



Pengembangan Media Pembelajaran Video Animasi Interaktif Menggunakan Aplikasi Powtoon pada Materi Bioteknologi Kelas XII

Syafri Ramadhan^{1*}, Putu Budi Adnyana¹, Ketut Srie Marhaeni Julyasih¹

¹Jurusan Biologi dan Perikanan Kelautan, Universitas Pendidikan Ganesha, Jalan Udayana 11, Singaraja, Bali, Indonesia

*syafirirahmadhan52@gmail.com

Abstract

Packet books, LKS (student worksheets) and whiteboards are still learning media that are often used, while the percentage from preliminary study results shows that 96.8% of students are more interested and enthusiastic if interactive animated videos are used in the learning process. This research aims to determine the design, feasibility and practicality of developing interactive animated video learning media. This research uses Research and Development research using the ADDIE (Analyze, Design, Development, Implementation, Evaluation) model. This research used rating scale calculations for validity testing by one media expert and one material expert and Likert scale calculations for practicality testing by one biology teacher and 15 students. The media expert validation test results, if calculated in percentage terms, get a score of 93.75% which is categorized as very valid. The results of the material expert validation test, if calculated in percentage terms, get a score of 84.38% which is categorized as very valid. The results of the teacher practicality test, if calculated in percentage terms, get a score of 96.67% which is categorized as very practical. The results of the students' practicality test, if calculated in percentage terms, get a score of 90.10% which is categorized as very practical. So, it can be said that the development of interactive animated video learning media using the Powtoon application in class XII biotechnology material that has been developed is very feasible and very practical when used in the learning process.

Keywords: design; feasibility; practicality; powtoon; interactive animated video

Abstrak

Media buku paket, LKS (lembar kerja siswa) dan papan tulis masih menjadi media pembelajaran yang sering digunakan sedangkan persentase dari hasil studi pendahuluan bahwa 96,8% peserta didik lebih tertarik dan antusias apabila video animasi interaktif digunakan dalam proses pembelajaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui desain, kelayakan, dan kepraktisan pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *Research and Development* (Penelitian dan pengembangan) dengan menggunakan model ADDIE (*Analyze, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Penelitian ini menggunakan perhitungan *rating scale* untuk uji kelayakan oleh satu ahli media dan satu ahli materi serta perhitungan skala likert untuk uji kepraktisan oleh satu guru biologi dan 15 peserta didik. Hasil uji kelayakan ahli media jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 93,75% yang berkategori sangat layak. Hasil uji kelayakan ahli materi jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 84,38% yang berkategori sangat layak. Hasil uji kepraktisan guru jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 96,67% yang berkategori sangat praktis. Hasil uji kepraktisan peserta didik jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 90,10% yang berkategori sangat praktis. Maka, dapat dikatakan bahwa pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif menggunakan aplikasi powtoon pada materi bioteknologi kelas XII yang dikembangkan sudah sangat layak dan sangat praktis jika digunakan dalam proses pembelajaran.

Kata-kata kunci: desain; kelayakan; kepraktisan; powtoon; video animasi interaktif

PENDAHULUAN

Pertanyaan tentang tanggung jawab guru sebagai pendidik muncul sebagai akibat dari perkembangan teknologi yang semakin cepat. Pertanyaan seperti apakah guru harus tetap mengajar di depan kelas seorang diri, menulis materi di papan tulis dan menugaskan peserta didik untuk menyalinnya, dan sebagainya. Perkembangan teknologi saat ini membutuhkan guru untuk mengembangkan potensi profesional mereka. Oleh karena itu, peran guru sebagai pengajar tetap diperlukan (Nanda, 2021).

Video animasi interaktif adalah media pembelajaran yang menggabungkan unsur suara, gerak, gambar, teks, dan grafik yang interaktif. Dilengkapi dengan suara penuntun berbahasa Indonesia yang jelas dan mudah dipahami, video animasi interaktif ini membantu peserta didik mempelajari materi dengan lebih baik. Selain itu, video animasi interaktif menciptakan hubungan timbal balik antara media dan peserta didik, sehingga peserta didik tidak hanya melihat dan mendengarkan materi saja (Nuriah, 2021).

Powtoon adalah aplikasi online yang berfungsi sebagai alat untuk membuat video presentasi dan media pembelajaran. Keunggulan Powtoon yaitu kemampuan untuk membuat animasi-animasi yang menarik minat peserta didik (Hartina, 2020).

Bioteknologi berasal dari dua kata yaitu *bio* yang berasal dari bahasa Yunani yang berarti hidup atau organisme hidup dan teknologi yang merujuk pada penerapan ilmu pengetahuan dan teknik untuk mencapai tujuan praktis. Bioteknologi dapat diartikan sebagai penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi pada organisme hidup atau sistem biologis untuk menghasilkan produk (Sulistyowati dkk., 2016).

Berdasarkan hasil wawancara dengan guru biologi dan peserta didik kelas XII MIPA 2 MAN Buleleng berjumlah 31 peserta didik yang dapat dikatakan ada 7 laki-laki dan 24 perempuan yang memperoleh temuan bahwa media buku paket, LKS (lembar kerja siswa) dan papan tulis masih menjadi media pembelajaran biologi yang sering digunakan saat ini, kekurangan ketiga media tersebut tidak dapat mengolaborasikan dari berbagai gaya belajar yang dimiliki peserta didik karena salah satunya tidak dapat memunculkan suara ataupun gambar yang tidak dapat dilihat oleh peserta didik secara jelas. Guru masih lebih sering menggunakan metode konvensional atau ceramah dalam proses pembelajaran, sebagian peserta didik merasa bosan dengan metode pembelajaran konvensional atau ceramah dan hanya mengandalkan buku paket ataupun LKS (lembar kerja siswa) sebagai media pembelajaran biologi yang didapatkan dalam observasi kepada peserta didik dengan mendapatkan data 54,8% menjawab tidak bosan dan 45,2% menjawab bosan.

Data pendukung lainnya yaitu peserta didik kelas XII MIPA 2 MAN Buleleng 96,8% lebih suka media pembelajaran berupa video animasi interaktif daripada media yang berupa buku cetak. Peserta didik memiliki gaya belajar yang berbeda, mulai dari ada yang lebih suka dengan gaya belajar auditorial (mendengar) 35,5%, kinestetik (gerakan) 12,9%, dan visual (melihat) 51,6%. Pentingnya untuk mengenali gaya belajar peserta didik sehingga guru bisa memvariasikan gaya mengajar, metode pembelajaran yang cocok diterapkan dalam proses pembelajaran (Saefiana dkk., 2022).

Penelitian ini nantinya menghasilkan produk berupa media pembelajaran video animasi interaktif. Video animasi interaktif dapat mengolaborasikan dari ketiga gaya belajar para peserta didik yang berbeda-beda. Adapun data yang menghasilkan 96,8% dari para peserta didik juga lebih tertarik dan antusias apabila video animasi interaktif digunakan dalam proses pembelajaran. Video animasi interaktif sangat memerlukan minimal adanya smartphone dan maksimal komputer atau laptop yang hal itu sangat dapat didukung karena para peserta didik rata-rata memiliki smartphone dan komputer atau laptop.

Peneliti mengambil materi bioteknologi yang akan dicantumkan pada media pembelajaran berupa video animasi interaktif yaitu pemahaman peserta didik terhadap materi bioteknologi masih kurang maksimal karena media yang digunakan belum interaktif dan menarik yang dapat dibuktikan ketika peneliti melakukan studi pendahuluan mendapatkan data bahwa rata-rata setengah dari total peserta didik masih menjawab salah dari 4 pertanyaan yang dibuat oleh peneliti serta pada materi bioteknologi ini ada 58,1% peserta didik menyatakan sulit dan 41,9% menyatakan tidak sulit, guru juga menyatakan belum pernah menggunakan media pembelajaran video animasi interaktif terkhusus pada materi bioteknologi. Materi bioteknologi ini cocok dikolaborasikan dengan media pembelajaran video animasi interaktif karena bisa mencantumkan berbagai contoh produk bioteknologi yang ada pada kehidupan sehari-hari melalui video ataupun gambar yang dapat dilihat secara jelas. Video animasi interaktif sebagai upaya memaksimalkan proses penyampaian materi dengan kelebihan yaitu terdapat suara, teks, dan contoh yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari. Video animasi interaktif akan membuat para peserta didik lebih aktif karena akan diberikan latihan soal langsung disertai pembahasan materinya.

Penerapan media pembelajaran video animasi interaktif ini harus didukung dengan sarana yang memadai, jika tidak adanya sarana yang memadai maka penelitian tidak bisa dilakukan. Adapun sarana yang mendukung penelitian yang akan dilakukan di kelas XII MIPA 2 MAN Buleleng berupa proyektor ataupun handphone sehingga sangat mendukung penelitian yang akan dilaksanakan. Pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif,

diharapkan dapat membantu guru untuk menyampaikan materi dengan waktu yang lebih singkat namun isi materi bisa tersampaikan dengan jelas. Pembelajaran juga lebih menyenangkan karena adanya visualisasi secara nyata dibandingkan dengan hanya membaca buku dan mendengarkan ceramah guru yang diharapkan pembelajaran biologi akan lebih menarik perhatian peserta didik sehingga tujuan pembelajaran akan tercapai secara optimal.

Berdasarkan hal-hal yang telah dikemukakan, maka diperlukan sebuah media pembelajaran yang tepat yaitu berupa video animasi interaktif sehingga dapat membantu dalam proses pembelajaran. Menurut Nanda (2021), menyatakan untuk mengembangkan powtoon dengan materi yang belum dikembangkan dan dengan animasi yang lebih menarik. Media pembelajaran video animasi interaktif ini diharapkan memberikan pengaruh positif yang dapat meningkatkan motivasi dan hasil belajar peserta didik terhadap media pembelajaran video animasi interaktif khususnya pada materi bioteknologi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui desain, kelayakan, dan kepraktisan pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif.

Metode

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *Research and Development* (Penelitian dan pengembangan). Model yang akan digunakan pada penelitian ini adalah model ADDIE. ADDIE merupakan kepanjangan dari (*Analyze, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Subjek uji coba dalam penelitian ini ialah satu dosen ahli media dan satu dosen ahli materi sebagai uji kelayakan yang berkompeten pada bidangnya serta satu guru dan 15 peserta didik kelas XII sebagai uji kepraktisan. Instrumen yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan LORI (*Learning Objects Review Instrument*) yang dimana uji kelayakan ahli media dan materi ada 8 pertanyaan, uji kepraktisan guru ada 12 pertanyaan dan uji kepraktisan peserta didik ada 7 pertanyaan. Teknik analisis data untuk hasil penilaian dari ahli media dan ahli materi menggunakan *rating scale* serta analisis data untuk hasil penilaian dari guru dan peserta didik menggunakan skala likert yang dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Analisis Data Uji Kelayakan

Analisis ini menggunakan *rating scale* 4 kategori yang terdiri dari skala 1 sampai 4 yaitu skor 1 (sangat tidak baik), skor 2 (kurang baik), skor 3 (cukup baik), skor 4 (sangat baik) yang dimana hasil dari penilaian instrumen akan dihitung sesuai dengan rumus *rating scale* serta hasil penilaian akan dikategorikan layak atau tidak.

2. Analisis data Uji Kepraktisan

Analisis ini menggunakan skala likert dengan 5 skala, yaitu (sangat baik) SB skor 5, (baik) B skor 4, (cukup) C skor 3, (kurang) K skor 2, (sangat kurang) SK skor 1. Pernyataan yang diajukan pada lembar angket peserta didik meliputi 5 skala, yaitu (sangat setuju) SS skor 5, (setuju) S skor 4, (kurang setuju) KS skor 3, (tidak setuju) TS skor 2, (sangat tidak setuju) STS skor 1 yang dimana hasil dari penilaian instrumen akan dihitung sesuai dengan rumus skala likert serta hasil penilaian akan dikategorikan praktis atau tidak.

Hasil dan Pembahasan

Hasil uji kelayakan dan uji kepraktisan video animasi interaktif diperoleh melalui uji instrumen berdasarkan LORI (*Learning Objects Review Instrument*) sebagai berikut.

1. Uji Kelayakan Ahli Media

Uji kelayakan oleh ahli media dalam penilaian video animasi interaktif dilaksanakan dengan melibatkan satu Dosen Teknologi Pendidikan dari Universitas Pendidikan Ganesha. Adapun hasil uji kelayakan oleh ahli media terhadap pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif menggunakan aplikasi powtoon pada materi bioteknologi kelas XII persentase 93,75% terletak pada kategori sangat layak

2. Uji Kelayakan Ahli Materi

Uji kelayakan oleh ahli materi dalam penilaian video animasi interaktif dilaksanakan dengan melibatkan satu Dosen Jurusan Biologi dan Perikanan Kelautan dari Universitas Pendidikan Ganesha. Adapun hasil uji kelayakan oleh ahli materi terhadap pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif menggunakan aplikasi powtoon pada materi bioteknologi kelas XII persentase 84,38% terletak pada kategori sangat layak.

3. Uji Kepraktisan Guru

Uji kepraktisan oleh guru dalam penilaian video animasi interaktif dilaksanakan dengan melibatkan satu guru biologi kelas XII MAN Buleleng yaitu Mohamad Sholi Afandi, S.Pd. Adapun hasil uji kepraktisan guru terhadap pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif menggunakan aplikasi powtoon pada materi bioteknologi kelas XII persentase 96,67% terletak pada kategori sangat praktis.




4. Uji Kepraktisan Peserta Didik

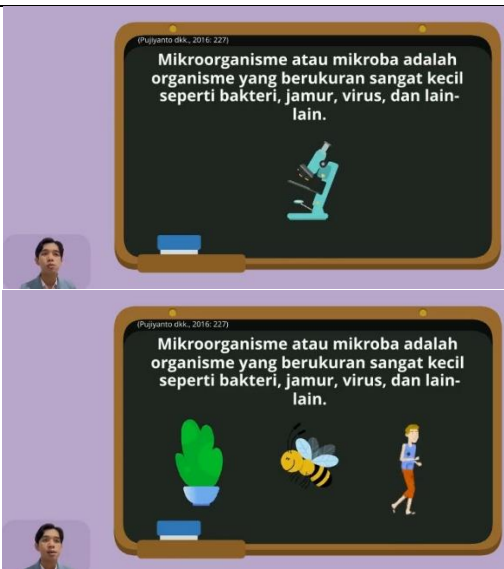
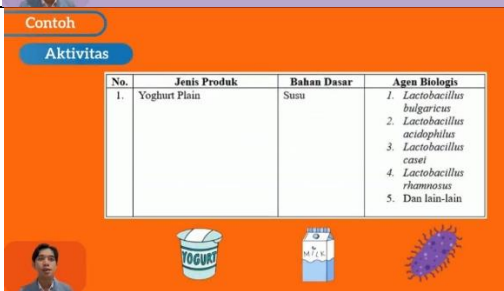

Uji kepraktisan oleh peserta didik dalam penilaian video animasi interaktif dilaksanakan dengan melibatkan 15 peserta didik kelas XII MAN Buleleng. Adapun hasil uji kepraktisan peserta didik terhadap pengembangan media pembelajaran video animasi





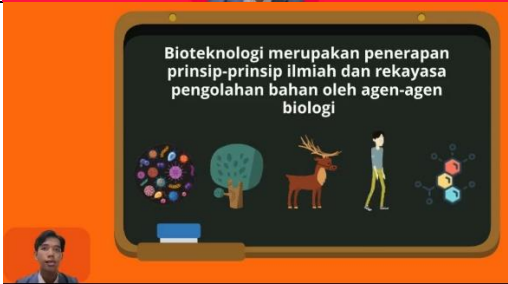
interaktif menggunakan aplikasi powtoon pada materi bioteknologi kelas XII persentase 90,10% terletak pada kategori sangat praktis.

Setelah dilakukan uji kelayakan oleh ahli media dan ahli materi serta uji kepraktisan oleh guru dan peserta didik. Maka, hasil akhir setelah dilakukan revisi produk media dan dilihat pada Tabel 1.





Tabel 1. Desain Akhir Pengembangan Media Pembelajaran Video Animasi Interaktif

Desain VAI	Slides	Tampilan	Durasi	Deskripsi
1	1		14 detik	Sapaan dan pendahuluan materi definisi bioteknologi
	2		22 detik	Penyampaian tujuan pembelajaran
	3		46 detik	Penjelasan awal materi 1 tentang awal penemuan bioteknologi

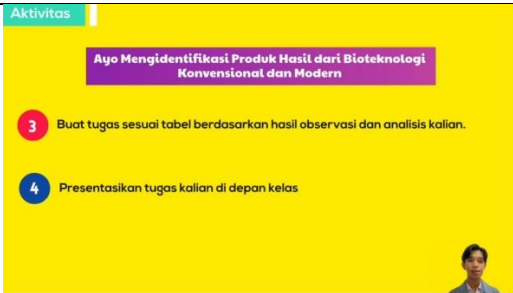


Desain VAI	Slides	Tampilan	Durasi	Deskripsi								
	4		58 detik	Penjelasan materi 2 terkait mikroorganisme								
	5	 <table><tr><th>No.</th><th>Jenis Produk</th><th>Bahan Dasar</th><th>Agen Biologis</th></tr><tr><td>1.</td><td>Yoghurt Plain</td><td>Susu</td><td>1. <i>Lactobacillus bulgaricus</i> 2. <i>Lactobacillus acidophilus</i> 3. <i>Lactobacillus casei</i> 4. <i>Lactobacillus rhamnosus</i> 5. Dan lain-lain</td></tr></table>	No.	Jenis Produk	Bahan Dasar	Agen Biologis	1.	Yoghurt Plain	Susu	1. <i>Lactobacillus bulgaricus</i> 2. <i>Lactobacillus acidophilus</i> 3. <i>Lactobacillus casei</i> 4. <i>Lactobacillus rhamnosus</i> 5. Dan lain-lain	1 menit : 15 detik	Penjelasan contoh aktivitas atau tugas peserta didik
No.	Jenis Produk	Bahan Dasar	Agen Biologis									
1.	Yoghurt Plain	Susu	1. <i>Lactobacillus bulgaricus</i> 2. <i>Lactobacillus acidophilus</i> 3. <i>Lactobacillus casei</i> 4. <i>Lactobacillus rhamnosus</i> 5. Dan lain-lain									
	6	 <p>Apakah kalian dapat mengenali dan memanfaatkan produk-produk bioteknologi?</p>	32 detik	Penyampaian materi 3 dan memberikan sebuah pertanyaan untuk menstimulus cara berfikir peserta didik								

Desain VAI	Slides	Tampilan	Durasi	Deskripsi
				
	7		1 menit : 6 detik	Penyampaian awal terkait aktivitas yang akan dikerjakan oleh peserta didik
	8		39 detik	Lanjutan penyampaian aktivitas
	9		23 detik	Penjelasan materi 4 terkait definisi bioteknologi
	10		31 detik	Penjelasan materi 5 tentang definisi bioteknologi dengan memberikan gambar ilustrasi animasi yang

Desain VAI	Slides	Tampilan	Durasi	Deskripsi
				sesuai dengan materi
	11		23 Detik	Referensi materi yang digunakan serta pemberian penjelasan materi tambahan melalui QR Kode
	12		31 Detik	Pemberian test soal peserta didik melalui QR Kode
2	1		14 detik	Sapaan dan pendahuluan materi jenis bioteknologi
	2		25 detik	Penyampaian tujuan pembelajaran
	3		18 detik	Penjelasan awal materi 1 bioteknologi konvensional dan modern

Desain VAI	Slides	Tampilan	Durasi	Deskripsi
	4		1 menit : 19 detik	Penjelasan materi 2 bioteknologi konvensional
	5		2 menit : 25 detik	Penjelasan materi 3 bioteknologi modern
	6		1 menit : 8 detik	Penjelasan materi 4 macam-macam kelompok bidang dalam bioteknologi dan contohnya
	7		1 menit : 49 detik	Lanjutan penjelasan materi 5 macam-macam kelompok bidang dalam bioteknologi beserta contohnya

Desain VAI	Slides	Tampilan	Durasi	Deskripsi																											
	8	<p>Gambar 3. Teknologi bioinformatika</p>	1 menit : 1 detik	Penjelasan materi 6 tentang bioinformatika																											
	9	<p>Gambar 2. Proses pembuatan tempe (Konvensional)</p>	50 detik	Penjelasan awal contoh aktivitas untuk peserta didik melalui ilustrasi gambar proses pembuatan tempe (konvensional)																											
	10	<p>Gambar 3. Teknologi transgenik (modern)</p>	1 menit : 15 detik	Lanjutan penjelasan contoh aktivitas untuk peserta didik melalui ilustrasi gambar proses umum pembuatan tanaman transgenik (modern)																											
	11	<p>Contoh penjelasan aktivitas</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th><th rowspan="2">Produk</th><th rowspan="2">Proses Pembuatan</th><th colspan="2">Bioteknologi</th></tr> <tr> <th>Konvensional</th><th>Modern</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td><td>Tempe</td><td> 1. Kedelai dibersihkan dan direndam selama semalam 2. Buang kulit kedelai dan cuci kembali 3. Kedelai dikukus agar steril 4. Dinginkan kedelai dan beri ragi 5. Bungkus kedelai 6. Simpan kedelai yang sudah dibungkus pada suhu ruang selama kurang lebih semalaman 7. Maka akan menghasilkan yang namanya tempe </td><td>√</td><td></td></tr> </tbody> </table>	No.	Produk	Proses Pembuatan	Bioteknologi		Konvensional	Modern	1.	Tempe	1. Kedelai dibersihkan dan direndam selama semalam 2. Buang kulit kedelai dan cuci kembali 3. Kedelai dikukus agar steril 4. Dinginkan kedelai dan beri ragi 5. Bungkus kedelai 6. Simpan kedelai yang sudah dibungkus pada suhu ruang selama kurang lebih semalaman 7. Maka akan menghasilkan yang namanya tempe	√		46 detik	Contoh penjelasan aktivitas untuk peserta didik															
No.	Produk	Proses Pembuatan				Bioteknologi																									
			Konvensional	Modern																											
1.	Tempe	1. Kedelai dibersihkan dan direndam selama semalam 2. Buang kulit kedelai dan cuci kembali 3. Kedelai dikukus agar steril 4. Dinginkan kedelai dan beri ragi 5. Bungkus kedelai 6. Simpan kedelai yang sudah dibungkus pada suhu ruang selama kurang lebih semalaman 7. Maka akan menghasilkan yang namanya tempe	√																												
	12	<p>Aktivitas</p> <p>Ayo Mengidentifikasi Produk Hasil dari Bioteknologi Konvensional dan Modern</p> <ol style="list-style-type: none"> Buatlah tugas aktivitas ini sendiri bukan berkelompok Membuat tugas dari segi (produk, proses pembuatan, dan berikan tanda centang apakah masuk kedalam bioteknologi konvensional atau modern) dan buat seperti pada tabel berikut ini. <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th><th rowspan="2">Produk</th><th rowspan="2">Proses Pembuatan</th><th colspan="2">Bioteknologi</th></tr> <tr> <th>Konvensional</th><th>Modern</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>2.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>3.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>Dit.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	No.	Produk	Proses Pembuatan	Bioteknologi		Konvensional	Modern	1.					2.					3.					Dit.					1 menit : 2 detik	Penyampaian aktivitas atau tugas untuk peserta didik
No.	Produk	Proses Pembuatan				Bioteknologi																									
			Konvensional	Modern																											
1.																															
2.																															
3.																															
Dit.																															

Desain VAI	Slides	Tampilan	Durasi	Deskripsi
	13		16 detik	Lanjutan penyampaian aktivitas atau tugas untuk peserta didik
	14		25 detik	Referensi materi yang digunakan serta pemberian penjelasan materi tambahan melalui QR Kode
	15		28 detik	Pemberian test soal peserta didik melalui QR Kode

Pengembangan media pembelajaran video animasi interaktif membahas materi bioteknologi dari indikator pencapaian kompetensi yaitu pada “3.10.1 menjelaskan konsep dasar atau definisi bioteknologi dan jenis-jenis bioteknologi”, materi disesuaikan dengan proses pembelajaran yang ada pada kurikulum merdeka serta video animasi interaktif yang dikembangkan menggunakan aplikasi powtoon. Uji kelayakan dan uji kepraktisan video animasi interaktif diperoleh melalui uji instrumen berdasarkan LORI (*Learning Objects Review Instrument*) dengan pembahasan sebagai berikut.

1. Uji Kelayakan Ahli Media

Uji kelayakan oleh ahli media dihitung menggunakan rating scale yang menggunakan rujukan referensi dari (Sugiyono, 2013: 97-100). Uji instrumen ahli media merujuk berdasarkan LORI (*Learning Objects Review Instrument*) yang dinilai dari segi desain presentasi (*presentation design*), aksesibilitas (*accessibility*), penggunaan kembali (*reusability*), memenuhi standar (*standar compliance*) dengan total pertanyaan instrumen ada 8.

Video animasi interaktif yang telah dilakukan penilaian oleh ahli media dikatakan dapat digunakan dengan sedikit revisi yang dimana rincian masukan dan saran untuk dilakukan revisi yaitu diawal video sebaiknya ada sapaan dan gunakan musik yang sesuai serta suara musik harus lebih pelan dari suara pemberi materi, belum ada penyampaian tujuan pembelajaran, gambar yang digunakan perlu diberikan suara audio efek, tidak perlu diberikan background warna pada tulisan, dan diakhir video sebaiknya ada ucapan penutup. Seluruh masukan dan saran yang diberikan oleh ahli media untuk perbaikan produk video animasi interaktif telah direvisi.

2. *Uji kelayakan Ahli Materi*

Uji kelayakan oleh ahli materi dihitung menggunakan rating scale yang menggunakan rujukan referensi dari (Sugiyono, 2013: 97-100). Uji instrumen ahli materi merujuk berdasarkan LORI (Learning Objects Review Instrument) yang dinilai dari segi kualitas konten (content quality), tujuan pembelajaran (learning goal alignment), umpan balik dan adaptasi (feedback and adaptation), motivasi (motivation), desain presentasi (presentation design) dengan total pertanyaan instrumen ada 8.

Video animasi interaktif yang telah dilakukan penilaian oleh ahli materi dikatakan dapat digunakan dengan sedikit revisi yang dimana rincian masukan dan saran untuk dilakukan revisi yaitu konten video perlu diberikan penjelasan definisi bioteknologi supaya peserta didik lebih memahami pengertian bioteknologi, konten video perlu diberikan penjelasan jenis bioteknologi dan contohnya, dan berikan contoh pembelajarannya atau contoh aktivitas untuk peserta didik agar pada saat melakukan aktivitas peserta didik dalam mengerjakan tugas lebih memahami. Seluruh masukan dan saran yang diberikan oleh ahli materi untuk perbaikan produk video animasi interaktif telah direvisi.

3. *Uji Kepraktisan Guru*

Uji kepraktisan instrumen oleh satu guru biologi dihitung menggunakan skala likert yang menggunakan rujukan referensi dari (Sugiyono, 2013: 93-96). Uji instrumen guru merujuk berdasarkan LORI (Learning Objects Review Instrument) yang dinilai dari segi desain presentasi (presentation design), aksesibilitas (accessibility), penggunaan kembali (reusability), kualitas konten (content quality), tujuan pembelajaran (learning goal alignment), umpan balik dan adaptasi (feedback and adaptation), motivasi (motivation) dengan total pertanyaan instrumen ada 12. Tidak ada masukan dan saran revisi dari uji kepraktisan guru yang dimana masukan dan sarannya mengatakan keseluruhan media

pembelajaran video animasi interaktif dapat dikatakan sudah memadai dan sangat praktis untuk diterapkan dalam proses pembelajaran.

4. Uji Kepraktisan Peserta Didik

Uji kepraktisan instrumen oleh 15 peserta didik dihitung menggunakan skala likert yang menggunakan rujukan referensi dari (Sugiyono, 2013: 93-96). Uji instrumen peserta didik merujuk berdasarkan LORI (Learning Objects Review Instrument) yang dinilai dari segi desain presentasi (presentation design), aksesibilitas (accessibility), kualitas konten (content quality), motivasi (motivation) dengan total pertanyaan instrumen ada 7. Beberapa masukan dan saran yang diberikan oleh peserta didik yaitu pemilihan warna background yang lebih menarik lagi untuk menarik perhatian serta jangan menggunakan warna yang gelap dan selebihnya berpendapat bahwa media pembelajaran video animasi interaktif pada materi bioteknologi sudah sangat baik.

Penutup

Media pembelajaran video animasi interaktif menggunakan aplikasi powtoon yang dikembangkan oleh peneliti membahas materi tentang bioteknologi dengan bahasan dari definisi bioteknologi dan jenis bioteknologi telah berkategori sangat layak dan sangat praktis. Hasil uji kelayakan oleh satu ahli media dihitung menggunakan *rating scale* yang jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 93,75% yang berkategori sangat layak. Hasil uji kelayakan oleh satu ahli materi dihitung menggunakan *rating scale* yang jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 84,38% yang berkategori sangat layak. Hasil uji kepraktisan oleh satu guru biologi dihitung menggunakan skala likert yang jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 96,67% yang berkategori sangat praktis. Hasil uji kepraktisan oleh 15 peserta didik dihitung menggunakan skala likert yang jika dihitung secara persentase mendapatkan nilai 90,10% yang berkategori sangat praktis. Aplikasi powtoon adalah salah satu aplikasi yang dapat mendukung dalam pembuatan media pembelajaran video animasi interaktif. Namun, sama seperti aplikasi editor rata-rata seperti umumnya yang dimana aplikasi powtoon ini terdapat fitur berbayar yang berakibat tidak semua fitur dapat diakses.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, dosen penguji atas segala masukan dan saran yang telah diberikan untuk menyempurnakan hasil penelitian serta

seluruh pihak sekolah MAN Buleleng yang telah membantu peneliti dalam menyelesaikan penelitian.

Daftar Pustaka

- Annisa, L, A. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Video Animasi pada Tema 7 Subtema 3 untuk Siswa Kelas IV SDN 104 Pekanbaru. *Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Islam Riau*.
- Arif, S., Sadiman. (2014). Media pendidikan: *Pengertian, Pengembangan dan Pemanfaatannya*. Depok: Raja Grafindo Persada.
- Branch, R. M. (2009). Desain Instruksional : Pendekatan ADDIE. In *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer Science. www.springer.com
- Dewi, S., Shari, A., Purba, R, E., Susilowarno, R, G. (2022). *Buku Panduan Guru Biologi untuk SMA/MA Kelas XII* (pp. 175-225). Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- Dewi, N, K, U, P. (2022). Pengembangan E-LKPD Berbasis *Higher Order Thinking Skill (Hots)* Menggunakan *Liveworksheet* pada Materi Aritmatika Sosial Kelas VII SMPN 1 Negara. *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Pendidikan Ganesha*.
- Fani, J, Q, A. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran *Power Point* dan Video pada Konsep Sistem Pertahanan Tubuh. *Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*.
- Fitri, S., Sukmawati, D., Dira, R., & Miranda, A. (2022). Teori Pembelajaran dan Perbedaan Gaya Belajar. *Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 3, 150–158.
- Hartina, S. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Video Animasi Berbasis Powtoon pada Materi Bangun Ruang Sisi Datar Kelas VIII SMP/MTS. *Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung*.
- Mahmud. (2011). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Pustaka Setia.
- Nanda, A, D. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Berbasis Video Animasi pada Pokok Bahasan Bangun Ruang Sisi Datar Berbantuan *Software Powtoon*. *Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan*, 6.
- Nesbit, J., Belfer, K., & Leacock, T. (2009). *Learning Objects Review Instrument*. 1–11.
- Nuriah, I. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Video Interaktif dengan Menggunakan Aplikasi Sparkol Videoscribe pada Tema 3 Kelas III. *Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung*.
- Perdana, A. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis *Problem Based Learning* Menggunakan Aplikasi Powtoon pada Materi Momentum dan Impuls Kelas X di SMA/MA. *Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan. Institut Agama Islam Negeri Batusangkar*.
- Prawitasari, I. G. A. P. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Video pada Materi Animalia untuk Siswa Kelas X MIPA di SMA Negeri 3 Singaraja. *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha*.
- Putri, R. S. (2019). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Android pada Materi Sistem Koloid di SMA Negeri 2 Banda Aceh. *Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh*.
- Rahim, R., Sa'odah., Tiring, S. S. N. D., Asman., Fitriyah, L. A., Dewi, M. S., Hendrika, I., Ferawati., Mutia., Pamungkas, M. D., Sutrisno, E., Wulandari, H., Trimurtini., Wicaksono, A. B. (2021). Metodologi Penelitian Teori dan Praktik. *Perkumpulan Rumah*

- Cemerlang Indonesia*, 1–349.
- Sakti, H. P. N. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran IPA dalam Bentuk Video Pembelajaran Berbasis Powtoon pada Materi Pencemaran Lingkungan pada Kelas VII di SMP Negeri 03 Kota Bengkulu. *Jurusan Pendidikan Sains dan Sosial Fakultas Tarbiyah dan Tadris. Institut Agama Islam Negeri (Iain) Bengkulu*.
- Sulistyowati, E., Omegawati, W. H., Ningsih, D. C., Rumiati. (2016). *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII Peminatan Matematika dan Ilmu-Ilmu Alam*. Klaten: Intan Pariwara.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. Alfabeta.
- Tifani, L. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Video Animasi Powtoon pada Materi Minyak Bumi di SMA Muhammadiyah 1 Pekanbaru. *Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru*.
- Tursilo, Y. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Video Berbasis Multimedia dalam Pembelajaran Matematika Menggunakan Sparkol Videoscribe. *Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung*.
- Widayati, E. (2021). Pengembangan Media Video Berbasis Powtoon pada Pembelajaran Tematik Tema Berbagai Pekerjaan Kelas IV SD/MI. *Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. UIN Raden Intan Lampung*, 11–12.



Perbedaan Profil Protein Plasma Darah Mencit Menggunakan SDS-PAGE Tanpa Penambahan dan dengan Penambahan 2-Mercaptoethanol

Khaerunissa Anbar Istiadi¹, Iffa Afiqa Khairani^{1*}, Silvia Andriani²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu Des Way Huwi, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia

²Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Fakultas Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Pringsewu, Pringsewu Utara, Pringsewu, Lampung, Indonesia

* iffa.khairani@bi.itera.ac.id

Abstract

SDS-PAGE is a method used to analyze proteins based on differences in molecular weight. Sample preparation in SDS-PAGE with 2-mercaptoethanol will reduce disulfide bonds in proteins. The sulfide bond reduction process will cause differences in protein conformation and profile. The purpose of this study was to compare the pattern of blood plasma protein profiles of mice analyzed using SDS-PAGE, with the addition of 2-mercaptoethanol and without the addition of 2-mercaptoethanol in a mixture of sample buffer solutions. The results of SDS-PAGE showed that the blood plasma protein profile of mice without the addition and with the addition of 2-mercaptoethanol showed differences in the number of protein bands, the molecular weight of several proteins and the thickness of the protein bands. There were nine protein bands with a molecular weight above 52 kDa in the profile without the addition of 2-mercaptoethanol, while there were only five protein bands with a molecular weight above 52 kDa in the profile with the addition of 2-mercaptoethanol. The difference in protein profile patterns shows that mouse blood plasma contains proteins containing disulfide bonds that can be reduced by 2-mercaptoethanol.

Keywords: 2-mercaptoethanol; mice; protein profile; blood plasma; SDS-PAGE.

Abstrak

SDS-PAGE merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis protein berdasarkan perbedaan berat molekulnya. Penambahan 2-mercaptoethanol pada analisis profil protein menggunakan SDS-PAGE berfungsi untuk mereduksi ikatan disulfida pada protein. Proses reduksi ikatan sulfida tersebut akan menyebabkan perbedaan konformasi dan profil protein. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan pola profil protein plasma darah mencit yang dianalisis menggunakan SDS-PAGE, dengan penambahan 2-mercaptoethanol dan tanpa penambahan 2-mercaptoethanol pada campuran larutan buffer sampel. Hasil SDS-PAGE menunjukkan bahwa profil protein plasma darah mencit tanpa penambahan dan dengan penambahan 2-mercaptoethanol memperlihatkan adanya perbedaan pada jumlah pita protein, berat molekul beberapa protein dan ketebalan pita protein. Terdapat 9 pita protein dengan berat molekul diatas 52 kDa pada profil tanpa penambahan 2-mercaptoethanol, sementara hanya terdapat 5 pita protein dengan berat molekul diatas 52 kDa pada profil dengan penambahan 2-mercaptoethanol. Perbedaan pola profil protein tersebut menggambarkan bahwa plasma darah mencit memiliki protein-protein yang mengandung ikatan disulfida yang dapat tereduksi oleh pemberian 2-mercaptoethanol.

Kata-kata kunci: 2-mercaptoethanol; mencit; profil protein; plasma darah; SDS-PAGE.

Pendahuluan

SDS-PAGE (*Sodium Dodecyl Sulfate - Polyacrylamide Gel Electrophoresis*) merupakan metode yang sering digunakan untuk menganalisis protein berdasarkan perbedaan berat molekulnya. SDS-PAGE tersusun atas dua jenis gel, yaitu stacking gel yang berada di bagian atas dengan fungsi sebagai tempat protein terkonsentrasi sebelum memasuki gel pemisah (resolving gel), dan resolving gel yang berada dibagian bawah dengan fungsi memisahkan protein berdasarkan berat molekulnya (O'Connor, 2022). SDS merupakan jenis deterjen anionik yang dapat mengikat dan mengganggu ikatan non-kovalen protein, mendenaturasi protein, dan memberikan muatan negatif pada protein, sehingga akan menghasilkan rantai polipeptida linier. Bentuk polipeptida yang seragam pada analisis akan menyebabkan pemisahan protein hanya dipengaruhi oleh berat molekul saja. SDS atau sodium dodecyl sulfate adalah detergen yang kuat. Ketika ditambahkan ke sampel protein, SDS membuat linierisasi protein, memecah struktur dua dimensi dan tiga dimensinya serta melapisinya dengan muatan negatif yang seragam. Molekul protein yang dilapisi SDS dan bermuatan larut dalam air, memungkinkan mereka untuk dengan mudah dipisahkan pada pemberian arus listrik pada proses elektroforesis.

Agen denaturan lainnya yang digunakan pada analisis SDS-PAGE yaitu 2-mercaptoethanol. 2-mercaptoethanol secara efektif membelah dan mengurangi banyak ikatan sistein-sistein disulfida dan mendenaturasi protein yang diinginkan secara ireversibel. 2-mercaptoethanol akan mendenaturasi protein dengan memutuskan ikatan-ikatan disulfida dan membuka struktur lipatan-lipatan protein. Ikatan disulfida merupakan ikatan kovalen yang hanya terdapat dalam asam amino sistein dan berperan penting dalam membentuk struktur sekunder protein (Carson *et al.*, 2019). Adanya pemutusan ikatan pada asam amino akan menyebabkan perbedaan pola protein yang dihasilkan. Perlakuan protein pada daging dengan menggunakan enzim protease menyebabkan adanya perbedaan pola protein pada SDS PAGE (Susanti *et al.*, 2019). Perbedaan penggunaan reagen pada preparasi sampel akan menyebabkan perbedaan analisis profil protein. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan pola profil protein plasma darah mencit jantan yang dianalisis menggunakan SDS-PAGE, dengan penambahan 2-mercaptoethanol dan tanpa penambahan 2-mercaptoethanol pada campuran larutan buffer sampel. Perbedaan pola profil protein tanpa pemberian 2-mercaptoethanol dan dengan pemberian 2-mercaptoethanol dapat menduga apakah plasma darah mencit mengandung protein-protein multimer yang memiliki ikatan disulfida. Protein multimer tersebut dapat tereduksi menjadi protein monomer dengan pemutusan ikatan disulfida oleh 2-

mercaptoethanol sebagai agen pereduksi protein, sehingga akan mengakibatkan perbedaan pola profil protein

Metode

Elektroforesis SDS-PAGE Plasma Darah Mencit

Elektroforesis SDS-PAGE plasma darah mencit bertujuan untuk mengamati profil protein pada plasma darah mencit. Penelitian ini menggunakan hewan uji berupa mencit jantan (*Mus musculus* L.) berjumlah 9 ekor. Penggunaan hewan uji dalam penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik oleh Komite Etik Fakultas Kedokteran Universitas Lampung dengan nomor 2910/UN26.18/PP.05.02.00/2023. Pengambilan plasma darah mencit dilakukan dengan cara cardiac puncture, kemudian dikumpulkan di dalam tabung vacutainer EDTA. Plasma darah mencit disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 13.000 rpm. Sebanyak 1 µl plasma diencerkan dengan 50 µl NaCl fisiologis (pengenceran 50x). 10 µl plasma yang telah diencerkan ditambahkan loading buffer sebanyak 10 µl (loading buffer merupakan campuran antara buffer sampel *Laemmli* dan 2-mercaptoethanol dengan perbandingan 19:1). Pada perlakuan tanpa 2-mercaptoethanol 10 µl plasma yang telah diencerkan ditambahkan buffer sampel *Laemmli* sebagai loading buffer sebanyak 10 µl.

Running elektroforesis SDS-PAGE dilakukan menggunakan gel *Bolt 12% BT Plus 10w* dengan buffer elektroforesis 10x Tris/Glycine/SDS. Setiap wells diisi dengan 10 µl *marker protein: Thermo Scientific Spectra Multicolor Broad Range Protein Ladder 10 kDa - 260 kDa*, dan plasma sembilan ekor mencit masing-masing sebanyak 20 µl. *Running* menggunakan listrik 100 Volt sampai buffer sampel menyentuh dasar gel. Gel diletakkan pada *Rocking Platform Mixer* dengan kecepatan goyangan 40 rpm untuk diwarnai dengan commasie blue selama 1 jam, kemudian diberi destainer sampai seluruh pita protein terlihat jelas.

Analisis Berat Molekul Protein Plasma Darah Mencit

Pita protein plasma darah mencit diamati dan dihitung nilai Rf (*Retardation factor*) untuk menentukan berat molekul pita protein. Nilai Rf dari pita marker dihitung dengan mengukur jarak total migrasi marker dibagi dengan jarak pita dari sumuran sebagai nilai absis (sumbu x) dan berat molekul pita marker sebagai nilai ordinat (sumbu y). Jarak pita diukur dalam satuan pixel menggunakan software GIMP 2.10.32. Data nilai Rf marker dibuat suatu kurva standar Regresi. Berat molekul pita protein profil plasma darah mencit dihitung dengan konversi dari persamaan tersebut. Penentuan berat molekul menggunakan BioMed MW

Converter©- *Molecular Weight Conversion Tool*. Analisis profil protein dilakukan dengan mengamati banyaknya pita protein dan ketebalan pita protein.

Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan nilai Rf marker protein masing-masing perlakuan tanpa 2-mercaptoethanol dan dengan penambahan 2-mercaptoethanol disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Nilai Rf dan Berat molekul marker protein (perlakuan tanpa 2-mercaptoethanol)

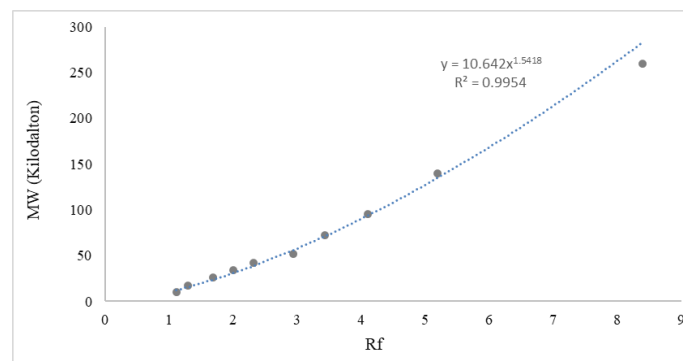
Jarak Marker (pixel)	Total Migrasi <i>loading dye</i>	Rf <i>Marker</i>	Berat Molekul <i>Marker</i> (kDa)
252	2116	8,3968	260
408		5,1863	140
516		4,1008	95
616		3,4351	72
720		2,9389	52
912		2,3202	42
1056		2,0038	34
1260		1,6794	26
1632		1,2966	17
1900		1,1137	10

Tabel 2. Nilai Rf dan Berat molekul marker protein (perlakuan penambahan 2-mercaptoethanol)

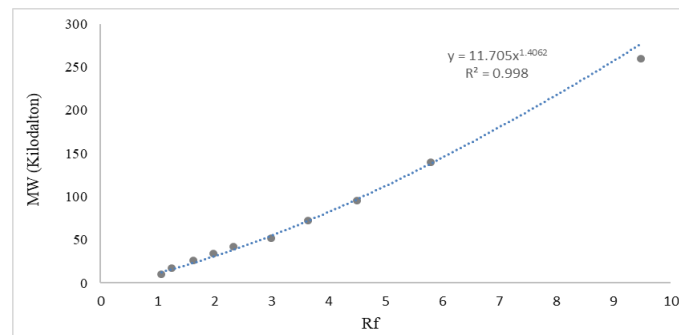
Jarak Marker (pixel)	Total Migrasi <i>loading dye</i>	Rf <i>Marker</i>	Berat Molekul <i>Marker</i> (kDa)
165	1563	9,4727	260
270		5,7889	140
348		4,4914	95
429		3,6434	72
522		2,9943	52
672		2,3259	42
789		1,9810	34

Jarak Marker (pixel)	Total Migrasi <i>loading dye</i>	Rf <i>Marker</i>	Berat Molekul <i>Marker</i> (kDa)
960		1,6281	26
1251		1,2494	17
1464		1,0676	10

Data hasil pengukuran Rf marker protein kemudian diplotkan dalam bentuk kurva regresi terhadap berat molekul marker protein. Berikut ini merupakan kurva regresi standar marker protein pada masing-masing perlakuan sampel (Gambar 1 dan Gambar 2).

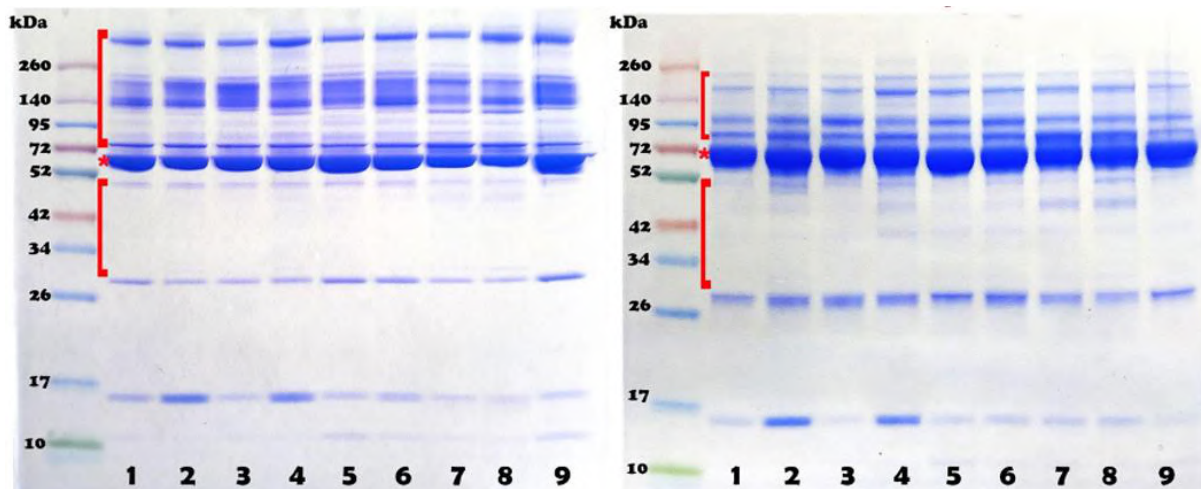


Gambar 1. Kurva standar protein marker (perlakuan tanpa 2-mercaptoethanol)



Gambar 2. Kurva standar protein marker (perlakuan dengan penambahan 2-mercaptoethanol)

Penentuan berat molekul protein sampel plasma darah mencit dihitung dengan mencari nilai Rf (*Retardation factor*) dari masing-masing pita yang muncul, selanjutnya disubstitusikan pada persamaan regresi *marker* protein yang ada pada Gambar 1 dan Gambar 2. Visualisasi hasil profil protein plasma darah mencit SDS-PAGE tanpa 2-mercaptoethanol dan dengan penambahan 2-mercaptoethanol tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil protein plasma darah mencit SDS-PAGE a) kiri: tanpa pemberian 2-mercaptoethanol dan b) kanan: dengan pemberian 2-mercaptoethanol

Hasil SDS-PAGE plasma darah mencit menunjukkan adanya perbedaan profil protein tanpa pemberian 2-mercaptoethanol dan dengan pemberian 2-mercaptoethanol. Perbedaan profil protein plasma darah mencit terlihat pada jumlah pita protein dan berat molekul beberapa protein. Plasma darah yang tidak diberikan penambahan 2-mercaptoethanol menunjukkan adanya 9 pita protein dengan berat molekul di atas 52 kDa (diantaranya yaitu, 62 kDa, 74 kDa, 83 kDa, 97 kDa, 112 kDa, 130 kDa, 185 kDa, 216 kDa, dan 570 kDa), sedangkan pada plasma darah yang diberikan penambahan 2-mercaptoethanol hanya menunjukkan 5 pita protein dengan berat molekul di atas 52 kDa (yaitu pita protein 66 kDa, 84 kDa, 101 kDa, 155 kDa, dan 206 kDa). Pada kedua perlakuan, profil pita protein pada rentang berat molekul 10-52 kDa cenderung menunjukkan kesamaan, yakni adanya 4 pita protein yang muncul yaitu dengan berat molekul 13 kDa, 15 kDa, 26 kDa, dan 50 kDa.

Hasil analisis profil protein plasma darah mencit yang diberikan penambahan 2-mercaptoethanol pada penelitian ini, serupa dengan profil protein plasma darah tikus yang dianalisis dengan metode SDS-PAGE oleh (Hidayati *et al.*, 2017), yaitu menunjukkan adanya 12 pita protein yang teridentifikasi dengan berat molekul berkisar antara 13 kDa - 200 kDa. Penelitian lainnya oleh (Hidayati *et al.*, 2017) mengenai profil protein plasma darah mencit yang dianalisis dengan metode SDS-PAGE menunjukkan adanya 13 pita protein yang teridentifikasi dengan berat molekul 7 kDa - 162 kDa.

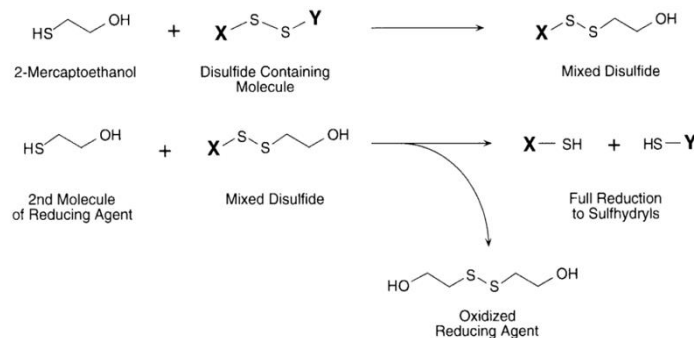
Pada penelitian ini, pita protein yang terlihat paling tebal dan konsisten muncul pada kedua perlakuan (tanpa penambahan 2-mercaptoethanol dan dengan penambahan 2-mercaptoethanol) yaitu pita dengan berat molekul antara 52 kDa - 72 kDa. Pita protein tersebut diduga merupakan pre-albumin, albumin, post-albumin, dan globulin. Albumin merupakan protein plasma darah dengan jumlah terbanyak yaitu sekitar 55-60% dari total protein plasma. Pre-albumin memiliki berat molekul sekitar 55 kDa, albumin memiliki berat molekul berkisar 60 kDa – 69 kDa, dan post-albumin memiliki berat molekul berkisar 70 kDa (Çolak *et al.*, 2002; Hidayati *et al.*, 2017; Kreyling *et al.*, 2014). Adapun protein globulin berdasarkan penelitian Çolak *et al.*, (2002) teridentifikasi melalui profil SDS-PAGE dengan membentuk zona globulin yang berisi empat hingga tujuh pita protein dengan berat molekul berkisar antara 97,4 kDa - 205 kDa, dan tiga pita protein dengan berat molekul di atas 205 kDa.

Perbedaan pola profil protein tanpa pemberian 2-mercaptoethanol dan dengan pemberian 2-mercaptoethanol menggambarkan bahwa plasma darah mencit diduga memiliki protein-protein multimer yang mengandung ikatan disulfida. Protein multimer dapat tereduksi menjadi protein monomer dengan pemutusan ikatan disulfida oleh 2-mercaptoethanol sebagai agen pereduksi protein. Teknik SDS-PAGE pada kondisi non-reduksi dan tereduksi (dengan β -mercaptoethanol) digunakan untuk mempelajari perubahan profil dan komposisi protein. Protein-protein dengan berat molekul besar terlihat jelas pada gel yang tidak tereduksi (tanpa β -mercaptoethanol) (Qi & Onwulata, 2011).

Pada sampel darah manusia teridentifikasi 4594 ikatan disulfida pada protein darah. Struktur ikatan disulfida tersebut berperan dalam pengontrolan protein darah soluble dan reseptor pada sel darah pada sistem sirkulasi, salah satunya melalui mekanisme kontrol alosterik (Butera *et al.*, 2014). Ikatan disulfida pada protein merupakan ikatan yang menghubungkan dua residu asam amino sistein melalui gugus sampingnya (Mthembu *et al.*, 2020). Asam amino sistein merupakan salah satu asam amino yang sedikit jumlahnya namun memiliki peran penting sebagai salah satu agen pereduksi ekstrasel dan berperan dalam respon stres oksidatif, proses sintesis protein (Kleinman & Richie, 2000).

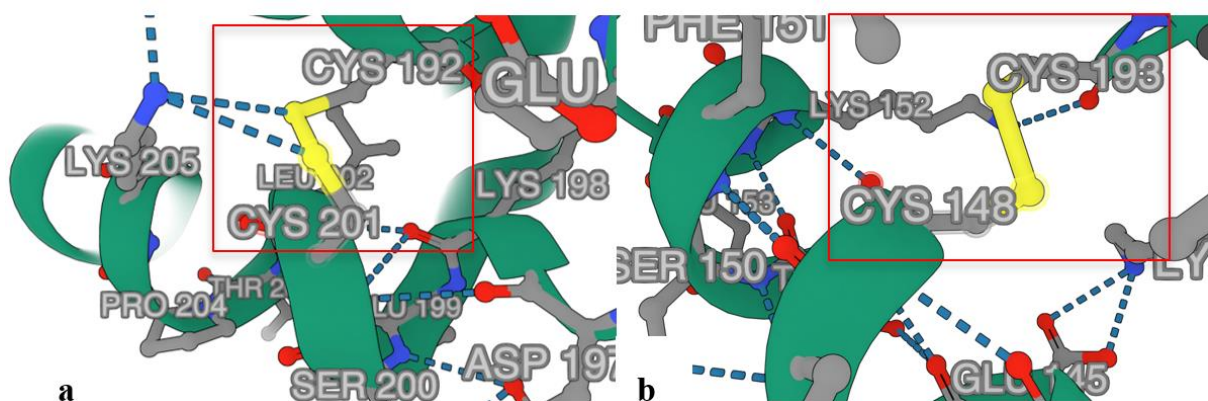
Pemutusan ikatan disulfida oleh 2-mercaptoethanol dilakukan dengan mereduksi gugus thiol pada ikatan disulfida pada residu sistein (Clark *et al.*, 2019). Ikatan disulfida merupakan ikatan kovalen yang mendukung fungsi secara struktural dan fungsional (Xu *et al.*, 2021). Gugus sulfur pada sistein berada dalam fase aktif yang dapat tereduksi maupun teroksidasi sesuai dengan kondisi lingkungan. Pemutusan ikatan disulfida oleh 2-mercaptoethanol (HS-CH₂-CHOH) terjadi melalui proses reduksi pada unsur sulfur melalui pertukaran disulfida

antara 2ME dan ikatan asam amino serta melibatkan substitusi nukleofilik yang menyerang gugus thiol pada disulfida (Gambar 4) (Mthembu *et al.*, 2020).



Gambar 4. Reaksi pemutusan ikatan disulfida oleh 2-mercaptoethanol (Hermanson, 2013)

Hasil analisis protein pada SDS-PAGE menunjukkan bahwa terdapat pita dengan ukuran 52 kDa - 72 kDa yang diperkirakan merupakan protein albumin. Protein albumin diketahui memiliki asam amino penyusun berupa sistein yang dapat membentuk ikatan disulfida dengan asam amino sistein. Prediksi secara komputasi menunjukkan keberadaan ikatan disulfida antar asam amino sistein pada model protein albumin dari *Mus musculus* (Gambar 5). Ikatan disulfida pada protein albumin tersebut yang menjadi target dari 2-mercaptoethanol sehingga adanya pemberian reduktan tersebut akan menyebabkan linearisasi protein dan perbedaan profil protein.



Gambar 5. Prediksi posisi ikatan disulfida antara a) sistein 192 (cys 192) dan sistein 201 (cys 201); b) sistein 148 (cys 148) dan sistein 193 (cys 193) pada model protein albumin *Mus musculus* (Uniprot ID: P07724).

Penelitian terdahulu mengenai pembuktian reduksi ikatan disulfida oleh 2-mercaptoethanol dilakukan oleh Shibata *et al.*, (1998) yaitu melihat efek substitusi residu sistein pada mutan protein aktivator lipase bakteri *Pseudomonas* (Y99C dan R115C) yang dianalisis menggunakan SDS-PAGE dengan pemberian dan tanpa pemberian 2-mercaptoethanol. Dengan tidak adanya reduktor (2-mercaptoethanol), kedua mutan (Y99C dan R115C) muncul sebagai dua pita protein yang mendekati ukuran monomer (36 kDa) dan dimer (72 kDa). Sebaliknya, ukuran pita dimer menghilang dengan penambahan 2-mercaptoethanol. Hal ini dikarenakan kedua mutan hanya memiliki satu residu sistein, sehingga dengan penambahan reduktor akan menghilangkan pita dimer pada hasil SDS-PAGE.

SDS-PAGE dengan dan tanpa penambahan 2-mercaptoethanol juga dilakukan untuk melihat profil protein subunit hemoglobin *Glossoscolex paulistus* (HbGp). Beberapa pita protein yang muncul pada profil SDS-PAGE tanpa pemberian 2-mercaptoethanol, terlihat tidak muncul pada profil protein yang diberikan 2-mercaptoethanol, begitu pula sebaliknya. Hal ini menunjukkan telah terjadi pengurangan ikatan disulfida oleh 2-mercaptoethanol pada protein trimer, sehingga menyebabkan adanya penambahan pita-pita baru di atas pita monomer. Pola migrasi protein subunit HbGp yang berbeda dengan dan tanpa penambahan 2-mercaptoethanol dikaitkan dengan adanya struktur lipatan protein subunit HbGp yang dapat terbuka melalui penginduksian zat pereduksi ikatan disulfida (2-mercaptoethanol) (Carvalho *et al.*, 2011).

Penelitian lainnya dilakukan oleh Ekawasti *et al.* (2015), yaitu terdapat perbedaan profil protein pada *Trypanosoma evansi* Isolat S371 dengan dan tanpa penambahan B-mercaptoethanol, dimana penambahan B-mercaptoethanol mereduksi ikatan disulfida pada protein multimer isolat S371 menjadi protein monomer, sehingga menyebabkan adanya perbedaan profil dan perbedaan ketebalan pita-pita protein pada profil SDS-PAGE dengan metode reduksi dan non-reduksi ikatan disulfida menggunakan b-mercaptoethanol.

Penutup

Profil protein plasma darah mencit tanpa penambahan dan dengan penambahan 2-mercaptoethanol memperlihatkan adanya perbedaan pada jumlah pita protein, berat molekul beberapa protein dan ketebalan pita protein. Perbedaan pola profil protein tersebut menggambarkan bahwa plasma darah mencit memiliki protein-protein yang mengandung ikatan disulfida yang dapat tereduksi oleh pemberian 2-mercaptoethanol.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada drh. Didik T. Subekti, M.Kes yang telah membantu analisis parameter dalam penelitian ini, dan semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Butera, D., Cook, K. M., Chiu, J., Wong, J. W. H., & Hogg, P. J. (2014). Control of blood proteins by functional disulfide bonds. *Blood*, 123(13), 2000–2007. <https://doi.org/10.1182/blood-2014-01-549816>
- Carson, S., Miller, H. B., Witherow, D. S., & Srougi, M. C. (2019). *Molecular Biology Techniques A Classroom Laboratory Manual Fourth Edition*. Academic Press.
- Carvalho, F. A. O., Carvalho, J. W. P., Santiago, P. S., & Tabak, M. (2011). Further characterization of the subunits of the giant extracellular hemoglobin of *Glossoscolex paulistus* (HbGp) by SDS-PAGE electrophoresis and MALDI-TOF-MS. *Process Biochemistry*, 46(11), 2144–2151. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.08.013>
- Clark, D. P., Pazdernik, N. J., & McGehee, M. . (2019). *Molecular Biology*. Academic Cell.
- Çolak, R., Yigit, N., Çolak, E., Gattermann, R., & Neumann, K. (2002). SDS-PAGE Patterns of Blood Serum Proteins in some Species of the Genus *Meriones* (Mammalia: Rodentia). In *Turk Journal Zoology* (Vol. 26, pp. 177–181). <http://journals.tubitak.gov.tr/zoology/issues/zoo-02-26-2/zoo-26-2-5-0110-2.pdf>
- Hermanson, G. . (2013). *Bioconjugate Techniques*. Academic Press.
- Hidayati, D., Abdulgani, N., Setiyawan, H., Trisnawati, I., Ashuri, N. M., & Sa'adah, N. N. (2017). Analysis of protein profiles in diabetic rat blood plasma that induced by alloxan. *Proceeding of International Biology Conference AIP*, 020016. <https://doi.org/10.1063/1.4985407>
- Kleinman, W. A., & Richie, J. P. (2000). Status of glutathione and other thiols and disulfides in human plasma. *Biochemical Pharmacology*, 60(1), 19–29. [https://doi.org/10.1016/S0006-2952\(00\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0006-2952(00)00293-8)
- Kreyling, W. G., Fertsch-Gapp, S., Schäffler, M., Johnston, B. D., Haberl, N., Pfeiffer, C., Diendorf, J., Schleh, C., Hirn, S., Semmler-Behnke, M., Eppel, M., & Parak, W. J. (2014). In vitro and in vivo interactions of selected nanoparticles with rodent serum proteins and their consequences in biokinetics. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 5, 1699–1711. <https://doi.org/10.3762/bjnano.5.180>
- Mthembu, S. N., Sharma, A., Albericio, F., & de la Torre, B. G. (2020). Breaking a Couple: Disulfide Reducing Agents. *ChemBioChem*, 21(14), 1947–1954. <https://doi.org/10.1002/cbic.202000092>
- O'Connor, C. M. (2022). *INVESTIGATIONS IN MOLECULAR CELL BIOLOGY*. Boston College
- Qi, P. X., & Onwulata, C. I. (2011). Physical properties, molecular structures, and protein quality of texturized whey protein isolate: Effect of extrusion moisture content. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2231–2244. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-394>
- Shibata, H., Kato, H., & Oda, J. (1998). Random mutagenesis on the *Pseudomonas* lipase activator protein, LipB: exploring amino acid residues required for its function. *Protein Engineering Design and Selection*, 11(6), 467–472.

- <https://doi.org/10.1093/protein/11.6.46>
- Susanti, A. M., Darmawati, S., & Maharani, E. T. W. (2019). Profil Protein Lima Jenis Daging yang Direndam Daun Pepaya Berbasis SDS-PAGE. *Gorontalo Journal of Public Health*, 2(1), 132. <https://doi.org/10.32662/gjph.v2i1.482>
- Xu, X., Chiu, J., Chen, S., & Fang, C. (2021). Pathophysiological roles of cell surface and extracellular protein disulfide isomerase and their molecular mechanisms. *British Journal of Pharmacology*, 178(15), 2911–2930. <https://doi.org/10.1111/bph.15493>



Isolasi dan Identifikasi Kandungan Metabolit Sekunder Jamur Endofit Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* linn.)

Dewi Chusniasih^{1*}, Najla Nur Azizah¹, Salsa Pratiwi Mulyadi¹, Fitri Rizki Oktariyani¹

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia

*dewi.chusniasih@staff.itera.ac.id

Abstract

Turmeric is a plant that is often used as an ingredient in traditional medicine. Turmeric rhizome contains secondary metabolites such as alkaloids, triterpenoids, flavonoids, tannins, anthraquinones and polyphenols which have the potential to be used as antimicrobials and antioxidants. Endophytic fungi that live in plant tissue can produce the same metabolites as their host plants, so that endophytic fungi from turmeric rhizomes have the potential to produce secondary metabolites of medicinal ingredients. This research aimed to isolate endophytic fungi from turmeric rhizomes, and identify secondary metabolites produced by these endophytic fungi. Endophytic fungal isolates were carried out using the pour plate method, and purification was carried out on each colony which had different characteristics. Identification of secondary metabolites was carried out qualitatively. The results showed that there were 5 isolates of endophytic fungi from turmeric rhizomes, namely isolates J1, J2, J3, J4, and J5. The five isolates of endophytic fungi were positive for containing alkaloids, tannins and phenolics, but only isolates J2, J3 and J4 also produced saponins. The five isolates of endophytic fungi were reported not to produce flavonoid compounds. Secondary metabolites produced by endophytic fungi from turmeric rhizomes have the potential to be used as antimicrobial and antioxidant natural ingredients.

Keywords: Endophytic fungi; Secondary metabolites; turmeric rhizome;

Abstrak

Kunyit merupakan salah satu tanaman yang kerap digunakan sebagai bahan obat tradisional. Rimpang kunyit mengandung metabolit sekunder seperti alkaloid, triterpenoid, flavonoid, tanin, antrakuinon, dan polifenol yang berpotensi digunakan sebagai antimikroba dan antioksidan. Jamur endofit yang hidup pada jaringan tanaman dapat memproduksi metabolit yang sama dengan tanaman inangnya, sehingga jamur endofit asal rimpang kunyit berpotensi menghasilkan metabolit sekunder bahan obat. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi jamur endofit asal rimpang kunyit, dan mengidentifikasi metabolit sekunder yang dihasilkan jamur endofit tersebut. Isolasi jamur endofit dilakukan dengan metode cawan tuang, dan pemurnian dilakukan pada setiap koloni yang memiliki karakter yang berbeda. Identifikasi metabolit sekunder dilakukan secara kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 5 isolat jamur endofit dari rimpang kunyit, yaitu isolat J1, J2, J3, J4, dan J5. Kelima isolat jamur endofit positif mengandung alkaloid, tanin, dan fenolik, namun hanya isolat J2, J3, dan J4 saja yang juga memproduksi saponin. Kelima isolat jamur endofit dilaporkan tidak menghasilkan senyawa flavonoid. Metabolit sekunder yang dihasilkan jamur endofit asal rimpang kunyit berpotensi sebagai bahan alam antimikroba dan antioksidan.

Kata-kata kunci: Jamur endofit; Metabolit sekunder; Rimpang kunyit;

PENDAHULUAN

Keanekaragaman tumbuhan cukup tinggi di Indonesia, dan sebagian besar tersebar di kawasan hutan tropis. Umumnya metabolit tanaman berupa karotenoid dan polifenol terutama flavonoid memiliki aktivitas antioksidan dan antimikroba, sehingga banyak diformulasikan

sebagai bahan obat tradisional. Penggunaan bahan alami asli Indonesia sebagai bahan obat diperlukan untuk meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat dengan biaya relatif terjangkau (Haerani *et al.*, 2018). Kandungan antioksidan dan senyawa metabolit yang terdapat pada tanaman dapat digunakan sebagai bahan-bahan obat. Salah satu tanaman yang memiliki manfaat obat adalah tanaman kunyit (*Curcuma longa* Linn). Bagian spesifik pada tanaman kunyit yang memiliki kandungan metabolit sekunder yang kerap dimanfaatkan sebagai bahan obat yaitu rimpang kunyit.

Berdasarkan penelitian (Ningsih *et al.*, 2020), kunyit mengandung senyawa metabolit sekunder antara lain alkaloid, triterpenoid, flavonoid, tanin, antrakuinon, dan polifenol. Rimpang kunyit mengandung senyawa aktif yang disebut kurkumin, yang memberikan kunyit warna kuning cerah dan memiliki sifat antioksidan. Kurkumin memiliki kemampuan untuk melawan radikal bebas dalam tubuh yang dapat menyebabkan kerusakan sel dan berperan dalam perkembangan penyakit. Kandungan kurkumin pada kunyit sebanyak 3-8% (Suprihatin *et al.*, 2020). Kurkumin memiliki sifat antiinflamasi, antioksidan dan antimikroba bahkan sebagai antikanker (D & Purwaningrum, 2018). Kurkumin diketahui memiliki kemampuan dalam modulasi beberapa molekul target dan menghambat faktor transkripsi (NF- κ B), enzim (COX-1, COX-2, LOX), sitokin (TNF α , IL-1 β , IL-6) dan gen-gen antiapoptotik (BCL2, BCL2L1) (Shehzad & Lee, 2010).

Kandungan metabolit sekunder yang dimiliki pada tanaman juga dapat dihasilkan oleh aktivitas mikroorganisme endofit seperti bakteri dan jamur yang hidup pada jaringan tanaman (Kuncoro & Sugijanto, 2011). Secara alamiah, mikroorganisme endofit akan menghasilkan senyawa metabolit yang sama dengan yang diproduksi tanaman inangnya, sebagai bentuk pertahanan diri pada cekaman yang sama. Mikroorganisme endofit di lingkungan masuk ke dalam jaringan tanaman melalui lentisel, stomata atau luka yang terdapat pada akar lateral dan akar yang sedang berkecambah (Murdiyah, 2019).

Metabolit sekunder secara alami dapat dihasilkan oleh tanaman obat ataupun mikroba endofit yang ada di dalam jaringan tanaman obat. Penggunaan tanaman obat sebagai sumber penghasil metabolit sekunder membutuhkan waktu yang lama. Selain itu tanaman obat juga membutuhkan biomassa sampel dalam jumlah besar. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh jamur endofit akan lebih banyak dibanding dengan tanaman obat. Kemampuan yang dimiliki jamur endofit ini dapat menggantikan tanaman obat sebagai sumber metabolit sekunder. Waktu yang dibutuhkan jamur endofit untuk melakukan duplikasi diri lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan dari tanaman obat sebagai tanaman inang. Jamur endofit dapat diandalkan untuk menghasilkan antibiotik atau antioksidan baru tanpa merusak lingkungan.

Selain itu proses yang dibutuhkan dengan menggunakan jamur endofit sebagai sumber metabolit sekunder jauh lebih ekonomis namun akan menghasilkan produk dalam jumlah banyak dengan waktu yang singkat sehingga akan menghemat biaya dan waktu (Kuncoro & Sugijanto, 2011).

Eksplorasi mengenai jamur endofit pada rimpang kunyit belum banyak dilakukan. Jamur endofit memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder dalam jumlah banyak yang bermanfaat sebagai alternatif obat baru. Berdasarkan penelitian (Sontsa-Donhoung *et al.*, 2022), bakteri endofit yang diisolasi dari rimpang kunyit diketahui dapat mensintesis senyawa kurkumin, dan memiliki aktivitas sebagai antijamur dan antibakteri patogen, serta dilaporkan memiliki aktivitas antioksidan. Jamur endofit dari rimpang jahe juga dilaporkan menghasilkan senyawa antimikroba seperti tyrosol dan asam lemak, dan memiliki aktivitas penghambatan terhadap pertumbuhan jamur patogen *Phytium* (Anisha & Radhakrishnan, 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian untuk mengisolasi jamur endofit pada rimpang kunyit dan mengidentifikasi metabolit yang dihasilkannya untuk memperoleh informasi dalam aspek pemanfaatan jamur endofit asal rimpang kunyit sebagai agen produksi bahan obat.

Metode

Isolasi Jamur Endofit pada Rimpang Kunyit (Curcuma longa Linn.)

Isolasi jamur endofit dilakukan dengan metode tanam langsung berdasarkan metode (Hasiani *et al.*, 2015). Rimpang kunyit dibersihkan menggunakan aquadest untuk menghilangkan kotoran yang berada di bagian permukaan rimpang kunyit, lalu direndam dengan menggunakan etanol 70% selama 1 menit, kemudian direndam dengan NaOCl selama 3 menit, dan dilanjutkan dengan perendaman menggunakan etanol 70% selama 1 menit. Langkah selanjutnya yaitu rimpang kunyit ditiriskan dan dipotong-potong dengan ukuran kurang lebih 1x1 cm, kemudian diletakkan di atas media PDAC (*Potato Dextrose Agar Chloramphenicol*). Inokulasi sampel dilakukan menggunakan cawan petri dan dilakukan secara triplo, yaitu setiap cawan petri berisikan 3 potong sampel rimpang kunyit. Kemudian inkubasi selama 2-14 hari pada suhu 25-27 C.

Pemurnian Isolat Jamur Endofit

Pemurnian jamur endofit dilakukan untuk memisahkan koloni jamur endofit yang memiliki morfologi yang berbeda. Isolat jamur yang tumbuh pada media, dipindahkan

menggunakan ose ke dalam cawan petri yang berisi media PDAC. Jamur endofit diinkubasi pada suhu ruang selama 3-5 hari, jika terdapat koloni jamur yang berbeda secara makroskopis maka dipisahkan dengan cara memindahkan ke cawan petri lainnya sehingga diperoleh isolat murni.

Produksi Metabolit Sekunder

Produksi metabolit sekunder jamur endofit dilakukan untuk memperoleh hasil metabolit jamur dalam jumlah banyak, sehingga dapat dilakukan untuk pengujian selanjutnya. Metabolit sekunder diproduksi dengan menggunakan media *Potato Dextrose Broth* (PDB). Koloni jamur yang sudah dilakukan pemurnian pada media PDAC diambil ke dengan menggunakan ose sebanyak 3 potong biakan jamur dengan ukuran 1x1 cm. Kemudian potongan jamur diinokulasikan ke dalam media cair PDB sebanyak 50 mL dan diinkubasi selama 3-5 hari. Setelah itu diambil 20 mL dan dipindahkan ke dalam erlenmeyer yang berisi media PDB 250 mL. Lalu dilakukan fermentasi dengan menggunakan *rotary shaker* dengan kecepatan 150 rpm (putaran/menit) selama 14 hari pada suhu ruang. Hasil fermentasi kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm dalam waktu 20 menit. Bagian supernatan diambil dan disaring menggunakan kertas saring. Miselium yang mengendap diambil dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C selama 3 jam, kemudian direndam menggunakan pelarut metanol selama 2 hari. Hasil ekstraksi disaring dan ekstrak miselium jamur endofit dikeringkan menggunakan waterbath. Ekstrak yang didapatkan kemudian dilakukan pengujian (Hasiani *et al.*, 2015).

Skrining Metabolit Sekunder

Identifikasi alkaloid

Sebanyak 0,5 mL sampel ditambahkan dengan 5 tetes kloroform dan 5 tetes pereaksi Mayer (Pada 20 mL aquades dilarutkan 1 g KI dan ditambahkan 0,271 g HgCl₂ hingga semua larut). Hasil positif akan terbentuk endapan berwarna jingga.

Identifikasi flavonoid

Sebanyak 0,5 mL sampel ditambahkan dengan 0,5 g Mg dan 5 mL HCl pekat. Terbentuknya warna merah tua menjadi indikator adanya senyawa flavonoid.

Identifikasi Saponin

Sebanyak 0,5 mL sampel ekstrak ditambahkan dengan 0,5 mL aquades lalu dikocok selama 30 detik. Terbentuknya buih atau busa menjadi indikator adanya senyawa saponin pada ekstrak.

Identifikasi Tanin

Sebanyak 1 mL sampel ditambahkan dengan 3 tetes larutan FeCl_3 5%. Hasil positif ditandai dengan terbentuknya warna hijau atau kebiruan.

Pengujian kandungan fenolik


Senyawa fenolik merupakan senyawa antioksidan yang dapat menangkap radikal bebas termasuk curcumin. Untuk mengetahui keberadaan senyawa fenolik pada ekstrak jamur endofit maka dilakukan uji antioksidan kualitatif fenolik dengan 1 ml ekstrak jamur endofit, larutan metanol sebanyak 0,5 ml, larutan asam galat 1 ml, dan larutan sampel 1 ml dimasukkan kedalam 3 tabung reaksi. Kemudian diberikan 5 ml reagen Folin- Ciocalteu yang sebelumnya dimurnikan menggunakan aquades pada perbandingan 1:10. Setelah homogen, larutan ditambahkan dengan natrium karbonat sebanyak 4,0 ml. Diinkubasi selama 10 menit lalu diamati perubahan warna pada larutan tersebut. Hasil positif ditunjukkan dengan terjadi perubahan warna menjadi biru (Rondonuwu *et al.*, 2017).

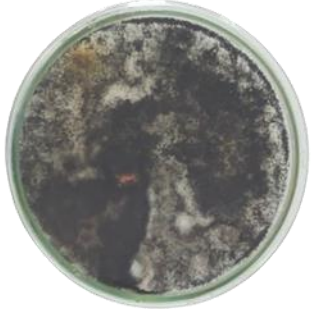
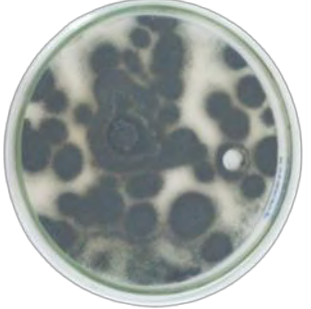


Hasil dan Pembahasan

Isolat Jamur Endofit Rimpang Kunyit

Pada penelitian ini dilakukan berbagai uji untuk mengetahui kandungan metabolit sekunder dan kandungan antioksidan. Pada proses isolasi jamur endofit, diperoleh sebanyak 5 isolat jamur endofit yang kami peroleh dengan mengisolasi dari rimpang kunyit (*Curcuma longa* Linn.). Hasil isolasi dan pemurnian jamur endofit yang berasal dari rimpang kunyit disajikan pada Tabel 1. Karakterisasi makroskopis jamur endofit yang diperoleh dilakukan dengan mengamati berbagai karakter pada isolat seperti warna dan tekstur koloni, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Makroskopis Isolat Jamur Endofit Rimpang Kunyit

Isolat	Warna Koloni	Tekstur Koloni	Gambar
J1	Putih	<i>Cottony</i>	

J2	Hitam	<i>Powdery</i>	
J3	Hitam	<i>Powdery</i>	
J4	Hijau Kehitaman	<i>Cottony</i>	
J5	Coklat Kehitaman	<i>Powdery</i>	

Secara makroskopis, jamur dengan kode isolat J1 memiliki warna koloni putih kekuningan dan bertekstur pada permukaan koloni seperti kapas atau beludru. Isolat J2, J3, dan J5 memiliki warna koloni hitam atau kecoklatan dengan miselia putih. Ketiga isolat jamur tersebut tumbuh membentuk koloni seperti tepung dan cembung. Sedangkan isolat J4 memiliki warna koloni hijau tua dengan pinggiran berwarna putih dengan tekstur miselium seperti kapas.

Berdasarkan penelitian (Dion *et al.*, 2021), rimpang kunyit memiliki jamur endofit dengan Genus *Trichoderma*, *Aspergillus* dan *Fusarium*. Jamur endofit tersebut dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba pada beberapa bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*.

Kandungan Metabolit Sekunder Jamur Endofit

Kelima isolat jamur endofit asal rimpang kunyit yang telah dimurnikan, kemudian dilakukan pengujian identifikasi senyawa fitokimia untuk mengetahui kandungan metabolit sekunder pada isolat jamur endofit (Tabel 2). Hasil pengujian menunjukkan bahwa metabolit yang dihasilkan pada jamur endofit rimpang kunyit berbeda-beda antara isolat satu dengan yang lainnya. Kelima isolat jamur endofit positif mengandung alkaloid, tanin, dan fenolik, namun hanya isolat J2, J3, dan J4 saja yang juga memproduksi saponin. Kelima isolat jamur endofit dilaporkan tidak menghasilkan senyawa flavonoid.

Tabel 2. Kandungan Fitokimia Isolat Jamur Endofit Rimpang Kunyit

Isolat	Alkaloid	Flavonoid	Saponin	Tanin	Fenolik
J1	+	-	-	+	+
J2	+	-	+	+	+
J3	+	-	+	+	+
J4	+	-	+	+	+
J5	+	-	-	+	+

Keterangan:

(+) = Positif mengandung senyawa metabolit sekunder

(-) = Negatif mengandung senyawa metabolit sekunder

Kolonisasi jamur endofit pada jaringan tanaman dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tercekam, dan meningkatkan kemampuan bertahan hidup tanaman inang (Singh & Kumar, 2023). Biomolekul seperti polisakarida, polipeptida, asam lemak, dan glikoprotein diketahui dapat diproduksi oleh jamur endofit. Beberapa jamur endofit juga diketahui dapat memproduksi komponen fitokimia seperti alkaloid, terpenoid, saponin, fenolik, peptida, dan komponen alifatik (Chandran *et al.*, 2020) (Digra & Nonzom, 2023). Senyawa alkaloid, fenolik, dan terpenoid diketahui memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan (Singh & Kumar, 2023). Berdasarkan penelitian (Septiana *et al.*, 2020), jamur endofit asal bunga kunyit memiliki aktivitas antioksidan dengan nilai IC₅₀ sebesar 247,90 µg/ml.

Alkaloid dan fenolik dilaporkan memiliki aktivitas dalam penghambatan pembentukan biofilm dalam mekanisme quorum sensing (Digra & Nonzom, 2023). Quorum sensing merupakan mekanisme yang digunakan oleh suatu koloni bakteri untuk pembentukan biofilm. Alkaloid dan fenolik dapat berperan sebagai quorum quenching - sinyal yang menghentikan

kemampuan mikroba patogen untuk berkoloni dengan mekanisme quorum sensing – sehingga menghentikan terbentuknya lapisan biofilm dan infeksi. Alkaloid dapat membentuk ikatan hidrogen dengan enzim, reseptor, dan protein karena alkaloid memiliki akseptor atom nitrogen dan gugus donor atom hidrogen amino. Berdasarkan informasi farmakologi, alkaloid dapat digunakan sebagai stimulan sistem syaraf pusat, agen anticholinergic, dan vasokonstriktor (Othman *et al.*, 2019).

Tanin menjadi salah satu senyawa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas antioksidan, karena memiliki gugus OH yang dapat digunakan sebagai donor hidrogen pada gugus radikal bebas. Senyawa saponin memiliki kemampuan membentuk senyawa intermediet hiperoksida yang meredam superoksida, hal ini dapat menyebabkan pencegahan kerusakan biomolekul akibat radikal bebas. Komponen fenolik juga dapat mendonorkan atom hidrogennya, sehingga radikal bebas menjadi tereduksi dan lebih stabil. Semakin banyak gugus hidroksil yang dimiliki senyawa fenolik, maka semakin besar aktivitas antioksidan yang diperoleh (Hasan *et al.*, 2022).

Kemampuan fungi endofit dalam memproduksi metabolit sekunder yang sama dengan inangnya menunjukkan adanya transfer silang antara tanaman inang dengan fungi endofit pada level gen. Keberadaan kandungan metabolit sekunder pada isolat jamur endofit asal rimpang kunyit memungkinkan pemanfaatannya sebagai sumber bahan alam yang berkelanjutan. Jamur endofit dapat diperbanyak dalam waktu yang singkat dan tidak membutuhkan biomassa tanaman dalam jumlah banyak, sehingga keragaman hayati tanaman obat dapat tetap dipelihara dengan baik.

Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat 5 isolat jamur endofit asal rimpang kunyit, yaitu isolat J1, J2, J3, J4, dan J5.
2. Kelima isolat jamur endofit asal rimpang kunyit positif mengandung alkaloid, tanin, dan fenolik. Isolat J2, J3, dan J4 juga positif mengandung saponin berdasarkan pengujian kualitatif.

Daftar Pustaka

- Anisha, C., & Radhakrishnan, E. K. (2017). Metabolite analysis of endophytic fungi from cultivars of *Zingiber officinale* Rosc. identifies myriad of bioactive compounds including tyrosol. *3 Biotech*, 7(2), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0768-8>
- Chandran, H., Meena, M., Barupal, T., & Sharma, K. (2020). Plant tissue culture as a perpetual source for production of industrially important bioactive compounds.

- Biotechnology Reports*, 26, e00450. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00450>
- D, K., & Purwaningrum, Y. (2018). *Pemanfaatan kandungan metabolit sekunder pada tanaman kunyit dalam mendukung peningkatan pendapatan masyarakat Utilization of secondary metabolite in the turmeric plant to increase community income*. 17(1), 544–549.
- Digra, S., & Nonzom, S. (2023). An insight into endophytic antimicrobial compounds: an updated analysis. In *Plant Biotechnology Reports* (Vol. 17, Issue 4). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/s11816-023-00824-x>
- Dion, R., Maharani, N. A., Akbar, M. F., Wijayanti, P., & Nurlindasari, Y. (2021). Review: Eksplorasi Pemanfaatan Jamur Endofit pada Tanaman Curcuma dan Zingiber sebagai Penghasil Senyawa Antibakteri. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 5(1), 16–29. <https://doi.org/10.46638/jmi.v5i1.167>
- Haerani, A., Chaerunisa, A. Y., & Subranas, A. (2018). Artikel Tinjauan: Antioksidan untuk kulit. *Farmaka*, 16, 135–151.
- Hasan, H., Ain Thomas, N., Hiola, F., Nuzul Ramadhani, F., & Ibrahim, A. S. (2022). Skrining Fitokimia dan Uji Aktivitas Antioksidan Kulit Batang Matoa (*Pometia pinnata*) Dengan Metode 1,1-Diphenyl-2 picrylhidrazyl (DPPH). *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 2(1), 67–73. <https://doi.org/10.37311/ijpe.v2i1.10995>
- Hasiani, V. V., Ahmad, I., & Rijai, L. (2015). ISOLASI JAMUR ENDOFIT DAN PRODUKSI METABOLIT SEKUNDER ANTIOKSIDAN DARI DAUN PACAR (*Lawsonia inermis* L.). *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 1(4), 146–153.
- Kuncoro, H., & Sugijanto, N. E. (2011). Jamur Endofit, Biodiversitas, Potensi dan Prospek Penggunaannya Sebagai Sumber Bahan Obat Baru. *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*, 1(3), 247–262. <https://doi.org/10.25026/jtpc.v1i3.35>
- Murdiyah, S. (2019). Fungi endofit pada berbagai tanaman berkhasiat obat di kawasan hutan vergreen Taman Nasional Baluran dan potensi pengembangan sebagai petunjuk parktikum mata kuliah mikologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 3(1), 1–10. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/jpbi>
- Ningsih, A. W., Nurrosyidah, I. H., & Hisbiyah, A. (2020). Pengaruh Perbedaan Metode Ekstraksi Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*) Terhadap Rendemen dan Skrining Fitokimia. *Journal of Pharmaceutical-Care Anwar Medika*, 2(2), 49–57. <https://doi.org/10.36932/jpcam.v2i2.27>
- Othman, L., Sleiman, A., & Abdel-Massih, R. M. (2019). Antimicrobial activity of polyphenols and alkaloids in middle eastern plants. *Frontiers in Microbiology*, 10(MAY). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00911>
- Rondonuwu, S. D. J., Suryanto, E., & Sudewi, S. (2017). Kandungan Total Fenolik dan Aktivitas Antioksidan dari Fraksi Pelarut Sagu Baruk (*Arenga microcharpa*). *Chemistry Progress*, 10(1), 2–5.
- Septiana, E., Yadi, Y., & Simanjuntak, P. (2020). Antioxidant Activity of Endophytic Fungi Isolated from Turmeric Flowers. *Biosaintifika*, 12(2), 268–273. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v12i2.24396>
- Shehzad, A., & Lee, Y. S. (2010). Curcumin: Multiple molecular targets mediate multiple pharmacological actions: A review. *Drugs of the Future*, 35(2), 113. <https://doi.org/10.1358/dof.2010.35.2.1426640>
- Singh, V. K., & Kumar, A. (2023). Secondary metabolites from endophytic fungi: Production, methods of analysis, and diverse pharmaceutical potential. *Symbiosis*, 90(2), 111–125. <https://doi.org/10.1007/s13199-023-00925-9>
- Sontsa-Donhoung, A. M., Bahdjolbe, M., Hawaou, & Nwaga, D. (2022). Selecting Endophytes for Rhizome Production, Curcumin Content, Biocontrol Potential, and Antioxidant Activities of Turmeric (*Curcuma longa*). *BioMed Research International*, 2022.

<https://doi.org/10.1155/2022/8321734>
Suprihatin, T., Rahayu, S., Rifa'i, M., & Widyarti, S. (2020). Senyawa pada Serbuk Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* L.) yang Berpotensi sebagai Antioksidan. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 5(1), 35–42. <https://doi.org/10.14710/baf.5.1.2020.35-42>



Analisis Minat Belajar Siswa Kelas X-1 di SMAN 1 Kramatwatu pada Pembelajaran Biologi Materi Virus

Usman Usman^{1,*}, Adzraalifah Alfianisya², Annisa Hidayah³, Siti Munawaroh⁴, Aida Destiana Fitri⁵, Nurkholis⁶, Futihatun Nur Amalia⁷, Indah Fitri Rahmawati⁸, Brebeuf Pander Calvin Sinurat⁹, Putri Sabina Anastasya¹⁰

¹Jurusan Pendidikan Biologi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jalan Ciwaru Raya, Serang, Banten, Indonesia

*2224200045@untirta.ac.id

Abstract

This research aims to analyze the learning interests of class X-1 students related to learning virus material in biology subjects. The method used in this research is a qualitative descriptive approach with data collection techniques in the form of questionnaires and observations. The data obtained was analyzed using scoring to reveal a clearer picture of students' interest in learning. The results of the research showed that students in class X-1 at SMAN 1 Kramatwatu showed high interest in studying virus material in the biology subject. This is shown by the enthusiastic and responsive attitude of students during learning activities. Students also seem focused and pay attention to the lesson so that the material can be easily understood. Students' interest in learning is influenced by several factors. Factors that influence students' interest in learning can be divided into two categories: internal factors, such as learning style and interest in learning, and external factors, including learning models, learning methods, and material studies. These factors are mutually involved in forming students' interest in learning about viruses in biology.

Keywords: biology; interest to learn; virus

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis minat belajar siswa kelas X-1 terkait dengan pembelajaran materi virus dalam mata pelajaran Biologi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data berupa angket dan observasi. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan skoring untuk mengungkapkan gambaran yang lebih jelas tentang minat belajar siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa di kelas X-1 SMAN 1 Kramatwatu menunjukkan minat yang tinggi dalam mempelajari materi virus dalam mata pelajaran Biologi. Hal tersebut ditunjukkan dengan sikap siswa yang antusias dan responsif selama kegiatan pembelajaran berlangsung. Siswa juga tampak fokus dan menyimak pembelajaran dengan baik sehingga materi dapat mudah dipahami. Minat belajar siswa dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi minat belajar siswa dapat dibagi menjadi dua, yaitu faktor internal seperti gaya belajar dan minat belajar serta faktor eksternal meliputi model pembelajaran, metode pembelajaran, dan materi yang dipelajari. Faktor-faktor tersebut saling terlibat untuk membentuk minat belajar siswa terhadap materi virus dalam pembelajaran Biologi.

Kata-kata kunci: biologi; minat belajar; virus

Pendahuluan

Minat dalam proses pembelajaran memiliki peranan yang sangat penting dalam pengembangan potensi setiap individu, terutama dalam proses pembelajaran (Muliani & Arusman, 2022). Minat belajar mencerminkan ketertarikan dan rasa suka terhadap suatu subjek atau aktivitas pembelajaran tanpa adanya tekanan atau keterpaksaan (Septiani et al., 2020). Hal ini merupakan dasar bagi proses pembelajaran yang efektif dan produktif karena siswa yang memiliki minat tinggi cenderung lebih bersemangat dan berfokus dalam mengejar pengetahuan dan pemahaman.

Minat belajar merupakan elemen kunci yang mempengaruhi tingkat keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Ketika seseorang memiliki minat yang tinggi terhadap suatu materi atau subjek, maka akan cenderung memiliki motivasi internal yang kuat untuk belajar, yang mendorong mereka untuk aktif mencari pengetahuan dan berpartisipasi secara penuh dalam proses pembelajaran. Hal ini berdampak langsung pada hasil belajar yang dicapai oleh siswa (Adnyana & Yudaparmita, 2023).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Muliani pada tahun 2022 menunjukkan bahwa individu yang memiliki minat belajar yang tinggi cenderung mencapai hasil belajar yang lebih baik. Minat belajar yang tinggi tercermin dalam partisipasi aktif mereka dalam proses pembelajaran, yang pada gilirannya menghasilkan prestasi yang optimal. Dengan kata lain, minat belajar yang tinggi mendorong siswa untuk secara aktif terlibat dalam upaya pembelajaran mereka, sehingga meningkatkan efektivitas proses belajar.

Siswa yang memiliki minat belajar yang tinggi biasanya menunjukkan perilaku yang berbeda dalam kelas. Mereka cenderung lebih fokus, bersemangat, dan berpartisipasi aktif dalam pelajaran yang diajarkan. Mereka juga lebih cenderung mengerjakan tugas dengan sungguh-sungguh dan melengkapi catatan pelajaran yang diberikan oleh guru. Di sisi lain, siswa yang memiliki minat belajar yang rendah mungkin cenderung kurang fokus, tidak termotivasi, dan bahkan mungkin tidak melaksanakan tugas-tugas mereka dengan baik (Setiawan et al., 2022).

Pada konteks pembelajaran Biologi materi virus, sangat penting untuk memahami sejauh mana minat siswa dapat mempengaruhi hasil belajar mereka. Materi virus merupakan salah satu topik yang diajarkan dalam mata pelajaran Biologi di tingkat SMA, khususnya untuk kelas X di semester ganjil. Tujuan dari materi ini adalah untuk memberikan pengetahuan kepada siswa mengenai ciri-ciri virus, struktur tubuh virus, cara replikasi virus, serta peran virus dalam kehidupan sehari-hari dan lingkungan siswa. Pemahaman yang baik mengenai virus dapat menjadi landasan penting untuk memahami berbagai aspek dalam Biologi. Oleh

karena itu, penting untuk memahami sejauh mana minat belajar siswa dapat mempengaruhi pemahaman mereka tentang materi ini dan hasil pembelajaran mereka secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis minat belajar siswa kelas X-1 pada mata pelajaran Biologi, khususnya dalam materi Virus, berdasarkan hasil poster. Poster adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengukur minat belajar siswa. Poster yang dihasilkan oleh siswa dapat mencerminkan bentuk ungkapan pemahaman mereka tentang materi virus. Wawasan yang lebih mendalam terkait sejauh mana minat belajar siswa mempengaruhi pemahaman mereka tentang materi tersebut akan diketahui dari hasil poster yang dibuat. Minat belajar siswa akan tercermin dalam poster yang dihasilkan.

Penelitian ini memiliki relevansi dalam pengembangan pendidikan dan strategi pembelajaran. Adanya pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi minat belajar siswa, guru, dan lembaga pendidikan dapat merancang pendekatan pembelajaran yang lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan siswa. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat memberikan panduan berharga bagi pendidikan yang lebih baik, lebih efisien, serta membantu meningkatkan pemahaman siswa.

Metode

Penelitian ini bertujuan untuk menggali pemahaman mendalam tentang minat belajar siswa dalam konteks pembelajaran biologi, khususnya dalam memahami materi yang berkaitan dengan virus. Minat belajar adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dan pencapaian hasil belajar siswa (Syardiansah, 2016). Bertujuan untuk memahami minat belajar, penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif untuk menganalisis minat belajar siswa dalam pembelajaran Biologi dengan berfokus pada materi virus.

Pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan *purposive sampling*, yaitu sampel dipilih dengan pertimbangan tertentu. Subjek penelitian ini terdiri dari siswa kelas X-1 di SMAN 1 Kramatwatu yang berjumlah 38 siswa. Kelas ini dipilih karena dianggap sebagai kelompok yang memiliki variasi minat belajar yang cukup beragam. Tujuan dipilihnya X-1 sebagai subjek penelitian adalah untuk memahami bagaimana minat belajar siswa berperan dalam kelas pada saat mereka sedang mempelajari pelajaran Biologi yang berkaitan dengan virus.

Metode pengolahan data pada penelitian kualitatif terdiri dari beberapa tahap, yaitu pengumpulan data, reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Pada proses pengumpulan data, berbagai pendekatan digunakan, seperti observasi, wawancara, angket, dan analisis hasil asesmen sumatif. Observasi dilakukan untuk mengamati perilaku siswa selama

pembelajaran, sementara wawancara memberikan wadah bagi siswa untuk berbicara secara langsung tentang minat belajar mereka. Angket digunakan sebagai alat untuk mengumpulkan pandangan siswa tentang minat belajar mereka serta analisis hasil asesmen sumatif digunakan untuk melihat bagaimana minat belajar siswa berdampak pada pencapaian mereka dalam materi virus.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan persentase, scoring, dan dinyatakan dalam sebuah predikat pada variabel yang diteliti sesuai dengan kondisi sebenarnya (Hikmawati, 2017). Setiap jawaban yang dipilih oleh siswa akan diberikan skor sebagai berikut.

Tabel 1. Skor pada Setiap Jawaban

Jawaban	Skor
Ya	3
Netral	2
Tidak	1

Total skor yang diperoleh dari setiap siswa akan diinterpretasikan minat belajarnya dalam bentuk tiga predikat, yaitu Minat Belajar Tinggi, Minat Belajar Sedang, dan Minat Belajar Rendah. Berikut rentang skor pada setiap predikat.

Tabel 2. Rentang Skor pada Setiap Predikat

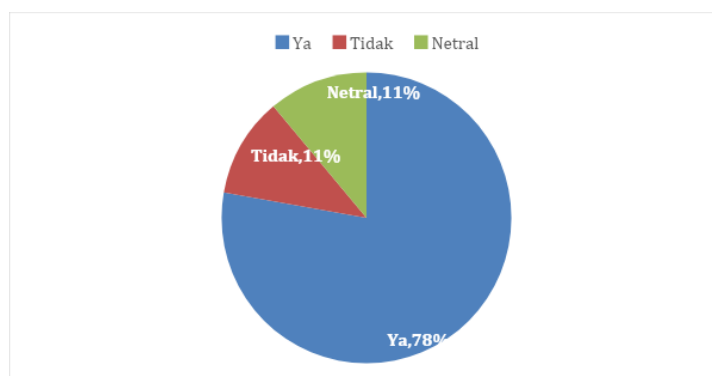
Predikat	Rentang Skor
Minat Belajar Tinggi	76–114
Minat Belajar Sedang	38–75
Minat Belajar Rendah	0–37

Data yang dikumpulkan kemudian direduksi dan disajikan secara deskriptif dengan menjelaskan dan menggambarkan fenomena atau keadaan pada suatu waktu secara menyeluruh (Rahmawati, Kurniawan, & Budiharto, 2022). Analisis kualitatif deskriptif digunakan untuk memahami minat belajar siswa dalam pembelajaran Biologi dengan berfokus pada materi virus. Analisis dilakukan dengan melibatkan interpretasi dan pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi minat belajar siswa dalam materi virus. Hasil penelitian dihubungkan dengan teori-teori yang relevan dan kajian literatur yang telah ada untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang minat belajar siswa pada pembelajaran Biologi.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa 74% siswa kelas X-1 memiliki minat pada pembelajaran Biologi. Artinya, 28 dari 36 siswa kelas X-1 memberikan jawaban

ya atas pertanyaan dalam angket. Selain itu, sebanyak 4 siswa menjawab *tidak* dan 4 lainnya menjawab *netral*. Total skor yang diperoleh berdasarkan jawaban angket, yaitu sebesar 96. Artinya, total skor tersebut termasuk ke dalam kategori Minat Belajar Tinggi. Minat belajar sendiri merupakan suatu rasa suka atau tertarik pada aktivitas belajar tanpa ada yang menyuruh untuk belajar (Ricardo & Meilani, 2017). Berikut adalah diagram hasil angket siswa kelas X-1 SMAN 1 Kramatwatu.



Gambar 1. Hasil Angket Penilaian Minat Siswa Kelas X-1 SMAN 1 Kramatwatu pada Pembelajaran Biologi Materi Virus

Secara umum, minat belajar muncul dari dalam diri siswa itu sendiri (Karisma et al., 2022). Oleh karena itu, penerimaan materi pembelajaran bagi setiap siswa cenderung berbeda-beda (Masturi et al., 2016). Slameto (2010) menjelaskan empat hal yang mengindikasikan minat siswa pada suatu pembelajaran, yaitu indikator perasaan senang, ketertarikan, penerimaan, dan keterlibatan siswa dalam proses belajar. Apabila seorang siswa memiliki perasaan senang terhadap pelajaran tertentu maka tidak akan ada rasa terpaksa untuk belajar (Karisma et al., 2022). Selain itu, Ketertarikan seseorang akan suatu hal menjadikan orang tersebut senang untuk melakukan kegiatan dari objek tersebut. Hal ini sesuai dengan hasil observasi yang dilakukan di kelas X-1. Dapat dikatakan demikian karena data hasil observasi menunjukkan bahwa kelas X-1 termasuk kelas yang antusias dan responsif dalam menerima pembelajaran Biologi.

Minat belajar siswa kelas X-1 juga dibuktikan dengan kemampuan siswa untuk tetap fokus dan menyimak materi pembelajaran yang disajikan dengan baik. Hal ini sesuai dengan penjelasan Slameto (2010) yang menyebutkan bahwa minat dan perhatian merupakan dua hal yang dianggap sama. Hal ini dapat terjadi karena perhatian siswa merupakan konsentrasi siswa terhadap pengamatan dan pengertian. Oleh karena itu, siswa yang minat belajar akan memperhatikan objek pembelajaran dengan baik (Karisma et al., 2022).

Pembelajaran akan dapat berjalan dengan baik dan siswa mudah menerima materi apabila siswa mempunyai ketertarikan atau minat terhadap pelajaran tersebut. Minat adalah menyukai

suatu hal untuk mendukung kelancaran kegiatan pembelajaran (Fadilah, 2020). Minat belajar siswa dapat timbul karena dipengaruhi oleh beberapa faktor. Adapun faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

1. Faktor Internal

Faktor internal adalah faktor pada suatu individu yang berasal dari dalam diri sendiri yang dapat mempengaruhi aktivitas dan hasil belajar suatu individu (Sitinjak & Kadu, 2016). Dalam hal ini, faktor-faktor dalam diri siswa mempengaruhi minat belajar siswa. Adapun faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a. Gaya Belajar Siswa

Gaya belajar adalah cara seseorang untuk mendapatkan, menyerap, memproses, dan menyimpan informasi baru (Mufidah, 2017). Gaya belajar setiap orang berbeda-beda. Terdapat 3 tipe gaya belajar yaitu gaya belajar auditor yang cenderung memanfaatkan indera pendengaran, gaya belajar visual yang cenderung belajar dengan cara melihat dan mengamati, serta gaya belajar kinestetik yang mengandalkan aktivitas fisik untuk terlibat langsung selama kegiatan pembelajaran (Lestari & Widda Djuhan, 2021).

Berdasarkan hasil analisis, gaya belajar siswa yang paling banyak adalah gaya auditori sebesar 41%. Gaya visual sebanyak 24%, dan 35% gaya auditori visual. Sebagian besar siswa mempunyai gaya belajar auditori dimana para siswa menyukai pembelajaran dengan kegiatan yang melibatkan indera pendengaran. Adapun kegiatan tersebut antara lain mendengarkan penjelasan guru, menonton video pembelajaran, dan melakukan diskusi dengan teman sekelompok. Pada pembelajaran di kelas, gaya belajar auditori didukung dengan diskusi kelompok dalam mengerjakan lembar kerja siswa dan presentasi hasil diskusi. Gaya belajar visual yang cenderung menyukai pembelajaran dengan cara membaca dan menulis, dalam proses pembelajaran didukung dengan kegiatan mengisi lembar kerja dan membaca literatur dari internet.

Gaya belajar menjadi salah satu faktor internal yang mempengaruhi minat belajar siswa. Pembelajaran yang memfasilitasi berbagai gaya belajar siswa tentu akan menciptakan suasana pembelajaran yang menyenangkan sehingga siswa antusias dan semangat selama dalam melakukan pembelajaran.

b. Minat Belajar Siswa

Minat belajar adalah rasa ketertarikan atau menyukai suatu hal dan kegiatan belajar atas dasar kesadaran dan kemauan sendiri (Ricardo & Meilani, 2017). Minat

dapat menentukan keberhasilan belajar siswa karena siswa sudah memiliki keinginan untuk belajar sendiri sehingga siswa akan lebih mudah menerima materi dari guru. Menurut (Karisma et al., 2022), terdapat beberapa indikator minat belajar yaitu perasaan senang, keterlibatan siswa, ketertarikan, dan perhatian siswa. Perasaan senang terhadap suatu pelajaran akan memunculkan sikap ketidak terpaksaan pada saat belajar atau mengerjakan tugas.

Keterlibatan dan ketertarikan siswa menjadi tanda jika siswa memiliki minat belajar dengan ciri siswa aktif terlibat dan antusias dalam pembelajaran. Selain itu, perhatian siswa juga dapat menandakan minat siswa terhadap suatu pelajaran karena siswa yang fokus memperhatikan pembelajaran guru akan dapat memahami materi dengan baik.

Berdasarkan hasil analisis, sebanyak 78% siswa minat dalam pembelajaran Biologi, 11% siswa netral dan 11% lainnya tidak menyukai pembelajaran Biologi. Hal tersebut dapat dilihat berdasarkan dengan indikatornya. Siswa aktif dan antusias dalam pembelajaran serta memperhatikan penjelasan dengan baik dan fokus. Selain itu, siswa juga aktif bertanya dan mengemukakan pendapatnya.

2. Faktor Eksternal

Faktor eksternal adalah faktor luar dari diri suatu individu (Sitinjak & Kadu, 2016). Faktor eksternal dapat berupa suasana belajar, sarana dan prasarana, serta lingkungan luar seperti lingkungan sekolah, keluarga, dan masyarakat. Faktor eksternal yang mempengaruhi minat belajar siswa antara lain sebagai berikut:

a. Metode Pembelajaran yang Digunakan

Metode pembelajaran adalah cara pendidik menyajikan materi pelajaran pada saat kegiatan belajar mengajar untuk mencapai tujuan (Sutikno, 2019). Pemilihan metode pembelajaran sangat penting bagi pendidik agar materi pelajaran dapat tersampaikan dengan baik dan mencapai tujuan pembelajaran dengan optimal. Situasi siswa di kelas dapat ditentukan dengan pemilihan metode pembelajaran yang tepat.

Pemilihan metode pembelajaran tidak dapat dilakukan secara sembarangan karena harus memperhatikan beberapa faktor antara lain faktor guru, faktor siswa, faktor situasi, media, tujuan pembelajaran yang akan dicapai, materi pelajaran, dan lain-lain (Sutikno, 2019). Berdasarkan hasil analisis, metode pembelajaran yang digunakan di kelas X sudah tepat dan menyesuaikan dengan kondisi belajar. Pendidik menggunakan metode ceramah sebagai pengantar dan sedikit penjelasan

mengenai materi sebelum beralih ke kegiatan diskusi. Pada saat diskusi, pendidik menggunakan metode diskusi kelompok dengan mengajak siswa bertukar pikiran dan pendapat terhadap permasalahan yang diberikan. Metode tanya jawab juga digunakan saat kegiatan diskusi, evaluasi, dan review materi.

Selain itu, pendidik juga menggunakan metode permainan dengan melakukan ice breaking. Ice breaking dilakukan ketika suasana kelas sudah tidak kondusif ditandai dengan siswa yang berdiskusi dengan berisik, siswa mengantuk, tidak fokus, atau tidak semangat. Melalui ice breaking, semangat dan fokus siswa dibangun kembali sehingga dapat mengembalikan minat dan semangat belajar siswa.

b. Model Pembelajaran yang Digunakan

Model pembelajaran adalah gambaran pembelajaran dari awal hingga akhir kegiatan yang dilakukan oleh pendidik (Helmiati, 2012). Model pembelajaran menggambarkan langkah-langkah pada kegiatan pembelajaran secara jelas. Pemilihan model pembelajaran disesuaikan dengan kebutuhan siswa dan materi yang akan dipelajari.

Berdasarkan hasil analisis, pada pembelajaran di kelas X menggunakan tiga model yang berbeda di setiap pertemuannya, adapun tiga model tersebut adalah model *Collaborative Learning*, model *Project Based Learning*, dan model *Problem Based Learning*. Pada model *Collaborative Learning* siswa melakukan kolaborasi dengan temannya melalui diskusi kelompok untuk mengisi lembar kerja. Siswa membuat proyek berupa poster yang dikerjakan secara berkelompok pada model pembelajaran *Project Based Learning*. Adapun pada model *Problem Based Learning*, siswa diajak untuk memecahkan masalah dalam bentuk pertanyaan yang dikerjakan secara berkelompok.

Ketiga model pembelajaran tersebut memfasilitasi berbagai gaya belajar siswa. pada saat diskusi siswa yang gaya belajarnya auditori akan senang berbicara dan bertukar pendapat. Siswa dengan gaya belajar visual akan senang membaca informasi dan menuliskannya, sedangkan siswa yang gaya belajarnya kinestetik akan senang ketika menggambar saat membuat poster.

Selain itu, ketiga model tersebut juga dapat meningkatkan kompetensi 4C yaitu kreativitas, kolaboratif, komunikatif, dan berpikir kritis siswa melalui pemecahan masalah yang mendukung keterampilan abad 21 pada siswa yang sangat dibutuhkan. Melalui model belajar yang tepat yang dapat memfasilitasi

berbagai gaya belajar akan meningkatkan minat belajar siswa sehingga proses pembelajaran berjalan dengan baik dan dapat mencapai tujuan pembelajaran secara optimal.

c. Materi yang Dipelajari

Materi pelajar dapat mempengaruhi minat belajar siswa karena materi pelajar yang sulit dan kompleks akan membuat siswa sulit untuk memahami dan siswa menjadi tidak tertarik dengan materi pelajaran tersebut. Pada pembelajaran di kelas X, materi yang diajarkan salah satunya mengenai virus.

Virus menjadi materi yang cukup menarik untuk dibahas dan dipelajari karena materi virus masih berhubungan dengan isu pandemi yang telah kita lalui yaitu Covid-19 sehingga siswa sudah mempunyai pengetahuan awal mengenai virus. Selain itu, virus juga makhluk yang mikroskopik yang tidak dapat diamati langsung dengan mata telanjang sehingga perlu dipelajari lebih lanjut seperti apa bentuk dan rupa dari suatu virus.

Menurut siswa kelas X, materi virus menarik untuk dipelajari karena materi ini belum pernah mereka pelajari pada jenjang pendidikan sebelumnya. Hal baru tentu akan membuat siswa tertarik untuk mempelajari dan mencari tahu lebih dalam. Materi ini juga bukan materi yang sulit dipelajari karena kompetensi yang harus dikuasai siswa masih berupa kompetensi dasar agar siswa mempunyai pengetahuan umum dan dasar mengenai virus. Oleh karena hal-hal tersebut, materi virus menjadi materi yang menarik dan dapat memacu minat belajar siswa.

Penutup

Minat belajar memainkan peran penting dalam keaktifan dan prestasi belajar siswa. Siswa yang memiliki minat tinggi cenderung lebih fokus dalam proses pembelajaran dan pencapaian belajar yang baik, sedangkan minat yang rendah dapat menghambat pencapaian belajar. Sebagian besar siswa di kelas X-1 menunjukkan minat belajar positif dalam pelajaran Biologi dalam materi virus. Faktor internal seperti gaya belajar, serta faktor eksternal seperti metode pembelajaran dan model pembelajaran, juga berperan dalam mempengaruhi minat belajar siswa. Pada konteks materi virus yang relevan dengan pandemi Covid-19.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Pelaksana Program Pengalaman Lapangan Kependidikan (UP-PPLK) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan

penelitian. Penulis juga berterima kasih kepada SMAN 1 Kramatwatu yang telah mengizinkan penulis untuk melaksanakan penelitian.

Daftar Pustaka

- Adnyana, K.S., & Yudaparmita, G.N.A. (2023). Peningkatan Minat Belajar IPAS Berbantuan Media Gambar pada Siswa Sekolah Dasar. *Edukasi: Jurnal Pendidikan Dasar*, 4(1), 61–70. <https://doi.org/10.55115/edukasi.v4i1.3023>.
- Fadilah, A.M. (2020). Persepsi Generasi Milenial terhadap Sistem Pengelolaan Sampah di Lingkungan Sekitar Tempat Tinggal. *Indonesian Journal of Natural Science Education (IJNSE)*, 3(1), 305–313.
- Helmiati. (2012). *Model Pembelajaran*. Yogyakarta: Aswaja Pressindo.
- Hikmawati, F. (2020). *Metodologi Penelitian*. Depok: Rajawali Pers.
- Karisma, E.T., Setiawan, D., & Oktavianti, I. (2022). Analisis Minat Belajar Siswa Pada Pembelajaran Kelas IV SDN Jleper 01. *Jurnal Prasasti Ilmu*, 2(3), 121–126. <https://doi.org/10.24176/jpi.v2i3.8366>.
- Lestari, S., & Djuhan, M.W. (2021). Analisis Gaya Belajar Visual, Auditori dan Kinestetik dalam Pengembangan Prestasi Belajar Siswa. *JIIPSI: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Sosial Indonesia*, 1(2), 79–90. <https://doi.org/10.21154/jiipsi.v1i2.250>.
- Masturi, Fakhriyah, F., Sumaji, & Roysa, M. (2016). Pengaruh Penerapan Pendekatan Scientific ditinjau dari Minat Belajar Terhadap Hasil Belajar Siswa di SD Muhammadiyah I Kudus. *Refleksi Edukatika*, 5(2), 1–8. <https://doi.org/10.24176/re.v5i2.588>.
- Mufidah, L.L.N. (2017). Memahami Gaya Belajar untuk Meningkatkan Potensi Anak. *Martabat: Jurnal Perempuan Dan Anak*, 1(2), 245–260.
- Muliani, R.D., & Arusman. (2022). Faktor-faktor yang Mempengaruhi Minat Belajar Peserta Didik. *Jurnal Riset Dan Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 133–139. <https://doi.org/10.22373/jrpm.v2i2.1684>.
- Rahmawati, A., Kurniawan, S.B., & Budihartono, T. (2022). Analisis Minat Belajar Siswa Kelas IV Sekolah Dasar terhadap Mata Pelajaran Bahasa Indonesia. *Didaktika Djiwa Indria*, 10(5). <https://doi.org/10.20961/ddi.v10i5.66969>.
- Ricardo, & Meilani, R.I. (2017). Impak Minat dan Motivasi Belajar terhadap Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Pendidikan Manajemen Perkantoran*, 2(2), 188–201. <http://ejournal.upi.edu/index.php/jpmanper/article/view/00000>.
- Septiani, I., Lesmono, A.D., & Harimukti, A. (2020). Analisis Minat Belajar Siswa Menggunakan Model *Problem Based Learning* dengan Pendekatan STEM pada Materi Vektor di Kelas X MIPA 3 SMAN 2 Jember. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 9(2), 64–70. <https://doi.org/10.19184/jpf.v9i1.17969>.
- Setiawan, A., Nugroho, W., & Widyaningtyas, D. (2022). Pengaruh Minat Belajar terhadap

- Hasil Belajar Siswa Kelas VI SDN 1 Gamping. *TANGGAP : Jurnal Riset Dan Inovasi Pendidikan Dasar*, 2(2), 92–109. <https://doi.org/10.55933/tjripd.v2i2.373>.
- Sitinjak, L. & Kadu, A.U. (2016). Faktor Internal dan Eksternal yang Mempengaruhi Kesulitan Belajar Mahasiswa Semester IV Akper Husada Karya Jaya Tahun Akademik 2015/2016. *Akademi Keperawatan Husada Karya Jaya*, 2(2), 23–27.
- Slameto. (2010). *Belajar & Faktor-Faktor yang Mempengaruhi*. Rineka Cipta.
- Sutikno, M. (2019). *Metode & Model-Model Pembelajaran*. Holistica.
- Syardiansah. (2016). Hubungan Motivasi Belajar dan Minat Belajar terhadap Prestasi Belajar Mahasiswa Mata Kuliah Pengantar Manajemen (Studi Kasus Mahasiswa Tingkat I EKM A Semester II). *Manajemen dan Keuangan*, 5(1), 440–448.



Remediasi Kromium Heksavalen Melalui Bioaugmentasi Konsorsium Bakteri Indigenous Wilayah Tercemar Limbah Cair Sablon dengan Biostimulasi Bulu Ayam Broiler

Made Luhur Sahadeva^{1,*}, Ni Putu Ayu Oka Pratiwi², Ni Nyoman Ayu Paramitha¹, Putu Dinda Sasmita¹, I Made Oka Riawan¹

¹Program Studi Biologi, Universitas Pendidikan Ganesha, Jalan Udayana 11, Singaraja, Bali, Indonesia

²Program Studi Kimia, Universitas Pendidikan Ganesha, Jalan Udayana 11, Singaraja, Bali, Indonesia

*email: luhur@student.undiksha.ac.id

Abstract

Hexavalent chromium or Cr (VI) is a heavy metal that is dangerous to living things if it enters the body's metabolism because of its high permeability and oxidation ability which can disrupt biological systems. Cr (VI) is found in large quantities in textile dyes in the screen printing industry. The results of washing screen printing produce Cr (VI) waste which is dangerous to the environment. The waters that are the place where the waste from washing screen printing flows become polluted and toxic due to waste that is not treated first. One way to overcome this pollution is by bioremediation. In this research, bioremediation was carried out using a consortium of indigenous bacteria with biostimulation of broiler chicken feathers. The bacterial consortium was taken from sediments of waters contaminated with Cr (VI) waste, then isolated and tested for tolerance to chromium. The bacterial consortium that is resistant to chromium was then used for bioremediation by a combination of bioaugmentation and biostimulation using broiler chicken feathers as a nutrient supply for the bacteria. This research aims to obtain a bacterial consortium with the highest effectiveness of Cr (VI) remediation through a combination of bioaugmentation and biostimulation of broiler chicken feathers. Based on results of isolation and tolerance tests show that indigenous bacteria from polluted areas have the ability to survive and grow even in conditions contaminated with chromium. However, the addition of nutrients from broiler chicken feather meal as a carbon and nitrogen source did not succeed in increasing the metabolic activity of bacteria in degrading Cr(VI). The results of the ANOVA one way test also support the conclusion that there is no significant difference in effectiveness between treatments with varying concentrations of chicken feather flour. Bacterial consortia have not been able to improve Cr (VI) remediation due to nutritional incompatibility and difficulties in decomposing nutrients in chicken feathers, as well as the possibility of antagonistic interactions between microbial strains.

Keywords: bioremediation; bioaugmentation; biostimulation

Abstrak

Kromium heksavalen atau Cr (VI) merupakan logam berat berbahaya bagi makhluk hidup bila masuk ke dalam metabolisme tubuh karena permeabilitas dan kemampuan oksidasinya tinggi yang dapat mengganggu sistem biologis. Cr (VI) banyak terkandung di dalam pewarna tekstil industri sablon. Hasil pencucian screen sablon menghasilkan limbah Cr (VI) yang berbahaya bagi lingkungan. Perairan yang menjadi tempat aliran buangan hasil pencucian screen sablon menjadi tercemar dan toksik akibat limbah yang tidak diolah terlebih dahulu. Salah satu cara menanggulangi pencemaran tersebut yakni dengan bioremediasi. Pada riset ini, bioremediasi dilakukan dengan menggunakan konsorsium bakteri indigenous dengan biostimulasi bulu ayam broiler. Konsorsium bakteri diambil dari sedimen perairan tercemar limbah Cr (VI), lalu diisolasi dan diuji toleransinya terhadap kromium. Konsorsium bakteri yang resisten terhadap kromium kemudian dipakai untuk bioremediasi dengan cara kombinasi bioaugmentasi dan biostimulasi menggunakan bulu ayam broiler sebagai suplay nutrisi bagi bakteri. Riset ini bertujuan untuk mendapatkan konsorsium bakteri dengan efektivitas tertinggi dari remediasi Cr (VI) melalui kombinasi bioaugmentasi dan biostimulasi bulu ayam broiler. Hasil isolasi dan uji toleransi menunjukkan bahwa bakteri indigenous dari wilayah tercemar memiliki kemampuan bertahan hidup dan berkembang meskipun dalam kondisi tercemar kromium. Namun, penambahan nutrisi dari tepung bulu ayam broiler sebagai sumber karbon dan nitrogen tidak berhasil meningkatkan aktivitas metabolisme bakteri dalam mendegradasi Cr (VI). Hasil uji ANOVA One Way juga mendukung

kesimpulan bahwa tidak ada perbedaan efektivitas yang signifikan antara perlakuan dengan variasi konsentrasi tepung bulu ayam. Konsorsium bakteri belum mampu meningkatkan remediasi Cr (VI) karena disebabkan oleh ketidaksesuaian nutrisi serta kesulitan penguraian nutrisi dalam bulu ayam, serta kemungkinan adanya interaksi antagonis di antara strain mikroba.

Kata-kata kunci: bioremediasi; bioaugmentasi; biostimulasi

PENDAHULUAN

Kromium merupakan unsur logam yang terdapat pada pewarna tekstil hijau (CrCl_3), kuning (PbCrO_4), jingga (K_2CrO_7), dan hitam (CuCr_2O_4 atau $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$) dalam industri penyablonan, di mana pada proses pewarnaan dan pencucian screen sablon dapat menghasilkan limbah cair yang mengandung kromium heksavalen (Safaruddin, *et al.*, 2022). Kromium heksavalen atau Cr (VI) merupakan racun bagi makhluk hidup karena permeabilitas dan kemampuan oksidasinya tinggi yang dapat mengganggu sistem biologis tubuh, serta memasuki rantai makanan yang menyebabkan akumulasi pada predator puncak, yakni manusia sebagai tingkat trofik tertinggi (Suteja, *et al.*, 2020; Kholisa, *et al.*, 2021; Yan, *et al.*, 2023). Akumulasi Cr (VI) dapat menyebabkan gangguan pada kerja sistem enzim, paru-paru, ginjal, saluran pencernaan, saluran pernapasan, mata, menyebabkan mutasi DNA, bahkan dapat menyebabkan kematian pada manusia dan makhluk hidup lainnya apabila terpapar dan terakumulasi pada tubuh dalam waktu yang lama (Suteja, *et al.*, 2020; Ukhurebor, *et al.*, 2021; Wise, *et al.*, 2022; Ake, *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan di Teluk Benoa, Bali (luas 1.243 ha) dan muara sungai di sekitarnya menunjukkan adanya pencemaran kromium oleh industri tekstil dan sablon dengan jumlah konsentrasi kromium tertinggi berada pada daerah sedimen yang berkisar antara 1,0 mg/kg-1 hingga 24,6 mg/kg-1, di mana konsentrasi meningkat pada muara sungai (Sungai Mati dan Sungai Badung) yang merupakan sumber pencemaran di mana limbah dialirkan oleh industri yang berada di sekitar sungai tersebut (Suteja, *et al.*, 2020). Hingga saat ini, tidak dijumpai adanya upaya atau standar operasional prosedur pemerintah dalam mengatasi pencemaran Cr (VI) yang telah berada pada wilayah perairan, termasuk perairan tercemar Cr yang digunakan sebagai wilayah penangkapan dan budidaya perikanan bernilai ekonomi tinggi di Indonesia

Keberadaan logam berat pada ekosistem tercemar memacu respon bakteri untuk mengembangkan kemampuan toleransi dan detoksifikasi, di mana dapat terjalin interaksi dengan logam polutan sehingga mempengaruhi mobilitasnya pada lingkungan, demikian pula dengan kromium yang terjadi selama proses pertumbuhan dan metabolismenya (Sharma, *et al.*, 2021; Fashola, *et al.*, 2020; Yan, *et al.*, 2023). Bioaugmentasi pada situs tercemar merupakan metode penambahan populasi bakteri indigenous atau eksogenous pengurai polutan sehingga

mempercepat proses penguraian akibat peningkatan populasi (Kurniawan, *et al.*, 2022; Akhtar, *et al.*, 2023). Pada penelitian terdahulu, bioremediasi Cr (VI) dengan bioaugmentasi menunjukkan efektivitas degradasi sebesar 44,6% - 62,2% setelah 84 hari waktu degradasi (Yan, *et al.*, 2023). Penelitian sejenis menggunakan bakteri pereduksi sulfat juga menunjukkan hasil yang demikian, di mana terjadi reduksi Cr (VI) lebih dari 51% setelah 73 jam perlakuan (Yan, *et al.*, 2020 dalam Yan, *et al.*, 2023). Kecepatan degradasi juga dapat terjadi akibat manipulasi faktor lingkungan dengan penambahan konsentrasi nutrisi pada metode biostimulasi untuk mempercepat laju bioremediasi oleh bakteri indigenous (Sayed, *et al.*, 2021; Hatzinger & Kelsey, 2023). Keberadaan nutrisi mampu meningkatkan populasi dan kapasitas metabolisme bakteri sehingga mempercepat proses remediasi polutan oleh agen degradator yang terstimulasi. Komunitas mikroba dengan struktur populasi yang buruk dan minimnya keberadaan nutrisi pada lingkungan mengakibatkan penerapan secara tunggal dari bioaugmentasi dan biostimulasi menjadi tidak efektif (Yan, *et al.*, 2023). Penambahan populasi bakteri degradator dan pemberian nutrisi secara bersamaan merupakan metode yang dapat diterapkan guna mengoptimalkan degradasi polutan oleh bakteri. Bakteri degradator yang ditambahkan akan mendapatkan nutrisi yang cukup untuk melakukan aktivitas degradasi. Sebaliknya, nutrisi yang diberikan akan dimanfaatkan secara optimal oleh bakteri degradator dengan jumlah populasi yang tinggi.

Karbon dan nitrogen merupakan nutrisi penting yang dibutuhkan dalam pertumbuhan bakteri, di mana karbon dibutuhkan sebagai sumber energi dan nitrogen dibutuhkan untuk pembentukan serta pertumbuhan sel bakteri sebagai komponen utama pada sintesis asam amino dan materi genetik (Garcia-Tejero & Duran-Zuazo, 2023; Yan, *et al.*, 2023). Karbon dan nitrogen sebesar 46% dan 15% merupakan unsur yang dapat dijumpai pada bulu ayam broiler (Bharathi & Raj, 2021). Pada tahun 2018, Indonesia menghasilkan sebanyak 2.313.518 ton daging ayam broiler serta menghasilkan bulu sebagai limbah dengan jumlah tertinggi, di mana jumlah limbah bulu ayam yang dihasilkan akan terus meningkat seiring dengan peningkatan produksi daging ayam broiler (Fitriyanto, *et al.*, 2022). Kandungan karbon dan nitrogen yang tinggi berpotensi sebagai sumber nutrisi bagi bakteri untuk meningkatkan laju pertumbuhannya. Penerapan bulu ayam sebagai sumber nutrisi telah digunakan pada pakan ternak dan pupuk tumbuhan karena kandungan nitrogennya yang tinggi dan mudah dicerna oleh tubuh makhluk hidup. Pemanfaatan bulu ayam broiler sebagai sumber nutrisi dipilih karena kandungan nutrisi yang baik, mudah dicerna oleh makhluk hidup, serta diharapkan mampu mengurangi jumlah limbah bulu yang dihasilkan seiring dengan pemanfaatannya secara berkelanjutan dalam mengatasi pencemaran Cr (VI).

Keberadaan Cr (VI) pada perairan merupakan ancaman bagi keberlangsungan hidup makhluk hidup, sehingga dibutuhkan adanya perhatian khusus untuk memulihkannya, di mana dibutuhkan upaya degradasi yang relatif lebih aman dan murah. Upaya remediasi Cr (VI) perlu dilakukan dengan memanfaatkan biodiversitas yang tersedia dengan meningkatkan kemampuan biodegradasi melalui pemanfaatan sumber daya yang tersedia sebagai sumber nutrisi. Maka dari itu, perlu dilakukan upaya dalam menemukan potensi untuk mendegradasi polutan Cr (VI) dari limbah cair sablon dengan memanfaatkan bulu ayam broiler serta mengevaluasi efektivitas dari kombinasi bioaugmentasi konsorsium bakteri indigenous dengan biostimulasi bulu ayam broiler terhadap efektivitas degradasi polutan Cr(VI).

Tujuan dari dilakukannya pelaksanaan PKM bidang riset eksakta ini adalah menemukan efektivitas tertinggi dari remediasi Cr (VI) melalui kombinasi bioaugmentasi konsorsium bakteri indigenous wilayah tercemar limbah cair sablon dengan biostimulasi bulu ayam broiler menggunakan konsentrasi yang berbeda.

Metode

Riset mengenai upaya remediasi kromium heksavalen melalui bioaugmentasi konsorsium bakteri indigenous wilayah tercemar limbah cair sablon dengan biostimulasi bulu ayam broiler menggunakan bahan utama berupa sampel sedimen perairan Sungai Mati, Kabupaten Badung, Bali. Bahan pendukung lainnya berupa *Nutrient Agar* (NA), *Nutrient Broth* (NB), kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), H_2SO_4 , difenilkarbazida, dan aseton. Adapun alat yang digunakan antara lain autoklaf, *laminar air flow* (LAF), neraca analitik, incubator, *bottom sampler*, pH meter, *chopper*, dan spektrofotometri UV-Visible.

Riset dilaksanakan di Laboratorium Biologi, Universitas Pendidikan Ganesha selama tiga bulan, dengan tahapan yang mencakup pengambilan sampel, isolasi bakteri, uji toleransi terhadap kromium, kombinasi bioaugmentasi dan biostimulasi konsorsium bakteri dengan variasi tepung bulu ayam broiler, serta analisis dan penarikan kesimpulan data menggunakan uji ANOVA One Way. Sampel yang digunakan berupa lapisan sedimen perairan tercemar limbah cair sablon, karena kromium paling banyak dijumpai pada lapisan tersebut (Suteja, et al. 2020). Sampel disimpan dalam jar steril dan dibungkus dengan aluminium foil, lalu dibawa menuju Laboratorium Biologi Universitas Pendidikan Ganesha untuk diolah. Dari sampel, konsorsium bakteri indigenous diisolasi dan ditumbuhkan pada media agar, lalu konsorsium bakteri yang berhasil tumbuh akan diuji toleransinya terhadap kromium.

Uji toleransi terhadap kromium dilakukan untuk menilai potensi konsorsium bakteri indigenous sebagai agen biodegradator. Uji dilakukan dengan menambahkan kalium dikromat

(K₂Cr₂O₇) sebesar 1 mg/L ke dalam media pertumbuhan, sementara media tanpa kromium digunakan sebagai kontrol. Pertama, konsorsium bakteri indigenous diencerkan dengan faktor pengenceran 10-5, kemudian ditumbuhkan pada nutrient agar dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 24 jam. Setelah itu, jumlah CFU yang muncul dihitung untuk menentukan konsorsium bakteri yang paling toleran terhadap kromium. Konsorsium bakteri yang paling toleran kemudian digunakan pada kombinasi bioaugmentasi dan biostimulasi. Proses kombinasi melibatkan penambahan tepung bulu ayam broiler yang telah disortir, dicuci, dikeringkan, dan dihaluskan ke dalam 100 gram sampel sedimen perairan tercemar yang telah dicampur dengan 1 ml konsorsium bakteri yang sudah diencerkan dengan faktor pengenceran 10-3. Sampel kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 21 hari dalam kondisi anaerob. Penambahan variasi tepung bulu ayam yang diberikan sebesar 0, 10, 20, 40 mg. Variasi konsentrasi nutrisi dari bulu ayam ini bertujuan untuk menentukan kondisi terbaik untuk bioremediasi.

Untuk mengetahui efektivitas bioremediasi dilakukan uji spektrofotometri UV-Visible pada sampel sebelum dan sesudah perlakuan kombinasi bioremediasi. Sampel dikonstruksi terlebih dahulu dengan cara dikeringkan lalu dihaluskan dan dikonstruksi basah menggunakan H₂SO₄ 1M. Hasil konstruksi diambil 1 ml kemudian ditambahkan 0,5 ml larutan difenilkarbazida yang dibuat dari melarutkan 50 mg 1,5-difenilkarbazida ke dalam 10 ml aseton. Setelah itu, ditambahkan 1 ml H₂SO₄ 3M dan tunggu hingga terjadi perubahan warna secara optimum, maka sampel siap diuji menggunakan spektrofotometri UV-Visible pada panjang gelombang 540 nm. Pada kurva standar, dibuat larutan kalium dikromat 0-1 ppm dengan interval 0,1 ppm dan 1-10 ppm dengan interval 1 ppm. Masing-masing larutan kalium dikromat diambil sebanyak 1 ml dan ditambahkan 0,5 ml larutan difenilkarbazida serta 1 ml larutan H₂SO₄ 3M. Setelah terjadi perubahan warna secara optimum, larutan standar siap diuji.

Keseluruhan data hasil riset dianalisis dan penafsiran data riset dengan uji ANOVA One Way dengan taraf signifikansi sebesar 0,05 untuk menguji hipotesis riset. Hasil riset kemudian disimpulkan dengan melihat nilai signifikansi dari hasil analisis data.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengambilan sampel sedimen di Sungai Mati, Kabupaten Badung, Bali menunjukkan adanya tanda-tanda pencemaran. Obsevasi secara visual mengungkapkan bahwa air sungai terlihat keruh, berwarna gelap dan beraroma tidak sedap. Bau yang timbul menunjukkan adanya proses dekomposisi di dalam air yang kemungkinan besar bersumber dari limbah domestik dan industri. Selain itu, banyak sampah domestik dan plastik yang ada di

dekat aliran sungai. Hasil pengukuran pH air Tukad Mati cukup rendah, yaitu di bawah 3,5 jauh dari standar kualitas air yang sehat dengan kisaran pH 6,5-8,5.

Sampel sedimen yang diambil sebanyak 11 jar dengan kapasitas 500ml. Sampel pada masing-masing jar dihomogenisasi dan diisolasi bakterinya. Hasil dari kegiatan isolasi bakteri indigenous menunjukkan bahwa konsorsium bakteri ini berhasil diperoleh dari sedimen perairan yang tercemar limbah cair industri sablon. Keberhasilan tersebut dapat dilihat dari hasil isolasi, di mana beberapa koloni bakteri berhasil tumbuh. Setelah diisolasi, konsorsium bakteri ini kemudian ditumbuhkan pada media pertumbuhan cair menggunakan nutrient broth. Hasilnya menunjukkan bahwa bakteri dapat berkembang dengan baik dalam media ini, yang mengindikasikan bahwa nutrient broth menyediakan nutrisi yang cukup untuk mendukung pertumbuhan bakteri indigenous. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan bahwa media kultur cair dapat memfasilitasi akses nutrisi bagi bakteri sehingga memungkinkan pembaruan nutrisi bagi bakteri (Bonnet, M., *et al.*, 2019).

Pada upaya menumbuhkan konsorsium bakteri indigenous yang dilakukan menggunakan metode spread plate tidaklah berhasil. Faktor penyebab kegagalan dikarenakan kondisi lingkungan yang kurang cocok untuk bakteri tumbuh atau ketidakmampuan bakteri untuk berkoloni di permukaan media agar. Oleh karena itu, dilakukan uji sifat anaerob dengan menumbuhkan konsorsium bakteri pada media nutrient agar menggunakan metode tusuk pada agar tabung. Hasil dari uji ini menunjukkan bahwa konsorsium bakteri indigenous dapat tumbuh dengan baik pada media nutrient agar. Hal tersebut menunjukan bila konsorsium bakteri lebih mampu berkembang pada kondisi anaerob. Reaksi metabolisme bakteri dapat terjadi dalam lingkungan anaerobik, di mana mikroorganisme yang mampu melakukan proses tersebut adalah anaerob obligat (Hatzinger & Kelsey, 2023). Berdasarkan hasil isolasi dan uji sifat anaerob ini, dapat dipastikan bahwa perlakuan kombinasi metode remediasi dengan bioaugmentasi dan biostimulasi dapat dilakukan secara anaerob. Ini membuka peluang lebih besar untuk menggunakan konsorsium bakteri indigenous dalam upaya remediasi lingkungan yang tercemar Cr (VI) dari limbah cair industri sablon.



Gambar 1. Konsorsium Bakteri yang Ditumbuhkan Menggunakan Metode Tusuk pada Agar Tabung

Selanjutnya dilakukan uji toleransi konsorsium bakteri indigenous terhadap kromium. Hasil uji toleransi menunjukkan bahwa konsorsium bakteri indigenous yang diisolasi dari sedimen perairan tercemar limbah cair sablon mampu tumbuh pada nutrient agar yang diberikan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dengan konsentrasi 1 mg/L (Tabel 1). Hasil uji menunjukkan jika tidak terdapat perbedaan jumlah CFU secara signifikan pada media *nutrient agar* pada kedua konsentrasi kalium dikromat yang ditambahkan (Tabel 2). Hasil ini mengindikasikan jika konsorsium bakteri indigenous yang diisolasi dari sedimen perairan tercemar limbah cair sablon memiliki daya toleransi terhadap keberadaan kromium. Hasil uji ini penting karena menunjukkan potensi penggunaan bakteri indigenous sebagai agen bioremediasi untuk mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan, khususnya yang terkait dengan limbah cair sablon. Potensi bakteri indigenous tersebut sesuai dengan pernyataan dari (Mendes, *et al.*, 2011 dalam Ake, *et al.*, 2023) yang menyatakan bahwa bakteri memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim seperti peroksidase dan lakase yang memungkinkan mereka untuk mendegradasi limbah cair pewarna tekstil melalui oksidasi.

Tabel 1. Jumlah CFU Konsorsium Bakteri yang Muncul pada Media *Nutrient Agar* dalam Uji Toleransi Konsorsium

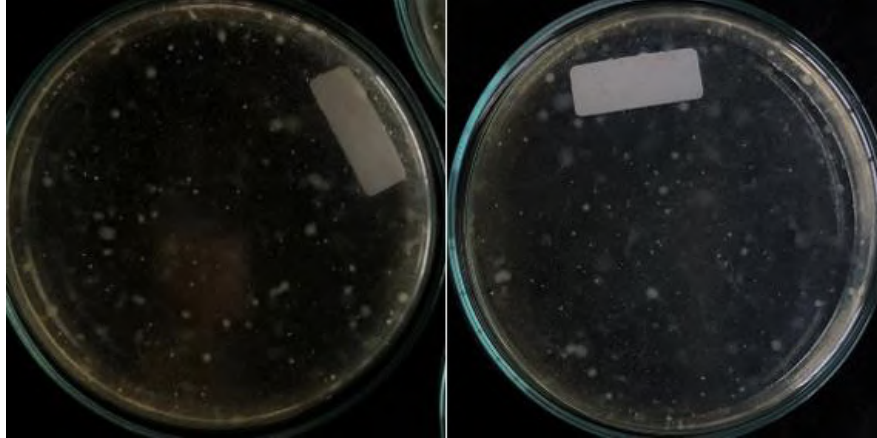
Ulangan	$K_2Cr_2O_7$ 0 mg/L	$K_2Cr_2O_7$ 1 mg/L
1	77×10^{-5} CFU	101×10^{-5} CFU
2	103×10^{-5} CFU	87×10^{-5} CFU
3	104×10^{-5} CFU	60×10^{-5} CFU
4	95×10^{-5} CFU	87×10^{-5} CFU
5	75×10^{-5} CFU	83×10^{-5} CFU
6	89×10^{-5} CFU	102×10^{-5} CFU
7	108×10^{-5} CFU	110×10^{-5} CFU
8	65×10^{-5} CFU	89×10^{-5} CFU
9	105×10^{-5} CFU	113×10^{-5} CFU
10	90×10^{-5} CFU	94×10^{-5} CFU
Rerata	$91,1 \times 10^{-5}$ CFU	$92,6 \times 10^{-5}$ CFU

Tabel 2. Hasil Uji Toleransi Konsorsium Bakteri Indigenous Menggunakan Uji *Independent Sampel T-Test*

Variabel	t	Signifikansi	Keterangan
Jumlah CFU	-0,223	0,826	Tidak Signifikan

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan uji Independent Sample T-Test yang dilakukan, dapat diketahui jika jumlah CFU pada uji toleransi konsorsium bakteri indigenous memiliki nilai signifikansi sebesar 0,826 ($p > 0,05$), sehingga perbedaan CFU yang muncul pada media nutrient agar tidak signifikan. Dengan kata lain, konsorsium bakteri indigenous yang diujikan bersifat toleran terhadap keberadaan Cr(VI). Hasil yang diperoleh sesuai dengan Sharma (2021), yang menyatakan jika bakteri mampu mengembangkan kemampuan toleransi

terhadap keberadaan logam berat di lingkungannya. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fashola, et al (2020) yang mengungkapkan bahwa bakteri indigenous yang diisolasi dari lingkungan terkontaminasi logam berat mempunyai potensi sebagai agen bioremediasi logam berat di lingkungan tersebut.



Gambar 2. CFU yang Muncul pada Media *Nutrient Agar* Termodifikasi Kalium Dikromat 0 mg/L (kiri) dan 10 mg/L (kanan)

Hasil kombinasi bioaugmentasi dan biostimulasi setelah 21 hari waktu perlakuan menunjukkan jika rerata konsentrasi kromium heksavalen yang masih terdapat pada sampel sedimen perairan tercemar limbah cair sablon tidak berbeda secara signifikan (Tabel 3).

Tabel 3. Konsentrasi Cr (VI) pada Sampel Sedimen Perairan Tercemar Limbah Cair Sablon setelah Perlakuan Kombinasi Bioaugmentasi dan Biostimulasi Selama 21 Hari yang Dianalisis Menggunakan Spektrofotometri UV-Visible

Variasi Bobot Tepung Bulu Ayam Broiler	Rerata konsentrasi Cr(VI)
0 mg	24,283 mg/L
10 mg	23,207 mg/L
20 mg	24,437 mg/L
40 mg	24,291 mg/L

Tabel 4. Hasil Uji Efektivitas Remediasi dengan Kombinasi Metode Bioaugmentasi dan Biostimulasi Menggunakan Uji *Anova One Way*

Variabel	F	Signifikansi	Keterangan
Konsentrasi Cr(VI)	2,929	0,054	Tidak Signifikan

Hasil uji statistika menggunakan uji ANOVA *One Way* menunjukkan jika tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada konsentrasi Cr (VI) dalam seluruh perlakuan variasi konsentrasi tepung bulu ayam broiler yang diberikan (Tabel 4). Nilai signifikansi yang diperoleh bernilai sebesar 0,054 ($p > 0,05$) sehingga dapat diketahui jika keempat kelompok perlakuan uji dengan perbedaan konsentrasi stimulasi tepung bulu ayam broiler terhadap konsorsium bakteri indigenous dalam meremediasi Cr (VI) tidak memiliki perbedaan yang

signifikan. Maka dapat diketahui jika kombinasi bioaugmentasi dan biostimulasi dengan konsentrasi tepung bulu ayam broiler yang berbeda belum mampu meningkatkan proses remediasi Cr (VI) yang terdapat pada sampel sedimen perairan tercemar limbah cair sablon.

Konsorsium bakteri indigenous dengan penambahan nutrisi berupa tepung bulu ayam broiler belum mampu meningkatkan proses remediasi kromium heksavalen karena dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut dapat berupa ketidaksesuaian nutrisi yang terdapat dalam tepung bulu ayam broiler terhadap kebutuhan metabolisme konsorsium bakteri indigenous yang digunakan. Sumber nutrisi spesifik yang disediakan mungkin tidak optimal dalam jalur metabolisme konsorsium bakteri yang dibutuhkan dalam meremediasi Cr(VI). Hasil penelitian lain menyatakan jika glukosa mampu meningkatkan reduksi Cr (VI) pada suatu konsorsium, tetapi komposisi nutrisi yang sama pada konsorsium lain yang diujikan tidak mendukung bioremediasi yang efektif (Leonard & Mishra, 2021).

Kesulitan dalam menguraikan tepung bulu ayam broiler menjadi sumber nutrisi oleh konsorsium bakteri indigenous juga dapat menjadi penyebab tidak efektifnya hasil bioremediasi. Bulu ayam mengandung protein, nitrogen, dan karbon yang tinggi, tetapi dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis terhadap struktur dari protein, nitrogen, dan karbon yang terdapat didalamnya sehingga kompleksitas strukturnya tidak diketahui. Bulu ayam banyak mengandung keratin sehingga menyebabkan nutrisi mereka sulit dicerna karena struktur protein yang kompleks (Andriani, *et al.*, 2024). Demikian pula dengan kandungan nitrogen dan karbon dalam bulu ayam yang sulit untuk dipecah dan dicerna karena komposisi strukturnya yang kompleks (Kormanjos, *et al.*, 2013; Adler, *et al.*, 2018).

Terdapat pula kemungkinan adanya interaksi antagonis di antara strain mikroba pada konsorsium bakteri yang digunakan. Interaksi antagonis dalam konsorsium bakteri dapat mengurangi efisiensi secara keseluruhan. Penelitian terdahulu yang telah dilaporkan memperlihatkan adanya kultur campuran dengan tingkat penghilangan kromium yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan kombinasi strain mikroba yang bersifat sinergis (Asri, *et al.*, 2023). Kompleksitas dan toksisitas Cr (VI) yang tinggi juga dapat menghambat aktivitas mikroba, di mana hal ini dapat terjadi karena dihasilkannya spesies oksigen reaktif yang mempengaruhi metabolisme mikroba (Bhunia, *et al.*, 2022). Faktor-faktor tersebut memiliki kemungkinan dalam mempengaruhi dan mengurangi efektivitas konsorsium bakteri indigenous yang diberikan stimulasi nutrisi dari tepung bulu ayam broiler untuk mendegradasi Cr (VI) pada sampel sedimen perairan tercemar limbah cair sablon dalam laboratorium.

Penutup

Berdasarkan riset yang dilaksanakan, dapat diambil kesimpulan bahwa bahwa kombinasi metode bioaugmentasi dengan konsorsium bakteri indigenous dan biostimulasi menggunakan tepung bulu ayam broiler belum mampu untuk meningkatkan degradasi kromium heksavalen (Cr(VI)) pada sedimen tercemar limbah cair sablon. Isolasi dan uji toleransi menunjukkan bahwa bakteri indigenous dari wilayah tercemar memiliki kemampuan bertahan hidup dan berkembang meskipun dalam kondisi lingkungan yang mengandung konsentrasi kromium tinggi. Namun, penambahan nutrisi dari tepung bulu ayam broiler sebagai sumber karbon dan nitrogen belum berhasil meningkatkan aktivitas metabolisme bakteri dalam mendegradasi Cr(VI). Hasil uji ANOVA *One Way* juga mendukung kesimpulan bahwa tidak ada perbedaan efektivitas yang signifikan antara perlakuan dengan variasi konsentrasi tepung bulu ayam. Belum mampunya konsorsium bakteri dalam merediasi Cr (VI) dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian nutrisi serta kesulitan penguraian nutrisi dalam bulu ayam, serta terdapat kemungkinan adanya interaksi antagonis di antara strain mikroba. Hal tersebut menunjukkan bahwa sumber nutrisi eksternal dalam bentuk tepung bulu ayam broiler belum mampu menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi bioremediasi pada wilayah tercemar logam berat seperti Cr(VI).

Merujuk ke hasil riset, adapun saran untuk penelitian selanjutnya yakni dapat dilakukan evaluasi terhadap pengaruh waktu inkubasi yang lebih panjang untuk melihat efektivitas jangka panjang dari metode bioremediasi pada riset ini. Selain itu, studi lanjutan juga perlu dilakukan untuk mengidentifikasi spesies bakteri spesifik dalam konsorsium yang paling berperan dalam proses degradasi Cr(VI), sehingga pendekatan bioaugmentasi yang lebih terfokus dapat dikembangkan. Pendekatan holistik yang melibatkan partisipasi industri dalam pengelolaan limbah juga perlu ditingkatkan, dengan pengembangan kebijakan dan regulasi yang mendukung penggunaan teknologi ramah lingkungan seperti bioremediasi

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan ikut mendukung pelaksanaan riset. Terimakasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia dan Universitas Pendidikan Ganesha atas kesempatan serta pendanaan yang diberikan untuk menyelesaikan riset ini. Dukungan pendanaan yang diberikan sangat mendukung pelaksanaan riset terutama dalam pembelian alat dan bahan riset. Penulis juga menyampaikan rasa terimakasih kepada dosen pendamping kami yaitu Bapak I Made Oka Riawan, S.Pd., M.Sc. yang sudah bersedia

membimbing kami, serta staf laboratorium yang memberikan bantuan teknis selama pelaksanaan riset ini. Ucapan terimakasih juga penulis ucapkan kepada pihak pengelola Sungai Mati, Badung serta peternak ayam broiler atas bantuannya dalam menyediakan bahan penelitian. Penulis harap riset ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan alam dan teknologi, khususnya dalam bidang bioremediasi dan pengelolaan limbah. Penulis juga berharap riset ini dapat menjadi bahan kajian lanjutan bagi para peneliti lain untuk terus berkarya dan menghasilkan riset yang bermanfaat bagi masyarakat luas.

Daftar Pustaka

- Adler, S. A., Slizyte, R., Honkapaa, K., Loes, A. K. 2018. In Vitro Pepsin Digestibility and Amino Acid Composition in Soluble and Residual Fractions of Hydrolyzed Chicken Feathers. *Poultry science*. 97(9): 3343-3357.
- Ake, A. H. J., Hafidi, M., & Ouhdouch, Y. 2023. Microorganisms From Tannery Wastewater: Isolation and Screening for Potential Chromium Removal. *Environmental Technology & Innovation*. 31(1): 103167-103182.
- Akhtar, S., Mohsin, A., Riaz, A., & Mohsin, F. 2023. Worldwide Efficiency of Bioremediation Techniques for Organic Pollutants in Soil: A Brief Review. *Geosfera Indonesia*. 8(1): 102-116.
- Andriani, Y., Pratama, R. I., & Hanidah, I. I. 2024. Review: Potensi Tepung Bulu Ayam untuk Pakan Ikan. *Torani: Journal of Fisheries and Marine Science*. 7(2). 171-180.
- Asri, M., Ouafi, R., Bahafid, W., Elabed, S., Koraichi, S. I., Costa, F., Tavares, T. and Ghachtouli, N. E. 2023. Chromium Removal by Newly Developed Microbial Consortia Supported on Wood Husk. *Desalination and Water Treatment*. 289(1): 80-91.
- Bharathi, S. V. & Raj, I. V. 2021. Studies on the chemical properties of broiler chicken feathers. *The Pharma Innovation Journal*. 10(7): 202-204.
- Bhunia, A., Lahiri, D., Nag, M., Upadhye, V., & Pandit, S. 2022. Bacterial Biofilm Mediated Bioremediation of Hexavalent Chromium: A Review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 43: 102397.
- Bonnet, M., Lagier, J. C., Raoult, D., & Khelaifia, S. 2019. Bacterial Culture Through Selective and Non-selective Conditions: The Evolution of Culture Media in Clinical Microbiology. *New Microbes and New Infections*. 34(C): 100622.
- Fashola, M. O., Ngole-Jeme, V. M. & Babalola, O. O. 2020. Heavy Metal Immobilization Potential of Indigenous Bacteria Isolated from Gold Mine Tailings. *International Journal of Environmental Research*. 14(1): 71-86.

- Fitriyanto, N. A., Ramadhanti, & Y., Rismiyati. 2022. Production of poultry feather hydrolysate using HCl and NaOH as a growth medium substrate for indigenous strains. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 951(1): 12064-12070.
- Garcia-Tejero, I. F. & Duran-Zuazo, V. H. 2023. *Current Applications, Approaches, and Potential Perspectives for Hemp: Crop Management, Industrial Usages, and Functional Purposes*. Edisi ke-1, Academic Press. London
- Hatzinger, P. B. & Kelsey, J. W. 2023. Biodegradation of organic contaminants. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 1(1): 547-557.
- Kholisa, M., Matsena, M. & Chirwa, E. M. N. 2021. Evaluation of Cr (VI) Reduction Using Indigenous Bacterial Consortium Isolated from a Municipal Wastewater Sludge: Batch and Kinetic Studies. *Catalysts*. 11(9): 1100-1114.
- Kormanjos, S. M., Filipovic, S. S., Radovic, V. A., Okanovic, D. G. and Njezic, Z. B. 2013. Influence of the Applied Pressure of Processing Upon Bioactive Components of Diets Made of Feathers. *Hemijaska Industrija*. 67(1): 135-138.
- Kurniawan, S. B., Ramli, N. N., & Said, N. S. M. 2022. Practical limitations of bioaugmentation in treating heavy metal contaminated soil and role of plant growth promoting bacteria in phytoremediation as a promising alternative approach. *Heliyon*. 8(4): 8995-9009.
- Leonard, J. & Mishra, S. 2021. Optimization of Growth Conditions for Maximum Hexavalent Chromium Reduction by the Microbial Consortium Isolated from Chromite Mines. *Indian Journal of Experimental Biology*. 59(1): 867-876.
- Safaruddin, M. D., Wijayanti, F. & Oktasari, A. 2022. Analisis Kadar Logam Kromium (Cr) pada Limbah Penyablonan di Konveksi Sakinah Palembang. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 5(1): 376-380.
- Sayed, K., Baloo, L. & Sharma, N. K. 2021. Bioremediation of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) by Bioaugmentation and Biostimulation in Water with Floating Oil Spill Containment Booms as Bioreactor Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(5): 2226-2252.
- Sharma, P. 2021. Efficiency of Bacteria and Bacterial Assisted Phytoremediation of Heavy Metals: An Update. *Bioresource Technology*. 328(1): 124835.
- Suteja, Y., Dirgayusa, I. G. N. P., & Purwiyanto, A. I. S. 2020. Chromium in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 153(1): 111017-111024.
- Ukhurebor, K. E., Aigbe, U. O., & Onyancha, R. B. 2021. Effect of Hexavalent Chromium on The Environment and Removal Techniques: A Review. *Journal of Environmental Management*. 280(1): 111809-111834.

Wise, J. P., Young, J. L., & Cai, J. 2022. Current understanding of hexavalent chromium [Cr(VI)] neurotoxicity and new perspectives. *Environmental International*. 158(1): 106877-106895.



Pembelajaran yang Repetitif Meningkatkan Keluhan *Musculoskeletal* dan Stres Akibat Belajar serta Menurunkan Motivasi Siswa di SMA Negeri 10 Denpasar

I Made Heri Gunawan^{1,*}, I Made Sutajaya¹, Ni Putu Sri Ratna Dewi¹

¹Jurusan Biologi dan Perikanan Kelautan, Universitas Pendidikan Ganesha, Jalan Udayana 11, Singaraja, Bali, Indonesia

*imadeherigunawan20@undiksha.ac.id, made.sutajaya@undiksha.ac.id, ratna.dewi@undiksha.ac.id

Abstract

This study aims to determine the application of repetitive learning increases musculoskeletal complaints and stress due to learning and decreases learning motivation. This type of research is a quasi-experimental study with a nonequivalent randomized pre and post test control group design. The dependent variables of this study include: (1) musculoskeletal complaints were recorded using the Nordic Body Map questionnaire, (2) stress due to learning was recorded using the stress questionnaire due to learning, (3) learning motivation was recorded using the learning motivation questionnaire. Data were analyzed using an independent sample t-test with a significance level of 5%. The results of this study indicate that (1) repetitive learning significantly increases musculoskeletal complaints in students by 27.95%, (2) repetitive learning significantly increases stress due to learning by 13.79%, (3) repetitive learning significantly decreases learning motivation by 3.36%.

Keywords: repetitive learning, musculoskeletal complaints, stress due to learning, learning motivation

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penerapan pembelajaran yang repetitif meningkatkan keluhan *musculoskeletal* dan stres akibat belajar serta menurunkan motivasi belajar. Jenis penelitian ini adalah eksperimen semu (quasi experimental) dengan rancangan *nonequivalent randomized pre dan post test control group design*. Variabel terikat penelitian ini meliputi: (1) keluhan *musculoskeletal* didata menggunakan kuesioner Nordic Body Map, (2) stres akibat belajar didata dengan kuesioner stres akibat belajar, (3) motivasi belajar didata dengan menggunakan kuesioner motivasi belajar. Data dianalisis dengan uji t independent sampel dengan taraf signifikansi 5%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa (1) pembelajaran yang repetitif meningkatkan keluhan *musculoskeletal* secara bermakna pada peserta didik sebesar 27,95 %, (2) pembelajaran yang repetitif meningkatkan stres akibat belajar secara bermakna sebesar 13,79%, (3) pembelajaran yang repetitif menurunkan motivasi belajar secara bermakna sebesar 3,36%.

Kata kunci: pembelajaran yang repetitif, keluhan *musculoskeletal*, stres akibat belajar, motivasi belajar

PENDAHULUAN

Tercapainya tujuan pembelajaran sangat bergantung dengan sarana pembelajaran, rencana pembelajaran, dan kondisi pembelajaran. Pengelolaan faktor-faktor tersebut harus memerhatikan kemampuan dan keterbatasan siswa dari segi fisiologis dan psikologis. Kondisi saat ini yang terjadi adalah masih ada sekolah yang belum memerhatikan kondisi fisiologis dan psikologis siswa, serta belum menerapkan kaidah ergonomi dalam merancang sarana pembelajaran. Ketidaksesuaian sarana belajar dengan antropometri siswa tersebut ternyata menyulitkan siswa saat proses pembelajaran berlangsung. Selain itu, merancang pembelajaran

juga harus menerapkan kaidah ergonomi agar proses pembelajaran yang tercipta dapat lebih efektif dan efisien. Namun, pada kenyataannya masih ada guru yang belum menerapkan kaidah ergonomi dalam merancang pembelajaran.

Metode resitasi atau penugasan masih sering diterapkan saat melakukan pembelajaran. Pemberian tugas menjadi alternatif sementara untuk tetap melaksanakan proses pembelajaran. Tugas seperti merangkum materi, menjawab soal, hingga membuat sebuah makalah diberikan di setiap pergantian mata pelajaran. Sebagian besar tugas tersebut dikerjakan dengan tulisan tangan. Pembelajaran yang menerapkan metode yang sama berulang kali menyebabkan sikap belajar siswa menjadi monoton dan repetitif. Adapun postur siswa saat mengerjakan tugas yakni postur duduk diam dan postur menekan pulpen. Jika dilakukan secara terus menerus dalam periode waktu yang lama dapat menimbulkan keluhan *musculoskeletal* (Yusuf, *et al.*, 2013; Sekarsari, *et al.*, 2017).

Faktor risiko yang menyebabkan keluhan *musculoskeletal* adalah faktor fisik dan psikososial. Faktor fisik berupa repetisi, kekuatan, dan getaran. Faktor psikososial seperti beban belajar, stres, dan tuntutan belajar. Pembelajaran yang repetitif dapat menjadi penyebab keluhan *musculoskeletal* bagi siswa. Stres akibat belajar merupakan suatu bentuk tekanan yang dialami oleh siswa akibat proses pembelajaran yang dipersepsikan secara negatif (Oon, 2007; Desmita, 2011; Rizqiansyah, 2017). Stres akibat belajar muncul diakibatkan banyaknya tuntutan dan tugas yang harus dikerjakan. Stres yang terjadi secara berlebihan akan berdampak dengan munculnya gejala pada fisik, emosional, intelektual, serta interpersonal siswa. Berdasarkan hasil studi pendahuluan yang dilakukan di SMA Negeri 10 Denpasar, diketahui bahwa stres akibat belajar siswa meningkat antara sebelum dan sesudah proses pembelajaran sebesar 19,85%.

Keadaan stres pada siswa dapat mengakibatkan siswa menjadi malas dan tidak tertarik melakukan kegiatan serta terjadi penurunan motivasi belajar. Motivasi belajar merupakan salah satu faktor psikologis yang mampu meningkatkan rasa senang, semangat, dan gairah sehingga mampu menuntun siswa pada tindakan yang konsisten untuk mencapai tujuan pembelajaran yang diinginkan. Penelitian terhadap 101 mahasiswa tingkat pertama Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Semarang menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif dan signifikan antara stres belajar dan motivasi belajar yaitu semakin rendah stres belajar maka akan semakin tinggi motivasi belajar siswa, sebaliknya jika semakin tinggi stres belajar maka akan semakin rendah motivasi belajar siswa. Berdasarkan hasil studi pendahuluan yang dilakukan di SMA Negeri 10 Denpasar, diketahui bahwa motivasi belajar siswa menurun antara

sebelum dan sesudah proses pembelajaran sebesar 20,11%. (Djamarah, 2011; Sardiman, 2011; Aryani, 2016; Mulya, *et al.*, 2016; Adiputra, 2017; Barselii, 2017). Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu dilakukan penelitian terkait pembelajaran repetitif yang dikaitkan dengan peningkatan keluhan *musculoskeletal* dan stres akibat belajar serta penurunan motivasi belajar siswa di SMA Negeri 10 Denpasar.

METODE

Penelitian ini berupa penelitian eksperimental semu (*quasi experimental*) dengan rancangan *nonequivalent randomized pre dan post test control group design*. Adapun tempat penelitian ini dilaksanakan di SMA Negeri 10 Denpasar, Bali. Populasi terjangkau pada penelitian ini adalah semua siswa kelas XI yang berada di SMAN 10 Denpasar Tahun Ajaran 2023/2024 dengan jumlah 302 siswa. Teknik pemilihan sampel pada penelitian ini menggunakan *Multistage Random sampling* yang telah memenuhi kriteria inklusi, eksklusi, dan *drop out*. ditetapkan jumlah sebanyak 50 orang yang tersebar di kelas kontrol yaitu kelas XI 8 sebanyak 25 orang dan kelas eksperimen yaitu kelas XI 5 sebanyak 25 orang. Kelas eksperimen diberikan pembelajaran yang repetitif, sedangkan kelas kontrol tidak diberikan perlakuan. Pembelajaran yang repetitif dalam penelitian ini menggunakan metode resitasi atau penugasan. Variabel bebas adalah pembelajaran yang repetitif, variabel terikat adalah keluhan *musculoskeletal*, stres akibat belajar, dan motivasi belajar, variabel kontrol adalah kondisi subjek (usia, jenis kelamin, dan IMT) dan kondisi lingkungan di tempat belajar (suhu, kelembaban relatif, kebisingan, dan intensitas cahaya).

HASIL

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan diperoleh hasil yang dapat diamati pada Tabel 1 hingga tabel 4 berikut.

Tabel 1 Analisis Data Karakteristik Siswa (n=25)

Variabel	Kelompok Kontrol				Kelompok Eksperimen			
	Frekuensi (f)	Persentase (%)	Rerata	Simpang Baku	Frekuensi (f)	Persentase (%)	Rerata	Simpang Baku
Usia (th)			16,04	0,200			16,04	0,200
16	24	96%			24	96%		
17	1	4%			1	4%		
Jenis Kelamin								
Laki-Laki	9	36%	-	-	14	56%	-	-

Variabel	Kelompok Kontrol				Kelompok Eksperimen			
	Frekuensi (f)	Persentase (%)	Rerata	Simpang Baku	Frekuensi (f)	Persentase (%)	Rerata	Simpang Baku
Perempuan	16	64%	-	-	11	44%	-	-
IMT (kg/m ²)	-	-	19,76	3,106	-	-	19,33	2,258

Tabel 2 Analisis Data Kondisi Lingkungan Belajar Siswa

Variabel	Kelompok kontrol		Kelompok eksperimen	
	Rerata	Simpang Baku	Rerata	Simpang Baku
Suhu (°C) sebelum pembelajaran	28,25	0,500	28	0,816
Suhu (°C) sesudah pembelajaran	28,25	0,500	28	0,001
Kelembaban relatif (%) sebelum pembelajaran	84,25	1,258	83,50	1,291
Kelembaban relatif (%) sesudah pembelajaran	79,25	1,708	79,5	1,291
Kebisingan (dB(A)) sebelum pembelajaran	63,50	1,791	66,64	3,231
Kebisingan (dB(A)) sesudah pembelajaran	70,82	1,850	70,14	0,8300
Intensitas cahaya (lux) sebelum pembelajaran	215,27	0,888	213,83	2,760
Intensitas cahaya (lux) sesudah pembelajaran	233	1,356	234,67	4,530

Tabel 3 Hasil Analisis Data Antropometri Posisi Duduk Siswa

Variabel	Kelompok kontrol			Kelompok eksperimen		
	Persentil 5	Persentil 50	Persentil 95	Persentil 5	Persentil 50	Persentil 95
Tinggi duduk (cm)	73,48	78,10	84,17	71	78,10	88,82
Tinggi mata posisi duduk (cm)	53,79	57,80	63,55	51,65	57,30	68,72
Tinggi bahu posisi duduk (cm)	43,36	47,50	52,24	41,29	47,40	58,46
Tinggi siku posisi duduk (cm)	23,73	27,50	30,54	21,80	26,50	30,50
Jarak Buttock-Poplitea (cm)	32,56	36,60	47,08	32,56	38,80	49,26
Tinggi Poplitea (cm)	42,49	46,80	54,02	41,29	48,70	50,60
Jangkauan ke samping (cm)	53,71	57,60	63,27	51,19	56,80	68,62
Jangkauan ke depan (cm)	54,38	58,30	63,98	54,30	58,40	70,30

Tabel 4 Hasil Uji Hipotesis Data Keluhan *Musculoskeletal*, Stres Akibat Belajar dan Motivasi Belajar (n=25)

Variabel	Kelompok Kontrol		Kelompok Eksperimen		Nilai t	Nilai p	Keterangan
	Rerata	SB	Rerata	SB			
Keluhan <i>musculoskeletal</i> sebelum pembelajaran	34,59	2,102	33,66	2,457	1,438	0,157	Tidak berbeda bermakna
Keluhan <i>musculoskeletal</i> sesudah pembelajaran	32,10	2,024	43,07	4,947	10,260	0,0001	Berbeda bermakna (Berbeda 34,17%)
Selisih keluhan <i>musculoskeletal</i>	2,49	1,685	9,41	5,00	6,550	0,0001	Berbeda bermakna
Stres sebelum pembelajaran	37,25	3,315	36,45	3,282	0,857	0,396	Tidak berbeda bermakna
Stres sesudah pembelajaran	34,42	2,872	41,48	4,180	6,959	0,00001	Berbeda bermakna (Berbeda 20,51)
Selisih stres	2,83	2,109	5,03	2,425	3,4222	0,001	Berbeda bermakna (Berbeda)
Motivasi belajar sebelum pembelajaran	58,77	1,645	59,38	1,858	1,229	0,225	Tidak berbeda bermakna
Motivasi belajar sesudah pembelajaran	61,58	1,487	57,38	1,650	9,452	0,0001	Berbeda bermakna (6,82%)
Selisih motivasi belajar	2,81	1,275	2,00	1,520	2,041	0,047	Berbeda bermakna

Berdasarkan hasil uji hipotesis terhadap data keluhan *musculoskeletal*, stres akibat belajar, dan motivasi belajar siswa yang tercantum pada Tabel 4 menunjukkan kondisi keluhan *musculoskeletal*, stres akibat belajar, motivasi belajar siswa sebelum pembelajaran dimulai dan sesudah pembelajaran. Jika ditinjau dari kondisi keluhan *musculoskeletal*, nilai p keluhan *musculoskeletal* di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sebesar 0,157 ($p > 0,05$) saat sebelum pembelajaran, maka dapat diartikan bahwa kondisi awal keluhan *musculoskeletal* antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah komparabel atau sama. Kondisi keluhan *musculoskeletal* saat sesudah pembelajaran di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dilihat dari nilai p yang mempunyai nilai sebesar 0,0001 ($p < 0,05$) adalah berbeda bermakna, maka dapat diartikan bahwa terdapat perbedaan kondisi keluhan *musculoskeletal* saat sesudah pembelajaran antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dengan peningkatan keluhan *musculoskeletal* sebesar 34,1%.

Jika ditinjau dari kondisi stres akibat belajar, nilai p stres di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sebesar 0,396 ($p > 0,05$) saat sebelum pembelajaran, maka dapat diartikan bahwa kondisi awal stres akibat belajar antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah komparabel atau sama. Kondisi stres saat sesudah pembelajaran di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dilihat dari nilai p yang mempunyai nilai sebesar 0,0001 ($p < 0,05$) adalah berbeda bermakna, maka dapat diartikan bahwa terdapat perbedaan

kondisi stres saat sesudah pembelajaran antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dengan peningkatan stres akibat belajar sebesar 20,51%.

Jika ditinjau dari kondisi motivasi belajar, nilai p motivasi belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sebesar 0,225 ($p > 0,05$) saat sebelum pembelajaran, maka dapat diartikan bahwa kondisi awal motivasi belajar antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah komparabel atau sama. Kondisi motivasi belajar saat sesudah pembelajaran di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dilihat dari nilai p yang mempunyai nilai sebesar 0,0001 ($p < 0,05$) adalah berbeda bermakna, maka dapat diartikan bahwa terdapat perbedaan kondisi stres saat sesudah pembelajaran antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dengan penurunan motivasi belajar sebesar 6,82%.

PEMBAHASAN

Pembelajaran yang Repetitif Meningkatkan Keluhan Musculoskeletal pada Siswa

Proses pembelajaran berisiko memunculkan keluhan *musculoskeletal* secara umum. Kondisi tersebut akan menjadi semakin parah jika pada aktivitas pembelajaran didukung oleh kondisi lingkungan yang tidak sehat, tidak aman, dan tidak nyaman. Hasil analisis data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pada kelompok kontrol, rerata keluhan *musculoskeletal* sebelum pembelajaran adalah sebesar 34,59 ($SD=2,102$) dan rerata keluhan *musculoskeletal* sesudah pembelajaran adalah sebesar 32,1 ($SD=2,024$). Sedangkan pada kelompok eksperimen, rerata keluhan *musculoskeletal* sebelum pembelajaran adalah sebesar 33,66 ($SD=2,457$) dan rerata keluhan *musculoskeletal* sesudah pembelajaran adalah sebesar 43,07 ($SD=4,947$). Berdasarkan nilai rerata keluhan *musculoskeletal* di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen tersebut, diketahui bahwa rasa sakit yang dirasakan siswa dikategorikan sedang karena skor rerata berada pada rentang skor 29 s.d. 77.

Jika ditinjau dari karakteristik siswa, kategori sedang ini dapat dikarenakan siswa yang terlibat dalam penelitian ini masih dalam kategori muda (16 s.d. 17 tahun) dan menurut Hutabarat (2017) menyatakan bahwa kekuatan otot mengalami puncak kekuatan otot maksimal pada usia 20 tahun dan akan terus menurun seiring bertambahnya usia. Munculnya keluhan *musculoskeletal* di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen juga dapat terjadi karena adanya perbedaan kekuatan otot antara siswa perempuan dengan siswa laki-laki. Prawira dkk., (2017) menyatakan bahwa kekuatan otot perempuan hanya dua pertiga dari kekuatan otot laki-laki dan akan mengalami peningkatan ketegangan otot secara tiba-tiba sebelum haid. Temuan tersebut diperkuat oleh Helmina dkk., (2019) yang melaporkan bahwa terdapat hubungan

antara jenis kelamin dengan keluhan *musculoskeletal* yang diakibatkan karena adanya perbedaan fisiologis kekuatan otot dan pengaruh hormonal antara laki-laki dan perempuan.

Jika ditinjau dari kesesuaian antara sarana belajar dengan kondisi antropometri siswa di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen, menunjukkan bahwa sarana belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen ternyata belum sesuai dengan kondisi antropometri siswa sehingga hal ini dapat memunculkan keluhan *musculoskeletal*. Biomi (2021) melaporkan bahwa keluhan *musculoskeletal* salah satunya disebabkan oleh ukuran kursi yang tidak sesuai sehingga menyebabkan sikap belajar siswa tidak alamiah dan terjadi penurunan keluhan *musculoskeletal* setelah dilakukan desain ulang kursi. Setiawan (2017) menjelaskan bahwa terdapat hubungan yang nyata antara kenyamanan dalam melakukan aktivitas dengan efisiensi dan keefektifan serta redesign antropometri dapat mengurangi keluhan *musculoskeletal*.

Meskipun kategori rasa sakit siswa di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sama, namun jika ditinjau dari selisih keluhan *musculoskeletal* di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rerata skor keluhan *musculoskeletal* sebelum dengan sesudah pembelajaran. Pembelajaran yang repetitif diterapkan di kelompok eksperimen ternyata dapat meningkatkan keluhan *musculoskeletal* siswa sebesar 27,95% antara sebelum dan sesudah pembelajaran. Setelah dilakukan uji beda terhadap rerata keluhan *musculoskeletal* di kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen, diketahui bahwa rerata keluhan *musculoskeletal* di kelompok eksperimen berbeda bermakna lebih tinggi 34,1% dibandingkan dengan kelompok kontrol. Ini menunjukkan bahwa aktivitas pembelajaran berisiko terhadap keluhan *musculoskeletal* karena disebabkan oleh pembelajaran yang repetitif.

Aktivitas pembelajaran seperti penugasan atau resitasi adalah metode yang sering diterapkan secara monoton dan repetitif tanpa memerhatikan kaidah ergonomi seperti duduk terlalu lama, kepala menunduk, posisi punggung yang tidak alamiah, dan posisi tungkai yang statis. Hal ini dilakukan secara terus menerus dan berulang-ulang karena penerapan metode pembelajaran yang sama. Sikap belajar tidak ergonomi atau tidak alamiah menyebabkan posisi bagian-bagian tubuh bergerak menjauhi posisi alamiah. Kondisi tersebut diperparah dengan sarana pembelajaran seperti kursi dan meja belajar yang tidak sesuai dengan antropometri siswa yang menyebabkan siswa harus memertahankan kontraksi otot statis dalam waktu yang lama. Temuan ini bersinergi dengan: (a) Darmayanti (2020) yang menyatakan bahwa kelelahan otot skeletal yang dirasakan sebagai nyeri otot muncul karena adanya gangguan dalam aliran

darah sebagai akibat dari sikap duduk dalam periode waktu lama sehingga terjadi kontraksi otot statis. (b) Batara (2021) melaporkan bahwa terdapat hubungan yang berpengaruh antara durasi beraktivitas dengan timbulnya keluhan *musculoskeletal*. (c) Tanjung (2015) menyatakan bahwa sikap tubuh yang tidak alamiah adalah bukti kuat sebagai faktor yang menimbulkan keluhan *musculoskeletal*.

Mencermati temuan di atas dapat dinyatakan bahwa pembelajaran yang repetitif ternyata mengakibatkan peningkatan keluhan *musculoskeletal* siswa di kelompok eksperimen. Untuk itu, dapat dikatakan bahwa ketidaksesuaian rencana pembelajaran dan sarana pembelajaran khususnya yang digunakan berulang yang dapat bertindak sebagai penyebab meningkatnya keluhan *musculoskeletal*.

Pembelajaran yang Repetitif Meningkatkan Stres Akibat Belajar Siswa

Proses pembelajaran berisiko memunculkan stres akibat belajar secara umum. Kondisi tersebut akan menjadi semakin parah jika pada aktivitas pembelajaran didukung oleh iklim yang tidak adekuat, rencana belajar yang kurang tepat, dan kondisi belajar yang tidak nyaman. Hasil analisis data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pada kelompok kontrol, rerata stres sebelum pembelajaran adalah sebesar 37,25 (SD=3,315) dan rerata stres sesudah pembelajaran adalah sebesar 34,42 (SD=2,872). Sedangkan pada kelompok eksperimen, rerata stres sebelum pembelajaran adalah sebesar 36,45 (SD=3,282) dan rerata stres sesudah pembelajaran adalah sebesar 41,48 (SD=4,180). Berdasarkan nilai rerata stres akibat belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen tersebut, diketahui bahwa stres yang dirasakan siswa dikategorikan rendah karena skor rerata berada pada rentang skor 22 s.d. 41.

Jika ditinjau dari karakteristik siswa, kondisi stres yang dialami siswa dapat disebabkan karena siswa yang terlibat dalam penelitian ini masih dalam kategori muda (16 s.d. 17 tahun). Wardana & Dinata (2016) menyatakan bahwa terjadi perubahan pada tingkat kognitif, emosional, dan sosial pada remaja dengan rentang usia 15 s.d. 17 tahun. Penelitian yang dilakukan oleh Kelly (2021) menemukan bahwa remaja berusia 15 s.d. 18 tahun memiliki indikator stres lebih tinggi dibandingkan dengan remaja berusia 12 s.d. 14 tahun. Munculnya stres di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dapat disebabkan oleh perbedaan dalam merespon stres antara siswa perempuan dengan siswa laki-laki. Menurut Catur (2023) ada perbedaan respon dalam menghadapi stres antara laki-laki dan perempuan, otak perempuan saat menghadapi stres memiliki tingkat respon kewaspadaan yang negatif sedangkan laki-laki secara umum bisa menghadapi stres dan beranggapan bahwa stres dapat memberikan dorongan positif.

Meskipun kategori stres akibat belajar siswa di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sama, namun jika ditinjau dari selisih stres akibat belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rerata skor stres sebelum dengan sesudah pembelajaran. Pembelajaran yang repetitif diterapkan di kelompok eksperimen ternyata dapat meningkatkan stres akibat belajar siswa sebesar 13,79% antara sebelum dan sesudah. Setelah dilakukan uji beda terhadap rerata stres akibat belajar di kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen, diketahui bahwa rerata stres akibat belajar di kelompok eksperimen berbeda bermakna lebih tinggi 20,51% dibandingkan dengan kelompok kontrol. Ini menunjukkan bahwa aktivitas pembelajaran berisiko terhadap ketegangan dalam proses pembelajaran karena disebabkan oleh pembelajaran yang repetitif.

Pada proses pembelajaran yang berisiko memunculkan stres akibat belajar adalah rencana pembelajaran dan sarana pembelajaran yang tidak mengacu pada aspek ergonomi sehingga mengakibatkan kondisi belajar siswa menjadi tegang dan tidak nyaman. Pembelajaran yang repetitif mengakibatkan proses pembelajaran menjadi monoton dan penerapan metode resitasi atau penugasan menyebabkan kondisi belajar siswa selalu berada di bawah tekanan karena adanya tuntutan tugas yang harus dikerjakan sesuai target waktu, kondisi tersebut memaksa siswa harus duduk di satu tempat dalam waktu relatif lama sehingga aktivitas yang dilakukan siswa kurang dinamis. Jika ditinjau dari kesesuaian antara sarana belajar dengan kondisi antropometri siswa di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen, menunjukkan bahwa sarana belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen ternyata belum sesuai sehingga menimbulkan ketidaknyamanan selama proses pembelajaran. Hal ini dilakukan terus menerus dan berulang-ulang karena penerapan metode belajar yang sama. Bagi siswa yang tidak mampu untuk menghadapi tuntutan, tantangan, dan perubahan yang berulang maka akan merasakan dampak negatifnya dan mengalami stres akibat belajar.

Berdasarkan tinjauan fisiologis, stres adalah kondisi yang muncul akibat peningkatan hormon epinefrin dan kortisol. Hormon epinefrin mempengaruhi sistem saraf simpatis yang menyebabkan peningkatan tekanan darah, peningkatan kadar glukosa dalam darah, peningkatan ketegangan otot, dan peningkatan aktivitas mental. Sedangkan peningkatan hormon kortisol akan mempengaruhi sistem kekebalan tubuh karena terjadi penekanan peredaran darah sel T dan sel B sehingga tubuh tidak dapat melawan infeksi bakteri dan virus. Penurunan kebugaran tubuh sering dialami oleh orang yang memiliki tingkat stres yang tinggi. Melakukan aktivitas fisik yang terprogram dapat mengurangi peningkatan hormon pemicu stres (Alamsyah, 2017).

Kondisi belajar yang menjadi tegang dan tidak nyaman sebagai akibat dari pembelajaran yang repetitif ternyata menjadi stressor yang menimbulkan stres akibat belajar. Temuan ini bersinergi dengan (a) Harumaya (2013) yang menyatakan bahwa jika beraktivitas dalam kondisi tegang, terjadi penumpukan stres yang menimbulkan berbagai penyakit. Saat seseorang mengalami stres, noradrenalin dilepaskan, pembuluh darah menyempit, dan sirkulasi darah terganggu, serta membentuk oksigen aktif (radikal bebas) yang akan merusak gen dan memunculkan zat-zat pemicu penuaan seperti lipid peroksida. Ini akan menyebabkan kerusakan jaringan karena terjadi perubahan pada membran sel. Oksidasi lipid diduga menjadi penyebab timbulnya penyakit jantung, diabetes, dan kanker. (b) Barseli (2020) ketidaksesuaian antara tuntutan lingkungan belajar dengan sumber daya aktual siswa dapat menyebabkan stres akademik.

Mencermati temuan di atas dapat dinyatakan bahwa pembelajaran yang repetitif ternyata mampu meningkatkan stres akibat belajar siswa di kelompok eksperimen. Untuk itu, dapat dikatakan bahwa ketidaksesuaian rencana pembelajaran dan sarana pembelajaran khususnya yang digunakan berulang yang dapat bertindak sebagai penyebab meningkatnya stres akibat belajar.

Pembelajaran yang Repetitif Menurunkan Motivasi Belajar Siswa

Proses pembelajaran akan mencapai keberhasilan jika siswa memiliki motivasi belajar yang baik. Hasil analisis data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pada kelompok kontrol, rerata motivasi belajar sebelum pembelajaran adalah sebesar 58,77 ($SD=1,645$) dan rerata motivasi belajar sesudah pembelajaran adalah sebesar 61,58 ($SD=1,487$). Sedangkan pada kelompok eksperimen, rerata motivasi belajar sebelum pembelajaran adalah sebesar 59,38 ($SD=1,858$) dan rerata motivasi belajar sesudah pembelajaran adalah sebesar 57,38 ($SD=1,650$). Berdasarkan nilai rerata motivasi belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen tersebut, diketahui bahwa motivasi yang dirasakan siswa dikategorikan sedang karena skor rerata berada pada rentang skor 50 s.d. 74.

Jika ditinjau dari karakteristik siswa, motivasi yang dialami siswa dapat disebabkan karena siswa yang terlibat dalam penelitian ini masih dalam kategori muda (16 s.d. 17 tahun). Pada masa usia muda siswa mengalami proses masa pertumbuhan dan perkembangan fisik dan psikologis sehingga sangat rentan dengan keadaan lingkungan dan pergaulan. Penelitian yang dilakukan Uci (2021) menunjukkan bahwa sebesar 62,2% motivasi belajar siswa di SMK Yarsi Medika dikategorikan rendah dan usia menjadi salah satu penyebab rendahnya motivasi siswa. Motivasi siswa juga dipengaruhi oleh jenis kelamin. Hong (2008) menyatakan bahwa jenis

kelamin memiliki pengaruh tidak langsung terhadap motivasi belajar sebagai akibat perbedaan karakteristik antara perempuan dan laki-laki. Penelitian yang dilakukan Haposan (2024) menunjukkan bahwa motivasi belajar pada siswa perempuan (78,5%) lebih tinggi dibandingkan dengan siswa laki-laki (71,1%).

Meskipun kategori motivasi belajar siswa di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sama, namun jika ditinjau dari selisih motivasi belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rerata skor motivasi sebelum dengan sesudah pembelajaran. Pembelajaran yang repetitif diterapkan di kelompok eksperimen ternyata dapat menurunkan motivasi belajar siswa sebesar 3,36% antara sebelum dan sesudah. Setelah dilakukan uji beda terhadap rerata motivasi belajar di kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen, diketahui bahwa rerata motivasi belajar di kelompok eksperimen berbeda bermakna lebih rendah 6,82% dibandingkan dengan kelompok kontrol. Ini menunjukkan bahwa aktivitas pembelajaran berisiko terhadap motivasi belajar siswa karena disebabkan oleh pembelajaran yang repetitif.

Pembelajaran yang repetitif mengakibatkan proses pembelajaran menjadi monoton dan penerapan metode resitasi atau penugasan menyebabkan tidak adanya penggunaan media pembelajaran dalam proses belajar. Penggunaan media pembelajaran adalah salah satu cara untuk membangkitkan motivasi belajar siswa. Media pembelajaran digunakan untuk menyampaikan informasi selama proses pembelajaran sehingga dapat merangsang perhatian dan minat siswa (Arsyad, 2015). Temuan ini bersinergi dengan Mardiana (2022) yang melaporkan bahwa terdapat pengaruh antara media pembelajaran dengan motivasi belajar siswa.

Jika ditinjau dari kesesuaian antara sarana belajar dengan kondisi antropometri siswa di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen, menunjukkan bahwa sarana belajar di kelompok kontrol dan kelompok eksperimen ternyata belum sesuai dengan kondisi antropometri siswa sehingga kondisi belajar menjadi kurang nyaman. Selama proses pembelajaran yang repetitif memaksa siswa duduk dalam waktu lama dengan sarana belajar yang kurang nyaman. Kondisi lingkungan belajar merupakan faktor yang tidak dapat diabaikan karena interaksi siswa dan pengalaman belajar lebih banyak dilakukan melalui interaksi dengan lingkungan belajar. Kondisi yang nyaman dan kondusif akan membuat siswa lebih bersemangat untuk belajar. Temuan tersebut diperkuat dengan penelitian yang dilakukan Mardiana (2022) yang melaporkan bahwa lingkungan belajar berpengaruh positif dan signifikan terhadap motivasi belajar.

Mencermati temuan di atas dapat dinyatakan bahwa pembelajaran yang repetitif ternyata mampu menurunkan motivasi belajar siswa di kelompok eksperimen. Untuk itu, dapat dikatakan bahwa ketidaksesuaian rencana pembelajaran dan sarana pembelajaran khususnya yang digunakan berulang yang dapat bertindak sebagai penyebab menurunnya motivasi belajar.

PENUTUP

Berdasarkan dari pembahasan di atas yang dikaji berdasarkan literatur yang mendukung dapat disimpulkan bahwa (1) pembelajaran yang repetitif mengakibatkan peningkatan keluhan musculoskeletal siswa lebih tinggi 27,95 % dibandingkan dengan pembelajaran yang tidak repetitif, (2) pembelajaran yang repetitif mengakibatkan peningkatan stres akibat belajar siswa lebih tinggi 13,79% dibandingkan dengan pembelajaran yang tidak repetitif, (3) pembelajaran yang repetitif mengakibatkan penurunan motivasi belajar siswa lebih tinggi 3,36% dibandingkan dengan pembelajaran yang tidak repetitif. Pada penelitian ini saran yang penting untuk disampaikan adalah (1) selama proses belajar hendaknya siswa memerhatikan kesehatan dan keselamatan dengan menerapkan kaidah ergonomi, (2) perencanaan rancangan pembelajaran hendaknya selalu menerapkan kaidah ergonomi, (3) perancangan ruang belajar hendaknya selalu mengacu pada antropometri pengguna (user) ruangan belajar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiputra, S., Mujiyati. 2017. Motivasi dan Prestasi Belajar Siswa Di Indonesia: Kajian Meta-Analisis. *Konselor*, 6 (4), 150-157.
- Aryani, F. 2016. *Stres Belajar: Suatu Pendekatan dan Intervensi Konseling*. Palu: Edukasi Mitra Grafika.
- Barseli, M., Ifdil, I. 2017. Konsep Stres Akademik Siswa. *Jurnal Konseling Dan Pendidikan*, 5 (3), 143-148.
- Cucinotta, D., Vanelli, M. 2020. WHO: *Declares COVID-19 A Pandemic*. *Acta Bio-Medica: Atenei Paramensis*. 91 (1).
- Darmayanti, N.L.S., Muliani, Yuliani. 2020. Hubungan Lama Duduk dan Indeks Massa Tubuh (IMT) Terhadap Keluhan *Musculoskeletal* Pada Mahasiswa Prograam Studi Sarjana Kedokteran Gigi dan Profesi Dokter Gigi Universitas Udayana Angkatan Tahun 2013 dan 2014. *Jurnal Medika Udayana*, 9(9).
- Desmita. 2011. *Psikologi Perkembangan Peserta Didik*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Harahap, A.C.P., Dinda, P.H., Samsul, R.H. 2020. Analisis Tingkat Stres Akademik pada Mahasiswa Selama Pembelajaran Jarak Jauh dimasa Covid-19. *Biblio Couns: Jurnal Kajian Konseling dan Pendidikan*, 3 (1), 10-14.
- Health And Safety Executive. 2019. *Health And Safety At Work Summary Statistics For Great Britain*. HSE: UK.
- Hendrawan, M.B., Sutajaya, I M., Citrawati, D.M. 2019. Mekanisme Kerja Borongan Yang Monoton Dan Repetitif Meningkatkan Keluhan *Musculoskeletal* Dan Kelelahan Penenun Di Desa Gel Gel Klungkung. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 6 (1), 44-48.

- Hutabarat, Y. 2017. *Dasar-Dasar Pengetahuan Ergonomi* (I ed.). Malang: Media Nusa Creatiive.
- Kemendikbud. 2020. *Belajar dari Rumah, Satuan Pendidikan dapat Pilih Platform Pembelajaran Jarak Jauh Sesuai Kebutuhan (Learning From Home, Education Units Can Choose Distance Learning Platforms As Needed)*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Lazuardi, A.I. 2016. Determinan Gejala Carpal Tunnel Syndrome (CTS) Pada Pekerja Pemecah Batu (Studi pada Pekerja Pemecah Batu di Kecamatan Sumpu dan Sukowono Kabupaten Jember). *Skripsi*. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Jember.
- Mariana, H.V., Siswi, J., Ida, W. 2018. Hubungan Gerakan Berulang, Postur Pergelangan Tangan, Masa Kerja, dan Usia Terhadap Kejadian Carpal Tunnel Syndrome pada Tukang Besi. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6 (5), 535-539.
- Mulya, H.A., Indrawati, E.S. 2016. Hubungan antara Motivasi Berprestasi dengan Stres Akademik pada Mahasiswa Tingkat Pertama Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Semarang. *Jurnal Empati*, 5 (2), 296-302.
- Nissa, P.C., Baju, W., Suroto. 2015. Hubungan Gerakan Repetitif dan Lama Kerja dengan Keluhan Carpal Tunnel Syndrome pada Mahasiswa Teknik Arsitektur. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 3 (3), 563-569.
- Nurhalimah, Sutangi., Sri, H. 2017. Hubungan Posisi Kerja Duduk dan Gerakan Repetitive Dengan Keluhan Nyeri Punggung Bawah Pada Pembuat Kulit Lumpia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 2 (1), 23-29.
- Oon, A.N.L. 2007. *Teaching Children Handling Study Stress*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Prawira, M.A., Yanti, N.P.N., Kurniawan, E., Arha, L. P. W. 2017. Faktor yang Berhubungan terhadap Keluhan Muskuloskeletal pada Mahasiswa Universitas Udayana Tahun 2016. *Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health*, 1(2).
- Purwaningsih, R., Dyah, A.P., Novie, S. 2017. Desain Stasiun Kerja dan Postur Kerja Dengan Menggunakan Analisis Biomekanik Untuk Mengurangi Beban Statis dan Keluhan Pada Otot. *Jurnal Teknik Industri*, 12 (1), 15-21.
- Rizqiansyah, M.Z.A. 2017. Hubungan Antara Beban Kerja Fisik dan Beban Kerja Mental Berbasis Ergonomi terhadap Tingkat Kejenuhan Kerja pada Karyawan PT Jasa Marga (PERSERO) Tbk Cabang Surabaya Gempol. *Jurnal Sains Psikologi*. 6 (1), 37-42.
- Rosita, T.N., Sutajaya, I M., Citrawati, D.M. 2016. Musik Tradisional Meningkatkan Motivasi dan Kegairahan Belajar IPA Siswa Kelas VII SMP Negeri 5 Singaraja. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 3 (2)
- Salsabila, D. V., Taufiq, S. M. Farah, R. P., Siti, N. J. H. 2020. Capaian Pembelajaran Daring ditinjau dari Model dan Motivasi Belajar. *In Proceeding of International Conference on Islamic Education (ICIED)*, 5 (1), 252-257.
- Sekarsari, D., Arum, D.P., Amrin, F. 2017. Hubungan Lama Kerja, Gerakan Repetitif dan Postur Janggal pada Tangan dengan Keluhan Carpal Tunnel Syndrome (CTS) pada Pekerja Pemecah Batu di Kecamatan Moramo Utara Kabupaten Konawe Selatan Tahun 2016. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat*, 2 (6), 1-8.
- Solikhin, D., Al, K., Subha, Z.A. 2019. Hubungan Antara Usia, Durasi Kerja, dan Gerakan Repetitive Menekan Nozzle dengan Keluhan Subjektif Carpal Tunnel Syndrome (CTS) pada Petugas Operator Pengisi BBM di Tiga SPBU Kota Yogyakarta Tahun 2019. *Tesis*. Universitas Ahmad Dahlan.
- Sutajaya, I.M. 2019. *Ergonomi Pendidikan*. Yogyakarta: Media Akademi.
- Utomo, T.P. 2017. Meningkatkan Prestasi Peserta Didik melalui Pendidikan Full Day School, *AL-ASASIYYA: Journal of Basic Education*. 1 (1), 61-77.

- Wardana, E.R., Siswi, J., Ekawati. 2018. Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Carpal Tunnel Syndrome (CTS) Pada Pekerja Unit Assembling PT X Kota Semarang Tahun 2018. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6 (5), 502-508.
- Wulandari, B., Surjono, H. D. 2013. Pengaruh Problem-Based Learning terhadap Hasil Belajar Ditinjau dari Motivasi Belajar PLC di SMK. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 3 (2), 178-190.
- Yusuf, H., Wulandari, I.D. 2013. Penatalaksanaan Fisioterapi pada De Quervain Syndrome Menggunakan Ultrasound, Tens, Dan Terapi Latihan di RSUD Kraton Kabupaten Pekalongan. *Jurnal Unikol*, 25 (1), 51-60.