

**LAPORAN PENELITIAN
PROGRAM HIBAH PENELITIAN INTERNAL KAMPUS**



**PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN MATERI SISTEM
PERNAPASAN DENGAN STEM-PJBL UNTUK MELATIH
KETERAMPILAN 4C SISWA**

TIM PENGUSUL

Kurniahtunnisa (0027069602)

Ester Caroline Wowor (0012119105)

**FAKULTAS MATEMATIKA, ILMU PENGETAHUAN ALAM, DAN
KEBUMIHAN**

UNIVERSITAS NEGERI MANADO

2023

HALAMAN PENGESAHAN PENELITIAN

Judul Penelitian : Pengembangan Perangkat Pembelajaran Materi Sistem Pernapasan dengan STEM-PJBL Untuk Melatih Keterampilan 4C Siswa

Jenis Penelitian : Program Hibah Penelitian Internal Kampus

Ketua Peneliti

Nama Lengkap : Kurniahtunnisa, M.Pd. (P)

- a. NIDN : 0027069602
- b. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- c. Program Studi : Pendidikan IPA
- d. Alamat surel (e-mail) : kurniahtunnisa@unima.ac.id
- e. HP : 085239190295

Anggota Peneliti (1)

- a. Nama Lengkap : Ester Caroline Wowor, S.Pd., M.Pd. (P)
- b. NIDN : 0012119105
- c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Manado

Mahasiswa yang Terlibat

- a. Nama Lengkap/NIM (1) : Aini Putri Husna/22508003
- b. Nama Lengkap/NIM (2) : Edelweis Injilia Tumbelaka/22508001

Institusi Mitra (jika ada)

- a. Nama Institusi Mitra : -
- b. Alamat : -

Tahun Pelaksanaan : 2023

Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 5.000.000,- (Lima juta rupiah)

Sumber Biaya : PNBPN Unima Tahun 2023

Tondano, Oktober 2023

Menyetujui,
Kepala LPPM

Ketua Peneliti



Dr. Armstrong Sompotan, S.Si., M.Si
NIP. 19810219 200501 1 002

Kurniahtunnisa, M.Pd
NIP. 19960627 202203 2 014

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian : Pengembangan Perangkat Pembelajaran Materi Sistem Pernapasan dengan STEM-PJBL Untuk Melatih Keterampilan 4C Siswa

2. Tim Peneliti :

No	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Prodi	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Kurniahtunnisa, M.Pd.	Ketua	Pendidikan IPA	Pendidikan IPA	5
2	Ester Caroline Wowor, M.Pd.	Anggota	Pendidikan IPA	Pendidikan IPA	5
3	Aini Putri Husna	Anggota	Pendidikan IPA	Pendidikan IPA	5
4	Edelweis Injilia Tumbelaka	Anggota	Pendidikan IPA	Pendidikan IPA	5

3. Objek Penelitian (jenis material yang akan diteliti dan segi penelitian):
Objek penelitian ini adalah perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL untuk materi sistem pernapasan yang dikembangkan untuk siswa SMA kelas XI. Penelitian ini berfokus pada pengembangan, validasi, dan efektivitas perangkat dalam melatih keterampilan 4C (Critical Thinking, Creative Thinking, Communication, dan Collaboration). Pengujian dilakukan melalui uji validitas oleh ahli, uji coba terbatas, serta analisis peningkatan keterampilan siswa setelah menggunakan perangkat ini.

4. Biaya PNBPN Unima Tahun 2023 : Rp 5.000.000

5. Lokasi Penelitian : Universitas Negeri Manado dan SMAN 16 Semarang

6. Temuan yang ditargetkan (produk atau masukan untuk kebijakan):
Penelitian ini menargetkan produk berupa perangkat pembelajaran berbasis STEM-PjBL yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan 4C siswa pada materi sistem pernapasan. Hasil penelitian juga dapat menjadi rekomendasi bagi kebijakan pendidikan dalam mengembangkan metode pembelajaran inovatif yang mendukung keterampilan abad 21.

7. Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu (uraikan tidak lebih dari 50 kata, tekankan pada gagasan fundamental dan orisinal yang mendukung pengembangan IPTEK) :

Penelitian ini berkontribusi pada inovasi pendidikan sains dengan mengembangkan perangkat pembelajaran STEM-PjBL yang dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, komunikasi, dan kolaborasi siswa. Gagasan ini mendukung pendekatan pembelajaran yang lebih aplikatif, kontekstual, dan berbasis pemecahan masalah dalam pendidikan IPA.

8. Jurnal ilmiah yang menjadi sasaran (tuliskan nama terbitan berkala ilmiah internasional bereputasi, nasional terakreditasi, atau nasional tidak terakreditasi dan tahun rencana publikasi) : Bioeduca : Journal of Biology Education
9. Rencana luaran HKI, buku, purwarupa atau luaran lainnya yang ditargetkan, tahun rencana perolehan atau penyelesaiannya : Artikel ilmiah pada jurnal nasional terakreditasi.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PENELITIAN.....	2
IDENTITAS DAN URAIAN UMUM.....	3
A. Latar Belakang.....	6
B. Rumusan Masalah.....	8
BAB 2 RENSTRA DAN PETA JALAN PENELITIAN PERGURUAN TINGGI..	9
A. Rencana Strategis (Renstra) Perguruan Tinggi dalam Peningkatan Kualitas Pembelajaran.....	9
B. Tujuan dan Manfaat Penelitian dalam Kerangka Renstra Perguruan Tinggi..	9
C. Peta Jalan Penelitian.....	10
BAB 3 KAJIAN PUSTAKA.....	14
A. Pendekatan STEM.....	14
B. Project-Based Learning (PJBL).....	15
C. Keterampilan 4C.....	15
E. Perangkat Pembelajaran.....	17
BAB 4 METODE PENELITIAN.....	19
A. Jenis Penelitian.....	19
B. Subjek Penelitian.....	19
C. Langkah-langkah Pengembangan.....	19
D. Desain Perangkat Pembelajaran.....	20
BAB 5 HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI.....	23
A. Hasil Penelitian.....	23
B. Luaran yang Dicapai.....	31
BAB 6 KESIMPULAN.....	33
BAB 7 RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA.....	34
BAB 8 SARAN.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN 1. HASIL VALIDASI PRODUK.....	52
LAMPIRAN 2. ANALISIS HASIL UJI COBA BUTIR SOAL.....	59
LAMPIRAN 3 LEMBAR JAWABAN SISWA.....	63

BAB 1 PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi yang begitu pesat dan meningkatnya arus globalisasi dalam berbagai aspek kehidupan membawa tantangan baru dalam dunia pendidikan. Dunia kerja di masa depan menuntut lulusan yang tidak hanya menguasai pengetahuan, tetapi juga memiliki keterampilan yang sesuai dengan kebutuhan abad ke-21, seperti keterampilan berpikir kritis, berkomunikasi secara efektif, berkolaborasi, dan berkreasi. Keempat keterampilan ini dikenal dengan istilah 4C (Critical thinking, Communication, Collaboration, Creativity), yang menjadi salah satu kompetensi utama yang perlu dikembangkan dalam pendidikan modern.

Pendidikan yang berbasis pada pengembangan keterampilan 4C sangat relevan dengan tuntutan dunia kerja global yang semakin dinamis. Siswa tidak hanya harus mampu memahami konsep-konsep ilmiah, tetapi juga mampu menerapkannya dalam konteks dunia nyata. Dalam rangka mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan ini, sistem pendidikan di Indonesia perlu mengintegrasikan pendekatan yang dapat mengembangkan keterampilan tersebut secara holistik. Salah satu pendekatan yang saat ini berkembang pesat di berbagai negara adalah pendekatan STEM-PJBL (Science, Technology, Engineering, Mathematics – Project Based Learning).

STEM adalah pendekatan pendidikan yang menggabungkan disiplin ilmu sains, teknologi, teknik, dan matematika, dengan tujuan untuk mengembangkan keterampilan analitis dan pemecahan masalah pada siswa. Pendekatan ini berfokus pada penerapan konsep-konsep ilmiah dalam kehidupan sehari-hari, serta menggunakan teknologi untuk memperkuat pemahaman siswa. Di sisi lain, PJBL (Project-Based Learning) adalah

pendekatan pembelajaran yang berfokus pada pembelajaran berbasis proyek nyata yang memungkinkan siswa bekerja dalam tim, memecahkan masalah, serta mengembangkan keterampilan berkomunikasi dan berkolaborasi.

Kombinasi antara STEM dan PJBL dapat memberikan solusi yang efektif dalam meningkatkan keterampilan 4C siswa. Pembelajaran berbasis proyek ini tidak hanya membantu siswa untuk memahami teori, tetapi juga melatih mereka untuk mengaplikasikan pengetahuan yang diperoleh dalam konteks yang lebih luas dan kompleks. Melalui proyek yang melibatkan teknologi dan rekayasa, siswa juga akan terlibat dalam proses kreatif dan kolaboratif yang mendorong perkembangan keterampilan berpikir kritis dan berkomunikasi.

Materi sistem pernapasan merupakan salah satu topik yang penting dalam pembelajaran biologi di tingkat pendidikan menengah. Sistem pernapasan merupakan bagian integral dalam memahami fungsi tubuh manusia yang berkaitan dengan berbagai aspek kehidupan, seperti kesehatan, lingkungan, dan teknologi medis. Namun, pengajaran materi ini sering kali terbatas pada aspek teoritis yang cenderung membosankan dan kurang mampu merangsang minat serta kreativitas siswa. Seringkali, siswa hanya diberi pengetahuan secara konseptual tanpa kesempatan untuk menerapkan pengetahuan tersebut dalam situasi nyata. Hal ini menyebabkan rendahnya pengembangan keterampilan 4C siswa dalam mempelajari materi ini.

Sebagai contoh, dalam pembelajaran materi sistem pernapasan, siswa sering kali hanya diberikan penjelasan tentang proses pernapasan secara teori, seperti bagaimana oksigen masuk ke dalam tubuh dan peran paru-paru dalam proses tersebut. Sementara itu, aspek praktis yang dapat menghubungkan teori dengan dunia nyata, seperti bagaimana teknologi medis digunakan untuk mendiagnosis gangguan sistem pernapasan atau bagaimana proyek-proyek ilmiah yang berhubungan dengan sistem pernapasan dapat dilakukan, sering kali tidak dijadikan fokus pembelajaran.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL yang tidak hanya menyampaikan pengetahuan mengenai sistem pernapasan secara teoritis, tetapi juga

melibatkan siswa dalam proyek-proyek praktis yang dapat mengasah keterampilan 4C mereka. Dengan pendekatan ini, siswa akan diajak untuk bekerja sama dalam tim, memecahkan masalah secara kreatif, serta mengkomunikasikan temuan mereka dalam proyek yang berfokus pada penerapan konsep-konsep sistem pernapasan dalam konteks teknologi dan kehidupan nyata.

Diharapkan, melalui penerapan pendekatan STEM-PJBL pada materi sistem pernapasan, siswa tidak hanya memperoleh pemahaman yang mendalam tentang sistem pernapasan manusia, tetapi juga melatih keterampilan 4C mereka yang akan berguna dalam kehidupan pribadi dan profesional mereka di masa depan. Pembelajaran ini akan lebih menarik, bermakna, dan relevan dengan kebutuhan dunia kerja, serta dapat menjadi model bagi pengembangan perangkat pembelajaran pada mata pelajaran lainnya.

Penelitian ini juga berusaha untuk memberikan kontribusi pada upaya peningkatan kualitas pendidikan di Indonesia dengan mengintegrasikan pendekatan inovatif yang dapat mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan global, baik di bidang sains, teknologi, maupun kehidupan sosial dan profesional mereka.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengembangan perangkat pembelajaran yang berbasis STEM-PJBL untuk materi sistem pernapasan?
2. Bagaimana penerapan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL dapat melatih keterampilan 4C siswa?
3. Apa saja hambatan yang ditemukan dalam penerapan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL ini?

BAB 2

RENSTRA DAN PETA JALAN PENELITIAN PERGURUAN TINGGI

A. Rencana Strategis (Renstra) Perguruan Tinggi dalam Peningkatan Kualitas Pembelajaran

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan visi dan misi Perguruan Tinggi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas pendidikan, khususnya dalam menciptakan pembelajaran yang relevan dengan perkembangan zaman. Rencana strategis perguruan tinggi mencakup berbagai hal, salah satunya adalah peningkatan kualitas pembelajaran yang mampu mengintegrasikan teknologi dan metode pembelajaran yang efektif untuk menghasilkan lulusan yang kompeten di abad ke-21.

Fokus utama dari penelitian ini adalah pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) dan Project-Based Learning (PJBL). Pendekatan ini tidak hanya mendukung pemahaman konseptual siswa, tetapi juga keterampilan praktis yang sangat dibutuhkan di dunia kerja, seperti berpikir kritis, berkomunikasi efektif, berkolaborasi dengan baik, dan berkreasi (4C). Penelitian ini mengimplementasikan dua pendekatan ini dengan tujuan untuk mencapai standar kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan masa depan, yaitu pengembangan keterampilan abad ke-21 siswa.

B. Tujuan dan Manfaat Penelitian dalam Kerangka Renstra Perguruan Tinggi

1. **Tujuan Penelitian:** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL yang dapat diterapkan pada pembelajaran biologi, khususnya materi sistem pernapasan, serta meningkatkan keterampilan 4C siswa. Dengan perangkat pembelajaran ini, diharapkan siswa dapat lebih aktif, kreatif, dan kritis dalam pembelajaran yang dilaksanakan.

2. Manfaat Penelitian:

- **Bagi Perguruan Tinggi:** Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan model pembelajaran yang inovatif dan aplikatif yang mendukung pencapaian visi dan misi pendidikan tinggi, yaitu menghasilkan pendidik yang kompeten dalam menggunakan teknologi dalam pembelajaran.
- **Bagi Sekolah:** Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL memberikan referensi bagi guru untuk meningkatkan kualitas pembelajaran dan keterampilan abad ke-21 siswa, serta menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih menarik dan berbasis proyek.
- **Bagi Siswa:** Penerapan perangkat ini bertujuan untuk melatih keterampilan 4C siswa, yaitu berpikir kritis, berkomunikasi, berkolaborasi, dan berkreasi, yang akan membantu mereka dalam mempersiapkan diri menghadapi tantangan di dunia nyata.

C. Peta Jalan Penelitian

Peta jalan penelitian ini mencakup beberapa tahapan yang sistematis untuk memastikan bahwa penelitian ini berjalan secara efektif dan memberikan hasil yang diinginkan. Setiap tahapan memiliki tujuan dan kegiatan yang jelas yang perlu dilaksanakan untuk mencapai tujuan penelitian secara maksimal.

1. Tahap Pertama: Desain dan Pengembangan Perangkat Pembelajaran

Pada tahap ini, fokus utama adalah merancang perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL yang akan digunakan dalam pembelajaran materi sistem pernapasan. Tahapan ini meliputi:

- **Identifikasi Kebutuhan Pembelajaran:** Analisis kebutuhan siswa dan pengajaran terkait materi sistem pernapasan serta keterampilan 4C yang perlu ditingkatkan.

- **Desain Modul Pembelajaran:** Merancang materi ajar yang mengintegrasikan STEM (misalnya dengan menggunakan teknologi, model-model fisik, atau simulasi untuk menjelaskan sistem pernapasan) serta metode PJBL yang mengarah pada proyek berbasis masalah nyata.
- **Pengembangan Instrumen Evaluasi:** Membuat instrumen evaluasi yang dapat mengukur keterampilan 4C siswa, serta pengetahuan mereka tentang sistem pernapasan.
- **Pengembangan Bahan Ajar:** Menyusun bahan ajar berupa modul, lembar kerja siswa (LKS), panduan guru, dan alat evaluasi yang berbasis pada prinsip STEM-PJBL.

2. Tahap Kedua: Uji Coba Perangkat Pembelajaran di Kelas

Setelah perangkat pembelajaran dikembangkan, langkah berikutnya adalah melakukan uji coba di kelas. Tahap ini bertujuan untuk menguji keefektifan perangkat pembelajaran yang telah dikembangkan dalam konteks pembelajaran di sekolah. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- **Penyusunan Rencana Uji Coba:** Menyusun rencana uji coba yang mencakup pengaturan jadwal pembelajaran, pemilihan kelas yang akan digunakan sebagai sampel, serta metode yang akan digunakan untuk observasi dan pengumpulan data.
- **Pelaksanaan Uji Coba:** Melaksanakan pembelajaran menggunakan perangkat yang telah dikembangkan, dengan fokus pada penerapan pendekatan STEM-PJBL dalam mengajarkan materi sistem pernapasan.
- **Observasi dan Pengumpulan Data:** Melakukan observasi terhadap aktivitas siswa selama pembelajaran, serta mengumpulkan data mengenai keterampilan 4C mereka melalui instrumen evaluasi yang telah disiapkan.

- **Refleksi Siswa dan Guru:** Mengumpulkan masukan dari siswa dan guru untuk mengevaluasi efektivitas perangkat pembelajaran serta pengalaman belajar yang dirasakan oleh siswa.

3. Tahap Ketiga: Evaluasi Hasil dan Perbaikan Perangkat Pembelajaran

Setelah uji coba dilaksanakan, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi hasil uji coba untuk mengetahui apakah perangkat pembelajaran yang dikembangkan mampu mencapai tujuan penelitian. Evaluasi ini mencakup beberapa aspek, antara lain:

- **Analisis Data:** Menganalisis hasil evaluasi keterampilan 4C siswa dan pemahaman mereka terhadap materi sistem pernapasan. Data dari tes, observasi, dan kuesioner akan dianalisis untuk melihat sejauh mana perangkat pembelajaran dapat meningkatkan keterampilan siswa.
- **Perbaikan Perangkat Pembelajaran:** Berdasarkan hasil analisis data, perangkat pembelajaran akan direvisi untuk memperbaiki kekurangan yang ditemukan selama uji coba. Perbaikan ini bisa berupa perubahan dalam materi ajar, instrumen evaluasi, atau metode yang digunakan.
- **Revisi Berdasarkan Masukan Guru dan Siswa:** Melakukan revisi terhadap perangkat berdasarkan masukan dan saran dari guru dan siswa yang terlibat dalam uji coba.

4. Tahap Keempat: Penyebarluasan Hasil Penelitian

Tahap terakhir adalah menyebarluaskan hasil penelitian agar dapat dimanfaatkan oleh pihak-pihak yang berkepentingan, seperti pendidik, sekolah, dan lembaga pendidikan lainnya. Tahap ini meliputi:

- **Publikasi Artikel Ilmiah:** Menulis dan menerbitkan artikel ilmiah yang memaparkan hasil penelitian, metodologi, serta temuan utama dalam jurnal pendidikan atau konferensi ilmiah.

Dengan mengikuti peta jalan penelitian yang sistematis ini, diharapkan penelitian dapat mencapai tujuannya dengan maksimal, yaitu mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL yang efektif dalam melatih keterampilan 4C siswa dan memberikan dampak positif terhadap kualitas pendidikan di Indonesia.

BAB 3

KAJIAN PUSTAKA

Dalam bab ini, akan dibahas beberapa topik yang menjadi dasar dalam pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL untuk melatih keterampilan 4C siswa, serta bagaimana pendekatan ini dapat diterapkan pada materi sistem pernapasan. Kajian pustaka ini mencakup empat subtopik utama, yaitu: (1) Pendekatan STEM, (2) Project-Based Learning (PJBL), (3) Keterampilan 4C, (4) Materi Sistem Pernapasan, dan (5) Perangkat Pembelajaran.

A. Pendekatan STEM

Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) merupakan suatu pendekatan pendidikan yang mengintegrasikan empat disiplin ilmu utama, yaitu sains, teknologi, teknik, dan matematika. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mengembangkan keterampilan siswa dalam memecahkan masalah melalui penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi secara interdisipliner. STEM memungkinkan siswa untuk tidak hanya memahami teori yang diajarkan, tetapi juga menghubungkannya dengan aplikasi dunia nyata.

Dalam konteks pembelajaran, STEM berfokus pada pengembangan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Pembelajaran STEM mendorong siswa untuk mengidentifikasi masalah, merancang solusi, menguji, dan menganalisis hasilnya, sehingga mereka tidak hanya menguasai pengetahuan, tetapi juga memiliki keterampilan untuk berinovasi dan beradaptasi dengan perubahan yang terjadi. Dalam pendekatan STEM, integrasi antara sains dan teknologi dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna bagi siswa, terutama dalam konteks mengembangkan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan industri dan dunia kerja.

Penerapan STEM dalam pembelajaran biologi, misalnya pada materi sistem pernapasan, memungkinkan siswa untuk menghubungkan teori tentang proses pernapasan dengan teknologi yang digunakan dalam diagnosis dan penanganan

gangguan sistem pernapasan. Hal ini akan memperkaya pemahaman siswa mengenai relevansi materi pembelajaran dalam kehidupan nyata.

B. Project-Based Learning (PJBL)

Project-Based Learning (PJBL) adalah pendekatan pembelajaran yang berfokus pada pemecahan masalah nyata melalui proyek. Dalam PJBL, siswa diberikan kesempatan untuk bekerja dalam tim, menyelesaikan proyek, dan menghasilkan produk yang dapat dipresentasikan atau dipublikasikan. Proyek ini berhubungan langsung dengan dunia nyata, sehingga siswa tidak hanya belajar teori, tetapi juga dapat melihat aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.

PJBL sangat efektif dalam meningkatkan keterampilan 4C siswa, yaitu berpikir kritis, berkomunikasi, berkolaborasi, dan berkreasi. Dalam proses pengerjaan proyek, siswa dihadapkan pada masalah yang membutuhkan pemecahan secara kreatif dan kolaboratif. Mereka harus berkomunikasi dengan rekan sekelompok, menyampaikan ide dan temuan, serta bekerja sama untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Selain itu, proyek ini juga memungkinkan siswa untuk berpikir kritis dalam mengevaluasi solusi yang mereka temukan dan berkreasi dalam menghasilkan produk atau solusi inovatif.

Pada materi sistem pernapasan, PJBL memungkinkan siswa untuk merancang proyek seperti pembuatan model sistem pernapasan atau penelitian tentang dampak polusi terhadap kesehatan pernapasan. Dengan pendekatan ini, siswa tidak hanya belajar tentang teori, tetapi juga terlibat dalam proses penelitian dan pembuatan produk yang relevan dengan topik yang dipelajari.

C. Keterampilan 4C

Keterampilan 4C (Critical thinking, Communication, Collaboration, Creativity) merupakan keterampilan utama yang diperlukan siswa untuk berhasil di abad ke-21. Keterampilan ini sangat penting dalam menghadapi tantangan di dunia kerja yang semakin kompleks dan dinamis.

- **Berpikir Kritis (Critical Thinking):** Keterampilan ini melibatkan kemampuan untuk menganalisis informasi, mengidentifikasi masalah, mengevaluasi berbagai solusi, dan membuat keputusan yang rasional dan logis. Berpikir kritis juga berkaitan dengan kemampuan untuk mempertanyakan asumsi yang ada dan melihat masalah dari berbagai perspektif.
- **Komunikasi (Communication):** Kemampuan untuk menyampaikan ide, informasi, dan hasil secara efektif, baik secara lisan maupun tulisan. Komunikasi yang efektif juga melibatkan kemampuan mendengarkan dengan baik dan memberikan umpan balik yang konstruktif.
- **Kolaborasi (Collaboration):** Kemampuan untuk bekerja sama dengan orang lain dalam mencapai tujuan bersama. Kolaborasi melibatkan keterampilan interpersonal, kemampuan untuk mendengarkan, menghargai pendapat orang lain, dan bekerja dalam tim dengan berbagai latar belakang.
- **Kreativitas (Creativity):** Kemampuan untuk menghasilkan ide-ide baru, solusi inovatif, dan berpikir di luar kebiasaan. Kreativitas tidak hanya berkaitan dengan seni, tetapi juga dengan kemampuan untuk mengadaptasi dan menerapkan pengetahuan dalam cara yang baru dan berbeda.

Pendekatan STEM-PJBL adalah metode yang sangat efektif untuk mengembangkan keterampilan 4C ini, karena siswa tidak hanya bekerja secara teori, tetapi juga melalui pengalaman praktis dalam menyelesaikan proyek nyata. Dengan mengintegrasikan STEM-PJBL, siswa dapat mengasah keterampilan-keterampilan tersebut dalam konteks yang lebih aplikatif dan relevan dengan dunia nyata.

D. Materi Sistem Pernapasan

Materi sistem pernapasan dalam biologi adalah salah satu topik yang penting untuk dipelajari oleh siswa, karena berkaitan dengan fungsi dasar tubuh manusia yang mendukung kehidupan. Materi ini mencakup berbagai konsep, seperti

struktur dan fungsi organ-organ pernapasan, proses pertukaran gas antara oksigen dan karbon dioksida, serta pengaruh faktor eksternal, seperti polusi udara, terhadap kesehatan pernapasan.

Namun, pengajaran materi ini seringkali terbatas pada penyampaian konsep-konsep dasar tanpa mengaitkannya dengan aplikasi nyata yang dapat memperdalam pemahaman siswa. Misalnya, siswa dapat diberikan pengetahuan tentang bagaimana organ pernapasan bekerja, tetapi mereka tidak diberi kesempatan untuk melihat bagaimana teknologi digunakan untuk mendeteksi gangguan pada sistem pernapasan atau bagaimana rekayasa biologi dapat diterapkan dalam menciptakan solusi untuk penyakit pernapasan.

Dengan menggunakan pendekatan STEM-PJBL, siswa dapat terlibat dalam proyek-proyek yang berfokus pada penerapan konsep-konsep sistem pernapasan dalam konteks dunia nyata, seperti membuat model sistem pernapasan manusia atau merancang alat untuk membantu orang dengan gangguan pernapasan. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, berkomunikasi, berkolaborasi, dan berkreasi sambil mempelajari materi sistem pernapasan.

E. Perangkat Pembelajaran

Perangkat pembelajaran adalah alat atau bahan yang digunakan oleh pendidik untuk mendukung proses pembelajaran. Perangkat ini mencakup berbagai materi ajar, seperti modul, lembar kerja siswa (LKS), buku teks, dan alat evaluasi. Dalam konteks penelitian ini, perangkat pembelajaran yang dikembangkan akan berbasis pada pendekatan STEM-PJBL yang dirancang untuk meningkatkan keterampilan 4C siswa.

Perangkat pembelajaran yang berbasis STEM-PJBL harus mencakup beberapa komponen penting, antara lain:

- **Modul Pembelajaran:** Modul ini akan mencakup penjelasan teoritis tentang materi sistem pernapasan, serta kegiatan proyek yang mengintegrasikan konsep STEM. Modul ini harus dirancang agar siswa dapat belajar secara mandiri maupun dalam kelompok, dengan memberikan ruang untuk eksplorasi dan diskusi.
- **Lembar Kerja Siswa (LKS):** LKS akan berisi petunjuk untuk mengerjakan proyek, serta tugas-tugas yang dapat memandu siswa dalam menerapkan konsep yang telah dipelajari. LKS ini akan mengarahkan siswa untuk bekerja dalam kelompok, merencanakan, melaksanakan, dan menyelesaikan proyek.
- **Bahan Ajar:** Bahan ajar ini berfungsi sebagai panduan bagi guru dalam mengelola kelas, memfasilitasi kegiatan proyek, serta membantu siswa dalam menjalani pembelajaran yang aktif dan kolaboratif. Bahan ajar tersebut akan mencakup berbagai komponen yang mendukung pembelajaran yang efektif dan menarik, serta dirancang untuk melatih keterampilan 4C siswa.
- **Instrumen Evaluasi:** Instrumen evaluasi yang digunakan untuk mengukur keterampilan 4C siswa dapat berupa rubrik penilaian yang mencakup aspek berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas. Evaluasi ini akan dilakukan baik secara kualitatif melalui observasi, maupun secara kuantitatif melalui tes atau penilaian proyek.

BAB 4

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan **metode penelitian dan pengembangan (R&D)** yang bertujuan untuk mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL untuk materi sistem pernapasan. Pendekatan R&D memungkinkan peneliti untuk merancang, menguji, dan merevisi produk pembelajaran secara sistematis dan berkelanjutan. Penelitian ini melibatkan dua tahap uji coba perangkat pembelajaran, yaitu uji coba terbatas (skala kecil) dan uji coba skala besar, untuk mengumpulkan data kualitatif dan kuantitatif yang berguna dalam memperbaiki produk sebelum digunakan secara luas.

B. Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah **siswa sekolah menengah** yang akan mengikuti uji coba perangkat pembelajaran yang dikembangkan. Uji coba terbatas dilakukan di SMAN 12 Semarang dengan menggunakan satu kelas dari kelas XI yang dipilih secara purposive sampling. Kemudian, uji coba skala besar dilakukan di SMAN 16 Semarang dengan jumlah siswa yang lebih besar untuk menguji keefektifan perangkat pembelajaran dalam konteks yang lebih luas.

C. Langkah-langkah Pengembangan

1. Analisis Kebutuhan

Langkah pertama dalam pengembangan perangkat pembelajaran adalah **analisis kebutuhan**, yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan siswa, guru, dan kurikulum dalam pembelajaran materi sistem pernapasan. Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data mengenai aspek-aspek yang perlu diperbaiki dalam pembelajaran biologi, terutama yang berkaitan dengan pengembangan keterampilan 4C (berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas) siswa.

Dalam analisis kebutuhan, peneliti menganalisis kekurangan dalam pembelajaran materi sistem pernapasan yang ada pada pembelajaran tradisional. Ditemukan bahwa banyak siswa merasa kesulitan untuk menghubungkan konsep-konsep

ilmiah dengan kehidupan nyata, serta kurang terlibat dalam kegiatan yang melibatkan keterampilan praktis dan kreatif. Oleh karena itu, pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL bertujuan untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut dan memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan aplikatif.

D. Desain Perangkat Pembelajaran

Setelah analisis kebutuhan, langkah selanjutnya adalah **desain perangkat pembelajaran** berbasis STEM-PJBL. Perangkat ini dirancang untuk mendukung pengembangan keterampilan 4C siswa melalui kegiatan berbasis proyek yang terkait langsung dengan materi sistem pernapasan. Perangkat ini meliputi modul pembelajaran, lembar kerja siswa (LKS), panduan guru, dan instrumen penilaian yang berfokus pada pengembangan keterampilan berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas.

Pada tahap desain, modul pembelajaran yang dibuat harus mencakup teori tentang sistem pernapasan serta tugas proyek yang melibatkan penerapan konsep tersebut dalam situasi dunia nyata. Proyek ini mengajak siswa untuk bekerja dalam tim, merancang eksperimen, membuat model, atau melakukan penelitian terkait sistem pernapasan dengan menggunakan teknologi. Seluruh desain perangkat pembelajaran ini mengintegrasikan prinsip-prinsip STEM (sains, teknologi, rekayasa, matematika) dan melibatkan kegiatan berbasis proyek yang dapat meningkatkan keterampilan 4C siswa.

3. Uji Coba Perangkat Pembelajaran

Uji coba terbatas dilakukan di SMAN 12 Semarang dengan melibatkan satu kelas dari kelas XI yang dipilih secara purposive sampling. Pada uji coba terbatas ini, perangkat pembelajaran yang telah dirancang diujicobakan dalam situasi pembelajaran yang sesungguhnya, meskipun hanya di satu kelas dengan jumlah siswa terbatas. Siswa diberikan waktu 30 menit untuk membaca modul pembelajaran yang telah disiapkan, kemudian mereka mengisi angket untuk mengukur **keterbacaan** dan **kejelasan** materi. Uji coba ini bertujuan untuk

mendapatkan data kualitatif dan kuantitatif mengenai bagaimana siswa merespon perangkat pembelajaran dan sejauh mana perangkat ini dapat digunakan secara efektif dalam pembelajaran.

Hasil dari uji coba terbatas akan memberikan gambaran awal mengenai kejelasan dan efektivitas perangkat pembelajaran serta memberikan umpan balik untuk perbaikan sebelum perangkat tersebut digunakan dalam uji coba yang lebih besar. Angket yang diberikan berisi pertanyaan mengenai pemahaman materi, kejelasan instruksi dalam lembar kerja siswa, serta pendapat siswa mengenai cara pembelajaran yang digunakan dalam perangkat tersebut.

Setelah dilakukan **revisi** berdasarkan hasil uji coba terbatas, langkah selanjutnya adalah melakukan **uji coba skala besar** di SMAN 16 Semarang. Uji coba skala besar ini melibatkan lebih banyak siswa dan bertujuan untuk menguji **keterlaksanaan, respon guru, dan keefektifan perangkat pembelajaran** dalam konteks yang lebih luas. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL dapat diterapkan secara efektif di kelas, serta untuk mengevaluasi dampaknya terhadap keterampilan 4C siswa.

Pada tahap ini, pengumpulan data dilakukan menggunakan instrumen penilaian yang lebih lengkap, seperti tes, observasi, dan angket yang diisi oleh guru dan siswa. Guru diinstruksikan untuk mengamati proses pembelajaran dan memberikan umpan balik mengenai keefektifan perangkat ini dalam mendukung pembelajaran dan pengembangan keterampilan 4C siswa.

4. Evaluasi dan Revisi

Setelah melakukan uji coba terbatas dan uji coba skala besar, langkah terakhir adalah melakukan **evaluasi dan revisi** terhadap perangkat pembelajaran yang telah diuji. Evaluasi ini mencakup analisis data dari angket, hasil tes siswa, observasi guru, serta umpan balik dari siswa. Berdasarkan hasil evaluasi, perangkat pembelajaran akan diperbaiki untuk mengatasi masalah yang ditemukan, seperti memperjelas instruksi, menambah variasi tugas, atau menyesuaikan tingkat kesulitan materi dengan kemampuan siswa.

Proses evaluasi dan revisi ini akan memastikan bahwa perangkat pembelajaran yang dikembangkan efektif dalam meningkatkan keterampilan 4C siswa dan dapat digunakan dalam pembelajaran yang lebih luas. Hasil evaluasi ini akan menjadi dasar untuk pengembangan perangkat pembelajaran yang lebih baik dan lebih sesuai dengan kebutuhan pembelajaran di sekolah-sekolah lain.

E.

BAB 5

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

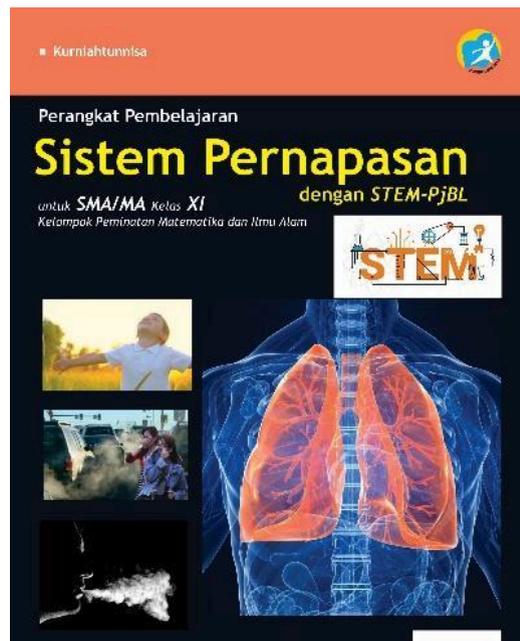
A. Hasil Penelitian

1. Perangkat Pembelajaran Materi Sistem Pernapasan dengan STEM-PjBL yang dikembangkan

Produk yang dikembangkan berupa silabus, rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP), bahan ajar, lembar kegiatan siswa (LKS) dan instrumen evaluasi pada sistem pernapasan menggunakan pendekatan STEM-PjBL yang ditujukan untuk siswa SMA kelas XI semester 2. Instrumen evaluasi yang dikembangkan berupa soal evaluasi kemampuan berpikir kritis siswa dan lembar observasi untuk evaluasi kemampuan berpikir komunikatif, kolaboratif, dan kreatif siswa. Desain perangkat pembelajaran untuk keseluruhan produk menggunakan kertas HVS ukuran A4 80 gram dengan tulisan Times New Roman 12 pt dan 1,5 spasi sedangkan untuk cover menggunakan kertas Glossy 210 gram yang di desain full colour. Tampilan desain dan konten perangkat pembelajaran dijabarkan sebagai berikut.

a. Tampilan Desain Perangkat Pembelajaran

Tampilan desain cover dengan soft cover yang dibuat dengan aplikasi corelDRAW X7. Desain depan perangkat pembelajaran berisi judul dengan background cover terdapat gambar paru-paru manusia dilengkapi dengan contoh gambar seseorang yang menikmati menghirup udara segar dan gambar orang sedang terpapar polusi udara.



Gambar 1 Desain Cover Perangkat Pembelajaran

b. Konten Perangkat Pembelajaran

Perangkat pembelajaran meliputi silabus, RPP, bahan ajar, lembar kerja siswa (LKS) dan instrumen evaluasi pada sistem pernapasan dengan memuat sintaks model PjBL dengan pendekatan STEM. Tampilan desain isi secara keseluruhan berupa rancangan kegiatan pembelajaran. Silabus, RPP, dan instrumen evaluasi dikembangkan sesuai panduan dengan spesifikasi tulisan Times New Roman 12 pt dan 1,5 spasi dengan mono colour (hitam). Bahan ajar serta lembar kerja siswa di desain full colour. Lembar kerja siswa dan bahan ajar yang dikembangkan dilengkapi dengan kegiatan Ayo Pikirkan yang berisi evaluasi materi untuk melatih kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa; kegiatan Ayo Berpikir Kritis dan Kreatif yaitu merancang proyek investigasi dan produk teknologi melatih 4C siswa; mempresentasikan hasil proyek teknologi melatih kemampuan komunikasi dan kolaborasi. Fitur Ayo Membaca, berisi

materi untuk menambah pemahaman dan mendorong siswa belajar. Fitur Tahukah kamu? berisi fakta menarik untuk meningkatkan rasa ingin tahu siswa.

Mathematic

Luas Permukaan dan Volume Organ Pernapasan

Ayo Pikirkan

Cermati dan lengkapi contoh berikut untuk membandingkan area luas permukaan paru-paru dengan organ pernapasan lain

Luas permukaan dikombinasikan dengan volume suatu organisme, akan menentukan cara organisme melakukan pertukaran gas. Bagaimana ukuran mempengaruhi area permukaan dengan rasio volume? Sebagai contoh sederhana bandingkan rasio luas permukaan terhadap volume kedua gambar berikut! Lengkapi tabel berikut dan tariklah kesimpulan rasio luas permukaan terhadap volume.

(a)
 (b)

Organisme	(a)	(b)
Volume	$= P \cdot L \cdot T$ $= 2 \times 2 \times 2 = 8$ satuan	
Area		$= 2(P \cdot L + P \cdot T + L \cdot T)$ $= 2(2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2)$ $= 16$ Satuan
Rasio luas permukaan terhadap volume	3 satuan	

KESIMPULAN:

LEMBAR KERJA SISWA (LKS) 1

SISTEM PERNAPASAN PADA MANUSIA

Nama Kelompok : _____

Anggota : 1) _____ 4) _____

2) _____ 5) _____

3) _____ 6) _____

Kelas : _____

1. Coba letakkan dua jarimu di depan kedua lubang hidungmu? Pasti kamu akan merasakan ada hembusan udara. Bagaimana udara dapat keluar masuk ke dalam tubuh? Organ apa saja yang berperan dalam pernapasan tersebut?

Perhatikan gambar organ penyusun sistem pernapasan di bawah ini. Lengkapi bagian yang kosong berdasarkan pilihan jawaban yang tersedia

_____	Epiglotis
_____	Laring
_____	Bronkus
_____	Trakea
_____	Membran pleura
_____	Cairan pleura
_____	Alveolus
_____	Paru-paru
_____	Bronkiolus
_____	Diaphragma

- Kapasitas inspirasi (KI)** adalah jumlah udara maksimal yang dapat diinspirasi setelah melakukan ekspirasi normal, atau sama dengan volume tidal ditambah volume cadangan inspirasi ($KI = VT + VCI$). Kapasitas inspirasi pada laki-laki dewasa sekitar 3.600 mL, sedangkan pada wanita sekitar 2.400 mL.
- Kapasitas vital (KV)** adalah jumlah udara maksimal yang dapat dikeluarkan dengan kuat setelah inspirasi maksimum, atau sama dengan penambahan volume tidal, volume cadangan inspirasi, dan volume cadangan ekspirasi ($KV = VT + VCI + VCE$). Kapasitas vital pada laki-laki dewasa sekitar 4.800 mL, sedangkan pada wanita sekitar 3.000 mL.
- Kapasitas total paru-paru (KTP)** adalah jumlah total udara yang dapat ditampung dalam paru-paru, atau sama dengan kapasitas vital ditambah volume residu ($KTP = KV + VR$). Kapasitas total paru-paru pada laki-laki dewasa sekitar 6.000 mL, sedangkan pada wanita dewasa sekitar 4.200 mL.
- Volume respirasi per menit** adalah volume tidal dikalikan dengan jumlah pernapasan per menit.
- Volume ekspirasi kuat dalam satu detik (VEK1)** atau ekspirasi paksa dalam satu detik adalah volume udara yang dapat dikeluarkan dari paru-paru yang terinflasi maksimum, pada saat detik pertama ekspirasi maksimum.

Tahukah Kamu?

Peter Reed adalah atlet dayung yang memiliki kapasitas paru-paru total terbesar.

Sumber: www.uspsports.org

Gambar. Spirogram volume dan kapasitas paru-paru (Sumber: scioly.org)

Ayo Pikirkan **Mathematic**

I. Perhatikan spirogram volume dan kapasitas paru-paru berikut

Udara sisa (residu) 1000 cc

Berdasarkan data volume udara tersebut, hitunglah kapasitas vital paru-paru!

II. Tentukan pernyataan berikut benar atau salah. Berikan pernyataan yang benar jika pernyataan tersebut salah!

	B	S
1. Volume udara tidal meningkat setelah melakukan latihan fisik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Volume udara tidal meningkat setelah melakukan latihan keras dengan intensitas yang tinggi karena lebih banyak suplai oksigen untuk aktivitas otot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Orang-orang yang lebih tinggi memiliki kapasitas vital yang lebih kecil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Laki-laki memiliki kapasitas vital yang lebih kecil dibandingkan perempuan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Orang yang aktif berolahraga akan memiliki kapasitas vital yang lebih tinggi dibandingkan orang yang jarang berolahraga.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kamu diperbolehkan untuk mencari sumber bacaan lain untuk menjabarkan menjawab soal evaluasi tersebut.

Gambar 2. Desain Konten Perangkat Pembelajaran

Produk yang dikembangkan berupa silabus, rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP), bahan ajar, lembar kegiatan siswa (LKS) dan instrumen evaluasi pada sistem pernapasan menggunakan pendekatan STEM-PjBL

- **Bahan Ajar (Modul Pembelajaran):** Bahan ajar ini dirancang untuk memberikan pemahaman teoritis mengenai sistem pernapasan manusia, serta mengaitkan konsep-konsep ilmiah dengan aplikasi nyata yang relevan. Bahan ajar ini tidak hanya berisi teori dasar tentang sistem pernapasan, tetapi juga dilengkapi dengan petunjuk untuk kegiatan proyek berbasis STEM. Dalam kegiatan proyek, siswa diajak untuk merancang dan membangun model sistem pernapasan yang menggambarkan cara kerja paru-paru, proses pertukaran gas, serta dampak dari faktor eksternal seperti polusi terhadap kesehatan pernapasan.
 - **Lembar Kerja Siswa (LKS):** LKS ini berisi tugas yang dirancang untuk melibatkan siswa dalam proses belajar yang lebih aktif dan kolaboratif. Setiap kelompok siswa diberikan instruksi untuk merancang dan mengembangkan model sistem pernapasan manusia, baik secara fisik maupun menggunakan perangkat teknologi. LKS ini juga memberikan arahan bagi siswa untuk memecahkan masalah melalui eksperimen di dalam kelompok.
 - **Instrumen Penilaian:** Instrumen penilaian digunakan untuk mengukur keterampilan 4C siswa yang meliputi berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas. Rubrik penilaian ini mengamati kemampuan siswa dalam berbagai hal, termasuk cara mereka memecahkan masalah, mengomunikasikan ide dan hasil eksperimen, berkolaborasi dalam kelompok, serta menciptakan ide-ide baru dalam proyek yang mereka kerjakan.
- 2. Penerapan STEM-PJBL** Dalam penerapan STEM-PJBL, siswa diberikan tugas proyek yang menggabungkan ilmu pengetahuan, teknologi, rekayasa, dan matematika untuk membuat **model sistem pernapasan manusia**. Proyek ini

mendorong siswa untuk berpikir kreatif, bekerja sama dalam kelompok, serta menggunakan teknologi untuk merancang dan membangun model yang menunjukkan cara kerja organ pernapasan. Dengan menggunakan perangkat teknologi, siswa dapat menyimulasikan proses pernapasan, menguji dampak polusi terhadap sistem pernapasan, serta menganalisis data eksperimen.

Pendekatan STEM-PJBL ini memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan aplikatif, di mana siswa dapat menghubungkan pengetahuan yang mereka pelajari dengan masalah dunia nyata dan teknologi yang ada di sekeliling mereka.

3. Peningkatan Keterampilan 4C Evaluasi terhadap keterampilan 4C siswa dilakukan melalui instrumen penilaian yang mencakup observasi, tes, serta umpan balik dari guru dan siswa. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan dalam keterampilan 4C siswa setelah menggunakan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL ini. Beberapa temuan utama adalah sebagai berikut:

- **Berpikir Kritis (Critical Thinking):** Siswa dapat lebih mudah menganalisis masalah terkait dengan sistem pernapasan dan mencari solusi melalui diskusi kelompok dan eksperimen yang mereka lakukan.
- **Komunikasi (Communication):** Siswa menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengomunikasikan ide dan hasil eksperimen mereka kepada teman-teman sekelompok dan guru.
- **Kolaborasi (Collaboration):** Dalam proyek berbasis kelompok, siswa mampu bekerja sama dengan baik, mendengarkan pendapat satu sama lain, dan menyelesaikan tugas bersama.
- **Kreativitas (Creativity):** Siswa menunjukkan tingkat kreativitas yang tinggi dalam merancang model sistem pernapasan dan menerapkan konsep-konsep ilmiah dalam cara yang inovatif.

4. Hambatan dalam Penerapan Perangkat Pembelajaran Meskipun perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL telah diterapkan dengan baik, terdapat

beberapa **hambatan** yang dihadapi selama proses implementasi. Hambatan-hambatan tersebut meliputi:

- **Keterbatasan Pengetahuan Awal Siswa:** Beberapa siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep dasar STEM (terutama dalam aspek engineering dan mathematics) yang diperlukan untuk proyek berbasis STEM-PJBL. Keterbatasan pemahaman ini mempengaruhi efektivitas penerapan model pembelajaran pada awalnya. Namun, dengan bantuan instruksi tambahan dan klarifikasi selama proses pembelajaran, siswa mulai memahami keterkaitan antar disiplin dalam proyek yang mereka kerjakan.**Kesulitan dalam Integrasi Aspek STEM:** Meskipun perangkat pembelajaran ini dirancang untuk mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika, beberapa siswa dan guru masih kesulitan untuk melihat bagaimana semua elemen STEM dapat bekerja secara bersamaan dalam pembelajaran yang lebih holistik. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pemahaman tentang bagaimana mengoperasionalkan elemen-elemen tersebut secara efektif dalam konteks pembelajaran sistem pernapasan.
- **Keterbatasan Waktu untuk Proyek:** Proyek berbasis STEM-PJBL membutuhkan waktu yang cukup untuk pelaksanaan, dan beberapa siswa merasa terburu-buru dalam menyelesaikan tugas-tugas mereka. Hal ini mempengaruhi kualitas kerja kelompok dan keterlibatan mereka dalam proses eksplorasi dan penelitian. Penjadwalan waktu yang lebih fleksibel dan alokasi waktu yang cukup untuk setiap tahap proyek bisa membantu mengatasi masalah ini.
- **Akses Terbatas terhadap Teknologi:** Meskipun proyek melibatkan penggunaan teknologi dan perangkat lunak untuk simulasi, beberapa sekolah yang menguji perangkat ini menghadapi masalah terkait dengan **akses terbatas** terhadap alat atau perangkat teknologi yang dibutuhkan, sehingga membatasi potensi penggunaan penuh teknologi dalam eksperimen dan proyek.

Hasil Validasi Perangkat Pembelajaran

Berdasarkan validasi dari beberapa validator ahli, perangkat pembelajaran yang dikembangkan dinilai sangat valid. Berikut adalah hasil penilaian kevalidan perangkat pembelajaran:

Tabel 1. Hasil Penilaian Kevalidan Perangkat Pembelajaran

No.	Aspek yang divalidasi	Rata-rata Penilaian Validator (%)				Kriteria
		Validator 1	Validator 2	Validator 3	Rata-rata	
1.	Silabus	90,62	93,75	81,25	88,54%	Sangat valid
2.	RPP	89	93,75	78	86,91%	Sangat valid
3.	Bahan Ajar	89,84	-	81,25	85,54%	Sangat valid
4.	LKS	93,33	-	78,33	85,83%	Sangat valid
5.	Evaluasi	87	-	85	86,67%	Sangat Valid
	Rata-rata	89,95	93,75	80,76	86,54	Sangat valid

Komentar dan Saran Validator

Validator memberikan beberapa saran untuk perbaikan perangkat pembelajaran yang dikembangkan. Berikut adalah komentar dan saran dari validator:

Tabel 2. Hasil Komentar dan Saran Validator terhadap Perangkat Pembelajaran STEM-PjBL

Jenis perangkat	Sumber revisi	Sebelum revisi	Sesudah revisi
Silabus	Validasi ahli	<ul style="list-style-type: none"> - Unsur engineering dan mathematics dalam STEM belum jelas dan pada lembar validasi belum ada penilaian unsur STEM - Dijabarkan sesuai dengan sintaks PjBL 	<ul style="list-style-type: none"> - Telah dikembangkan indikator dan kegiatan pembelajaran sesuai dengan pendekatan STEM - Pembelajaran dijabarkan sesuai sintaks PjBL
RPP	Validasi ahli	<ul style="list-style-type: none"> - Komponen RPP hanya memuat poin-poin materi dan belum ada penilaian kegiatan pembelajaran pada aspek engineering dan mathematics belum jelas dan perlu dioperasionalkan 	<ul style="list-style-type: none"> - materi ditulis secara lebih detail dan ditambahkan - skenario pembelajaran dijabarkan dengan jelas tahapannya - indikator menggunakan kata kerja operasional

Bahan Ajar	Uji coba skala kecil, Validasi ahli	<ul style="list-style-type: none"> - perlu memperluas materi agar lebih detail dipahami siswa - terdapat kesalahan penulisan - pendekatan STEM-PjBL kurang tereksplisit dalam bahan ajar 	<ul style="list-style-type: none"> - menambah keluasan materi - sudah diperbaiki sesuai saran - Pendekatan STEM-PjBL sudah dieksplisitkan
LKS	Validasi ahli	<ul style="list-style-type: none"> - belum menentukan waktu pengerjaan LKS - soal diskusi yang diberikan pada LKS kurang tepat 	<ul style="list-style-type: none"> - sudah ada alokasi waktu pengerjaan LKS - soal diskusi sudah diperbaiki sesuai saran
Evaluasi	Validasi ahli	<ul style="list-style-type: none"> - membuat soal evaluasi dengan jumlah yang seimbang untuk aspek STEM - pilihan jawaban pada soal belum ada pilihan yang tepat 	<ul style="list-style-type: none"> - soal yang dikembangkan sudah proporsional untuk semua aspek STEM - soal dihapus dan diganti dengan soal baru pada aspek matematika

Setelah dilakukan validasi isi, dilanjutkan dengan validasi empiris pada tes kemampuan berpikir kritis. Rekapitulasi hasil analisis jawaban uji coba butir soal tes kemampuan berpikir kritis disajikan pada Tabel 3.

Table 3. Hasil Analisis Jawaban Uji Coba Butir Soal

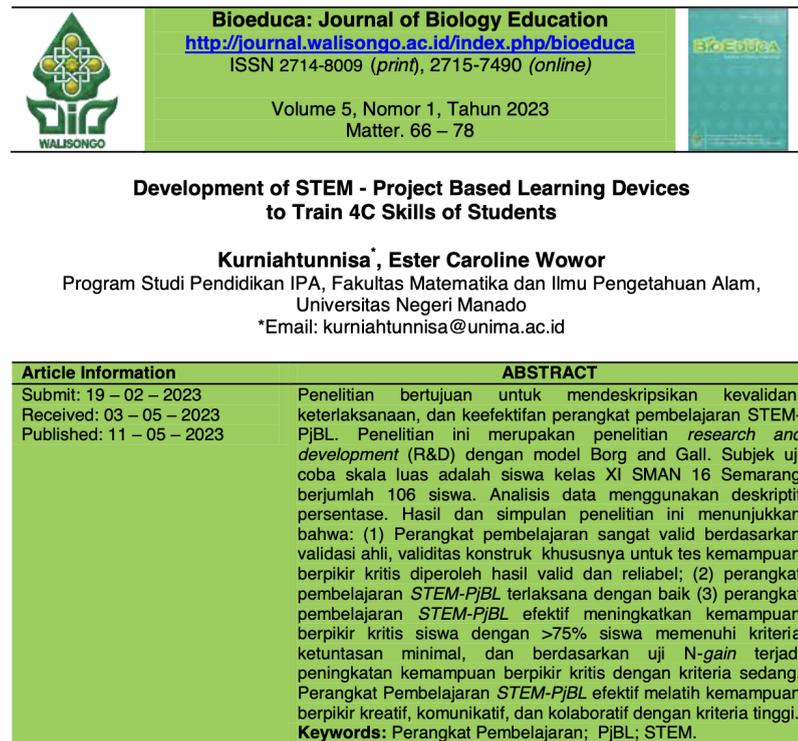
Analisis Jawaban	Kriteria	Jumlah Soal	Nomor Soal
Tingkat kesukaran	Sangat sukar	2	33,36
	Sukar	13	2,3,5,8,10,14,21,24,29,30,31,34,38
	Sedang	18	1,9,12,13,15,16,17,18,19,20,22,26,28,35,37,39, 40,41
	Mudah	3	4,25,42
Daya beda	Sangat mudah	6	6,7,11,23,27,32
	Baik	11	1, 9, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 29, 30, 37
	Cukup	20	2, 3, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 21, 28, 31, 33, 35, 38, 39, 40, 41
Validitas	Jelek	11	4, 7, 19, 23, 24, 25, 27, 32, 34, 36, 42
	Sangat valid	17	1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 18, 21, 22, 29, 30, 31, 38, 41
	Valid	13	5, 6, 12, 13, 20, 26, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 40

Tidak valid	12	4, 7, 15, 17, 19, 23, 24, 25, 27, 32, 33, 42
Uji reliabilitas butir soal	Reliabilitas soal tes dengan rumus belah dua ganjil-genap didapat r_{11} sebesar 0,74 dengan $n = 36$ dan $\alpha = 5\%$.	
Soal yang digunakan untuk pretest-posttest	1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 20, 21, 22, 26, 28, 29, 34, 35, 36, 37, 38, 40, dan 41	

B. Luaran yang Dicapai

1. Salah satu luaran utama dari penelitian ini adalah **pengembangan bahan ajar berbasis STEM-PJBL** yang dapat digunakan di sekolah-sekolah. Bahan ajar ini mencakup teori dasar tentang sistem pernapasan serta proyek-proyek berbasis STEM yang mengajak siswa untuk bekerja secara kolaboratif dan mengaplikasikan pengetahuan yang mereka pelajari. Bahan ajar ini bisa diadaptasi dan diterapkan dalam pembelajaran biologi di sekolah menengah untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi dan pengembangan keterampilan abad ke-21 mereka.
2. **Peningkatan Keterampilan 4C Siswa** Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penerapan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL dapat meningkatkan keterampilan 4C siswa secara signifikan. Siswa yang terlibat dalam proyek berbasis STEM-PJBL tidak hanya memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai sistem pernapasan, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis, berkomunikasi, berkolaborasi, dan berkreasi. Keterampilan ini penting untuk mempersiapkan siswa menghadapi tantangan abad ke-21 yang semakin kompleks.
3. **Penulisan Artikel Ilmiah** Sebagai luaran lain, artikel ilmiah yang membahas **pengembangan bahan ajar berbasis STEM-PJBL untuk materi sistem pernapasan** telah berhasil dipublikasikan di **jurnal Bioeduca**, yang terindeks pada **Sinta 4**. Artikel tersebut memaparkan

temuan-temuan dari penelitian ini, termasuk desain bahan ajar, metodologi uji coba, serta hasil evaluasi terhadap peningkatan keterampilan 4C siswa. Publikasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan pendidikan di Indonesia, khususnya dalam pembelajaran berbasis proyek yang mengintegrasikan STEM.



Gambar 3. Artikel yang telah dipublikasi

Dengan adanya luaran-luaran ini, diharapkan perangkat pembelajaran yang dikembangkan dapat digunakan lebih luas oleh guru-guru biologi di seluruh Indonesia. Selain itu, temuan dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas pendidikan di bidang sains dan teknologi, serta membantu mempersiapkan siswa dengan keterampilan yang diperlukan untuk menghadapi tantangan global di abad ke-21.

BAB 6

KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. **Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis STEM-PJBL:** Perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL yang dikembangkan untuk materi sistem pernapasan telah melalui proses validasi dan revisi yang menghasilkan perangkat yang sangat valid dan siap digunakan. Perangkat ini terdiri dari silabus, RPP, bahan ajar, LKS, dan evaluasi yang terintegrasi dengan pendekatan STEM, memungkinkan siswa untuk mengaplikasikan pengetahuan mereka melalui proyek berbasis teknologi dan rekayasa.
2. **Penerapan untuk Melatih Keterampilan 4C:** Penerapan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL secara signifikan dapat melatih keterampilan 4C siswa, yaitu berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam keterampilan ini, terutama melalui kegiatan proyek yang menantang siswa untuk bekerja dalam kelompok dan memecahkan masalah terkait sistem pernapasan.
3. **Hambatan dalam Penerapan:** Meskipun perangkat pembelajaran ini terbukti efektif, terdapat beberapa hambatan yang ditemukan selama penerapannya. Hambatan tersebut meliputi kurangnya pemahaman awal siswa terhadap konsep STEM dan kesulitan dalam mengintegrasikan semua aspek STEM (terutama engineering dan mathematics) dengan jelas. Namun, melalui revisi yang dilakukan, hambatan ini dapat diatasi dengan lebih jelas mengoperasionalkan unsur-unsur STEM dalam perangkat ajar.

BAB 7

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa arah yang perlu ditindaklanjuti untuk pengembangan lebih lanjut perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL, guna meningkatkan kualitas pembelajaran dan keterampilan abad ke-21 siswa. Penelitian selanjutnya akan berfokus pada tiga aspek utama, yaitu pengembangan perangkat pembelajaran untuk materi lain, evaluasi lebih lanjut terhadap efektivitas jangka panjang, serta penyebarluasan perangkat pembelajaran untuk penerapan yang lebih luas di sekolah-sekolah lain.

1. Pengembangan Perangkat Pembelajaran untuk Materi Lain dengan Pendekatan Serupa

Setelah berhasil mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis **STEM-PJBL** untuk materi sistem pernapasan, tahap selanjutnya adalah mengembangkan perangkat pembelajaran serupa untuk materi pelajaran lainnya di bidang **IPA** atau bahkan disiplin ilmu lainnya. Pendekatan STEM-PJBL yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan 4C siswa pada materi sistem pernapasan diharapkan dapat diaplikasikan pada topik-topik lain, seperti sistem pencernaan, sistem saraf, atau ekosistem.

Pengembangan perangkat ini bertujuan untuk memastikan bahwa siswa dapat memperoleh pengalaman belajar yang lebih holistik dan mengaitkan pengetahuan yang mereka pelajari dengan penerapan dunia nyata dalam berbagai konteks. Pendekatan ini juga berfokus pada **penguatan keterampilan abad ke-21** lainnya, seperti pemecahan masalah, berpikir kreatif, dan kolaborasi antar siswa, yang menjadi kunci dalam persiapan mereka untuk menghadapi tantangan di dunia kerja global.

2. Evaluasi Lebih Lanjut terhadap Efektivitas Jangka Panjang

Meskipun penelitian ini menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL berhasil meningkatkan keterampilan 4C siswa dalam jangka pendek, penting untuk melakukan **evaluasi jangka panjang** terhadap efektivitas perangkat ini. Evaluasi ini akan menilai seberapa besar dampak perangkat ini terhadap peningkatan kompetensi siswa dalam jangka panjang, baik dalam aspek akademik (pengetahuan tentang materi pelajaran) maupun pengembangan keterampilan abad ke-21 (berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas).

Penelitian jangka panjang akan mengumpulkan data dari berbagai kelompok siswa dan sekolah untuk melihat apakah keterampilan 4C yang dikembangkan melalui pembelajaran berbasis proyek ini bertahan seiring berjalannya waktu. Selain itu, evaluasi ini juga akan mencakup analisis terhadap **pengaruh penggunaan teknologi** dalam pembelajaran, serta **perbedaan performa siswa** yang menggunakan perangkat ini dibandingkan dengan siswa yang belajar menggunakan metode tradisional.

Evaluasi yang lebih mendalam ini akan memberikan **informasi berharga** mengenai keberlanjutan dan skalabilitas penggunaan perangkat berbasis STEM-PJBL di kelas-kelas lainnya, serta menyarankan perbaikan yang perlu dilakukan untuk memperkuat dampaknya.

3. Penyebarluasan Perangkat Pembelajaran ke Sekolah-Sekolah Lain untuk Penerapan yang Lebih Luas

Salah satu tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyediakan perangkat pembelajaran yang dapat diterapkan lebih luas di seluruh **sekolah-sekolah di Indonesia**. Oleh karena itu, tahap berikutnya adalah **penyebarluasan perangkat pembelajaran** ini ke sekolah-sekolah lain agar lebih banyak guru dan siswa dapat merasakan manfaat dari pendekatan STEM-PJBL.

Penyebarluasan ini akan dilakukan melalui beberapa langkah, seperti:

- **Pelatihan bagi Guru:** Mengadakan workshop atau pelatihan bagi guru-guru biologi dan IPA lainnya untuk mengenalkan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL dan cara mengimplementasikannya di kelas. Guru akan dibekali dengan keterampilan yang diperlukan untuk menggunakan perangkat ajar ini, serta strategi dalam mengintegrasikan teknologi dan proyek berbasis STEM ke dalam pembelajaran mereka.
- **Kolaborasi dengan Dinas Pendidikan:** Menjalin kemitraan dengan **dinas pendidikan** atau lembaga yang berfokus pada pengembangan pendidikan untuk mendukung penerapan perangkat ini di berbagai sekolah. Ini termasuk dukungan dalam hal pelatihan, distribusi materi ajar, serta pembiayaan untuk akses teknologi yang diperlukan.
- **Penyusunan Modul Online:** Membuat modul pembelajaran dalam bentuk digital yang dapat diakses secara daring oleh guru dan siswa di berbagai wilayah. Modul ini akan mempermudah penyebaran perangkat pembelajaran ke sekolah-sekolah yang memiliki keterbatasan dalam hal akses fisik terhadap bahan ajar atau alat peraga.

Penyebarluasan perangkat ini diharapkan dapat **memperluas cakupan penerapan STEM-PJBL**, sehingga lebih banyak siswa dapat terlibat dalam pembelajaran yang berbasis proyek, aktif, dan mengembangkan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan masa depan.

BAB 8

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut dan penerapan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL, khususnya untuk materi sistem pernapasan, serta untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di sekolah-sekolah:

1. Saran bagi Guru dan Pengelola Pendidikan

- 1) **Penerapan Pendekatan STEM-PJBL:** Guru disarankan untuk mengintegrasikan pendekatan berbasis STEM-PJBL dalam pembelajaran, terutama dalam mata pelajaran IPA. Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan 4C siswa. Untuk itu, guru perlu diberikan pelatihan intensif dalam merancang dan melaksanakan pembelajaran berbasis proyek yang menggabungkan aspek sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. Pendekatan ini juga memerlukan dukungan yang berkelanjutan untuk memastikan implementasi yang sukses di kelas.
- 2) **Penguatan Penggunaan Teknologi dalam Pembelajaran:** Meskipun perangkat berbasis STEM-PJBL menggabungkan teknologi, akses ke perangkat teknologi yang memadai masih menjadi tantangan di beberapa sekolah. Oleh karena itu, penting bagi guru untuk lebih mengoptimalkan penggunaan teknologi dalam pembelajaran, baik untuk eksperimen, simulasi, maupun penyampaian materi, guna meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep ilmiah yang lebih kompleks.
- 3) **Kolaborasi antara Guru dan Siswa:** Guru perlu mendorong lebih banyak kolaborasi antar siswa dalam proyek berbasis STEM. Kolaborasi ini akan membantu siswa dalam meningkatkan keterampilan komunikasi, bekerja sama dalam kelompok, dan memecahkan masalah secara kreatif. Guru sebaiknya memberikan kesempatan bagi siswa untuk berbagi ide dan mendiskusikan solusi yang dihasilkan selama proyek berlangsung.

2. Saran bagi Peneliti Selanjutnya

- 1) **Pengembangan Perangkat Pembelajaran untuk Materi Lain:** Penelitian ini difokuskan pada materi sistem pernapasan. Penelitian selanjutnya dapat memperluas pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM-PJBL untuk topik-topik lain dalam kurikulum IPA, seperti sistem pencernaan, sistem saraf, atau ekosistem. Dengan memperluas cakupan, perangkat pembelajaran ini dapat digunakan lebih luas di berbagai topik pembelajaran lainnya.
- 2) **Evaluasi Jangka Panjang terhadap Efektivitas Perangkat Pembelajaran:** Meskipun penelitian ini menunjukkan keberhasilan perangkat pembelajaran dalam meningkatkan keterampilan 4C siswa, evaluasi jangka panjang perlu dilakukan untuk menilai dampaknya dalam pengembangan keterampilan ini di luar konteks pembelajaran formal. Penelitian lebih lanjut dapat mengukur apakah keterampilan 4C yang diperoleh siswa melalui perangkat ini bertahan dalam jangka panjang dan membantu siswa dalam menyelesaikan masalah di dunia nyata.
- 3) **Analisis Pengaruh Pembelajaran STEM-PJBL terhadap Prestasi Akademik:** Penelitian mendatang sebaiknya juga mengevaluasi apakah pembelajaran berbasis STEM-PJBL berpengaruh positif terhadap peningkatan prestasi akademik siswa, khususnya dalam penguasaan konsep-konsep ilmiah yang diajarkan, serta apakah pendekatan ini dapat membantu siswa memahami hubungan antara teori dan aplikasi dalam kehidupan sehari-hari.

3. Saran bagi Pemerintah dan Pembuat Kebijakan

- 1) **Mendukung Implementasi STEM dalam Kurikulum Pendidikan:** Pemerintah disarankan untuk memberikan dukungan yang lebih kuat dalam pengintegrasian STEM ke dalam kurikulum pendidikan Indonesia. Kebijakan yang mendorong penerapan pembelajaran berbasis proyek, seperti STEM-PJBL, sangat penting untuk mempersiapkan siswa

menghadapi tantangan masa depan yang memerlukan keterampilan berpikir kritis, berkolaborasi, dan berkreasi.

- 2) **Penyediaan Sumber Daya untuk Sekolah:** Pemerintah perlu mendukung penyediaan sumber daya yang cukup bagi sekolah, terutama dalam hal akses terhadap teknologi yang diperlukan untuk mendukung penerapan pembelajaran berbasis STEM. Hal ini mencakup tidak hanya alat peraga, tetapi juga perangkat lunak, perangkat keras, dan pelatihan bagi guru.
- 3) **Fasilitasi Kerjasama dengan Lembaga Pendidikan dan Industri:** Pemerintah dapat menjembatani kerjasama antara sekolah dan lembaga pendidikan lainnya, serta industri yang berfokus pada teknologi dan rekayasa. Dengan kolaborasi ini, pembelajaran STEM dapat lebih relevan dengan kebutuhan industri, memberikan pengalaman dunia nyata kepada siswa, serta memperluas wawasan mereka dalam mengaplikasikan ilmu yang dipelajari.

DAFTAR PUSTAKA

- Addy, T. M., Leprevost, C., & Stevenson, M. (2014). Thinking Critically in Undergraduate Biology: Flipping the Classroom and Problem-Based Learning. *Double Helix*, 2(January 2014), 1–9.
- Afriana, J., Permanasari, A., & Fitriani, A. (2016). Project Based Learning Integrated to STEM to Enhance Elementary School's Students Scientific Literacy. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 5(2), 261–267. <https://doi.org/10.15294/jpii.v5i2.5493>
- Amoako-agyeman, K. (2016). Measuring Creativity with Divergent Thinking Tasks: Communication Design Students Experience. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 2(4 November 2016).
- Argarini, D. F., Budiyo, B., & Sujadi, I. (2014). Karakteristik Berpikir Kreatif Siswa Kelas VII SMP N 1 Kragan dalam Memecahkan dan Mengajukan Masalah Matematika Materi Perbandingan ditinjau dari Gaya Kognitif. *Journal on Mathematics and Mathematics Education*, 4(2), 1–12. Retrieved from <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/jmme/article/view/5301>
- Arikunto, S. (2013). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Arsyad, A. (2010). *Media Pembelajaran*. Jakarta: PT Raya Grafindo Persada.
- Baker, E., Trygg, B., Otto, P., Tudor, M., & Ferguson, L. (2011). Project-Based Learning Model Relevant Learning Relevant Learning for the 21 st Century. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3491>
- Bariyah, L., Budiono, J. D., & Rahayu, Y. S. (2014). Analisis Kesesuaian RPP dan Pelaksanaan Pembelajaran Guru SMP di Kabupaten Mojokerto pada Sub Materi Fotosintesis dengan Kurikulum 2013. *Jurnal BioEdu - Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi UNESA*, 3(3), 453–460.

Bedard, D., Lison, C., Dalle, D., Cote, D., & Boutin, N. (2012). Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering and Medicine: Determinants of Students' Engagement and Persistence. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 6(2). <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1355>

BIE. (2015). PBL for 21st Century Success: Teaching Critical Thinking , Collaboration, Communication, and Creativity. BIE. How to use the 4Cs Rubrics. Retrieved from website: http://bie.org/blog/how_to_use_the_4cs_rubrics

Birgili, B. (2015). Creative and Critical Thinking Skills in Problem-based Learning Environments. *Journal of Gifted Education and Creativity*, 2(2), 71–71. <https://doi.org/10.18200/jgedc.2015214253>

Blume, B. D., Baldwin, T. T., & Ryan, K. C. (2013). Communication Apprehension: A Barrier to Students' Leadership, Adaptability, and Multicultural Appreciation. *Academy of Management Learning and Education*, 12(2), 158–172. <https://doi.org/10.5465/amle.2011.0127>

BNSP. (2010). *Paradigma Pendidikan Nasional Abad XXI*. Jakarta: BNSP.

BNSP. (2014). *Instrumen Penilaian Buku Teks Tahun 2014*. Jakarta: Badan Standar Nasional Pendidikan.

Borg, W.R. & Gall, M. D. (1989). *Educational Research: An Introduction*. New York: Longman.

Brousseau, G. (2002). Theory of Didactical Situations in Mathematics. In *Nordic Research in Mathematics Education* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1007/0-306-47211-2>

Bybee, R. W. (2013). *The Case for Education Challenges and Opportunities*. Arlington, Virginia: National Science Teachers Assosiation.

Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (2013). STEM Project-Based Learning an Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach. <https://doi.org/10.1007/978-94-6209-143-6>

Cresswell, J. W. (2013). *Research Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Dedovets, Z., & Rodionov, M. (2015). The Development of Student Core Competencies through the STEM Education Opportunities in Classroom. *International Journal of Educational and Pedagogical Sciences*, 9(10), 3121–3124.

Departemen Pendidikan Nasional. (2008). *Kamus Besar Bahasa Indonesia Pusat Bahasa (Edisi ke-4)*. Jakarta: Gramedia.

Ejiwale, J. A. (2015). Barriers to Successful Implementation of STEM Education. *Journal of Education and Learning*, 7(2), 63–74. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24436-5_20

El-Deghaidy, H., Mansour, N., Alzaghbi, M., & Alhammad, K. (2017). Context of STEM Integration in Schools: Views from In-Service Science Teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(6), 2459–2484. <https://doi.org/10.12973/EURASIA.2017.01235A>

Ennis, R. H. (2016). *Critical Thinking Across the Curriculum: A Vision*. *Topoi*, 37(1), 165–184. <https://doi.org/10.1007/s11245-016-9401-4>

Eskin, S., Bachnak, R., & Wirick, D. (2018). A Summer Enrichment Program to Prepare Students for STEM Majors in College. *Proceeding of the 2018 Conference for Industry and Education Collaboration*, 2.

Fadllan, A., Hartono, Susilo, & Saptono, S. (2019). Scientific Creativity Profile of Mathematics and Science Students. *Advances in Social Science, Education, and Humanities Research (ASSEHR)*, 247(ISET), 50–55. <https://doi.org/10.2991/iset-18.2018.11>

Fahrirroh, A., & Anggraito, Y. U. (2015). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis Problem Based Learning pada Materi Virus Kelas X SMA. *Unnes Journal of Biology Education*, 4(2), 149–155.

Fatimah, A. T., & Amam, A. (2018). Rencana Pelaksanaan Pembelajaran Matematika di Sekolah Menengah Kejuruan. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran Matematika*, 11(2), 77–90. <https://doi.org/10.30870/jppm.v11i2.3756>

Firman, H. (2016). Pendidikan STEM sebagai Kerangka Inovasi Pembelajaran Kimia untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa dalam Era Masyarakat Ekonomi ASEAN. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pembelajarannya*, (40154). Retrieved from <http://fmipa.unesa.ac.id/kimia/wp-content/uploads/2016/11/1-7-Harry-Firman.pdf>

Fitri, F. A., Anggraito, Y. U., & Alimah, S. (2018). The Effectiveness of Guided Inquiry Strategy on Students' Collaborative Skill. *Journal of Biology Education*, 7(2), 144–150. <https://doi.org/10.15294/jbe.v7i2.24278>

Fitriani, D., Kaniawati, I., & Suwarma, I. R. (2017). Pengaruh Pembelajaran Berbasis STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) Pada Konsep Tekanan Hidrostatik terhadap Causal Reasoning Siswa SMP. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2017*, VI, 47–52. <https://doi.org/doi.org/10.21009/03.SNF2017.01.EER.08>

Furi, L. M. I., Handayani, S., & Maharani, S. (2018). Eksperimen Model Pembelajaran Project Based Learning dan Project Based Learning Terintegrasi STEM untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa dan Kreativitas Siswa pada Kompetensi Dasar Teknologi Pengolahan Susu. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 35(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/jpp.v35i1.13886>

Greenstein, L. (2012). *Assessing 21st Century Skill: A Guide to Evaluating Mastery and Authentic Learning*. United States of America: Corwin A Sage Company.

Hall, W., Palmer, S., & Bennett, M. (2012). A Longitudinal Evaluation of a Project-based Learning Initiative in An Engineering Undergraduate Programme. *European Journal of Engineering Education*, 37(2), 155–165. <https://doi.org/10.1080/03043797.2012.674489>

Hamdani. (2011). *Strategi Belajar Mengajar*. Bandung: Pustaka Setia.

Hermawan, H., Siahaan, P., Suhendi, E., & Samsudin, A. (2017). Desain Rubrik Kemampuan Berkolaborasi Siswa SMP dalam Materi Pemantulan Cahaya. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, (December). <https://doi.org/10.21009/1.03207>

Hestari, S., Susantimi, E., & Lisdiana, L. (2016). Validitas, Kepraktisan, dan Efektivitas Media Pembelajaran Papan Magnetik pada Materi Mutasi Gen. *BioEdu*, 5(1), 7–13.

Hidayah, F., Alimah, S., & Anggraito, Y. U. (2019). The Influence of Learning Cycle Model Against The Motivation of Learning and Critical Thinking Skills of Students on The Material of The Human Digestive System. *Journal of Biology Education*, 8(1), 62–72.

Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2009). The Meaning of Scientific Literacy. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(3), 275–288.

Husin, W. N. F. W., Arsad, N. M., Othman, O., Rasul, M. S., Osman, K., & Iksan, Z. (2016). Fostering Students' 21st Century Skills through Project Oriented Problem Based Learning (POPBL) in Integrated STEM Education Program. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 17(1).

Ihsan, H. (2015). Validitas Isi Alat Ukur Penelitian: Konsep dan Panduan Penilaiannya. *PEDAGOGIA: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 13(3), 266–273. <https://doi.org/10.17509/pedagogia.v13i3.6004>

Karakoç, M. (2016). The Significance of Critical Thinking Ability in terms of Education. *International Journal of Humanities and Social Science*, 6(7), 81–84. Retrieved from http://www.ijhssnet.com/journals/Vol_6_No_7_July_2016/10.pdf

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A Conceptual Framework for Integrated STEM Education. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

Khaeroningtyas, N., Permanasari, A., & Hamidah, I. (2016). STEM Learning in Material of Temperature and Its Change to Improve Scientific Literacy of Junior High School Students. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 5(1), 94–100. <https://doi.org/10.15294/jpii.v5i1.5797>

Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-Based Learning: A Review of The Literature. *Improving Schools*, 19(3), 267–277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>

Kumar, R., & James, R. (2015). Evaluation of Critical Thinking in Higher Education in Oman. *International Journal of Higher Education*, 4(3), 33–43. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v4n3p33>

Kurniahtunnisa, Dewi, N. K., & Utami, N. R. (2016). Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Materi Sistem Ekskresi. *Journal of Biology Education*, 5(3), 310–318. Retrieved from <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujbe>

Lee, J., Lee, Y., Gong, S., Bae, J., & Choi, M. (2016). A Meta-Analysis of The Effects of Non-Traditional Teaching Methods on The Critical Thinking Abilities of Nursing Students. *BMC Medical Education*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12909-016-0761-7>

Lipson, A., Epstein, A. W., Bras, R., & Hodges, K. (2007). Students' Perceptions of Terrascope, A Project-Based Freshman Learning Community. *Journal of*

Science Education and Technology, 16(4), 349–364.
<https://doi.org/10.1007/s10956-007-9046-6>

Lou, S. J., Chou, Y. C., Shih, R. C., & Chung, C. C. (2017). A Study of Creativity in CaC2 Steamship-derived STEM Project-Based Learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(6), 2387–2404.
<https://doi.org/10.12973/EURASIA.2017.01231A>

Luthvitasari, N., Putra, N. M. D., & Linuwih, S. (2012). Implementasi Pembelajaran Fisika Berbasis Proyek terhadap Keterampilan Berpikir Kritis, Berpikir Kreatif dan Kemahiran Generik Sains. *Journal of Innovative Science Education*, 4(2), 92–97.

Martinez, J. E. (2017). The Search for Method in STEAM Education.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-55822-6>

Melindawati, S. (2016). Pengembangan Bahan Ajar Tematik Terpadu dengan Model Problem Based Learning di Kelas IV Sekolah Dasar. *ESJ*, 5(1), 1–12.

Milla, D., A.W., J., & H., S. (2019). The Effectiveness Project Based Learning for Biology Class in Developing the Processing Skills and Creativity of High School Students. *Unnes Science Education Journal*, 8(1), 25–30.

Morrison, J. (2006). TIES STEM Education Monograph Series: Attributes of STEM Education. *Teaching Institute for Essential Science*, 6, 0–6.

Munandar, U. (2009). *Pengembangan Kreativitas Anak Berbakat*. Jakarta: Rineka Cipta.

Munawaroh, R., Rusilowati, A., & Fianti. (2018). Improving Scientific and Creativity through Project Based Learning. *Physics Communication*, 2(2), 85–93.

Nesusin, N., Intrarakhamhaeng, P., Supadol, P., Piengkes, N., & Poonpipathana, S. (2014). Development of Lesson Plans by the Lesson Study Approach for the 6 th

Grade Students in Social Study Subject Based on Open Approach Innovation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 1411–1415. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.407>

Ngabekti, S., Prasetyo, A. P. B., Hardianti, R. D., & Teampanpong, J. (2019). The Development of STEM Mobile Learning Package Ecosystem. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(1), 81–88. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i1.16905>

Osborne, J. (2014). Teaching Critical Thinking? New Directions in Science Education. *School Science Review*, 95(352), 53–62.

Osman, K., & Saat, R. M. (2014). Editorial. Science technology, engineering and mathematics (STEM) education in Malaysia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 10(3), 153–154. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1077a>

Papanikolaou, K., & Boubouka, M. (2010). Promoting Collaboration in a Learning Context. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(2), 135–155. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15391523.2010.10782566>

Pedrosa-de-jesus, H., Moreira, A., Lopes, B., & Watts, M. (2014). So Much More Than Just a List: Exploring The Nature of Critical Questioning in Undergraduate Sciences. *Research in Science and Technological Education*, 32(2), 115–134. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.902811>

Popham, W. J. (2011). *Classroom Assesment., What Teacher Need to Know*. Boston: Pearson.

Purwanto, M. N. (2009). *Prinsip-Prinsip dan Teknik Evaluasi Pengajaran*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.

Putra, A. P., & Basuki, I. (2018). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model PjBL berbantuan Software EKTS pada Mapel IML di SMKN 1 Kediri. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 7(4), 11–17.

Ralph, R. A. (2015). Post Secondary Project-Based Learning in Science, Technology, Engineering and Mathematics. *Journal of Technology and Science Education*, 6(1), 26–35.

Ravitz, J., & Blazeovski, J. (2014). Assessing The Role of Online Technologies in Project-based Learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 8(1), 4–10. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1410>

Redhana, I. W. (2012). Model Pembelajaran Berbasis Masalah dan Pertanyaan Socratic untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, (3), 351–365. <https://doi.org/10.21831/cp.v0i3.1136>

Retnaningsih, Ridlo, S., & Nugrahaningsih, W. H. (2018). The Effectiveness of Project-Based Learning Model and Assessment of Learning Outcomes Against Portfolio. *Journal of Innovative Science Education*, 7(2), 397–406.

Ritz, J. M., & Fan, S.-C. (2014). STEM and Technology Education : International State of The Art. *Int J Technol Des Educ*. <https://doi.org/10.1007/s10798-014-9290-z>

Rochmawati, A., Wiyanto, & Ridlo, S. (2020). Analysis of 21 st Century Skills of Student on Implementation Project Based Learning and Problem Posing Models in Science Learning. *Journal of Primary Education*, 9(1), 58–67.

Roekel, D. Van. (2016). Preparing 21st Century Students for a Global Society: An Educator Guide to the “Four Cs.” National Education Assosiation.

Rusilowati, A., Nugroho, S. E., Susilowati, E. S. M., Mustika, T., Harfiyani, N., & Prabowo, H. T. (2018). The Development of Scientific Literacy Assessment to Measure Student’s Scientific Literacy Skills in Energy Theme. *International*

Conference on Mathematics, Science, and Education (ICMSE), 983, 1–6.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/983/1/012046>

Rustaman, N. Y., Afianti, E., & Maryati, S. (2018). STEM Based Learning to Facilitate Middle School Students' Conceptual Change, Creativity and Collaboration in Organization of Living System Topic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012021>

Ryu, M., Mentzer, N., & Knobloch, N. (2018). Preservice Teachers' Experiences of STEM Integration: Challenges and Implications for Integrated STEM Teacher Preparation. *International Journal of Technology and Design Education*, 1–20.
<https://doi.org/10.1007/s10798-018-9440-9>

Sababha, B. H., Alqudah, Y. A., Abualbasal, A., & Alqaralleh, E. A. (2016). Project-Based Learning to Enhance Teaching Embedded Systems. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(9), 2575–2585.
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1267a>

Sambada, D. (2012). Peranan Kreativitas Siswa terhadap Kemampuan Memecahkan Masalah Fisika dalam Pembelajaran Kontekstual. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 2(2), 37.
<https://doi.org/10.26740/jpfa.v2n2.p37-47>

Santos, L. F. (2017). The Role of Critical Thinking in Science Education. *Journal of Education and Practice*, 8(20), 158–173.

Shernoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M., & Ginsburg, L. (2017). Assessing Teacher Education and Professional Development Needs for The Implementation of Integrated Approaches to STEM Education. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0068-1>

Siew, N. M., Amir, N., & Chong, C. L. (2015). The Perceptions of Pre-Service and In-Service Teachers Regarding a Project-Based STEM Approach to Teaching Science. *Springer Plus*, 4(OECD 2014), 1–20.

Soros, P., Ponkham, K., & Ekkapim, S. (2018). The Results of STEM Education Methods for Enhancing Critical Thinking and Problem Solving Skill in Physics the 10th Grade Level. *AIP Conference Proceedings*, 1923. <https://doi.org/10.1063/1.5019536>

Soyomukti. (2010). *Teori-Teori Pendidikan*. Jogjakarta: Ar-ruzz Media.

Sutrisno, J. (2008). *Teknik Penyusunan Modul*. Jakarta: Depdiknas.

Tiruneh, D. T., De Cock, M., & Elen, J. (2018). Designing Learning Environments for Critical Thinking: Examining Effective Instructional Approaches. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(6), 1065–1089. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9829-z>

Trilling, B. & Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*. Jossey-Bass.

Tsai, Y., Chan, H.-S., & Huang, Y.-C. (2016). To Explore Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) through into Massage Therapy in a Project-Based Learning (PjBL) Environment. *International Journal of Education and Research*, 4(7), 301–314.

Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., & Chen, W. P. (2013). Attitudes Towards Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) in A Project-Based Learning (PjBL) Environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87–102. <https://doi.org/10.1007/s10798-011-9160-x>

Turner, S. (2013). Teachers' and Pupils' Perceptions of Creativity across Different Key Stages. *Research in Education*, 89(1), 23–40. <https://doi.org/10.7227/RIE.89.1.3>

Wekesa, N. W., & Ongunya, R. O. (2016). Project Based Learning on Students' Performance in the Concept of Classification of Organisms Among Secondary Schools in Kenya. *Journal of Education and Practice*, 7(16), 25–31.

Williams, J. (2011). STEM Education: Proceed with Caution. *Design and Technology Education: An International Journal*, 16(1), 26–35.
<https://doi.org/10.1002/ijc.1437>

Woro, S. (2015). The Strengths and Weakness of the Implementaion of Project Based Learning. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(3), 478–484.

LAMPIRAN 1. HASIL VALIDASI PRODUK

Rekapitulasi Penilaian Silabus oleh Validator				
No	Aspek yang Dinilai	Penilaian		
		validator 1	validator 2	Validator 3
	Format			
1	Kelengkapan silabus (memuat komponen silabus yaitu identitas, KI, KD, materi pokok, kegiatan pembelajaran, indikator, instrumen penilaian, alokasi waktu, dan sumber belajar)	4	4	3
2	Komponen silabus ditulis sesuai dengan standar isi Kurikulum 2013	4	4	3
	Isi			
3	Mengkaji keterkaitan antar standar Kompetensi (SK) dan Kompetensi Dasar (KD) dalam mata pelajaran	4	4	3
4	Mengidentifikasi materi yang menunjang pencapaian KD	4	4	4
5	Materi sistem pernapasan yang dikembangkan sudah sesuai dengan kompetensi dasar (KD) dan indikator	3	3	4
6	Kegiatan pembelajaran dirancang dan dikembangkan berdasarkan KI, KD, dan potensi siswa	3	4	3
7	Kegiatan pembelajaran dirancang dan dikembangkan berdasarkan kompetensi dasar yang dikaitkan dengan aspek STEM	4	3	3
8	Kesesuaian uraian aspek STEM-PjBL dalam kegiatan pembelajaran	3	3	3
9	Merumuskan indikator pencapaian kompetensi	3	4	4
10	Menentukan sumber belajar yang disesuaikan dengan KI, KD, serta materi pokok, kegiatan pembelajaran dan indikator pencapaian kompetensi	4	4	3
11	Prosedur dan penilaian kemampuan kognitif dan keterampilan siswa disesuaikan dengan indikator pencapaian kompetensi dan aspek STEM	4	3	2
	Bahasa			

12	Penggunaan bahasa sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia yang baik dan benar	4	4	4
13	Bahasa yang digunakan singkat dan jelas (tidak menimbulkan pengertian ganda)	4	4	4
	Waktu			
14	Kesesuaian alokasi yang digunakan	4	4	3
15	Pemilihan alokasi waktu didasarkan pada tuntutan kompetensi dasar	3	4	3
16	Pemilihan alokasi waktu didasarkan pada ketersediaan alokasi waktu per semester	3	4	3
	Persentase	90.63	93.75	81.25
	Kriteria	Sangat Valid	Sangat Valid	Sangat Valid

Rekapitulasi Penilaian RPP oleh Validator				
No	Aspek yang Dinilai	Skala Penilaian		
		Validator 1	Validator 2	Validator 3
	Format			
1	Kelengkapan RPP (memuat komponen-komponen RPP yaitu identitas, tujuan pembelajaran, materi, metode, kegiatan pembelajaran, sumber belajar, dan penilaian)	4	4	2
2	Penulisan RPP (penomoran, jenis, dan ukuran huruf)	4	4	4
	Isi			
3	Rumusan KI dan KD sesuai dengan standar isi Kurikulum 2013	4	4	3
4	Kesesuaian indikator pembelajaran dengan kompetensi dasar	3	4	4
5	Perumusan tujuan pembelajaran dinyatakan dengan jelas	3	4	3
6	Indikator dirumuskan dengan menggunakan kata kerja operasional yang dapat diukur dan diamati	3	3	3
7	Kesesuaian indikator pembelajaran dengan tingkat perkembangan siswa	3	4	3
8	Setiap KD dikembangkan menjadi beberapa indikator (minimal satu KD ada dua indikator)	4	4	4

9	Cakupan materi sesuai dengan kompetensi yang akan dicapai	3	4	3
10	Memuat rangkaian kegiatan pembelajaran secara berurutan(pendahuluan, kegiatan inti dan penutup)	4	4	3
11	Kegiatan pembelajaran dijabarkan dengan jelas	4	4	3
12	Kegiatan pembelajaran dirancang dan dikembangkan berdasarkan kompetensi dasar yang dikaitkan dengan aspek STEM	4	3	3
13	Kesesuaian uraian tahapan pembelajaran menggunakan pendekatan STEM-PjBL	3	3	4
14	Setiap pertemuan menerapkan pendekatan STEM-PjBL	3	3	3
15	Kegiatan pembelajaran yang direncanakan mendukung pencapaian kompetensi yang dirumuskan	4	4	3
16	Kesesuaian perkiraan alokasi waktu dengan kegiatan yang dilakukan	4	4	2
17	Prosedur dan penilaian kemampuan kognitif dan keterampilan siswa disesuaikan dengan indikator pencapaian kompetensi dan aspek STEM	4	4	3
	Bahasa			
18	Penggunaan bahasa sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia yang baik dan benar	4	4	4
19	Bahasa yang digunakan singkat dan jelas (tidak menimbulkan pengertian ganda)	4	4	3
	Persentase	90.79	94.74	78.95
	Kriteria	Sangat Valid	Sangat Valid	Valid

Rekapitulasi Penilaian Bahan Ajar oleh Validator			
No	Aspek yang dinilai	Penilaian	
		Validator 1	Validator 3
I	Komponen Kelayakan Isi		
A	Cakupan Materi		
	1. Materi yang dikembangkan sesuai dengan KI dan KD	4	3
	2. Kesesuaian keluasan materi dan kedalaman materi yang dikembangkan	4	3

	3. Materi yang dikembangkan dikaitkan dengan unsur STEM	4	3
B	Akurasi Materi		
	1. Akurasi fakta	4	3
	2. Akurasi konsep	4	3
	3. Akurasi prosedur dan metode serta ketepatan unsur STEM	3	3
C	Kemutahiran		
	1. Kesesuaian dengan perkembangan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dengan berdasarkan pada unsur STEM	3	4
	2. Contoh-contoh pembelajaran yang diberikan disesuaikan dengan unsur STEM	3	4
D	Merangsang keingintahuan		
	1. Menumbuhkan rasa ingin tahu	4	3
	2. Mendorong untuk mencari informasi lebih lanjut	4	4
II	Komponen Kebahasaan		
A	Kesesuaian dengan perkembangan siswa		
	Kesesuaian penggunaan bahasa dengan perkembangan siswa SMA	4	4
B	Komunikatif		
	1. Keterpahaman siswa terhadap pesan	3	3
	2. Kesesuaian ilustrasi dengan substansi pesan	4	3
C	Interaktif		
	1. Kemampuan memotivasi siswa untuk merespon pesan	3	3
	2. Dorongan siswa untuk mencapai hasil belajar	3	3
D	Lugas		
	1. Ketepatan stuktur kalimat	3	3
	2. Kebakuan kalimat	3	3
E	Keseuaian dengan kaidah bahasa indonesia yang benar		
	1. Ketepatan bahasa	4	3
	2. Ketepatan ejaan	4	3
F	Penggunaan istilah dan symbol		
	1. Konsistensi penggunaan istilah	4	3
	2. Konsistensi penggunaan simbol atau lambang	4	3
III	Komponen Penyajian		
A	Teknik penyajian		

	1. Konsistensi sistematik sajian dalam bahasa	3	3
	2. Kelogisan penyajian	3	3
	3. Keruntutan konsep materi yang disajikan	3	3
B	Pendukung penyajian materi		
	1. Kesesuain dan ketepatan ilustrasi dengan materi	3	4
	2. Pembangkit keterampilan berpikir kritis dan komunikatif	4	4
	3. Rujukan atau sumber acuan terutama untuk teks, tabel, dan gambar.	3	4
C	Penyajian Pembelajaran		
	1. Keterlibatan siswa dalam pelaksanaan proyek dengan pendekatan STEM-PjBL	4	3
	2. Berpusat pada siswa	4	4
	3. Menciptakan komunikasi interaktif	4	3
	4. Kesesuain dengan karakteristik mata pelajaran	4	3
	5. Kemampuan untuk memunculkan umpan balik	4	3
	Persentase	89.8438	81.25
	Kriteria	Sangat valid	Sangat Valid

Rekapitulasi Penilaian LKS oleh Validator			
No	Aspek yang Dinilai	Penilaian	
		Validator 1	Validator 3
A.	Penyajian Materi		
1	LKS yang disajikan sesuai dengan kompetensi dasar	4	3
2	Materi yang disajikan dalam LKS mendukung pencapaian indikator pencapaian kompetensi	4	4
3	Materi yang disajikan sesuai dengan perkembangan kognitif siswa	4	3
4	Kegiatan pembelajaran dalam LKS memberikan kesempatan bagi siswa untuk menemukan konsep dan bekerja dalam kelompok	4	3
5	LKS yang dikembangkan dikaitkan dengan unsur STEM	4	4
6	Kesesuaian penjabaran unsur STEM dalam LKS	3	3
	Aspek Perencanaan Kegiatan		

7	Kesesuaian kegiatan pembelajaran yang direncanakan mendukung pencapaian indikator kompetensi	3	3
8	Kegiatan yang direncanakan sesuai dengan materi pembelajaran	4	3
9	Kegiatan pembelajaran yang direncanakan memungkinkan siswa terlibat secara aktif dalam proyek STEM	4	3
10	Kegiatan yang direncanakan mendorong siswa untuk mencari sumber alternatif	3	3
C.	Tampilan		
11	Gambar dan tampilan jelas dan menarik	4	3
12	Tata letak gambar, tabel, dan pertanyaan ditampilkan secara proporsional dan sesuai kebutuhan	3	3
13	Judul, keterangan, dan instruksi ditampilkan secara jelas	4	3
14	Penggunaan bahasa sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia yang baik dan benar	4	3
15	Bahasa yang digunakan singkat dan jelas (tidak menimbulkan pengertian ganda)	4	3
	Rata-rata	93.33	78.33
	Kriteria	Sangat Valid	Valid

Rekapitulasi Penilaian Evaluasi oleh Validator			
No.	Aspek yang Dinilai	Penilaian	
		Validator 1	Validator 3
	Materi		
1	Soal sesuai dengan indikator	4	4
2	Materi yang ditanyakan sesuai dengan kompetensi	3	3
3	Pilihan jawaban homogen dan logis	4	4
4	Hanya ada satu kunci jawaban	4	4
5	Butir soal mengukur aspek kemampuan berpikir kritis	3	3
6	Butir soal sesuai dengan tingkatan kognitif	3	3
	Konstruksi		
7	Kejelasan petunjuk pengerjaan soal	4	4
8	Pokok soal dirumuskan dengan singkat, jelas, dan tegas	4	3
9	Rumusan pokok soal dan pilihan jawaban merupakan pernyataan yang diperlukan saja	4	3
10	Pokok soal tidak memberi petunjuk kunci jawaban	4	4
11	Pilihan jawaban tidak menggunakan "semua jawaban diatas benar/salah" dan sejenisnya	4	4

12	Butir soal tidak bergantung pada soal yang sebelumnya	4	4
	Bahasa		
14	Menggunakan bahasa yang sesuai dengan kaidah bahasa indonesia	4	4
15	Menggunakan bahasa yang komunikatif	4	4
	Persentase	88.33333	85
	Rata-rata	86.66666667	
	Kriteria	sangat valid	

LAMPIRAN 2. ANALISIS HASIL UJI COBA BUTIR SOAL

TINGKAT KESUKARAN

Jumlah Subyek= 36

Butir Soal= 42

Nama berkas: D:\ANATES\UJI COBA SOAL.ANA

No Butir Baru	No Butir Asli	Jml Betul	Tkt. Kesukaran(%)	Tafsiran
1	1	18	50.00	Sedang
2	2	9	25.00	Sukar
3	3	7	19.44	Sukar
4	4	28	77.78	Mudah
5	5	10	27.78	Sukar
6	6	11	30.56	Sangat Mudah
7	7	31	86.11	Sangat Mudah
8	8	8	22.22	Sukar
9	9	17	47.22	Sedang
10	10	9	25.00	Sukar
11	11	5	13.89	Sangat Sukar
12	12	15	41.67	Sedang
13	13	19	52.78	Sedang
14	14	8	22.22	Sukar
15	15	14	38.89	Sedang
16	16	14	38.89	Sedang
17	17	17	47.22	Sedang
18	18	19	52.78	Sedang
19	19	25	69.44	Sedang
20	20	14	38.89	Sedang
21	21	6	16.67	Sukar
22	22	13	36.11	Sedang
23	23	33	91.67	Sangat Mudah
24	24	6	16.67	Sukar
25	25	28	77.78	Mudah
26	26	21	58.33	Sedang
27	27	31	86.11	Sangat Mudah
28	28	13	36.11	Sedang
29	29	7	19.44	Sukar
30	30	10	27.78	Sukar
31	31	6	16.67	Sukar
32	32	31	86.11	Sangat Mudah
33	33	4	11.11	Sangat Sukar
34	34	8	22.22	Sukar
35	35	24	66.67	Sedang
36	36	3	8.33	Sangat Sukar

DAYA PEMBEDA

Jumlah Subyek= 36

Klp atas/bawah(n)= 10

Butir Soal= 42

Nama berkas: D:\ANATES\UJI COBA SOAL.ANA

No Butir Baru	No Butir Asli	Kel. Atas	Kel. Bawah	Beda	Indeks DP (%)
1	1	8	3	5	50.00
2	2	4	0	4	40.00
3	3	4	0	4	40.00
4	4	8	8	0	0.00
5	5	5	1	4	40.00
6	6	5	1	4	40.00
7	7	7	10	-3	-30.00
8	8	5	1	4	40.00
9	9	6	1	5	50.00
10	10	7	1	6	60.00
11	11	4	0	4	40.00
12	12	7	3	4	40.00
13	13	7	4	3	30.00
14	14	6	0	6	60.00
15	15	6	3	3	30.00
16	16	8	3	5	50.00
17	17	7	3	4	40.00
18	18	9	5	4	40.00
19	19	7	6	1	10.00
20	20	5	0	5	50.00
21	21	4	1	3	30.00
22	22	6	0	6	60.00
23	23	8	10	-2	-20.00
24	24	3	1	2	20.00
25	25	7	7	0	0.00
26	26	7	1	6	60.00
27	27	8	9	-1	-10.00
28	28	5	2	3	30.00
29	29	6	0	6	60.00
30	30	7	0	7	70.00
31	31	4	0	4	40.00
32	32	8	10	-2	-20.00
33	33	3	0	3	30.00
34	34	4	2	2	20.00
35	35	9	6	3	30.00
36	36	2	0	2	20.00

REKAP ANALISIS BUTIR (Sign.korelasi => Validitas)

Rata2= 17.72

Simpang Baku= 5.77

KorelasiXY= 0.54

Reliabilitas Tes= 0.70

Butir Soal= 42

Jumlah Subyek= 36

Nama berkas: D:\ANATES\UJI COBA SOAL.ANA

Btr Baru	Btr Asli	D.Pembeda (%)	T. Kesukaran	Korelasi	Sign. Korelasi
1	1	50.00	Sedang	0.390	Sangat Signifikan
2	2	40.00	Sukar	0.434	Sangat Signifikan
3	3	40.00	Sukar	0.554	Sangat Signifikan
4	4	0.00	Mudah	-0.050	-
5	5	40.00	Sukar	0.346	Signifikan
6	6	40.00	Sangat Mudah	0.318	Signifikan
7	7	-30.00	Sangat Mudah	-0.457	-
8	8	40.00	Sukar	0.542	Sangat Signifikan
9	9	50.00	Sedang	0.388	Sangat Signifikan
10	10	60.00	Sukar	0.670	Sangat Signifikan
11	11	40.00	Sangat Sukar	0.471	Sangat Signifikan
12	12	40.00	Sedang	0.338	Signifikan
13	13	30.00	Sedang	0.325	Signifikan
14	14	60.00	Sukar	0.636	Sangat Signifikan
15	15	30.00	Sedang	0.269	-
16	16	50.00	Sedang	0.449	Sangat Signifikan
17	17	40.00	Sedang	0.242	-
18	18	40.00	Sedang	0.354	Sangat Signifikan
19	19	10.00	Sedang	0.031	-
20	20	50.00	Sedang	0.349	Signifikan
21	21	30.00	Sukar	0.454	Sangat Signifikan
22	22	60.00	Sedang	0.463	Sangat Signifikan
23	23	-20.00	Sangat Mudah	-0.279	-
24	24	20.00	Sukar	0.179	-
25	25	0.00	Mudah	-0.108	-
26	26	60.00	Sedang	0.295	Signifikan
27	27	-10.00	Sangat Mudah	-0.104	-
28	28	30.00	Sedang	0.331	Signifikan
29	29	60.00	Sukar	0.616	Sangat Signifikan
30	30	70.00	Sukar	0.706	Sangat Signifikan
31	31	40.00	Sukar	0.637	Sangat Signifikan
32	32	-20.00	Sangat Mudah	-0.217	-
33	33	30.00	Sangat Sukar	0.219	-
34	34	20.00	Sukar	0.343	Signifikan
35	35	30.00	Sedang	0.338	Signifikan
36	36	20.00	Sangat Sukar	0.279	Signifikan

RELIABILITAS TES

Rata2= 8.89

Simpang Baku= 4.64

KorelasiXY= 0.59

Reliabilitas Tes= 0.74

Nama berkas: D:\ANATES\UJI COBA SOAL UNTUK RELIABILITAS.ANA

No.Urut	No. Subyek	Kode>Nama Subyek	Skor Ganjil	Skor Genap	Skor Total
1	1	UC-1	4	7	11
2	2	UC-2	5	4	9
3	3	UC-3	1	6	7
4	4	UC-4	3	1	4
5	5	UC-5	3	4	7
6	6	UC-6	4	7	11
7	7	UC-7	3	4	7
8	8	UC-8	4	4	8
9	9	UC-9	5	4	9
10	10	UC-10	5	1	6
11	11	UC-11	2	5	7
12	12	UC-12	2	4	6
13	13	UC-13	2	5	7
14	14	UC-14	1	0	1
15	15	UC-15	1	0	1
16	16	UC-16	3	3	6
17	17	UC-17	2	7	9
18	18	UC-18	0	4	4
19	19	UC-19	4	6	10
20	20	UC-20	3	3	6
21	21	UC-21	1	2	3
22	22	UC-22	2	4	6
23	23	UC-23	3	4	7
24	24	UC-24	2	3	5
25	25	UC-25	2	2	4
26	26	UC-26	5	8	13
27	27	UC-27	8	7	15
28	28	UC-28	7	8	15
29	29	UC-29	5	4	9
30	30	UC-30	5	7	12
31	31	UC-31	7	6	13
32	32	UC-32	9	5	14
33	33	UC-33	8	7	15
34	34	UC-34	9	5	14
35	35	UC-35	9	11	20
36	36	UC-36	11	8	19

LAMPIRAN 3 LEMBAR JAWABAN SISWA

LEMBAR JAWABAN SOAL UJI COBA

KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS SISWA MATERI SISTEM PERNAPASAN

Nama : Nabila Nasrul Illah
 Kelas : XI MIPA. 1
 Sekolah : SMAN 12 Semarang

No.	Pilihan Jawaban					
1	A	B	C	D	E	✓
2	A	B	C	D	E	✗
3	A	B	C	D	E	✓
4	A	B	C	D	E	✗
5	A	B	C	D	E	✓
6	A	B	C	D	E	✗
7	A	B	C	D	E	✗
8	A	B	C	D	E	✗
9	A	B	C	D	E	✗
10	A	B	C	D	E	✓
11	A	B	C	D	E	✓
12	A	B	C	D	E	✗
13	A	B	C	D	E	✓
14	A	B	C	D	E	✓
15	A	B	C	D	E	✗
16	A	B	C	D	E	✓
17	A	B	C	D	E	✓
18	A	B	C	D	E	✓
19	A	B	C	D	E	✗
20	A	B	C	D	E	✗
21	A	B	C	D	E	✓
22	A	B	C	D	E	✓
23	A	B	C	D	E	✗
24	A	B	C	D	E	✓
25	A	B	C	D	E	✓
26	A	B	C	D	E	✓
27	A	B	C	D	E	✗
28	A	B	C	D	E	✗
29	A	B	C	D	E	✓
30	A	B	C	D	E	✓
31	A	B	C	D	E	✗
32	A	B	C	D	E	✗
33	A	B	C	D	E	✓
34	A	B	C	D	E	✓
35	A	B	C	D	E	✗
36	A	B	C	D	E	✓
37	A	B	C	D	E	✗
38	A	B	C	D	E	✓
39	A	B	C	D	E	✓
40	A	B	C	D	E	✓
41	A	B	C	D	E	✓
42	A	B	C	D	E	✓

$$\frac{25}{42} \times 100 = 59,52$$

LAMPIRAN 4. DOKUMENTASI PENELITIAN



Uji coba penggunaan Perangkat Pembelajaran

