

# E-LKPD Berbasis STEAM Dengan Teknologi *Augmented Reality* (AR): Upaya Melatih Berpikir Kreatif

Reza Lika Sari<sup>1\*</sup>, Antomi Saregar<sup>2</sup>, Sodikin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Pendidikan Fisika, UIN Raden Intan Lampung, Indonesia

Received: 02 December 2024

Revised: 27 December 2027

Accepted: 29 December 2024

Corresponding Author:

Reza Lika Sari

[zazalikalika@gmail.com](mailto:zazalikalika@gmail.com)

© 2024 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v8i3.28414>

**Abstrak:** This research aims to develop and convey the feasibility and user response to E-LKPD assisted by the Augmented Reality (AR) application with a STEAM approach to train creative thinking skills (creative thinking) of class XII students. The research uses the Research and Development (R&D) method with the development of the ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) model. The research subjects consisted of material validation by 3 expert validators, media validation by 3 expert validators, teacher responses by 2 educators, and student responses by 68 class XII students at SMA 2 Perintis Bandar Lampung and SMAN 01 Tanjung Raya Mesuji Lampung. Validation results by material and media experts show a very high level of feasibility, with percentages of 89% and 86% respectively. The response from educators and students was also very positive regarding the attractiveness and feasibility of the E-LKPD being developed, with trial results reaching 91% for educators, 88% for small group trials, and 86% for field trials. Based on these results, it can be concluded that the development of AR-assisted E-LKPD with a STEAM approach is declared feasible and interesting as physics teaching material in class XII.

**Keywords:** Augmented Reality; Creative Thinking; STEAM approach

## Pendahuluan

Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi telah membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan, menciptakan tantangan sekaligus peluang baru di era digitalisasi (Belva Saskia Permana et al., 2024). Era digitalisasi yang semakin maju, pendidikan berperan utama dalam menciptakan keseimbangan antara inovasi teknologi dan pengetahuan manusia. Seiring dengan pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, pendidikan harus menjadi dasar yang kuat untuk meningkatkan kualitas generasi mendatang. Selain itu, penting bagi pendidikan untuk menyesuaikan diri dengan perubahan zaman agar tetap relevan, baik dari segi teknologi maupun kurikulum, sehingga mampu bersaing dengan negara-negara yang lebih maju (Syerlita & Siagian, 2024). Oleh karena itu, pembelajaran perlu berinovasi untuk memenuhi kebutuhan peserta didik yang inovatif dan

sesuai dengan perkembangan di era digitalisasi abad ke-21 (P. M. Sari et al., 2022).

Era digitalisasi abad ke-21 tidak hanya menekankan pentingnya inovasi dalam pembelajaran, tetapi juga mendorong pengembangan keterampilan esensial (Subaihatul Jamilah et al., 2023). Keterampilan esensial tidak hanya mencakup pengetahuan akademik, tetapi juga kompetensi yang mendukung individu untuk beradaptasi dan berkembang dalam kehidupan profesional maupun sosial. Keterampilan ini seperti kreativitas, Keterampilan esensial juga meliputi: ketrampilan berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, serta literasi digital (Saavedra et al., 2012). Keterampilan ini sangat dibutuhkan untuk menghadapi tantangan dalam berbagai aspek kehidupan, terutama di era digitalisasi saat ini (Astuti et al., 2020).

Kreativitas menjadi bagian penting dari

## How to Cite:

Sari, L. I., Saregar, A., & Sodikin, S. (2024). E-LKPD Berbasis STEAM Dengan Teknologi *Augmented Reality* (AR): Upaya Melatih Berpikir Kreatif. *Kappa Journal*, 8(3), 495-506. <https://doi.org/10.29408/kpj.v8i3.28414>

keterampilan berpikir kreatif, karena keterampilan berpikir kreatif memungkinkan individu untuk menghasilkan ide-ide baru, memecahkan masalah secara inovatif, dan terbuka terhadap sudut pandangan baru (Astuti et al., 2020). Keterampilan berpikir kreatif tidak hanya memungkinkan peserta didik mengekspresikan diri, tetapi juga membantu untuk menerapkan pengetahuan dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, berpikir kreatif diartikan sebagai kemampuan berpikir divergen, yang memungkinkan peserta didik melihat masalah dari berbagai sudut pandang dan menghasilkan jawaban yang inovatif dan relevan (Fajri et al., 2023). Dengan demikian, kemampuan berpikir kreatif menjadi bekal utama bagi peserta didik untuk menghadapi tantangan masa depan.

Namun sayangnya, kemampuan berpikir kreatif masih menjadi masalah di Indonesia. Kemampuan berpikir kreatif peserta didik di Indonesia telah menjadi sorotan melalui berbagai studi internasional. Salah satu hasil studi internasional adalah TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*), menjuntukan bahwa hasil studi pada tahun 2011, Indonesia menempati peringkat ke-32 dari 49 negara dengan skor rata-rata 386, jauh di bawah rata-rata internasional yang sebesar 500. Kemudian, pada tahun 2015, posisi Indonesia turun ke urutan ke-46 dari 51 negara dengan skor rata-rata 397. Dari tahun 2003 hingga 2015, peringkat Indonesia dalam studi TIMSS mengalami penurunan yang signifikan. Sementara itu, pada tahun 2019 dan seterusnya, Indonesia tidak lagi berpartisipasi dalam studi tersebut (Cahyani et al., 2022).

Untuk memberi solusi kesenjangan pembelajaran dalam meningkatkan keterampilan berpikir kreatif yaitu dengan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD). E-LKPD dirancang sebagai *platform* bahan pembelajaran interaktif yang mudah diakses, tidak hanya itu tetapi juga mendorong peserta didik untuk eksplor dan kolaborasi antar peserta didik (Andriana et al., 2022; Mukti, 2024; Ricky Ardiansah & Zulfiani, 2023). Selain itu, E-LKPD sangat mendukung pembelajaran sains melalui pendekatan penyelidikan ilmiah (Suyanto et al., 2024), di mana peserta didik dilatih untuk mengamati, menganalisis, dan menyimpulkan data yang merangsang rasa ingin tahu dan keterampilan berpikir kritis dan kreatif (Putra et al., 2023; Safitri & Simamora, 2024; Utami et al., 2024). Penggunaan E-LKPD juga sejalan dengan prinsip ramah lingkungan karena mengurangi penggunaan kertas, menjadikannya solusi pembelajaran yang lebih efisien dan berkelanjutan di era digitalisasi ini (Andriana et al., 2022; Atmaja & Samsudin, 2024; Khoiri, 2023).

Selain E-LKPD, inovasi lain untuk memberi

solusi kesenjangan pembelajaran dalam meningkatkan keterampilan berpikir kreatif (Anugrah et al., 2023) yaitu dengan menggunakan pendekatan STEAM yang diintegrasikan dalam E-LKPD. Pendekatan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) digunakan dalam pembelajaran sebagai cara inovatif yang efektif untuk mengasah keterampilan berpikir kritis, kreatif dan inovatif (Suganda et al., 2021) untuk mempersiapkan peserta didik menghadapi tantangan di era abad ke-21 (Mu'minah & Suryaningsih, 2020). Melalui STEAM, peserta didik dilibatkan dalam proses pembelajaran yang mengintegrasikan disiplin ilmu, termasuk seni, dengan tujuan mendorong peserta didik untuk berpikir kreatif dan inovatif dalam menyelesaikan masalah (Mu'minah & Suryaningsih, 2020). Dengan STEAM, peserta didik tidak hanya berfokus pada aspek teknis atau ilmiah, tetapi juga pada kreativitas dan ekspresi artistik, yang membantu mereka memahami masalah dari berbagai perspektif dan mengembangkan solusi yang lebih inovatif (Boy, 1998; Pramudyani & Indratno, 2022; Wahyuni et al., 2022). Hal ini memungkinkan peserta didik untuk menghubungkan ilmu pengetahuan dan teknologi dengan elemen seni, yang memperkaya pengalaman belajar.

Inovasi E-LKPD berbasis STEAM untuk meningkatkan kualitas dan mengatasi kesenjangan pembelajaran seperti penggunaan media *Augmented Reality* (AR) didalam E-LKPD berbasis STEAM. Dimana, penggunaan AR sebagai inovasi pembelajaran di era digitalisasi yang menawarkan berbagai keunggulan yang relevan dengan kebutuhan pendidikan saat ini (Garzón, 2021) *Augmented Reality* (AR) dapat menjadi alat yang efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik dalam pembelajaran. Dengan menghadirkan objek virtual 3d ke dalam dunia nyata, AR memungkinkan interaksi secara *real-time* (Buditjahjanto & Irfansyah, 2023; Fiteriani et al., 2022; Nur & Nugraha, 2023) dan imajinatif, membantu peserta didik memvisualisasikan konsep abstrak dengan cara yang lebih nyata dan konkret (Alzahrani, 2020; Koumpouros, 2024). Hal ini mendukung proses pembelajaran menggunakan media AR lebih fleksibel dan adaptif (Damanik et al., 2024). Selain itu, teknologi AR menjadi salah satu media pembelajaran yang memiliki kemudahan untuk mengaksesnya, hanya menggunakan perangkat seperti *smartphone* atau tablet, AR juga praktis digunakan di berbagai lingkungan pembelajaran. Sehingga AR menciptakan pengalaman belajar yang lebih personal dengan memungkinkan peserta didik mengakses informasi dan materi pembelajaran yang relevan kapan saja dan di mana saja (Akbar & Djakariah, 2024; Alzahrani, 2020; Zhang et al., 2022). Ini menjadi fokus bagi pendidik untuk

memfasilitasi pembelajaran dengan mudah dan sesuai dengan ritme mereka sendiri, meningkatkan pemahaman dan retensi materi (Sarumaha et al., 2022).

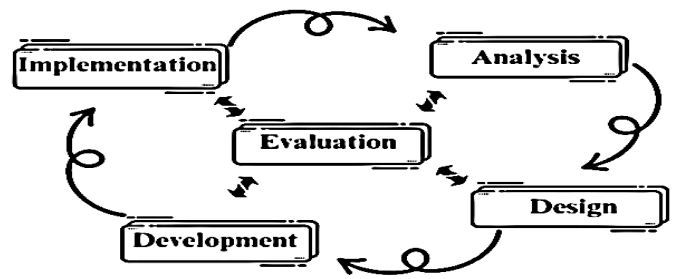
Beberapa penelitian sebelumnya seperti mengembangkan E-LKPD dengan pendekatan STEAM banyak diteliti, seperti pada materi tema upaya pelestarian lingkungan (Novitasari et al., 2023) pada materi perubahan energi (Haifaturrahmah et al., 2020), pada pelajaran biologi (Patresia et al., 2020), pada materi koloid (Herlina et al., 2022), dan materi asam basa (Fikrina et al., 2023), E-LKPD berbasis pendekatan STEAM untuk melatih kemampuan berpikir kreatif banyak dilakukan pada materi IPA (Andartiani et al., 2022; Dermawan & Andartiani, 2022; Wahyuni et al., 2022) dan materi laju reaksi (Tasya et al., 2023), selain itu pengembangan E-LKPD berbantu teknologi *Augmented Reality* (AR) sudah dilakukan pada materi kimia (Herman et al., 2022), pada materi IPA (Fiteriani et al., 2022; Fitriyah, 2023; Yusro et al., 2023), pada materi kimia (Tanjung & Louise, 2024; Wulandari et al., 2019), pada materi fase bulan (Ilafi et al., 2023), dan pada materi fisika (Idrus et al., 2023; Suryanto et al., 2022; Zahara et al., 2021).

Berdasarkan penelitian sebelumnya belum ada yang mengembangkan E-LKPD berbasis STEAM dengan bantuan *Augmented Reality* (AR) untuk melatih kemampuan berpikir kreatif materi fisika khususnya materi medan magnet. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjawab kesenjangan tersebut dengan mengembangkan E-LKPD berbantu aplikasi *Augmented Reality* (AR) menggunakan pendekatan STEAM untuk melatih keterampilan berpikir kreatif peserta didik kelas XII pada materi fisika khususnya materi medan magnet. dan penelitian ini menggunakan media *augmented reality* berupa aplikasi *Assmblr EDU* diakses menggunakan *smartphone*/Hp.

## Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D). Proses pengembangan dilakukan menggunakan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*) (Branch, 2009; Pane et al., 2022). E-LKPD tersebut diuji cobadi SMA 2 Perintis Bandar Lampung dan SMAN 01 Tanjung Raya. Uji coba dilakukan dengan dua tahap yaitu dengan uji coba kelompok kecil sebanyak 20 peserta didik dan uji coba lapangan sebanyak 68 peserta didik dari dua sekolah tersebut sebagai responden.

Model ADDIE dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model ADDIE (Kawete et al., 2022)

Gambar 1 menunjukkan bahwa setiap tahap dalam model ADDIE saling berhubungan dan berinteraksi satu sama lain (Setiawan et al., 2021). Disempurnakan dengan tahap evaluasi. Gambar 1 tahap analisis (*analisis*) yaitu tahap melakukan identifikasi dan analisis kemungkinan penyebab kesenjangan pembelajaran mulai dari kurikulum, materi, bahan ajar, dan kondisi pembelajaran, motivasi belajar, fasilitas belajar, dst; Tahap desain (*design*), yaitu tahap memverifikasi penyebab kesenjangan pembelajaran melalui pembuatan rancangan atau kerangka produk; Tahap pengembangan (*development*), yaitu tahap proses pengembangan produk dengan merealisasikan rancangan berdasarkan tujuan pencapaian dan kemudian di uji atau divalidasi oleh ahli validator, Penelitian ini melakukan validator sebanyak 6 dosen ahli, sebanyak 3 ahli validasi materi dan 3 dosen ahli validasi media; Tahap implementasi (*implementation*) yaitu tahap melibatkan penggunaan produk yang telah dikembangkan dan di validasi serta dinyatakan layak untuk digunakan dalam proses pembelajaran, penelitian ini dibatasi hanya pengambilan respon pendidik dan peserta didik. Pengambilan respon peserta didik dilakukan sebanyak 2 kali yaitu uji coba kelompok kecil sebanyak 20 peserta didik dan uji coba lapangan sebanyak 68 peserta didik. Dan respon pendidik dilakukan sebanyak 2 guru fisika dari sekolah tersebut. Tahap evaluasi (*evaluation*), tahap evaluasi dalam model ADDIE dilakukan secara berkelanjutan di setiap tahap.

Teknik pengumpulan data yang digunakan berupa angket. Skala yang digunakan adalah *skala likert* yang terdiri dari angket validasi ahli materi, ahli media, angket respon peserta didik dan angket respon pendidik. Teknik analisis data yang digunakan untuk analisis data kualitatif dan data kuantitatif. Berikut table kategori skala liker yang ditetapkan dalam instrument analisis data.

**Tabel 1: Skala Likert** (Hamidah et al., 2023)

Skor	Analisis Kuantitatif
5	Sangat Menarik
4	Menarik
3	Cukup Menarik
2	Kurang Menarik
1	Sangat Kurang Menarik

Nilai akhir butir jawaban merupakan presentase nilai rata-rata perindikator dari seluruh jawaban validator. Rumus untuk menghitung nilai rata-rata perindikator adalah sebagai berikut: (Fajarwati & Irianto, 2021)

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{n} \tag{1}$$

Keterangan:

$\bar{X}$  = nilai rata-rata perindikator

$\sum xi$  = jumlah total nilai jawaban

$n$  = banyak ahli validasi atau responden

Perhitungan skor masing-masing perindikator dicari persentasi jawaban keseluruhan dengan rumus (Isma et al., 2024)

$$P = \frac{f}{N} \times 100\% \tag{2}$$

Keterangan :

P = Persentasi kelayakan

f = Jumlah skor yang diperoleh

N = Jumlah skor nilai maksimal

Tingkat kelayakan produk hasil penelitian pengembangan diukur berdasarkan presentasi skor. Semakin besar skor yang diperoleh, semakin tinggi pula kelayakan produk tersebut. Kriteria untuk pengambilan keputusan dalam validasi media tercantum dalam table berikut ini:

**Tabel 2. Kriteria Kelayakan** (Rifa'i & Hasanah, 2022)

Interval	Kriteria
80% < x ≤ 100%	Sangat Layak
60% < x ≤ 80%	Layak
40% < x ≤ 60%	Cukup Layak
20% < x ≤ 40%	Tidak Layak
0% < x ≤ 20%	Sangat Tidak Layak

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil

#### Analisis (Analysis)

Tahap ini melibatkan identifikasi masalah melalui pra-penelitian. Hasil dari pra-penelitian ini menunjukkan adanya penyebab kesenjangan dalam proses pembelajaran khususnya materi fisika. Tahap ini peneliti menganalisis masalah kebutuhan proses pembelajaran seperti: kurikulum, bahan ajar, model pendekatan pembelajaran, dan pembelajaran berbasis teknologi. Peneliti menganalisis menemukan bahwa penyebab kesenjangan pembelajaran terletak pada kebutuhan belajar yaitu bahan ajar yang menarik dan

intraktif. Pengumpulan data yang dilakukan dengan menyebarkan angket kepada peserta didik serta angket wawancara untuk pendidik. Setelah melakukan analisis kebutuhan di sekolah t peneliti melakukan studi pustaka dengan mengkompilasi penelitian terdahulu yang relevan yang dijadikan sebagai pendukung dalam penelitian ini.

### Desain (Design)

Berikut tabel 3 tampilan desain produk:

**Tabel 3: Tampilan desain**

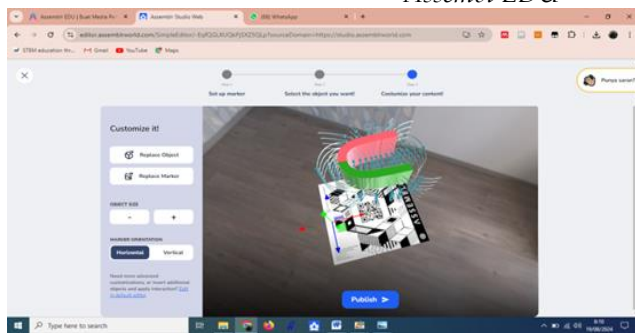
Cover E-LKPD



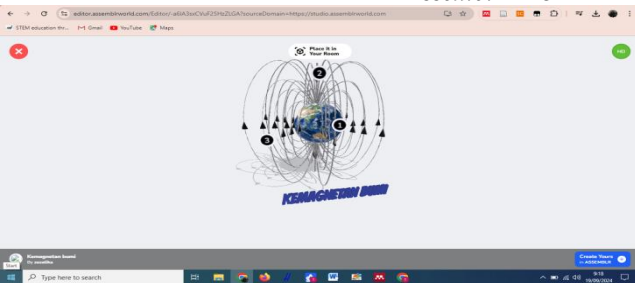
Pengantar Isi E-LKPD



### Assembl EDU



### Assembl EDU



Desain E-LKPD dibuat dengan menggunakan kombinasi gambar yang relevan dengan materi medan magnet. Penulis menyusun E-LKPD semenarik mungkin untuk peserta didik, pendidik, dan pembaca dengan menambahkan elemen hiasan gambar dan kombinasi warna yang dirancang untuk menarik perhatian peserta didik, sehingga tertarik untuk pengerjaan lembar kerja peserta didik. Font yang digunakan adalah Times New Roman, Bebas Neue, dan TT Master, dengan ukuran font bervariasi antara

11-94. LKPD menggunakan format ukuran kertas yang sudah dirancang yakni menggunakan kertas berukuran A4. E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* pendekatan STEAM ini dibuat dengan menggunakan berwarna biru tua dan putih.

### Pengembangan (*Development*)

Pada tahap ini, rancangan awal E-LKPD dan instrumen harus divalidasi oleh dosen ahli. Tahap validasi dilakukan oleh 6 dosen ahli validator yang terdiri dari 3 dosen ahli materi dan 3 dosen ahli media. Berikut adalah tabel 4 hasil validasi ahli materi dan media:

**Tabel 4.** Hasil Rata-rata Validasi Para Ahli Validator

Validasi	Rata-rata Persentase	Kategori
Materi	89 %	Sangat Layak
Media	86%	Sangat Layak

Tabel 4 hasil validasi ini melibatkan dua ahli, yaitu ahli materi dan ahli media. Dari hasil validasi ahli materi, E-LKPD ini memperoleh nilai rata-rata sebesar 89%, yang termasuk dalam kategori sangat layak. Begitu pula dengan validasi ahli media yang memberikan hasil rata-rata sebesar 86%, juga masuk dalam kategori sangat layak.

### Implementasi (*Implementation*)

Pada tahap ini, bahan ajar yang telah dikembangkan kemudian diuji coba dengan mengambil data respons peserta didik dan pendidik. Berikut ini table 5 hasil respon peserta didik dan pendidik.

**Tabel 5.** Hasil Rata-rata Respon Peserta Didik dan Pendidik

Respon	Persentase	Kategori
Peserta Didik		
Uji Coba Kelompok Kecil	88%	Sangat Layak
Uji Coba lapangan	86%	Sangat Layak
Pendidik	87%	Sangat Layak

Pada uji coba kelompok kecil, rata-rata respon peserta didik mencapai 88% dan uji coba kelompok lapangan, rata-rata respon peserta didik sebesar 86%. Selain itu, respon dari para pendidik menghasilkan nilai rata-rata sebesar 87% dengan kategori sangat layak. Hasil ini menunjukkan bahwa baik peserta didik maupun pendidik memberikan tanggapan yang positif

terhadap pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* dengan pendekatan STEAM.

### Evaluasi (*Evaluation*)

Pengembangan produk E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* dengan pendekatan STEAM untuk melatih kemampuan *creative thinking* peserta didik kelas XII hasil evaluasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa E-LKPD yang dikembangkan sangat layak dan menarik dalam melatih kemampuan *creative thinking* peserta didik dan mendapatkan umpan balik positif dari peserta didik maupun pendidik.

### Pembahasan

Hasil penelitian ini merupakan hasil dari langkah-langkah model pengembangan ADDIE. Analisis penyebab kesenjangan pembelajaran bertujuan untuk memahami faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan atau masalah dalam proses pembelajaran (Yulianingsih et al., 2023). Analisis pembelajaran dari dua sekolah yang menjadi subjek penelitian ini, yaitu SMA 2 Perintis Bandar Lampung dan SMAN 1 Tanjung Raya, mengungkapkan beberapa tantangan signifikan yang mendorong perlunya penelitian ini dilakukan. Berdasarkan observasi dan wawancara di dua sekolah, ditemukan bahwa guru belum menerapkan pendekatan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics*) dalam pembelajaran fisika, khususnya pada materi medan magnet. Hal ini menyebabkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik belum optimal, serta peserta didik cenderung pasif dalam proses pembelajaran, terutama dalam penggunaan rumus dan pemecahan masalah (Liana et al., 2020). Rendahnya berpikir kreatif dapat membuat peserta didik kehilangan kesempatan untuk mengeksplorasi ide-ide baru, menghadapi tantangan dengan cara yang inovatif, dan mengembangkan keterampilan pemecahan masalah yang penting dalam kehidupan sehari-hari (Plucker et al., 2010; Runco & Acar, 2012). Hal ini dapat mengakibatkan peserta didik menjadi pasif dalam proses pembelajaran, merasa kurang percaya diri untuk berpendapat, dan tidak berani mengambil inisiatif. Selain itu, rendahnya kemampuan berpikir kreatif juga dapat menghambat kemampuan peserta didik dalam berpikir kritis, berkolaborasi (Plucker et al., 2010) dengan teman sekelas, dan mengaplikasikan pengetahuan yang diperoleh dalam situasi nyata. Akibatnya, peserta didik mungkin mengalami keterbatasan dalam mencapai potensi penuh mereka, baik di bidang akademis maupun dalam kehidupan sehari-hari.

Selain itu, guru fisika belum memanfaatkan teknologi seperti E-LKPD (Lembar Kerja Peserta Didik) elektronik dan *Augmented Reality* (AR), serta belum mempersiapkan bahan ajar yang sesuai dengan

kurikulum merdeka, terutama di kelas XII pada materi medan magnet. Di SMA 2 Perintis Bandar Lampung, guru menggunakan bahan ajar seperti TV digital dan modul, dengan metode pembelajaran berupa diskusi dan eksperimen. Sementara di SMAN 1 Tanjung Raya Mesuji, guru menggunakan modul, buku cetak, dan LKS, serta metode ceramah dan eksperimen. Namun, keaktifan peserta didik di kedua sekolah tersebut, baik di kelas XII IPA 3, belum maksimal. Faktor lain yang menyebabkan kesenjangan dalam proses pembelajaran, yaitu bahan ajar. Penggunaan bahan ajar yang masih berupa buku teks dan modul cetak menyebabkan peserta didik kurang termotivasi dalam belajar. Hal ini mengakibatkan peserta didik kesulitan memahami konsep-konsep fisika atau fenomena fisika. Akibatnya, peserta didik cenderung mengalami kesulitan membayangkan atau menghubungkan teori yang diajarkan dengan aplikasi praktis atau situasi nyata. Bahan ajar yang kurang interaktif ini membuat peserta didik lebih pasif dalam proses pembelajaran, sehingga mengurangi motivasi dan kemampuan berpikir kritis mereka (Dari & Sudatha, 2022). Oleh karena itu, peneliti mengembangkan bahan ajar berbasis teknologi *Augmented Reality* (AR). AR mampu meningkatkan interaksi peserta didik dengan materi pembelajaran secara lebih dinamis dan imersif dengan visualisasi 3D interaktif, AR mempermudah pemahaman terhadap konsep-konsep abstrak atau kompleks, sehingga proses pembelajaran lebih menarik dan efektif (Damanik et al., 2024).

Sebanyak 32 peserta didik dari SMA 2 Perintis dan 36 peserta didik di SMAN 1 Tanjung Raya membutuhkan bahan ajar E-LKPD berbasis *Augmented Reality* dengan pendekatan STEAM untuk pembelajaran fisika. Berdasarkan hasil analisis peneliti mengembangkan E-LKPD berbantu aplikasi AR berupa *Assemblr EDU*, yang bertujuan untuk menciptakan pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik bagi peserta didik. Diharapkan bahwa E-LKPD ini tidak hanya mampu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap materi medan magnet, tetapi juga mendorong mereka untuk terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi terhadap kesenjangan yang ada dalam pembelajaran fisika di kedua sekolah tersebut dan mempersiapkan peserta didik untuk menghadapi tantangan pendidikan di abad 21 dengan keterampilan yang relevan.

### Validasi

Pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* dengan pendekatan STEAM menunjukkan hasil validasi. Hasil validasi sebanyak dua kategori ahli, yaitu ahli materi dan ahli media yang

dilakukan masing-masing sebanyak 3 dosen ahli validator.

### Validasi Materi

Hasil validasi ahli media dapat dilihat pada tabel 6 dibawah ini.

**Tabel 6.** Hasil Validasi Ahli Materi

No	Aspek	Persentase	Kategori
1	Aspek Kelayakan Isi	89%	Sangat Layak
2	Aspek kelayakan Bahasa	86%	Sangat Layak
3	Kelayakan Penyajian	93%	Sangat Layak

Hasil validasi pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* (AR) dengan pendekatan STEAM menunjukkan skor tertinggi pada aspek penyajian (93%), yang mengindikasikan bahwa penyajian konten secara sistematis, konsisten, keterlibatan peserta didik, dan keruntutan konsep membantu peserta didik untuk memahami materi secara mudah (Silfiyani et al., 2024), sementara itu dukungan contoh soal dan latihan memberikan kesempatan untuk menerapkan pengetahuannya tidak hanya memahami teori fisika, tetapi juga perhitungan yang benar dan tepat (Andriana et al., 2022). Keterlibatan peserta didik dalam proses belajar yang didukung oleh AR juga memperkuat pemahaman karena memungkinkan pembelajaran lebih interaktif dan kontekstual, keterpaduan antara AR dan pendekatan STEAM sangat membantu meningkatkan keterlibatan dan motivasi peserta didik untuk belajar (Andartiani et al., 2022; Herman et al., 2022).

### Validasi Media

Berikut tabel 7 hasil validasi ahli media:

**Tabel 7.** Hasil Validasi Ahli Media

No	Indikator	Persentase	Kategori
1	Tampilan Media	86%	Sangat Layak
2	Desain Keseluruhan	85%	Sangat Layak
3	Desain Isi Media	85%	Sangat Layak
4	Kemudahan Media	87%	Sangat Layak
5	Kemenarikan Media	86%	Sangat Layak
6	Aplikasi AR	90%	Sangat Layak

Hasil validasi media pada pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* dengan pendekatan STEAM menunjukkan berbagai aspek yang berkontribusi signifikan dalam kelayakan dan

kemudahan media. Aspek **Aplikasi Augmented Reality (AR)** memperoleh skor **90%**, menunjukkan bahwa penggunaan teknologi AR sangat efektif dalam meningkatkan interaktivitas dan daya tarik media. Hasil ini didukung oleh (Yasa et al., 2024) ini membuat konten pembelajaran lebih hidup dan memudahkan peserta didik dalam memahami materi yang disajikan. Aspek **kemudahan media** memperoleh nilai **87%**. Perolehan kategori ini menandakan bahwa kemudahan media mudah digunakan dan media dapat diakses (Fiteriani et al., 2022) dimana saja dengan kesetabilan koneksi internet.

Aspek penggunaan aplikasi AR dan kemudahan media dikategorikan sangat layak karena keduanya memberikan pengalaman belajar yang interaktif, mudah diakses, dan relevan dengan teknologi visualisasi 3D yang realistis (Aristoteles et al., 2023; Sholeh et al., 2024; Yasa et al., 2024). Sehingga, konsep-konsep kompleks seperti medan magnet menjadi lebih mudah dipahami. Selain itu, E-LKPD dan AR dirancang dengan memberikan pengalaman belajar yang interaktif dan imersif, memungkinkan peserta didik untuk berinteraksi dengan objek 3D, simulasi, dan konten visual yang membuat pembelajaran menjadi lebih menarik (Herman et al., 2022; Yasa et al., 2024), ditambah dengan penyajian elemen STEAM dapat memberikan pengalaman belajar lebih aktif, fleksibel dan dapat menumbuhkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik, sehingga memudahkan peserta didik dalam mengakses materi (Akmal & Aini, 2023). Kemudahan ini diperkuat dengan fleksibilitas akses melalui perangkat yang umum seperti smartphone dan tablet, memungkinkan peserta didik untuk belajar kapan saja dan di mana saja. Dengan integrasi teknologi yang sesuai dengan kebutuhan abad 21, aspek ini sangat mendukung pembelajaran yang efektif dan efisien, menjadikannya sangat layak dalam validasi media.

## Respon

### Respon pendidik

Hasil respon pendidik terhadap pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* dengan pendekatan STEAM menunjukkan bahwa aspek bahasa dan teknik penyajian menjadi yang paling berkontribusi dapat dilihat pada tabel 8.

**Tabel 8.** Hasil Respon Pendidik

Aspek	Skor (%)	Kriteria
Ketertarikan	88%	Sangat Layak
Materi	90%	Sangat Layak
Bahasa	95%	Sangat Layak
Teknik Penyajian	93%	Sangat Layak
<b>Rata-rata</b>	<b>91%</b>	<b>Sangat Layak</b>

Hasil respon pendidik terhadap pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* dengan pendekatan STEAM menunjukkan bahwa aspek bahasa dan teknik penyajian menjadi yang paling berkontribusi signifikan karena keduanya merupakan fondasi penting dalam memfasilitasi pengalaman belajar yang efektif dan menyenangkan bagi peserta didik (Yulia et al., 2024; Yuliardi et al., 2022). Aspek bahasa dengan nilai 95%, mencerminkan bahwa E-LKPD menggunakan bahasa yang jelas, komunikatif, dan mudah dipahami, yang memungkinkan peserta didik dengan berbagai tingkat pemahaman untuk dapat mengikuti materi dengan baik (Silfiyanti et al., 2024). Bahasa yang jelas sangat penting dalam pembelajaran berbasis STEAM, di mana peserta didik dihadapkan pada konsep-konsep sains, teknologi, teknik, seni, dan matematika yang memerlukan penjelasan yang terstruktur dan sederhana. Aspek teknik penyajian memperoleh skor 93%. Kesesuaian kegiatan dengan pendekatan STEAM berkontribusi besar terhadap efektivitas bahan pembelajaran (Pramudyani & Indratno, 2022; Wahyuni et al., 2022). Penggunaan gambar yang relevan, misalnya, membantu visualisasi konsep-konsep abstrak, sementara tampilan yang konsisten dan petunjuk yang jelas (Damanik et al., 2024) memberikan alur pembelajaran yang mudah diikuti oleh peserta didik.

Secara keseluruhan, aspek bahasa yang komunikatif dan teknik penyajian yang terstruktur dengan baik saling melengkapi untuk menciptakan media pembelajaran yang tidak hanya mudah dipahami, tetapi juga menarik dan interaktif, sehingga dapat memfasilitasi pembelajaran berbasis STEAM dengan lebih efektif (Yulia et al., 2024; Yuliardi et al., 2022).

### Respon peserta didik

Uji coba ini bertujuan untuk mengumpulkan data yang digunakan sebagai dasar untuk menilai tingkat efektivitas, efisiensi, dan daya tarik dari produk yang dihasilkan (Fernandes & Syarifuddin, 2020). Respon peserta didik dilakukan sebanyak dua tahap, yaitu uji coba kelompok kecil dan uji coba kelompok lapangan. Pengumpulan data respon peserta didik didasarkan pada lima aspek penilaian, yaitu tampilan, materi, bahasa, ketertarikan, dan pendekatan STEAM. Hasil Respon peserta didik dapat dilihat pada tabel 9 dan tabel 10.

**Tabel 9.** Hasil Respon Peserta Didik Uji Coba Kelompok Kecil

No	Aspek	Persentase	Kategori
1	Tampilan	90%	Sangat Menarik
2	Materi	87%	Sangat Menarik
3	Bahasa	91%	Sangat Menarik
4	Ketertarikan	88%	Sangat Menarik
5	Pendekatan STEAM	86%	Sangat Menarik
<b>Jumlah Rata-rata</b>		88%	Sangat Menarik

Hasil uji coba kelompok kecil terhadap E-LKPD berbantu *augmented reality* dengan pendekatan STEAM menunjukkan bahwa media pembelajaran ini sangat efektif dalam meningkatkan pemahaman dan keterlibatan peserta didik (Andartiani et al., 2022; Herman et al., 2022). Aspek bahasa mendapatkan skor sebesar 91% dan Aspek tampilan media dengan skor tertinggi kedua sebesar 90%. Berikut ini tabel 10 hasil respon peserta didik uji coba langsung yang dilakukan sebanyak 68 peserta didik dari dua sekolah.

**Tabel 10.** Hasil Respon Peserta Didik Uji Coba Lapangan

No	Aspek Penilaian	Persentase	Kategori
1	Tampilan	87%	Sangat Menarik
2	Materi	87%	Sangat Menarik
3	Bahasa	86%	Sangat Menarik
4	Katertarikan	86%	Sangat Menarik
5	Pendekatan STEAM	84%	Sangat Menarik
<b>Jumlah Rata-rata</b>		86%	Sangat Menarik

Hasil respon peserta didik terhadap pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *augmented reality* dengan pendekatan STEAM menunjukkan bahwa aspek tampilan media dan materi menjadi yang paling berkontribusi signifikan yaitu sebesar 87% dengan kategori sangat layak. Berdasarkan hasil uji respon peserta didik baik kelompok kecil dan uji lapangan, memperoleh kategori persentase hasil uji coba tertinggi yaitu aspek tampilan materi, aspek bahasa.

Tampilan E-LKPD berbasis STEAM berbantu AR yang menarik dapat meningkatkan motivasi belajar, sementara penyajian yang sistematis membantu peserta didik lebih mudah memahami materi. Interaktivitas

melalui *augmented reality* memungkinkan peserta didik untuk berpartisipasi aktif dan mengeksplorasi konsep-konsep secara lebih nyata (Faqih et al., 2023), sehingga meningkatkan pemahaman dan daya ingat mereka terhadap materi yang dipelajari (Andartiani et al., 2022; Herman et al., 2022). Selain itu, bahasa yang digunakan dalam E-LKPD sangat jelas, mudah dipahami, dan sesuai dengan tingkat pemahaman peserta didik, sehingga membantu mereka dalam memahami materi fisika yang kompleks (Yulia et al., 2024; Yulardi et al., 2022). Dan materi dalam E-LKPD disajikan secara sistematis dan terstruktur, memastikan keterkaitan dengan kurikulum. Ilustrasi menarik dan relevan memperjelas konsep serta meningkatkan motivasi peserta didik untuk mendalami materi. Selain itu, E-LKPD ini mendorong peserta didik berpikir kreatif melalui eksperimen dan pertanyaan yang mengajak menemukan konsep sendiri (Andartiani et al., 2022; Herman et al., 2022).

### Keunggulan dan Kekurangan Produk

Sejalan dengan pengembangan E-LKPD sebelumnya yang mengintegrasikan materi IPA secara umum (Dermawan & Andartiani, 2022) dengan mendalami materi medan magnet berbantu teknologi *augmented reality* (AR), dan (Suryanto et al., 2022) materi fisika momentum implus, penelitian ini lebih berfokus mengintegrasikan materi medan magnet pada E-LKPD berbasis pendekatan STEAM untuk melatih kemampuan berpikir kreatif.

### Keunggulan Produk

Produk pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *Augmented Reality* (AR) berupa aplikasi *Assemblr EDU* dengan pendekatan STEAM memiliki beberapa keunggulan, salah satunya adalah fleksibilitas akses. Teknologi digital ini memungkinkan materi pembelajaran yang disajikan secara daring untuk diunduh atau diakses langsung melalui perangkat mereka, memberikan kebebasan dalam menentukan waktu dan tempat belajar sesuai kebutuhan dan kenyamanan. Selain itu, E-LKPD berbasis AR memperkaya pembelajaran melalui visualisasi interaktif (Markowitz & Bailenson, 2021) (Cheng & Tsai, 2013) yang dapat diakses kapan pun peserta didik memerlukan pemahaman tambahan atau ingin meninjau kembali materi. Fleksibilitas ini mendukung model pembelajaran modern yang lebih mandiri dan personal (Müller et al., 2023).

Desain E-LKPD ini menghadirkan **pembelajaran yang lebih interaktif** dengan memanfaatkan teknologi AR. Berikut gambar 2 tampilan desain AR.





Gambar 2. Desain AR (*Assemblr EDU*)

Desain visualisasi 3D dan animasi pada gambar 2 berfungsi untuk membantu peserta didik mengubah konsep-konsep abstrak menjadi lebih konkret, menarik, dan mudah dipahami, sehingga meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi pembelajaran. Desain E-LKPD dengan teknologi AR ini tidak hanya membuat pembelajaran lebih interaktif, tetapi juga mendorong peserta didik untuk lebih terlibat dalam proses belajar, menjadikan pengalaman pendidikan lebih menyenangkan dan efektif. Desain E-LKPD dengan Pendekatan STEAM, dapat dilihat pada table 11 berikut ini:

Tabel 11. Pendekatan STEAM

<p><b>Pendekatan science.</b></p>	<p>Pendekatan Sains membahas konsep-konsep dasar dalam fisika, khususnya yang berkaitan dengan materi medan magnet. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang fenomena fisik yang terjadi di sekitar kita, dengan fokus pada prinsip-prinsip sains yang mendasari interaksi magnetik.</p>
<p><b>Pendekatan Teknologi</b></p>	<p>Pendekatan Teknologi penerapan teknologi digital dengan penggunaan web <i>PhET simulasi</i> sebagai <i>platform</i> percobaan. Berikut gambar 5 pendekatan <i>engineering</i> dalam E-LKPD.</p>
<p><b>Pendekatan Engineering</b></p>	<p>Pendekatan <i>Engineering</i> memerintahkan peserta didik untuk membuat sebuah karya atau proyek yang penerapan prinsip kerja kemagnetan dan induksi medan magnet dalam kehidupan sehari-hari. Pendekatan ini bertujuan untuk membantu peserta didik memahami konsep-konsep fisika melalui pengalaman praktis, sekaligus mengembangkan keterampilan berpikir kreatif mereka dalam merancang dan membangun alat.</p>
<p><b>Pendekatan Art</b></p>	<p>Pendekatan <i>Art</i> yang membahas seni visual yang diimplementasikan melalui penggunaan gambar 3D dari aplikasi <i>Assemblr EDU</i>. Gambar 3D seperti medan magnet bumi, arah arus magnet, arah magnet sejenis, magnet dengan jenis yang berbeda, penemuan Hans Christian, solenoida, dan kaidah tangan kanan. Pendekatan ini berfokus pada bagaimana seni dapat memperkaya pengalaman belajar peserta didik, khususnya dalam membantu mereka memahami konsep-konsep yang</p>

terkait dengan ilmu pengetahuan dan teknologi.

**Pendekatan Mathematics**

**Pada pusat solenoida**

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L}$$

$N$  = jumlah lilitan  
 $L$  = panjang lilitan (m)

**Pada ujung-ujung solenoida**

$$B = \frac{\mu_0 I N}{2L}$$

**CONTOH SOAL**

Suatu solenoid yang cukup panjang memiliki panjang 25 cm, jari-jari 2 cm, dan terdiri atas 50 lilitan. Apabila solenoid dialiri arus 3 A, tentukan induksi magnetik di pusat dan di ujung solenoid.

Diketahui:

- Panjang solenoid  $L = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ .
- Jumlah lilitan  $N = 50$ .
- Arus  $I = 3 \text{ A}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ .

Ditanyakan:

Jumlah lilitan per satuan panjang adalah:  $n = \frac{N}{L} = \frac{50}{0,25} = 200 \text{ lilitan/m}$

Penelitian ini, pendekatan Matematika membahas penerapan konsep dan rumus matematika penyelesaian soal-soal yang berkaitan dengan materi medan magnet. Pendekatan matematika disajikan disetiap sub-materi. Pendekatan matematika untuk memastikan peserta didik tidak hanya memahami teori fisika secara kualitatif, tetapi juga secara kuantitatif melalui perhitungan yang benar dan tepat.

### Keterbatasan Produk

Seperti halnya penelitian lainnya, pengembangan E-LKPD berbantu aplikasi *Augmented Reality* (AR) ini memiliki keterbatasan yang perlu diungkap. Keterbatasan utama produk terletak pada ketergantungan terhadap perangkat teknologi dan koneksi internet. Teknologi AR, seperti aplikasi Assemblr EDU, memerlukan perangkat yang mendukung, seperti smartphone atau tablet dengan sensor kamera, untuk menjalankan aplikasinya dengan baik. Selain itu, aplikasi ini juga membutuhkan koneksi internet yang stabil untuk mengakses konten interaktif seperti animasi 3D, video, dan simulasi yang mendukung proses pembelajaran. Jika koneksi internet lemah atau tidak stabil, akan terjadi proses loading yang lambat, atau bahkan kegagalan dalam memuat elemen-elemen penting aplikasi. Tidak semua peserta didik memiliki akses ke perangkat atau koneksi internet yang memadai, terutama di wilayah-wilayah yang kurang berkembang atau terpencil. Kesenjangan digital ini berpotensi menciptakan ketidaksetaraan di antara peserta didik, di mana hanya mereka yang memiliki akses ke teknologi yang memadai dapat memanfaatkan fitur E-LKPD secara maksimal. Akibatnya, kualitas pengalaman belajar peserta didik, terutama dalam aspek interaktivitas dan visualisasi, akan berkurang, meskipun teknologi AR seharusnya menjadi keunggulan utama dalam produk ini.

Keterbatasan lain dalam proses pengembangan E-LKPD ini terletak pada produk yang hanya uji kelayakan, uji kepraktisan dan belum sampai tahap uji keefektifan produk. Akibatnya, efektivitas produk E-LKPD untuk melatih kemampuan berpikir kreatif peserta didik belum sepenuhnya dapat dilihat. Meskipun demikian, Integrasi teknologi *Augmented Reality* (AR) dan pendekatan STEAM dalam proses pembelajaran memberikan alternatif baru yang inovatif untuk memvisualisasikan konsep-konsep (Maričić & Lavicza, 2024) yang sulit dipahami, seperti konsep fisika. AR membantu peserta didik untuk berinteraksi dengan objek virtual dalam lingkungan nyata,

meningkatkan keterlibatan dan pemahaman peserta didik. Selain itu, (Prananta et al., 2024) menunjukkan bahwa teknologi ini berkontribusi pada pembelajaran abad 21 dengan menggabungkan elemen kreativitas dan teknologi dalam pendidikan (D. N. Sari et al., 2024). Inovasi ini bukan hanya menawarkan metode baru dalam penyampaian materi, tetapi juga mendukung pengembangan keterampilan kritis dan kreatif yang diperlukan di era digital saat ini (Setyawarno et al., 2024).

Penelitian ini mengeksplorasi kelayakan, dan daya tarik E-LKPD sebagai upaya melatih kemampuan berpikir kreatif peserta didik, serta memberikan kontribusi berharga bagi pengembangan bahan ajar inovatif di era digital. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan bahan ajar serupa, sekaligus memberikan wawasan baru bagi para pendidik yang ingin mengadopsi pendekatan pembelajaran berbasis teknologi.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa e-nose berbasis sensor MS-1100 telah terkalibrasi dan memiliki sensitivitas dan selektivitas yang baik terhadap gas aldehida (formaldehida), yakni sebesar 0,96 Volt/ppm gas aldehida. E-nose dapat membedakan jenis paparan gas yang diberikan ke dalam sistem dan terkalibrasi sesuai dengan datasheet sensor MS-1100. E-nose dapat digunakan untuk melakukan profiling konsentrasi gas aldehida pada gas buang pernapasan (*exhaled breath*) sampel orang normal dan orang dengan gangguan penyakit asma. Hasil analisis menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara konsentrasi gas aldehida pada orang sehat dengan penderita asma ( $p < 0,05$ ). Sampel nafas yang digunakan pada penelitian ini memiliki teknik pernapasan yang berbeda (durasi hembusan) tetapi tidak mempengaruhi langsung nilai konsentrasi gas aldehida (formaldehida) yang diukur. Pada orang sehat, konsentrasi gas aldehida berkisar antara 0,17 ppm hingga 0,89 ppm. Pada penderita asma,

konsentrasi gas aldehida lebih tinggi jika dibandingkan dengan orang sehat, yakni sebesar  $1,15 \pm 1,30$  ppm.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada anggota Laboratorium Fisika Lanjut - Instrumentasi dan Biofisika: Sabila Alhadawiyah, Nanda Medina Apriza, Karina Alma Fidya, dan Roviq Wijaya atas bantuannya.

### Daftar Pustaka

- Bakali U., Killawala C., Monteagudo E., Dikici E., Deo SK., & Daunert S. (2024). Exhaled breath analysis applications for evaluating occupational and environmental exposures.. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 177, 117787. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117787>
- Bikov A., Paschalaki K., Logan SR., Horváth I, Kharitonov SA, Barnes PJ., Usman OS., & Paredi P. (2013). Standardised exhaled breath collection for the measurement of exhaled volatile organic compounds by proton transfer reaction mass spectrometry. *BMC Pulmonary Medicine*, 13(43), 1-7. <http://www.biomedcentral.com/1471-2466/13/43>
- Binson V.A., Akbar R., Thankachan N., & Thomas S. (2022). Design and construction of a portable e-nose system for human exhaled breath VOC analysis. *Journal of Mater Today Proc*, 58(1), 422-427. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.388>
- Budianto A. (2022). A propanol gas measurement system using a quartz crystal microbalance as a mass sensor. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, 9:(2), 70-74. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jeest.2022.009.02.4>
- Cazzola M., Andrea S., Rosamaria C., Alberto B., Eugenio M., Luigino C., Paola R., Chiara C., Josuel O., Roberto P., Corrado D.N., & Arnaldo D.A. (2015). Analysis of exhaled breath fingerprints and volatile organic compounds in COPD. *Journal of COPD Research and Practice*, 1(7), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40749-015-0010-1>
- Chen T., Liu T., Zhao H., & Chen Q. (2021). Exhaled breath analysis in disease detection. *Clinica Chimica Acta*, 515, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2020.12.036>
- Cikach FS., & Dweik RA. (2012). Cardiovascular Biomarkers in Exhaled Breath. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 55(1), 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2012.05.005>
- Hashoul D., & Haick H. (2024). Sensors for detecting pulmonary diseases from exhaled breath. *European Respiratory Review*, 28(152), 1-13. <https://doi.org/10.1183/16000617.0011-2019>
- Lee S., Kim M., Ahn BJ., & Jang Y. (2023). Odorant-responsive biological receptors and electronic noses for volatile organic compounds with aldehyde for human health and diseases: A perspective review. *Journal of Hazard Mater*, 455, 131555. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131555>
- Maloča VI., Turkalj M., Nogalo B., Bulat LS., & Plavec D. (2017). Diagnostic value of a pattern of exhaled breath condensate biomarkers in asthmatic children. *Allergologia et Immunopathologia (Madr)*, 45(1),2-10. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2016.05.001>
- Palczek A., & Rydosz A. (2024). The effect of high ethanol concentration on E-nose response for diabetes detection in exhaled breath: Laboratory studies. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 408, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2024.135550>
- Scarlata S., Pennazza G., Santonico M., Pedone C., & Antonelli IR. (2015). Exhaled breath analysis by electronic nose in respiratory disease. *Expert Rev Mol Diagn*, 15(7), 933-956. <https://doi.org/10.1586/14737159.2015.1043895>
- Vasilescu A., Hrinchenko B., Swain GM., & Petcu SF. (2021). Exhaled breath biomarker sensing. *Biosensors and Bioelectronics*, 182, 113193.. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113193>
- Widhowati AA., Wardoyo AYP., Dharmawan HA., Nurhuda M., & Buadiano A. (2021). Development of a portable volatile organic compounds concentration measurement system using a CCS811 air quality sensors. *IEEE Xplore*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ISESD53023.2021.9501642>
- Wijsman PC., Goorsenberg AWM., d'Hooghe JNS., Weersink EJM., Fenn DW., Maitland van der Zee AH., Annema JT., Brinkman P., & Bonta PI. (2024). Exhaled breath analyses for bronchial thermoplasty in severe asthma patients. *Respiratory Medicine*, 225, 1-10 <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2024.107583>
- Wu G., Du H., Pakravan K., Kim W., Cha YL., Chiang ST., Majid B., Xinyu Z., Sun HK., Xuejun P., & Dong JK. (2023). Polyaniline/Ti3C2Tx functionalized mask sensors for monitoring of CO2 and human respiration rate. *Journal*

*Chemical Engineering*, 475(1),146228.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146228>

Yani A., Wardoyo AYP., Anggraeni D., & Budianto A. (2024). Development of a Measurement system of Ethanol Gas Based on TGS-2600, TGS-2603, and MQ-138 sensors. *AIP Conference Proceedings*, 3236(1), 1-6.  
<https://doi.org/10.1063/5.0211681>