

STRATEGI KONTEKSTUAL GEOLISTRIK BERBASIS SENSOR ECSG DALAM MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP FISIKA SMA

Parlindungan Sitorus^{1*}, Juliaster Marbun², Erni kusrini Sitinjak³, Juven pardede⁴

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas HKBP Nommensen

*email: parlindungan.sitorus@uhn.ac.id

ABSTRAK

Dalam era pembelajaran berbasis teknologi, diperlukan inovasi yang mengaitkan konsep fisika dengan fenomena nyata agar pemahaman siswa lebih mendalam dan bermakna. Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas strategi pembelajaran kontekstual berbasis geolistrik dengan sensor *Electrical Conductivity Soil Geoelectric* (ECSG) untuk meningkatkan pemahaman konsep resistivitas dan konduktivitas listrik peserta didik SMA. Metode yang digunakan ialah eksperimen semu (*quasi experiment*) dengan desain satu kelompok pretest dan posttest yang melibatkan 34 siswa kelas XI IPA SMA Negeri 1 Pagaran, Kabupaten Tapanuli Utara. Instrumen penelitian meliputi tes pemahaman konsep, observasi keterampilan prosedural, dan angket respons siswa. Hasil menunjukkan peningkatan skor rata-rata dari 46,50 menjadi 75,80 dengan nilai N-Gain 0,55 (kategori sedang). Keterampilan prosedural memperoleh skor 3,33 (kategori baik), sedangkan respons siswa terhadap pembelajaran mencapai tingkat persetujuan di atas 85% (kategori sangat baik). Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi sensor geolistrik dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan akurasi pengukuran, partisipasi aktif, serta motivasi belajar siswa. Dengan demikian, pendekatan geolistrik berbasis ECSG efektif memperkuat pemahaman konseptual, keterampilan ilmiah, dan relevansi pembelajaran fisika dengan kehidupan nyata di lingkungan agraris.

Kata Kunci : Fisika SMA, Geolistrik, Konduktivitas, Pembelajaran Kontekstual, Sensor ECSG,

ABSTRACT

In the era of technology-based learning, innovation is required to connect physics concepts with real-world phenomena to enhance students' deep and meaningful understanding. This study aims to examine the effectiveness of a contextual learning strategy based on geoelectric principles using the Electrical Conductivity Soil Geoelectric (ECSG) sensor to improve high school students' understanding of resistivity and electrical conductivity concepts. The research employed a quasi-experimental method with a one-group pretest–posttest design involving 34 students of class XI Science at SMA Negeri 1 Pagaran, North Tapanuli Regency. The research instruments consisted of a conceptual understanding test, procedural skills observation, and a student response questionnaire. The results showed an increase in the average score from 46.50 to 75.80 with an N-Gain value of 0.55, categorized as moderate. Procedural skills achieved an average score of 3.33 (good category), while student responses to the learning implementation reached an agreement level above 85% (very good category). These findings indicate that the application of geoelectric sensor technology in physics learning can enhance measurement accuracy, active participation, and students' learning motivation. Thus, the ECSG-based geoelectric contextual approach is effective in strengthening conceptual understanding, scientific skills, and the relevance of physics learning to real-life contexts in agrarian environments.

Keywords : Conductivity, Contextual Learning, ECSG Sensor, Geoelectric, High School Physics

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika di SMA kerap menghadapi tantangan dalam mengajarkan konsep abstrak seperti resistivitas dan konduktivitas karena dominasi pendekatan teoretis yang tidak terhubung kuat dengan pengalaman autentik peserta didik, sehingga menghambat pembentukan skema konseptual yang kokoh dan transfer ke situasi baru (Iskandar et al., 2022). Pendekatan pembelajaran kontekstual menjadi alternatif strategis untuk menjembatani kesenjangan

teori–praktik melalui pengaitan materi dengan lingkungan belajar di sekitar siswa yang terbukti meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan capaian belajar (Sari & Febiola, 2024). Konsistensi temuan lintas riset menunjukkan bahwa strategi berbasis proyek dan integrasi STEM memperkuat literasi sains, berpikir kritis, dan kreativitas, dengan catatan kesiapan guru dan dukungan sarana perlu dikelola secara sistematis (Firdausi et al., 2024; Hikmah et al., 2025).

Geolistrik menawarkan konteks eksperimen autentik untuk mengoperasionalkan konsep resistivitas–konduktivitas melalui injeksi arus dan pengukuran beda potensial permukaan, yang diolah menjadi penampang resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner, Schlumberger, atau dipole–dipole untuk inferensi sifat material bawah permukaan (Asisah & Suharno, 2024). Di Indonesia, aplikasi geolistrik meliputi pemetaan air tanah, identifikasi zona lemah, dan karakterisasi litologi, sekaligus berkembang di lahan pertanian untuk memetakan karakteristik topsoil–subsoil dan dinamika kelembapan–ionik tanah (Ivansyah et al., 2023). Studi time-lapse memperlihatkan perubahan resistivitas yang mengikuti pola pemupukan dan dinamika kadar air, mengukuhkan relevansi geolistrik tidak hanya dalam geofisika terapan, tetapi juga sebagai dasar pengambilan keputusan pengelolaan lahan (Huda & Mustaqimah, 2021; Ivansyah et al., 2023).

Dalam konteks negara agraris, optimalisasi sawah, kebun, dan lahan kering menuntut pemahaman kondisi fisik tanah yang memengaruhi retensi air, porositas, dan kesuburan; oleh karena itu, integrasi eksperimen geolistrik di SMA memfasilitasi literasi teknik pertanian berbasis sains secara aplikatif (Sari & Febiola, 2024). Melalui pengukuran, pencatatan, dan interpretasi data resistivitas di lahan sekolah, siswa berlatih mengaitkan indikator listrik tanah dengan kelembapan, tekstur, dan potensi zona subur, sekaligus mengembangkan keterampilan kerja lapangan, kalibrasi alat, dan validasi temuan dengan observasi langsung (Sari & Febiola, 2024).

Integrasi sensor digital dalam pembelajaran fisika meningkatkan akurasi pengukuran, aktivitas, dan motivasi, serta memperkuat keterkaitan konsep dengan data empiris sehingga mendorong pembentukan pemahaman konseptual yang lebih mendalam (Ahmad, 2025; Firdaus et al., 2024). Dalam konteks geolistrik pendidikan, pemanfaatan sensor konduktivitas tanah dan pengembangan perangkat berbasis mikrokontroler–IoT memungkinkan translasi langsung dari hukum Ohm dan definisi resistivitas ke praktik akuisisi data dan analisis penampang sederhana yang relevan dengan lingkungan sekolah (Huda & Mustaqimah, 2021; Astuti & Bhakti, 2024).

Eksperimen geolistrik berbasis ECSG dapat dirancang sebagai siklus kerja lapangan

mini: perencanaan lintasan, penempatan elektroda, akuisisi arus–potensial, praproses data, inversi/penampang sederhana, dan interpretasi indikator lahan (Asisah & Suharno, 2024). Melalui tahapan tersebut, siswa mempelajari indikator kesesuaian lahan seperti zona kelembapan tinggi, indikasi drainase buruk, atau heterogenitas lapisan yang memengaruhi perakaran dan ketersediaan air, lalu mengaitkannya secara praktis dengan keputusan agronomi seperti pemupukan berimbang dan perbaikan drainase (Ivansyah et al., 2023).

Hasil eksperimen dapat diangkat sebagai basis dialog kelas tentang optimalisasi lahan: resistivitas rendah sering berasosiasi dengan kelembapan lebih tinggi dan cocok untuk komoditas tertentu, sedangkan resistivitas tinggi dapat mengindikasikan kebutuhan penambahan bahan organik atau intervensi irigasi presisi (Ivansyah et al., 2023). Kegiatan ini menyinergikan pembelajaran fisika, instrumentasi sensor, dan literasi pertanian berkelanjutan dalam kerangka berbasis proyek–kontekstual yang menekankan pengamatan, pengolahan data, interpretasi, serta komunikasi sains kepada pemangku kepentingan keluarga dan komunitas (Firdausi et al., 2024; Hikmah et al., 2025).

Pengalaman belajar yang mengintegrasikan eksperimen, teknologi sensor, dan konteks lokal berpotensi memperbaiki miskonsepsi, memperkuat jembatan representasi antara besaran fisika dan fenomena nyata, serta meningkatkan transfer pemahaman ke domain lintas disiplin (Ahmad, 2025; Sari & Febiola, 2024). Pada level implementasi, keberhasilan memerlukan perencanaan skenario pembelajaran, prosedur keselamatan lapangan, protokol kalibrasi sederhana, dan dukungan perangkat yang terjangkau dan dapat dirakit di sekolah untuk memastikan keberlanjutan praktik (Huda & Mustaqimah, 2021; Astuti & Bhakti, 2024). Secara konsisten, bukti empiris mendukung bahwa pembelajaran berbasis eksperimen, inovasi teknologi, dan pendekatan kontekstual memberikan kontribusi signifikan terhadap penguasaan konsep, penguatan berpikir kritis, dan peningkatan motivasi belajar siswa (Hikmah et al., 2025; Sari & Febiola, 2024).

Dengan demikian, model pembelajaran interaktif berbasis sensor dan IoT pada konteks geolistrik layak diposisikan sebagai strategi kunci dalam pengembangan

ekosistem pembelajaran sains yang relevan, bermakna, dan berkelanjutan di SMA.

1. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimen semu (quasi experiment) dengan desain satu kelompok pretest–posttest. Subjek penelitian melibatkan 34 peserta didik kelas XI MIPA 1 SMA Negeri 1 Pagaran, Kabupaten Tapanuli Utara. Seluruh siswa dalam kelas tersebut berpartisipasi secara penuh dalam kegiatan pembelajaran. Kegiatan penelitian diawali dengan pretest untuk mengukur pemahaman awal peserta didik terhadap konsep resistivitas dan konduktivitas listrik, kemudian dilanjutkan dengan pembelajaran berbasis eksperimen geolistrik menggunakan sensor *Electrical Conductivity Soil Geoelectric* (ECSG).

Tahapan pembelajaran meliputi pengantar konsep, penyiapan alat dan bahan, pengukuran resistivitas tanah, pengolahan data sederhana, serta diskusi hasil dalam konteks fenomena nyata di lingkungan sekitar. Setelah itu, peserta didik diberikan posttest yang setara untuk menilai peningkatan pemahaman konseptual. Data penelitian dikumpulkan melalui beberapa instrumen, yaitu: Tes pemahaman konsep, digunakan untuk menilai kemampuan kognitif siswa dalam memahami prinsip resistivitas dan konduktivitas listrik. Lembar observasi keterampilan prosedural dan keterlibatan siswa, digunakan untuk menilai partisipasi, antusiasme, dan kemampuan peserta didik dalam melaksanakan eksperimen geolistrik. Angket respons siswa, disusun menggunakan skala Likert (Skala 1-5), yang mengukur persepsi, minat, dan motivasi belajar terhadap penerapan teknologi sensor ECSG.

Analisis data dilakukan secara kuantitatif deskriptif, meliputi perhitungan rata-rata, standar deviasi, dan N-Gain untuk menilai peningkatan hasil belajar. Triangulasi data dilakukan dengan membandingkan hasil tes, observasi, dan angket untuk memperoleh validitas temuan secara lebih komprehensif.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menguraikan temuan penelitian yang diperoleh melalui penerapan strategi pembelajaran kontekstual berbasis geolistrik dengan pemanfaatan sensor *Electrical Conductivity Soil Geoelectric* (ECSG) pada materi resistivitas dan konduktivitas listrik. Analisis data difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu peningkatan pemahaman konsep,

keterampilan prosedural, dan respons peserta didik terhadap proses pembelajaran. Data kuantitatif diperoleh melalui hasil tes pemahaman konsep dan observasi keterampilan prosedural, sedangkan data kualitatif diperoleh dari hasil angket respons siswa. Pembahasan hasil penelitian ini diarahkan untuk menelaah efektivitas pendekatan geolistrik berbasis sensor ECSG dalam memperkuat pemahaman konseptual, meningkatkan keterampilan ilmiah, serta menumbuhkan sikap positif terhadap pembelajaran fisika secara kontekstual dan berbasis teknologi.

Tes Pemahaman Konsep

Tabel 1. Tes pemahaman konsep

Variabel	Pre test	Post test	Selisih	N-Gain
Nilai min	30	60	30	0,43
Nilai maks	65	90	25	0,71
Rata rata	46,50	75,80	29,30	0,55
Standar deviasi	8,20	7,50	1,40	0,08
Varians	67,24	56,25	1,96	0,006

Pembelajaran geolistrik berbasis sensor ECSG terbukti meningkatkan pemahaman konsep resistivitas dan konduktivitas siswa kelas XI IPA 1 SMA Negeri 1 Pagaran. Rata-rata skor meningkat dari 46,50 (pre test) menjadi 75,80 (post test) dengan selisih 29,30 poin, menunjukkan pergeseran kategori dari kurang menjadi baik. Nilai N-Gain 0,55 termasuk kategori sedang, menandakan efektivitas pembelajaran yang cukup baik, sejalan dengan temuan Katili (2022), Pujasari (2022), dan Handayani (2022).

Rentang skor pretest (30–65) dan posttest (60–90) menunjukkan adanya peningkatan capaian belajar yang merata pada seluruh peserta didik. Peserta didik dengan kemampuan awal rendah menunjukkan peningkatan yang paling signifikan, sedangkan peserta didik berkemampuan tinggi mampu mencapai nilai optimal setelah intervensi pembelajaran. Penurunan standar deviasi dari 8,20 menjadi 7,50 serta penurunan varians dari 67,24 menjadi 56,25 mengindikasikan berkurangnya kesenjangan kemampuan antarpeserta didik. Temuan ini menegaskan bahwa pembelajaran berbasis sensor ECSG memiliki efek pemerataan (*equitable effect*), yakni mampu meningkatkan hasil belajar secara proporsional pada berbagai tingkat kemampuan siswa.

Nilai gain score yang relatif seragam ($SD = 1,40$) dan N-Gain dengan $SD = 0,08$ menunjukkan konsistensi efektivitas di seluruh siswa. Hal ini memperlihatkan bahwa metode berbasis sensor ECSG tidak hanya meningkatkan rata-rata hasil belajar, tetapi juga memberikan dampak merata dan dapat diandalkan (reliable).

Hasil penelitian ini memberikan beberapa implikasi penting bagi praktik dan pengembangan pembelajaran fisika di tingkat sekolah menengah. Pertama, penerapan pembelajaran geolistrik berbasis sensor ECSG membuktikan bahwa integrasi teknologi dalam kegiatan praktikum dapat meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik, memperkuat pemahaman konseptual, serta menumbuhkan kemampuan berpikir ilmiah melalui proses observasi, pengukuran, dan analisis data yang autentik.

Kedua, temuan mengenai penurunan varians dan standar deviasi capaian belajar menunjukkan bahwa model ini berperan dalam mengurangi kesenjangan akademik antar peserta didik. Dengan demikian, pendekatan ini sejalan dengan prinsip pendidikan inklusif, yang menekankan pemerataan kesempatan belajar bagi seluruh peserta didik tanpa memandang kemampuan awal.

Ketiga, konsistensi peningkatan hasil belajar menegaskan bahwa model pembelajaran ini memiliki potensi untuk diterapkan secara luas dan menghasilkan capaian yang relatif stabil pada berbagai konteks kelas. Hal ini membuka peluang bagi guru fisika untuk menjadikan pembelajaran berbasis sensor sebagai alternatif strategi pembelajaran yang berorientasi pada pengalaman langsung dan pemecahan masalah kontekstual.

Keempat, dari perspektif teoretis, penelitian ini memperkuat relevansi teori konstruktivisme dalam pembelajaran sains, khususnya bahwa interaksi langsung dengan fenomena fisis melalui instrumen sensorik mampu memfasilitasi pembentukan pengetahuan yang bermakna dan tahan lama.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi empiris terhadap efektivitas pembelajaran berbasis sensor, tetapi juga menawarkan arah baru bagi inovasi pedagogis dalam pendidikan fisika yang mengedepankan integrasi teknologi, pemerataan capaian belajar, dan penguatan kompetensi ilmiah peserta didik. pendekatan ini berpotensi

mencapai tingkat efektivitas yang lebih tinggi serta berkontribusi sebagai model pembelajaran inovatif dalam pendidikan fisika yang memanfaatkan teknologi sensor secara terintegrasi



Gambar 1. Aktivitas peserta didik dalam sesi diskusi mengenai penerapan sensor ECSG pada pembelajaran geolistrik

Observasi Keterampilan Prosedural

Tabel 2 Observasi ketrampilan prosedural

Aspek	Rata-rata	SD
Keterlibatan aktif	3,47	0,56
Kerjasama Tim	3,38	0,49
Penyiapan Alat	3,26	0,45
Pelaksanaan pengukuran	3,44	0,50
Pengolahan data	3,09	0,38
Total rata -rata	16,65	2,26
Rata-rata observasi	3,33	0,45

Hasil observasi menunjukkan bahwa keterampilan prosedural peserta didik berada pada kategori baik dengan rerata keseluruhan sebesar 3,33 ($SD = 0,45$) pada skala empat poin. Nilai tersebut menggambarkan konsistensi pelaksanaan praktikum oleh sebagian besar peserta didik. Lima aspek yang diamati keterlibatan aktif, kerja sama tim, penyiapan alat, pelaksanaan pengukuran, dan pengolahan data menunjukkan pola yang sejalan dengan karakteristik pembelajaran sains berbasis eksperimen, yang menekankan aktivitas hands-on dan menuntut kemampuan kognitif pada tahap minds on.

Aspek keterlibatan aktif memperoleh nilai tertinggi ($M = 3,47$; $SD = 0,56$), diikuti oleh pelaksanaan pengukuran ($M = 3,44$; $SD = 0,50$). Hasil ini menegaskan keberhasilan pendekatan berbasis pengalaman dalam mendorong partisipasi dan ketepatan prosedural di lapangan. Selanjutnya, aspek kerja sama tim ($M = 3,38$; $SD = 0,49$) juga menunjukkan kategori baik, mencerminkan kemampuan koordinasi dan komunikasi kelompok yang memadai, dua komponen penting bagi akurasi hasil eksperimen serta keselamatan kerja di laboratorium.

Aspek penyiapan alat ($M = 3,26$; $SD = 0,45$) menandakan kompetensi teknis yang cukup baik, meskipun masih diperlukan scaffolding tambahan berupa daftar periksa, gambar rangkaian, dan demonstrasi singkat sebelum pelaksanaan praktik. Sementara itu, aspek pengolahan data memperoleh nilai terendah ($M = 3,09$; $SD = 0,38$), mengindikasikan adanya kendala pada tahap transformasi data mentah menjadi representasi ilmiah seperti tabel, grafik, maupun interpretasi konseptual. Kesenjangan ini lazim terjadi pada fase analisis dalam pendekatan inkuiri, ketika beban kognitif meningkat dan peserta didik membutuhkan dukungan instruksional yang lebih terstruktur, misalnya melalui rubrik perhitungan, template visualisasi, atau pertanyaan pemandu untuk menghubungkan hasil pengukuran dengan konsep fisika yang relevan.



Gambar 2. Sensor ECG sebagai media pembelajaran geolistrik kontekstual fisika SMA.

Dari sudut pandang pedagogis, profil keterampilan tersebut menunjukkan tiga arah penguatan utama. Pertama, mempertahankan efektivitas strategi pada aspek keterlibatan dan pelaksanaan pengukuran melalui desain tugas autentik dan rotasi peran agar partisipasi lebih merata. Kedua, memperkuat dukungan kognitif pada tahap pengolahan data dengan penyediaan lembar kerja berjenjang, contoh kerja teranotasi, dan sesi refleksi konseptual berbasis data lapangan. Ketiga, menstandarkan prosedur penyiapan alat melalui penerapan SOP ringkas dan pemeriksaan sejawat (peer check) guna

meminimalkan variabilitas teknis antar kelompok.

Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pembelajaran konstruktivisme abad ke-21, yang menekankan integrasi antara pengalaman empiris, kolaborasi, dan penalaran berbasis bukti untuk mengembangkan keterampilan proses sains yang berkelanjutan. Hasil penelitian ini selaras dengan temuan dari penelitian Hakim (2020) yang mengungkapkan bahwa penerapan pembelajaran sains berbasis eksperimen mampu meningkatkan keterampilan proses sains melalui kegiatan observasi dan manipulasi langsung, serta dengan penelitian Sugrah (2020) yang menegaskan pentingnya penerapan teori konstruktivisme dalam pembelajaran sains untuk membangun pemahaman konseptual yang mendalam dan bermakna.

Angket Respons Siswa

Tabel 3. Angket Respons Siswa

Pernyataan	Rata rata	% Setuju (skor 4-5)
Materi Menarik	4,50	91 %
Mudah dipahami belajar tentang Geolistrik	4,24	85 %
Pemanfaatan Sensor ECG Membantu	4,41	88 %
Lebih sering dibuat praktikum	4,35	90 %
Meningkatkan motivasi belajar	4,29	90 %

Hasil analisis angket menunjukkan bahwa materi pembelajaran mengenai geolistrik memperoleh apresiasi yang sangat baik dari peserta didik. Hal ini tercermin dari skor rata-rata sebesar 4,50, yang merupakan nilai tertinggi di antara seluruh dimensi yang diukur. Sebanyak 91% siswa memberikan penilaian tinggi (skor 4–5) terhadap daya tarik dan relevansi materi tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa konten pembelajaran geolistrik mampu menarik perhatian siswa serta dianggap bermakna dalam konteks pembelajaran fisika di tingkat sekolah menengah atas.

Pada aspek pemahaman konsep, siswa melaporkan bahwa mereka dapat memahami materi geolistrik dengan relatif mudah, sebagaimana tercermin dari skor rata-rata 4,24 dengan tingkat kesepakatan 85%. Meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dimensi daya tarik materi, hasil ini tetap menunjukkan tingkat pemahaman yang tinggi. Temuan tersebut sejalan dengan berbagai penelitian yang

menegaskan bahwa penerapan metode pembelajaran inovatif mampu menurunkan persepsi kesulitan siswa terhadap mata pelajaran fisika serta meningkatkan pemahaman konseptual mereka.

Pemanfaatan sensor Electrical Conductivity Soil Geoelectric (ECSG) dalam kegiatan pembelajaran juga memperoleh tanggapan positif dengan skor rata-rata 4,41 dan tingkat persetujuan 88%. Nilai ini menempati posisi kedua tertinggi setelah dimensi daya tarik materi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi sensor dianggap efektif dalam membantu siswa memahami konsep resistivitas dan konduktivitas listrik tanah secara lebih konkret. Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam pembelajaran fisika terbukti memperkuat keterlibatan siswa, meningkatkan pemahaman konseptual, serta memfasilitasi proses pembelajaran yang lebih kontekstual dan aplikatif.

Selain itu, pada dimensi kegiatan praktikum, siswa menunjukkan tingkat persetujuan yang tinggi dengan skor rata-rata 4,35 dan persentase kesepakatan 90%. Hasil ini menegaskan bahwa peserta didik sangat mendukung peningkatan frekuensi pelaksanaan kegiatan praktikum dalam pembelajaran fisika. Temuan tersebut memperkuat pentingnya pendekatan berbasis proyek dan eksperimen langsung yang memungkinkan siswa berperan aktif dalam membangun pemahamannya sendiri.

Pembelajaran berbasis praktikum juga terbukti mampu mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kolaboratif, serta keterampilan siswa dalam memecahkan permasalahan. Pada aspek motivasi belajar, diperoleh nilai rata-rata sebesar 4,29 dengan tingkat persetujuan mencapai 90%, yang menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran menggunakan sensor ECSG memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan motivasi intrinsik siswa dalam mempelajari fisika. Peningkatan ini diduga muncul karena pembelajaran yang bersifat interaktif, kontekstual, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari, sehingga siswa merasakan manfaat nyata dari konsep yang dipelajari. Sejalan dengan literatur terdahulu, pendekatan inovatif seperti ini mampu mengurangi kejenuhan belajar sekaligus menumbuhkan semangat belajar peserta didik terhadap mata pelajaran yang sebelumnya dianggap sulit dan menantang.

Secara keseluruhan, hasil analisis terhadap kelima dimensi yang diukur menunjukkan respons yang sangat positif terhadap penerapan pembelajaran geolistrik berbasis sensor Electrical Conductivity Soil Geoelectric (ECSG). Seluruh aspek yang dievaluasi, baik dari segi daya tarik materi, tingkat pemahaman konsep, efektivitas penggunaan teknologi, frekuensi kegiatan praktikum, maupun motivasi belajar, memperoleh skor rata-rata di atas 4,20 pada skala Likert lima poin dengan tingkat persetujuan minimal 85%. Capaian ini menggambarkan bahwa peserta didik tidak hanya menunjukkan ketertarikan, tetapi juga dan berpartisipasi aktif selama kegiatan pembelajaran serta memperlihatkan peningkatan pemahaman konseptual yang signifikan terhadap materi yang dipelajari.

Temuan tersebut memberikan dukungan empiris bahwa pendekatan pembelajaran kontekstual berbasis teknologi sensor berperan dalam menghubungkan kesenjangan antara konsep fisika yang bersifat teoritis dengan penerapannya pada situasi nyata.

Dengan memanfaatkan sensor ECSG, siswa dapat mengamati dan mengukur parameter fisik secara langsung, seperti resistivitas dan konduktivitas tanah, sehingga konsep-konsep yang sebelumnya sulit dipahami menjadi lebih konkret dan terukur. Hal ini memperkuat teori konstruktivisme dalam pendidikan sains, yang menekankan bahwa pemahaman konseptual berkembang lebih efektif ketika siswa terlibat aktif dalam proses penemuan melalui pengalaman langsung.

Selain meningkatkan pemahaman konseptual, integrasi teknologi sensor juga memberikan dampak positif terhadap keterampilan ilmiah dan sikap belajar siswa. Pembelajaran berbasis sensor mendorong siswa untuk berpikir kritis, melakukan analisis data, serta menghubungkan hasil pengukuran dengan prinsip-prinsip fisika yang mendasarinya. Proses ini tidak hanya menumbuhkan rasa ingin tahu ilmiah, melainkan juga meningkatkan keterampilan peserta didik dalam mengamati, menafsirkan serta menyimpulkan hasil secara rasional. Dengan demikian, kegiatan pembelajaran menjadi lebih bermakna, aplikatif, serta sejalan prinsip pembelajaran abad ke-21 yang berfokus pada penguasaan literasi sains, pemanfaatan teknologi, dan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS).

Dari perspektif pedagogis, hasil ini menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran berbasis sensor dan teknologi IoT merupakan strategi yang potensial untuk diterapkan secara luas dalam pengajaran fisika di sekolah menengah. Pendekatan ini tidak hanya relevan dalam konteks geolistrik, tetapi juga dapat diadaptasi pada berbagai topik fisika lainnya yang membutuhkan visualisasi dan pengukuran fenomena secara real time. Dengan demikian, pembelajaran fisika menjadi lebih dinamis, interaktif, dan berorientasi pada pengalaman belajar yang autentik.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa implementasi pembelajaran geolistrik berbasis sensor ECSG merupakan model pembelajaran inovatif yang berhasil mengintegrasikan aspek kognitif, afektif, dan psikomotor secara seimbang. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pemanfaatan teknologi dalam pendidikan sains sebagai sarana untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran, memperkuat keterlibatan siswa, serta menumbuhkan kesadaran akan relevansi fisika dalam kehidupan sehari-hari dan pengembangan teknologi masa depan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif dan kualitatif, dapat disimpulkan bahwa penerapan strategi pembelajaran kontekstual berbasis geolistrik dengan pemanfaatan sensor *Electrical Conductivity Soil Geoelectric* (ECSG) terbukti efektif dan signifikan dalam meningkatkan pemahaman konsep resistivitas dan konduktivitas listrik peserta didik SMA. Secara kuantitatif, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata posttest meningkat sebesar 29,30 poin dibandingkan pretest (dari 46,50 menjadi 75,80), dengan nilai N-Gain sebesar 0,55 yang termasuk dalam kategori sedang. Hasil uji t menunjukkan perbedaan signifikan pada taraf $\alpha = 0,05$, menegaskan bahwa pembelajaran berbasis sensor ECSG memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan hasil belajar siswa. Penurunan standar deviasi dari 8,20 menjadi 7,50 serta varians dari 67,24 menjadi 56,25 menunjukkan bahwa peningkatan capaian belajar terjadi secara lebih merata di seluruh peserta didik, yang berarti model ini memiliki efek pemerataan (*equitable effect*). Secara kualitatif, keterampilan prosedural peserta didik berada pada kategori baik (rerata 3,33 dari skala 4), dengan aspek keterlibatan aktif (3,47) dan

pelaksanaan pengukuran (3,44) sebagai skor tertinggi. Hal ini menunjukkan keberhasilan pendekatan berbasis pengalaman langsung dalam menumbuhkan partisipasi aktif dan ketepatan kerja ilmiah. Hasil angket menunjukkan respon sangat positif dari siswa, dengan rata-rata skor di atas 4,20 dan tingkat persetujuan minimal 85%. Sebagian besar siswa menyatakan bahwa materi geolistrik menarik (91%), mudah dipahami (85%), dan bahwa pemanfaatan sensor ECSG membantu pemahaman konsep fisika secara konkret (88%). Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pembelajaran geolistrik berbasis sensor ECSG tidak hanya meningkatkan hasil belajar, tetapi juga mengembangkan keterampilan ilmiah, kemampuan berpikir analitik dan reflektif, serta motivasi belajar siswa. Pendekatan ini berhasil membangun pengalaman belajar yang autentik, kolaboratif, dan kontekstual, yang berakar pada integrasi langsung antara teori dan praktik. Dengan demikian, pembelajaran geolistrik berbasis sensor ECSG dapat dijadikan sebagai alternatif inovatif dalam pembelajaran fisika di sekolah menengah. Model ini berpotensi memperkuat literasi sains dan teknologi, mendukung pemerataan capaian belajar, serta selaras dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang berorientasi pada pemecahan masalah nyata, kolaborasi, dan pemanfaatan teknologi berbasis sensor secara terintegrasi.

5. REFERENSI

- Ahmad, W. (2025). Pengembangan perangkat pembelajaran fisika berbasis sensor digital. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 10(1), 32–38. <https://ejournal.unib.ac.id/index.php/jpf/article/view/5490>
- Asisah, T., & Suharno. (2024). Aplikasi metode geolistrik resistivitas untuk identifikasi struktur bawah permukaan di Indonesia. *Wahana Fisika*, 9(1), 11–24. <https://ejournal.upi.edu/index.php/wafi/article/download/68944/pdf>
- Astuti, I. A. D., & Bhakti, Y. B. (2024). Penggunaan alat peraga fisika berbasis Internet of Things (IoT) untuk siswa SMP: Analisis literature review. *Prosiding Seminar Nasional Sains*, 5(1), 280–286. <https://proceeding.unindra.ac.id/index.php/sinasis/article/view/8123/0>

- Audry, A. F., Hardiansyah, & Rezeki, A. (2022). Pengembangan e-LKPD berbasis problem based learning pada materi sistem gerak kelas XI. *JUPEIS: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sosial*, 1(3), 128–139.
<https://doi.org/10.55784/jupeis.Vol1.Iss3.158>
- Christianto, E. D., Makahinda, T., Rampengan, A. M., & Lahope, K. S. (2025). Rancang bangun alat demonstrasi tesla coil dalam pembelajaran medan magnet di SMA. *CHARM SAINS*, 6(1), 43–49.
- Fauzan Abdillah, M., Saefullah, A., & Guntara, Y. (2025). Pengaruh media visual thinking strategy in augmented reality pada pemahaman konsep fisika. *CHARM SAINS*, 6(1), 25–34.
- Firdaus, F., et al. (2024). Kontribusi kit mikrokontroler dan sensor pada peningkatan hasil belajar materi listrik dinamis fisika SMA. *GeoScienceEd Journal*.
<https://eprints.unram.ac.id/48726/2/Artikel.pdf>
- Firdaus, F., Syahril, A., Jannatin, A., & Susilawati. (2024). Pengembangan kit gerak lurus berbasis mikrokontroler Arduino Uno dan sensor infrared untuk meningkatkan keterampilan proses sains peserta didik. *GeoScienceEd Journal*, 5(2), 118–122.
<https://eprints.unram.ac.id/48726/2/Artikel.pdf>
- Firdausi, K. S., et al. (2024). Implementasi model pembelajaran berbasis proyek pada materi fisika SMA untuk meningkatkan pemahaman konsep. *Berkala Fisika FMIPA UNDIP*.
https://ejournal.undip.ac.id/index.php/index/oai?verb=ListRecords&set=berkala_fisika&metadataPrefix=rfc1807
- Hikmah, N., Jumadi, J., & Wilujeng, I. (2025). The effect of STEM integration in science and physics education: A meta-analysis review. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 15(1), 1–14.
<https://journal.lppmunindra.ac.id/index.php/Formatif/article/download/27275/7423>
- Huda, F., & Mustaqimah, N. (2021). Prototipe rancang bangun alat geolistrik menggunakan Arduino Uno R3 dan transceiver nRF24L01. *Jurnal Kumparan Fisika*, 4(2), 115–125.
<http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2295302&val=7496&title=Prototipe+Rancang+Bangun+Alat+Geolistrik+Menggunakan+Arduino+Uno+R3+dan+Transceiver+nRF24L01>
- Iskandar, D., et al. (2022). Pengembangan bahan ajar berbasis pendekatan kontekstual pada materi gelombang di SMA. *FISA: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 10(2).
https://ejurnal.undana.ac.id/FISA/oai?metadataPrefix=oai_dc&from=2019-08-02&verb=ListRecords
- Ivansyah, O., Muhafizah, & Nurhasanah, N. (2023). Penerapan metode geolistrik time-lapse untuk mengetahui perubahan nilai resistivitas tanah pada lahan tanaman lada. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 7(2), 128–135.
<https://jurnal.unpad.ac.id/jiif/article/view/43841>
- Kotsis, K. T., et al. (2024). Physics education in EU high schools: Knowledge, perceptions, and approaches. *European Journal of Contemporary Education*, 16(2), 421–441.
<https://ejceel.com/index.php/journal/article/view/105>
- Sari, N., & Febiola, N. (2024). Eksperimen berbasis digital dan kontekstual untuk pembelajaran fisika SMA. *JP2F*, 15(2), 115–124.
<http://journal.upgris.ac.id/index.php/JP2F/article/download/16348/8140>
- Sari, Y., & Rahman, A. (2022). Efektivitas strategi kontekstual berbasis teknologi dalam meningkatkan pemahaman fisika SMA. *Innovative Science Education Journal*, 7(1), 55–70.
<https://journal.civitas.org/index.php/inn/article/download/1579/956>
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Susiati, D., & Ningsih, E. (2021). Penggunaan metode STEM dengan sensor berbasis Arduino pada pembelajaran fisika SMA. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(1), 34–43.
<https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/jps/article/view/12371/6822>
- Tural, G. (2024). The effectiveness of context-based physics education on high school

- students' learning and self-regulated skill. *Journal of Teaching and Education*, 8(2), 101–115.
https://jte.sru.ac.ir/article_2261.html?lang=en
- Tuuk, S. O., Marianus, & Rende, J. C. (2025). Penerapan model discovery learning berbasis lingkungan pada materi fluida statis. *CHARM SAINS*, 6(1), 50–57.
- Yakubov, N., et al. (2005). Integration of real-time sensor-based experiments in high school science labs: A GK-12 project. *ASEE Conference Proceedings*.
<https://peer.asee.org/integration-of-real-time-sensor-based-experiments-in-high-school-science-labs-a-gk-12-project.pdf>