi, termasuk dalam kedokteran dan bioteknologi. Salah satu teknik fundamentalnya adalah Polymerase Chain Reaction (PCR), yang berperan dalam memperbanyak DNA. Namun, pembelajaran teknik ini sering terkendala keterbatasan fasilitas laboratorium. Virtual Lab menjadi alternatif yang memungkinkan simulasi eksperimen tanpa bergantung pada laboratorium fisik. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas Virtual Lab dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap PCR. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan survei terhadap 20 mahasiswa Biologi Molekuler melalui angket berbasis skala Likert. Data dianalisis secara deskriptif berdasarkan persentase dan rata-rata skor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Virtual Lab berdampak positif terhadap pemahaman mahasiswa. Sebelum mengikuti simulasi, pemahaman konsep PCR masih rendah. Setelahnya, terjadi peningkatan signifikan dalam pemahaman konsep, kemampuan menjelaskan tahapan PCR, serta kesiapan dalam praktik langsung. Virtual Lab juga dinilai fleksibel dan memungkinkan latihan mandiri. Namun, keterbatasan tetap ada, seperti minimnya pengalaman dalam mengoperasikan alat PCR secara nyata. Oleh karena itu, kombinasi Virtual Lab dengan praktikum langsung disarankan untuk pembelajaran PCR yang lebih optimal.

***Kata Kunci**: Biologi molekular, Efektivitas pembelajaran, Lab virtual, PCR, Persepsi*

ABSTRACT

Molecular biology is rapidly developing with various applications, including in the fields of medicine and biotechnology. One of its fundamental techniques is Polymerase Chain Reaction (PCR) which plays a role in amplifying DNA. However, learning this technique is often constrained by limited laboratory facilities. Virtual Lab is an alternative that allows experimental simulations without relying on a physical laboratory. This study aims to analyze the effectiveness of Virtual Lab in improving students' understanding of PCR. The method used is quantitative descriptive with a survey approach to 20 Molecular Biology students through a Likert-based questionnaire. Data were analyzed descriptively based on percentages and average scores. The results showed that Virtual Lab had a positive impact on students' understanding. Before participating in the simulation, understanding of the PCR concept was still low. After participating in the simulation, there was a significant increase in understanding the concept, the ability to explain the PCR stages, and readiness for direct practice. Virtual Lab is also considered flexible and allows independent practice. However, there are still limitations, such as lack of experience in operating the actual PCR tool. Therefore, a combination of Virtual Lab with direct practicum is recommended for more optimal PCR learning.

***Keywords**: Molecular biology, Learning effectiveness, Virtual lab, PCR, Perception*

I. PENDAHULUAN

Biologi molekuler merupakan salah satu bidang inovasi ilmiah dan teknis yang paling cepat berkembang. Perkembangannya memiliki efek mendalam pada berbagai aspek kehidupan sehari-hari, mulai dari kedokteran, pertanian, hingga ilmu forensik. Salah satu teknik fundamental dalam biologi molekuler adalah Polymerase Chain Reaction (PCR). PCR adalah teknik penting yang digunakan untuk

memperbanyak fragmen DNA secara eksponensial melalui siklus reaksi enzimatik. Pemahaman mendalam tentang teknik ini sangat krusial bagi mahasiswa biologi molekuler, mengingat aplikasinya yang luas dalam penelitian dan diagnostik (Suryanti et al., 2019).

Pembelajaran Biologi Molekuler memerlukan analisis mendalam, diskusi, serta prosedur laboratorium yang cermat untuk memahami berbagai fenomena biologis pada tingkat molekuler. Oleh karena itu, diperlukan sarana pembelajaran yang memadai guna mendukung mahasiswa dalam mengeksplorasi aspek-aspek biologi molekuler. Namun, keterbatasan fasilitas laboratorium masih menjadi kendala di beberapa universitas. Berbagai tantangan dalam pembelajaran sains, seperti keterbatasan laboratorium dan media pembelajaran, dapat diatasi dengan pemanfaatan teknologi komputer. Salah satu solusi alternatif yang dapat diterapkan adalah pengembangan laboratorium virtual (virlab), yang diharapkan mampu mengatasi keterbatasan sarana laboratorium serta memberikan mahasiswa pengalaman praktis dalam melakukan eksperimen biologi molekuler (Suryanti et al., 2019).

Laboratorium virtual (virlab) merupakan simulasi interaktif yang memungkinkan pengguna melakukan berbagai eksperimen secara digital, di mana seluruh manipulasi dan prosedur dilakukan melalui komputer (Spernjak & Sorgo, 2017). Menurut Abramov et al. (2016), virlab adalah perangkat lunak yang dirancang untuk mensimulasikan eksperimen yang biasanya dilakukan di laboratorium nyata. Seiring dengan perkembangan teknologi komputer, virlab semakin populer dalam pembelajaran sains. Kemampuannya dalam memproses informasi dengan cepat memungkinkan mahasiswa untuk mengeksplorasi konsep-konsep ilmiah tanpa dibatasi oleh keterbatasan fasilitas fisik (Spernjak & Sorgo, 2017).

Studi oleh Tsirulnikov et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium virtual berbasis realitas virtual dapat meningkatkan motivasi dan hasil belajar mahasiswa dalam bidang biomedis. Meta-analisis oleh Zhang et al. (2023) juga mengonfirmasi bahwa laboratorium virtual secara signifikan meningkatkan kinerja akademik mahasiswa teknik. Dalam konteks pendidikan kimia, Alhashem dan Alfailakawi (2023) menemukan bahwa integrasi laboratorium virtual dalam pelatihan guru prajabatan meningkatkan pemahaman konsep dan keterlibatan dalam pembelajaran. Mashami et al. (2023) melaporkan bahwa penggunaan simulasi PhET sebagai laboratorium virtual dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa dalam mata kuliah Radiokimia. Govender (2023) juga menegaskan bahwa laboratorium virtual berkontribusi terhadap peningkatan regulasi diri mahasiswa. Selain itu, Hantoobi et al. (2023) menyoroti bagaimana pembelajaran berbasis laboratorium virtual dapat dimaksimalkan dengan analisis data pembelajaran untuk mendukung pengambilan keputusan instruksional.

Namun, terdapat beberapa keterbatasan dalam penggunaan virlab, seperti kurangnya pengalaman langsung (hands-on skills) dalam bekerja di laboratorium nyata, minimnya keterkaitan antara desain dan hasil eksperimen, serta berkurangnya interaksi sosial dan kolaborasi di antara siswa (Spernjak & Sorgo, 2017). Selain itu, tindakan yang dapat dilakukan dalam virlab cenderung terbatas, respons manual kurang optimal, serta pengalaman yang diperoleh mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi di laboratorium fisik (Potkonjak et al., 2016). Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan virlab dalam pembelajaran, baik dalam aspek pemahaman konsep, keterampilan praktikum, maupun keterlibatan mahasiswa dalam proses eksperimen PCR menggunakan Virtual Lab.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dan kuantitatif sederhana. Pendekatan ini dipilih untuk menggambarkan efektivitas penggunaan virtual lab dalam pembelajaran Polymerase Chain Reaction (PCR) terhadap pemahaman mahasiswa tanpa menggunakan uji statistik formal.

2.1 Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah mahasiswa yang sedang mengambil mata kuliah Biologi Molekuler sebanyak 20 mahasiswa.

2.2 Metode dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi persepsi mahasiswa terhadap penggunaan Virtual Lab dalam pembelajaran PCR. Data dikumpulkan menggunakan angket sebagai instrumen penelitian, sehingga penelitian ini bersifat non-

eksperimental.

2.3 Instrumen Penelitian

Angket diberikan setelah mahasiswa yang sudah mengambil mata kuliah Biologi Molekuler. Angket terdiri dari 7 pertanyaan dengan skala pilihan jawaban terdiri dari 4 skala yaitu "Tidak Paham/Tidak Bisa", "Kurang Paham/Kurang Bisa", "Paham/Bisa" dan "Sangat Paham/Sangat Bisa" dan 3 pertanyaan essai. Pertanyaan-pertanyaan pada angket sebagai berikut;

1. Seberapa paham Anda terhadap konsep dasar PCR sebelum mengikuti Virtual Lab?
2. Seberapa paham Anda terhadap konsep dasar PCR setelah mengikuti Virtual Lab?
3. Apakah pembelajaran melalui Virtual Lab yang Anda ikuti membantu memahami tahapan-tahapan PCR dengan lebih jelas?
4. Apakah Anda dapat menjelaskan kembali langkah-langkah PCR secara sistematis setelah pembelajaran?
5. Apakah metode pembelajaran yang digunakan memungkinkan Anda berlatih secara mandiri?
6. Apakah metode ini memberikan pengalaman yang cukup dalam memahami alat dan bahan yang digunakan dalam PCR?
7. Apakah metode ini membuat Anda lebih siap untuk melakukan PCR secara langsung di laboratorium?
8. Apakah Anda merasa melakukan kombinasi antara Virtual Lab dan Praktikum Langsung dalam Pembelajaran PCR?
9. Apa kelebihan metode pembelajaran Virtual Lab dalam memahami PCR?
10. Apa kekurangan metode pembelajaran Virtual Lab dalam memahami PCR?

2.4 Telnik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui angket tertutup yang menggunakan skala Likert dengan empat opsi jawaban untuk menilai persepsi mahasiswa terhadap efektivitas Virtual Lab. Angket diberikan setelah mahasiswa yang sudah mengambil mata kuliah Biologi Molekuler.

2.5 Analisis dan Interpretasi Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif pada awaban skala Likert yang dianalisis dengan menghitung persentase dan rata-rata skor untuk melihat kecenderungan persepsi mahasiswa.

Selain analisis deskriptif, data juga dianalisis secara inferensial menggunakan uji statistik Wilcoxon Signed-Rank Test untuk mengetahui perbedaan pemahaman mahasiswa sebelum dan sesudah mengikuti Virtual Lab. Uji ini digunakan karena data berasal dari sampel kecil (n = 20) dan berskala ordinal. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS atau software statistik serupa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

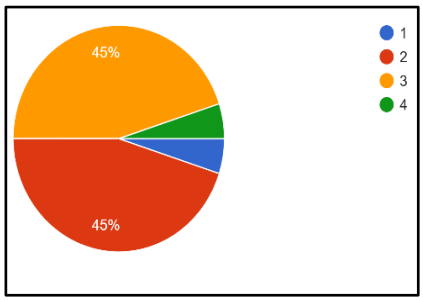
Berdasarkan pengolahan dan analisis data diperoleh hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Jawaban Mahasiswa Pada Setiap Pertanyaan

Pertanyaan Nomor	Jumlah Jawaban (%)			
	1	**2**	**3**	**4**
1	1 (5%)	9 (45%)	9 (45%)	1 (5%)
2	1 (5%)	1 (5%)	9 (45%)	9 (45%)
3	0	1 (5%)	11 (55%)	8 (40%)
4	0	3 (15%)	12 (60%)	5 (25%)
5	0	1 (5%)	5 (25%)	14 (70%)
6	0	1 (5%)	11 (55%)	8 (40%)
7	0	3 (15%)	6 (30%)	11 (55%)

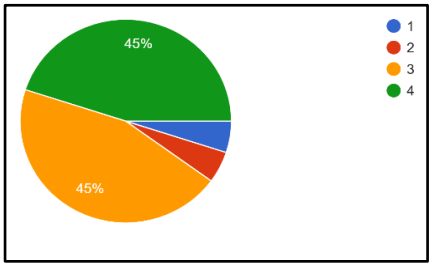
Tabel ini menunjukkan persentase jawaban mahasiswa terhadap efektivitas Virtual Lab dalam pembelajaran PCR. Mayoritas mahasiswa memilih kategori 3 (Setuju) dan 4 (Sangat Setuju), terutama pada pertanyaan 5 (70% memilih kategori 4) dan pertanyaan 7 (55% memilih kategori 4), yang menunjukkan persepsi positif terhadap Virtual Lab. Namun, beberapa pertanyaan memiliki distribusi

jawaban yang lebih bervariasi, mengindikasikan adanya perbedaan pendapat di antara mahasiswa. Secara keseluruhan, Virtual Lab dianggap cukup efektif dalam mendukung pembelajaran PCR di Biologi Molekuler.



Gambar 1. Diagram perbandingan pemahaman mahasiswa terhadap konsep dasar PCR sebelum mengikuti Virtual Lab

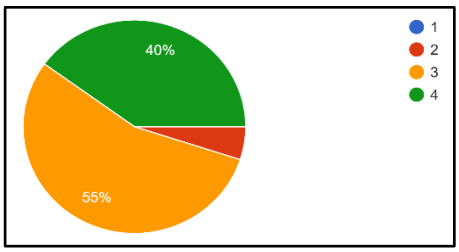
Pada Gambar 1, terlihat bahwa mayoritas mahasiswa memiliki pemahaman yang masih rendah terhadap konsep dasar PCR sebelum mengikuti Virtual Lab. Hal ini ditunjukkan oleh dominasi kategori 2 (45%) dan kategori 3 (45%), yang menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa memiliki pemahaman yang kurang atau cukup. Sementara itu, hanya sedikit mahasiswa yang berada pada kategori 1 (sangat kurang) dan kategori 4 (sangat baik). Data ini menunjukkan bahwa sebelum mengikuti Virtual Lab, pemahaman mahasiswa mengenai PCR masih terbatas, kemungkinan karena kurangnya pengalaman praktis atau paparan materi yang lebih mendalam terkait konsep PCR.



Gambar 2. Diagram perbandingan pemahaman mahasiswa terhadap konsep dasar PCR setelah mengikuti Virtual Lab

Pada Gambar 2. Setelah mengikuti Virtual Lab, terlihat adanya peningkatan signifikan dalam pemahaman mahasiswa terhadap konsep PCR. Pada Gambar 2, persentase mahasiswa dalam kategori 4 (sangat baik) meningkat hingga 45%, menunjukkan bahwa hampir setengah dari peserta sudah memahami konsep PCR dengan sangat baik. Sebaliknya, kategori 2 dan 3 mengalami penurunan, yang berarti bahwa mahasiswa yang sebelumnya kurang memahami konsep PCR mengalami peningkatan pemahaman setelah mengikuti Virtual Lab.

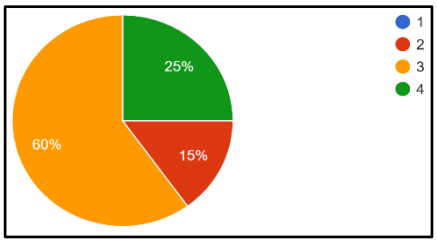
Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan Virtual Lab dalam pembelajaran dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep PCR. Simulasi yang interaktif dan visualisasi yang lebih jelas memungkinkan mahasiswa untuk lebih memahami proses PCR secara mendalam dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional.



Gambar 3. Diagram perbandingan mahasiswa terhadap Virtual Lab dalam membantu memahami tahapan-tahapan PCR

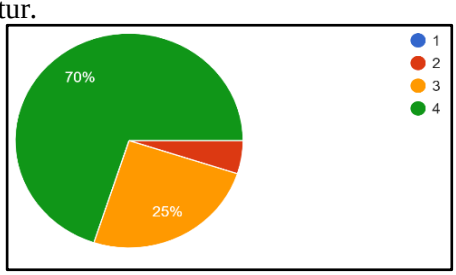
INDEXIA: Informatic and Computational Intelligent Journal
Vol.07, No.01, Mei 2025, hlm. 1-10
P-ISSN: 2657-0424
E-ISSN: 2657-0432

Gambar 3 menunjukkan bahwa mayoritas mahasiswa merasa terbantu dalam memahami tahapan-tahapan PCR setelah menggunakan Virtual Lab. Hal ini terlihat dari tingginya persentase kategori 3 (55%) dan kategori 4 (40%), yang menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa memiliki pemahaman yang baik dan sangat baik mengenai tahapan PCR setelah pembelajaran berbasis simulasi. Hanya sedikit mahasiswa yang masih berada dalam kategori 1 atau 2, yang berarti Virtual Lab cukup efektif dalam meningkatkan pemahaman terhadap tahapan-tahapan PCR.



Gambar 4. Diagram perbandingan mahasiswa untuk menjelaskan kembali langkah langkah PCR secara sistematis setelah pembelajaran

Gambar 4 menggambarkan sejauh mana mahasiswa mampu menjelaskan kembali langkah-langkah PCR secara sistematis setelah pembelajaran. Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa masih berada dalam kategori 3 (60%), yang berarti mereka memiliki pemahaman cukup tetapi belum optimal dalam menjelaskan secara sistematis. Sementara itu, hanya 25% mahasiswa yang mencapai kategori 4 (sangat baik), menunjukkan bahwa masih ada ruang untuk perbaikan dalam kemampuan menjelaskan langkah-langkah PCR secara runtut. Selain itu, 15% mahasiswa masih berada dalam kategori 2, yang mengindikasikan bahwa meskipun mereka memahami konsepnya, mereka masih kesulitan dalam menjelaskan kembali langkah-langkah PCR secara sistematis. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun Virtual Lab efektif dalam meningkatkan pemahaman, diperlukan metode tambahan seperti diskusi, latihan soal, atau praktik langsung untuk membantu mahasiswa dalam menyusun penjelasan secara lebih terstruktur.

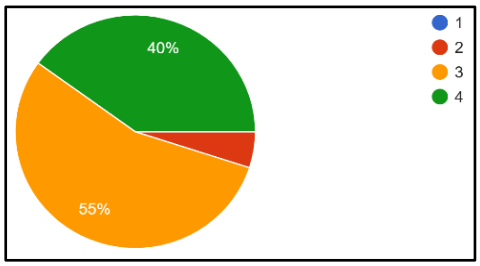


Gambar 5. Diagram perbandingan mahasiswa yang memungkinkan berlatih secara mandiri

Gambar 5 menunjukkan bahwa mayoritas mahasiswa merasa Virtual Lab memungkinkan mereka untuk berlatih secara mandiri dalam memahami PCR. Hal ini ditunjukkan oleh 70% mahasiswa yang berada dalam kategori 4 (sangat baik), sementara 25% berada dalam kategori 3 (baik). Hanya sebagian kecil mahasiswa yang berada di kategori 2, dan tidak ada mahasiswa dalam kategori 1.

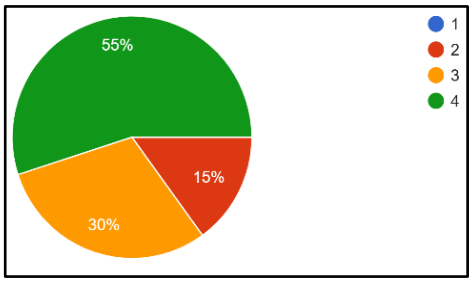
Hasil ini mengindikasikan bahwa Virtual Lab merupakan alat pembelajaran yang efektif dalam memberikan fleksibilitas bagi mahasiswa untuk belajar secara mandiri. Dengan adanya simulasi interaktif, mahasiswa dapat mengulang latihan tanpa batasan waktu dan tanpa ketergantungan pada laboratorium fisik, sehingga mereka lebih leluasa dalam mengeksplorasi konsep PCR secara lebih mendalam.

Gambar 6 menunjukkan bagaimana Virtual Lab membantu mahasiswa dalam memahami alat dan bahan yang digunakan dalam proses PCR. Sebagian besar mahasiswa memiliki pemahaman yang baik (55% dalam kategori 3) dan sangat baik (40% dalam kategori 4). Hanya sedikit mahasiswa yang masih berada dalam kategori 2, dan tidak ada yang berada dalam kategori 1.



Gambar 6. Diagram perbandingan mahasiswa dalam memahami alat dan bahan yang digunakan PCR melalui Virtual Lab

Hasil ini menunjukkan bahwa Virtual Lab cukup efektif dalam memperkenalkan alat dan bahan yang digunakan dalam PCR, seperti termokopler, primer, dNTPs, enzim Taq polimerase, dan buffer. Visualisasi dalam Virtual Lab memungkinkan mahasiswa untuk mengenali fungsi dan peran setiap komponen dalam PCR secara lebih jelas dibandingkan dengan hanya membaca teori di buku.

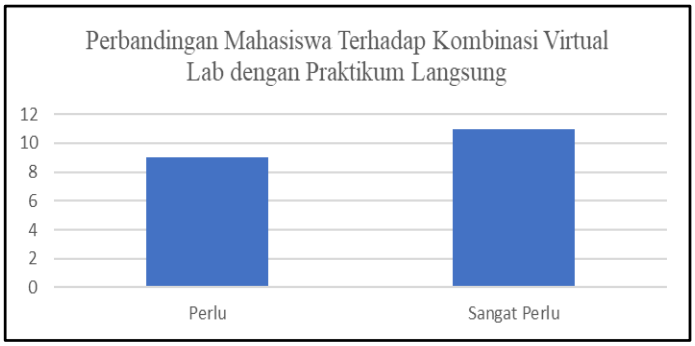


Gambar 7. Diagram perbandingan mahasiswa yang siap untuk melakukan PCR secara langsung di laboratorium

Gambar 7 menunjukkan tingkat kesiapan mahasiswa untuk melakukan PCR secara langsung di laboratorium setelah mengikuti pembelajaran dengan Virtual Lab. Sebagian besar mahasiswa (65%) berada dalam kategori 4 (sangat siap), sementara 30% berada dalam kategori 3 (siap). Hanya 15% mahasiswa yang berada dalam kategori 2 (kurang siap), dan tidak ada mahasiswa yang masuk kategori 1 (tidak siap sama sekali).

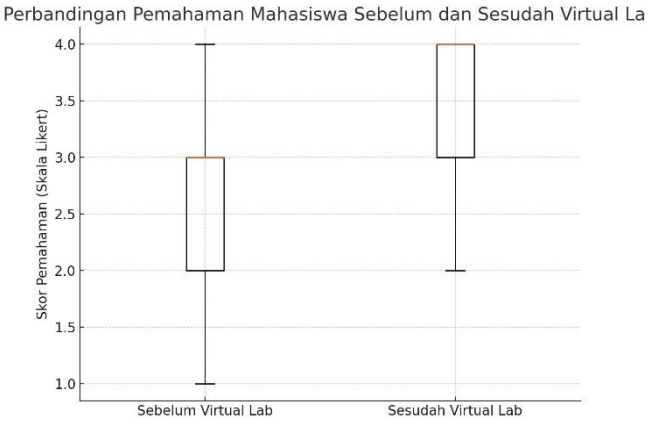
Hasil ini menunjukkan bahwa Virtual Lab memberikan dampak positif dalam membekali mahasiswa dengan pemahaman dan keterampilan yang cukup sebelum mereka terjun langsung ke laboratorium. Dengan memahami tahapan, alat, bahan, serta prosedur PCR melalui simulasi, mahasiswa dapat lebih percaya diri dalam melakukan eksperimen sebenarnya. Meskipun mayoritas mahasiswa sudah siap, masih ada sekitar 15% yang merasa kurang siap untuk melakukan PCR secara langsung. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun

Virtual Lab sangat membantu, praktik langsung di laboratorium tetap diperlukan agar mahasiswa dapat lebih memahami aspek teknis, seperti penanganan sampel, pengaturan alat, serta troubleshooting dalam proses PCR.



Gambar 8. Diagram Batang Perbandingan Diperlukannya Kombinasi Virtual Lab dengan Praktikjm Langsung

Berdasarkan diagram batang yang ditampilkan, dapat disimpulkan bahwa mayoritas mahasiswa menganggap kombinasi antara Virtual Lab dan Praktikum Langsung sebagai suatu kebutuhan. Diagram menunjukkan bahwa jumlah mahasiswa yang memilih "Sangat Perlu" lebih tinggi dibandingkan dengan yang memilih "Perlu". Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa melihat manfaat signifikan dari penggunaan Virtual Lab sebagai pelengkap praktikum langsung. Kemungkinan besar, faktor-faktor seperti fleksibilitas dalam pembelajaran, akses terhadap simulasi eksperimen tanpa keterbatasan alat fisik, serta peluang untuk memahami konsep sebelum terjun ke laboratorium nyata menjadi alasan di balik preferensi ini.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Skor Pemahaman Mahasiswa Sebelum dan Sesudah Virtual Lab

Dari Gambar 9, grafik terlihat bahwa skor setelah penggunaan Virtual Lab mengalami peningkatan secara signifikan. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan dalam pemahaman siswa terhadap konsep dasar PCR sebelum dan sesudah mengikuti Virtual Lab, dilakukan uji Wilcoxon Signed-Rank Test terhadap jawaban pada pertanyaan pertama (sebelum Virtual Lab) dan pertanyaan kedua (setelah Virtual Lab) yang menggunakan skala Likert.

Hasil uji menunjukkan nilai Z = -3,920 dan p = 0,000 ($p < 0,05$) . Nilai p yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara pemahaman sebelum dan sesudah penggunaan Virtual Lab. Dengan kata lain, penggunaan Virtual Lab memberikan dampak positif yang nyata terhadap peningkatan pemahaman mahasiswa mengenai konsep dasar PCR.

Hasil ini sejalan dengan deskriptif data pada Gambar 1 dan Gambar 2, di mana terlihat adanya peningkatan skor dari kategori pemahaman rendah dan sedang menuju ke pemahaman tinggi setelah mengikuti pembelajaran berbasis simulasi. Grafik boxplot yang ditampilkan pada Gambar 9 memperkuat bukti visual bahwa persebaran skor sesudah Virtual Lab bergeser ke arah skor yang lebih tinggi, dengan median yang meningkat dan outlier yang berkurang. Temuan ini mendukung pernyataan bahwa Virtual Lab dapat menjadi media pembelajaran efektif yang tidak hanya menyampaikan konsep secara teoritis, tetapi juga mampu meningkatkan pemahaman siswa secara mendalam. Interaktivitas dalam Virtual Lab, kebebasan dalam mengeksplorasi simulasi, serta visualisasi tahapan PCR yang jelas menjadi faktor penting dalam peningkatan pemahaman tersebut.

Berdasarkan hasil angket, terdapat beberapa keunggulan utama dari metode pembelajaran Virtual Lab dalam memahami PCR.

1. **Aksesibilitas Mudah, Fleksibilitas Waktu & Tempat, serta Efisiensi Biaya**

Salah satu keunggulan utama Virtual Lab adalah kemudahan akses serta fleksibilitas dalam waktu dan tempat. Banyak responden menyatakan bahwa pembelajaran ini bisa dilakukan “dimana saja dan kapansaja”, sehingga mahasiswa dapat belajar sesuai dengan waktu yang mereka miliki tanpa terikat jadwal laboratorium. Selain itu, Virtual Lab juga memungkinkan mahasiswa untuk mengulang

proses PCR secara berulang hingga benar-benar memahaminya, sehingga memberikan kesempatan belajar yang lebih efektif. Selain fleksibilitas, metode ini juga lebih hemat biaya dan waktu. Beberapa responden menyebutkan bahwa Virtual Lab “tidakmengeluarkanbiayayangmahal”, serta "sangatmenghematwaktu”. Dengan Virtual Lab, mahasiswa dapat memahami konsep PCR tanpa harus menunggu ketersediaan alat atau bahan di laboratorium, sehingga lebih efisien dibandingkan praktik langsung.

Penelitian oleh Bernard *et al*. (2014) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis teknologi, termasuk laboratorium virtual, dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dengan mengurangi hambatan waktu dan biaya. UNESCO (2021) juga menegaskan bahwa digital learning seperti Virtual Lab dapat memperluas akses pendidikan sains bagi mahasiswa, terutama dalam memahami konsep praktikum yang kompleks seperti PCR.

2. Menjadi Sumber Belajar yang Menarik dan Interaktif

Beberapa responden menyatakan bahwa Virtual Lab lebih “menarik dan mudah diakses”. Visualisasi yang interaktif membuat pembelajaran PCR menjadi lebih seru dan membantu dalam memahami konsep dasar sebelum terjun ke praktik langsung. Dengan adanya tata cara yang jelas dalam simulasi, Virtual Lab cocok sebagai metode pengenalan awal tentang PCR, meskipun tetap disarankan untuk dikombinasikan dengan praktik nyata.

Studi oleh Salter, Pang, & Sharma (2009) menunjukkan bahwa laboratorium virtual dapat meningkatkan pemahaman konsep ilmiah karena memberikan representasi visual yang lebih baik dibandingkan dengan pembelajaran berbasis teks saja. Selain itu, penelitian oleh Green & Hughes (2013) menjelaskan bahwa metode pembelajaran digital dapat meningkatkan motivasi belajar mahasiswa karena bersifat lebih interaktif dibandingkan dengan metode konvensional.

3. Memudahkan Dalam Memahami Konsep Dasar PCR

Bagi mahasiswa yang baru pertama kali belajar tentang PCR, Virtual Lab menjadi alat bantu yang efektif dalam memberikan pemahaman awal. Dengan adanya simulasi yang lebih detail, mahasiswa dapat memperoleh gambaran umum tentang bagaimana proses PCR berlangsung sebelum benar-benar mengoperasikan alat di laboratorium.

Lal & Kumar (2020) menyebutkan bahwa e-learning dan laboratorium virtual dapat menjadi alat pembelajaran yang sangat bermanfaat bagi mahasiswa kedokteran dan bioteknologi, terutama dalam memahami teknik laboratorium seperti PCR sebelum melakukan praktik langsung.

Berdasarkan hasil angket, terdapat beberapa kelemahan utama dari metode pembelajaran Virtual Lab dalam memahami PCR.

1. Kurang Efektif Dibandingkan Praktik Langsung

Virtual Lab dianggap kurang efisien karena tidak memberikan pengalaman nyata.. Praktik langsung lebih efektif dalam memahami proses PCR secara menyeluruh. Menurut penelitian oleh Bernard *et al*. (2014), meskipun laboratorium virtual dapat meningkatkan pemahaman teoretis, efektivitasnya dalam mengembangkan keterampilan laboratorium masih terbatas. National Academy of Sciences (2018) juga menegaskan bahwa pengalaman langsung di laboratorium tetap diperlukan untuk melatih keterampilan eksperimental dan analisis data secara lebih mendalam.

2. Kurang Memahami Pengoperasian Alat Secara Langsung

Mahasiswa merasa kesulitan dalam memahami cara kerja alat PCR secara fisik.. Tidak ada pengalaman dalam menggunakan alat secara langsung, sehingga sulit memahami metode operasionalnya. Studi oleh Lal & Kumar (2020) menyebutkan bahwa simulasi dalam Virtual Lab sering kali tidak mencakup seluruh aspek operasional alat laboratorium, seperti troubleshooting atau kendala teknis yang dapat muncul saat praktik langsung. Oleh karena itu, mahasiswa tetap perlu melakukan praktik langsung untuk benar-benar memahami cara kerja alat PCR.

3. Kurangnya Pengalaman Praktis dan Kontribusi Langsung

Mahasiswa tidak bisa berkontribusi secara langsung dalam proses PCR. Tidak bisa melakukan analisis sampel secara nyata, sehingga keterampilan eksperimen kurang berkembang. Green & Hughes (2013) dalam buku Virtual Learning and Higher Education menjelaskan bahwa meskipun metode pembelajaran digital dapat meningkatkan pemahaman konsep, pengalaman langsung dalam bekerja di laboratorium tetap penting untuk melatih keterampilan teknis dan pemecahan masalah secara langsung.

Salter, Pang, & Sharma (2009) dalam penelitian mereka tentang laboratorium virtual menekankan bahwa meskipun Virtual Lab dapat membantu dalam memahami konsep, pengalaman

langsung sangat penting untuk meningkatkan keterampilan laboratorium dan membangun kepercayaan diri mahasiswa dalam menggunakan alat laboratorium seperti PCR.

Penelitian yang dilakukan oleh Suryanti *et al.* (2019) berjudul "Persepsi Mahasiswa terhadap Penggunaan Virtual Laboratory dalam Pembelajaran Biologi Molekuler". Penelitian ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan fasilitas laboratorium dalam pembelajaran Biologi Molekuler di Program Studi Pendidikan Biologi di salah satu LPTK di Kota Pekanbaru, yang mendorong pengembangan aplikasi PCR virtual sebagai solusi alternatif. Hasil analisis data menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa (93%) memiliki persepsi positif terhadap penggunaan PCR virtual dalam pembelajaran Biologi Molekuler. Persentase persepsi positif tertinggi terdapat pada aspek inovasi dan penyajian prosedur praktikum (98%), diikuti oleh aspek motivasi (96%), manfaat (88%), dan efektivitas (86%).

Hasil penelitian Suryanti etal. sejalan dengan hasil penelitian yang didapat, dimana hasil menunjukkan peningkatan pemahaman mahasiswa setelah menggunakan Virtual Lab. Peningkatan signifikan dalam pemahaman konsep PCR, kemampuan menjelaskan langkah-langkah PCR secara sistematis, serta kesiapan untuk melakukan PCR secara langsung di laboratorium mencerminkan efektivitas penggunaan laboratorium virtual dalam pembelajaran Biologi Molekuler. Selain itu, kemampuan mahasiswa untuk berlatih secara mandiri dan memahami alat serta bahan PCR melalui Virtual Lab juga mendukung temuan bahwa laboratorium virtual dapat mengatasi keterbatasan fasilitas laboratorium fisik dan meningkatkan kualitas pembelajaran.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan Virtual Lab dalam pembelajaran Polymerase Chain Reaction (PCR) terbukti memberikan dampak positif terhadap pemahaman mahasiswa. Sebelum menggunakan Virtual Lab, mayoritas mahasiswa memiliki pemahaman yang masih rendah terhadap konsep dasar PCR. Namun, setelah mengikuti pembelajaran berbasis simulasi, terjadi peningkatan signifikan dalam pemahaman mereka terhadap tahapan-tahapan PCR, kemampuan menjelaskan kembali langkah-langkah PCR secara sistematis, serta kesiapan untuk melakukan PCR secara langsung di laboratorium.

Keunggulan utama dari Virtual Lab adalah fleksibilitas dalam pembelajaran, kemudahan akses, efisiensi biaya, serta kemampuan untuk berlatih secara mandiri. Mahasiswa dapat mengulang percobaan tanpa keterbatasan alat fisik dan memperoleh pemahaman lebih baik mengenai prosedur PCR. Meskipun demikian, metode ini juga memiliki beberapa kelemahan, seperti kurangnya pengalaman langsung dalam mengoperasikan alat PCR, keterbatasan dalam analisis sampel nyata, serta minimnya keterlibatan praktis yang diperlukan dalam eksperimen laboratorium sesungguhnya.

Oleh karena itu, meskipun Virtual Lab terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman teoretis mahasiswa, praktik langsung tetap diperlukan untuk melengkapi keterampilan laboratorium mereka. Kombinasi antara Virtual Lab dan Praktikum Langsung dapat menjadi strategi pembelajaran yang optimal dalam meningkatkan kompetensi mahasiswa dalam memahami dan mengaplikasikan teknik PCR di bidang biologi molekuler.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Abramov, V., Kugurakova, V., Rizvanov, A., Abramskiy, M., Manakhov, N., Evstafiev, M., & Ivanov, D. (2016). Virtual biotechnological lab development. *Journal BioNanoScience*, 7(2), hal. 363–365. doi: https://doi.org/10.1007/s12668-016-0368-9

[2] Alhashem, F., & Alfailakawi, A. (2023). Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. *Contemporary Educational Technology*, 15(4), ep474. https://doi.org/10.30935/cedtech/13739

[3] Bernard, R. M., Borokhovski, E., Schmid, R. F., Tamim, R. M., & Abrami, P. C. (2014). "A meta-analysis of blended learning and technology use in higher education: From the general to the applied." *Journal of Computing in Higher Education,* 26(1), hal. 87-122. https://doi.org/10.1007/s12528-013-9077-3

[4] Green, H., & Hughes, G. (2013). *Virtual Learning and Higher Education*. Routledge.

[5] Govender, R. (2023). Teaching and learning using virtual labs: Investigating the effects on students' self-regulation. *Cogent Education*, 10(1), 2172308. https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2172308
[6] Hantoobi, M., et al. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments*, 10(1), 23. https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y
[7] Lal, S., & Kumar, S. (2020). "E-learning in medical education: A blended learning approach." *Journal of Education and Health Promotion,*9, 239.
[8] Mashami, R. A., et al. (2023). Use of PhET Simulations as A Virtual Laboratory to Improve Students' Problem Solving Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 11455–11465. https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.6549
[9] Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrovic, V. M., & Jovanovich, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers and Education,* 95, hal. 309–327.
[10] Salter, D., Pang, M., & Sharma, M. (2009). "Active learning in virtual laboratories." *Higher Education Research & Development*,28(1), hal. 31- 44.
[11] Spernjak, A., & Sorgo, A. (2017). Differences in acquired knowledge and attitudes achieved with traditional, computer-supported and virtual laboratory biology laboratory exercises. *Journal of Biological Education.* doi: https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1298532
[12] Suryanti, E., Any, F., Sri, R., Riandi (2019). Identifikasi Kesulitan Mahasiswa Dalam Pembelajaran Biologi Molekuler Berstrategi Modified Free Inquiry. *Jurnal Pendidikan Dan Keguruan,* 10 (2) : hal. 37-47
[13] Suryanti, E., Any, F., Sri, R., Riandi (2019). Persepsi Mahasiswa terhadap Penggunaan Virtual Laboratory dalam Pembelajaran Biologi Molekuler. *Journal of Natural Science and Integration,* 2 (2) : hal. 153 – 162
[14] Tsirulnikov, A., et al. (2023). Game on: immersive virtual laboratory simulation improves student learning outcomes & motivation. *FEBS Open Bio*, 13(2), 123–134. https://doi.org/10.1002/2211-5463.13567
[15] UNESCO. (2021). The Future of Education: Digital Learning and Virtual Laboratories. https://www.unesco.org/en/digital-learning
[16] Zhang, Y., et al. (2023). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 190, 104627. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104627