

DAMPAK PENERAPAN MODEL PJBL-STEM BERBASIS PEMBELAJARAN MENDALAM TERHADAP PENINGKATAN DAYA NALAR KRITIS SISWA PADA TOPIK KELISTRIKAN DINAMIS

Mohammad Toyib Aruri Hidayat¹, Zainul Arifin Imam S², Mita Anggaryani³

^{1,2,3}Universitas Negeri Surabaya

toyibaruri@gmail.com

ABSTRAK

Kajian ini dilaksanakan dengan tujuan mengevaluasi keefektifan dari instrumen edukasi berbasis Project-Based Learning (PjBL) yang dipadukan dengan disiplin STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) serta konsep Pembelajaran Mendalam (Deep Learning). Target utamanya adalah mendongkrak daya nalar kritis siswa kelas XII pada bahasan Listrik Dinamis. Melalui pendekatan eksperimental yang mengharuskan siswa merancang proyek teknologi sederhana secara mandiri, sekumpulan data dikumpulkan dan dievaluasi memanfaatkan uji Paired Sample T-Test serta N-Gain. Temuan riset mengindikasikan adanya lonjakan yang bermakna secara statistik pada kapasitas analitis siswa, yang juga diiringi oleh antusiasme tinggi terhadap kebebasan mengelola proyek. Peleburan antara STEM dan Deep Learning terkonfirmasi mampu menjembatani perubahan gaya belajar siswa, dari sekadar menghafal teori menjadi pemahaman konsep yang jauh lebih berbobot dan aplikatif.

Kata Kunci: PjBL-STEM, Pembelajaran Mendalam, Daya Nalar Kritis, Listrik Dinamis.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effectiveness of an educational tool based on Project-Based Learning (PjBL), integrated with STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) disciplines and Deep Learning concepts. The primary objective is to enhance the critical reasoning skills of Grade XII students regarding the topic of Dynamic Electricity. Employing an experimental approach that required students to independently design simple technology projects, data were collected and analyzed using the Paired Sample T-Test and N-Gain. Research findings indicate a statistically significant improvement in students' analytical capabilities, accompanied by high enthusiasm for the autonomy to manage their projects. The integration of STEM and Deep Learning proved capable of facilitating a shift in students' learning styles—moving from rote memorization of theory to a more substantial and applicable conceptual understanding.

Keywords: *PjBL-STEM, Deep Learning, Critical Thinking, Dynamic Electricity.*

A. PENDAHULUAN

Dinamika pendidikan pada era abad ke-21 mensyaratkan adanya transformasi fokus pengajaran. Saat ini, proses belajar tidak boleh hanya bertumpu pada memori kognitif tingkat dasar, melainkan wajib diarahkan pada pencapaian Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi (HOTS). Di tengah derasny arus disrupsi teknologi serta tantangan global, daya nalar kritis (*critical thinking*) menjadi aset vital yang wajib dikuasai oleh generasi pelajar. Kemampuan tersebut membekali seseorang untuk mengkaji informasi secara presisi, menemukan akar dari suatu kejadian, merumuskan simpulan logis, dan menciptakan jalan keluar bagi berbagai dilema kontekstual. Dalam desain kurikulum masa kini, kecakapan tersebut menjadi prioritas utama yang disisipkan ke berbagai mata pelajaran, terutama rumpun sains (Kemendikbudristek, 2022).

Fisika, sebagai bagian integral dari ilmu alam, sejatinya bukanlah sekadar himpunan formula matematika semata, namun merupakan aktivitas investigasi empiris untuk membongkar cara kerja semesta. Kendati demikian, realitas di sekolah-sekolah menengah atas (SMA) memperlihatkan bahwa instruksi fisika masih diwarnai oleh problem konseptual yang cukup pelik. Salah satu materi yang sering kali memicu kebingungan bagi para siswa adalah Listrik Dinamis, utamanya pada konsep sirkuit arus searah. Sifat materinya yang sangat mikroskopis dan tidak kasat mata—seperti aliran elektron, beda potensial, serta resistansi jaringan—membuat siswa kesulitan untuk membayangkannya. Imbasnya, rutinitas belajar hanya berputar pada *surface learning* (pembelajaran dangkal), di mana siswa sebatas menghafalkan algoritma demi meraih nilai ujian tanpa menangkap makna fisis serta kegunaannya di dunia nyata.

Kegagalan peserta didik dalam menautkan teori di buku dengan realita kehidupan menandakan adanya ketimpangan metode dari alat ajar yang diterapkan oleh guru. Guna mengubah haluan dari pembelajaran dangkal ke arah *deep learning* (pembelajaran mendalam), dibutuhkan sebuah rekonstruksi strategi instruksional yang sanggup merangsang atensi kognitif peserta didik secara maksimal. Kerangka pembelajaran mendalam berfokus pada kecakapan siswa dalam menautkan gagasan baru dengan pemahaman lama, melakukan refleksi rasional, serta mengeksekusi transfer pengetahuan

guna memecahkan masalah di luar sekolah. Melalui pola pembelajaran ini, siswa distimulasi untuk membedah hukum listrik dinamis secara menyeluruh dan sarat makna.

Salah satu skema pedagogi yang dinilai mumpuni dalam menghadirkan pembelajaran mendalam sekaligus melejitkan daya kritis adalah Project-Based Learning berbalut STEM, yang populer dengan akronim PjBL-STEM. Model ini memosisikan siswa sebagai pemeran utama yang dihadapkan pada problematika rekayasa aktual. Pada kasus kelistrikan dinamis, sains (science) memandu pemahaman prinsip kelistrikan; teknologi (technology) dan rekayasa (engineering) dilibatkan manakala siswa menyusun, menguji coba, dan merevisi sirkuit berbasis barang bekas; sementara matematika (mathematics) berfungsi untuk penghitungan efisiensi arus dan daya. Siklus perancangan dan perbaikan masalah inilah yang secara otomatis menuntut siswa untuk mengamalkan aspek-aspek nalar kritis, mulai dari merumuskan penjelasan awal, menyusun argumen dasar, mengambil deduksi, hingga menata taktik penyelesaian.

Meskipun efektifitas PjBL-STEM telah dikupas tuntas dalam banyak literasi pendidikan, kajian yang secara khusus meleburnya dengan elemen Pembelajaran Mendalam guna meningkatkan nalar kritis pada spesifikasi materi Listrik Dinamis di kelas XII masih sangat minim. Mayoritas modul yang ada hanya mengutamakan output fisik proyek, tanpa membimbing alur pemikiran dan kedalaman penguasaan materi siswa secara terstruktur.

Berangkat dari celah tersebut, riset ini disusun untuk menghadirkan perangkat edukasi alternatif. Secara khusus, orientasi utama dari tulisan ini adalah mengkaji keefektifan implementasi PjBL-STEM berbasis Pembelajaran Mendalam guna mendongkrak kecakapan kritis siswa kelas XII pada bahasan listrik arus searah. Hasil riset ini diproyeksikan mampu menyumbang data empiris sekaligus menjadi rujukan praktis bagi tenaga pendidik dalam menyusun strategi belajar sains yang transformatif dan aplikatif.

B. KAJIAN TEORI

1) Pembelajaran Mendalam dalam Fisika

Pembelajaran mendalam (Deep Learning) pada dasarnya adalah alur kognitif konstruktif yang mana pengetahuan baru dileburkan secara dinamis ke dalam kerangka

pemikiran awal siswa, dan tidak sekadar ditahan di memori jangka pendek. Alur ini membutuhkan kehadiran konflik kognitif (disorienting dilemma), yakni momen ketika pemahaman intuitif siswa dibenturkan dengan fakta fisika yang nyata, misalnya saat mereka mengalami kegagalan teknis dalam menyusun sirkuit.

Berdasarkan klasifikasi Webb's Depth of Knowledge (DoK) yang diselaraskan dengan STEM oleh Hess (2023), pembelajaran mendalam berjalan secara berjenjang melewati empat tahapan: mulai dari mengingat kembali (Recall), memahami relasi antarvariabel (Skill/Concept), pemikiran strategis (Strategic Thinking), hingga pemikiran yang diperluas (Extended Thinking) seperti membuat purwarupa. Di samping itu, model ini mengandalkan produktivitas dari sebuah kesulitan (productive struggle), di mana kegagalan merakit tidak dipandang sebagai aib, melainkan sarana evaluasi kritis.

2) Integrasi PjBL dan STEM

PjBL-STEM hadir sebagai jalan transdisipliner yang mengubah cara pandang dari 'mempelajari sains' menjadi 'belajar melalui aksi sains dan rekayasa' (Kolb, 2014). Pada topik listrik, penggabungan ini menuntut siswa untuk menyelaraskan kaidah alam (Sains), kebutuhan pragmatis (Teknologi/Rekayasa), serta keterbatasan instrumen (Matematika).

Mengacu pada sintaks Laboy-Rush (2010) yang diperkaya dengan parameter Deep Learning, siklus PjBL-STEM meliputi lima fase krusial: (1) Refleksi (Reflection): Mengenali problem di lingkungan terdekat; (2) Riset (Research): Menggali spesifikasi alat; (3) Penemuan (Discovery): Merancang desain dan kalkulasi efisiensi energi; (4) Penerapan (Application): Menjalankan Engineering Design Process (EDP) beserta perbaikan masalah (troubleshooting); (5) Komunikasi (Communication): Mempresentasikan hasil rancangan di muka umum.

3) Nalar Kritis dalam Troubleshooting Fisika

Berpikir analitis dalam koridor Deep Learning fisika merupakan kecenderungan pikiran untuk meninjau sebuah insiden secara netral, tidak cuma mengulang rumus hafalan. Menilik teori Ennis (2015), elemen nalar kritis dalam proyek kelistrikan dapat dijabarkan menjadi:

1. **Penjelasan Sederhana:** Mengurai pokok masalah, misal mencari tahu sebab motor DC tidak menyala.

2. **Membangun Keterampilan Dasar:** Meninjau kesesuaian tegangan komponen terhadap daya yang diperlukan.
3. **Menyimpulkan:** Menarik garis deduksi berbasis Hukum Kirchhoff I dan II.
4. **Penjelasan Lanjut:** Memaparkan koneksi fisis, umpamanya efek drop tegangan terhadap kinerja perangkat.
5. **Strategi dan Taktik:** Merancang langkah taktis pemecahan persoalan tatkala sirkuit tidak berjalan semestinya

C. METODE PENELITIAN

Demi menjawab sasaran riset perihal keefektifan Modul Ajar PjBL-STEM bernuansa Pembelajaran Mendalam pada bahasan Listrik Dinamis, skenario metodologi disusun secara saksama untuk memantau peningkatan kapasitas berpikir tingkat tinggi peserta didik.

1. Desain Riset

Evaluasi keefektifan perangkat ajar ini dijalankan menggunakan pola *Quasi-Experimental* (Sugiyono, 2013). Guna menjamin ketetapan dampak intervensi, riset ini melibatkan dua rombongan belajar: kelas XII-A sebagai kelompok eksperimen dan kelas XII-B sebagai kelas replikasi. Konstruksi pengujian ini berawal dari pemberian tes pendahuluan (pre-test), lalu dilanjutkan dengan perlakuan berupa pengerjaan proyek sirkuit PjBL-STEM, dan ditutup dengan ujian akhir (post-test).

2. Instrumen Evaluasi

Data dikumpulkan menggunakan alat ukur primer berupa Tes Kemampuan Berpikir Kritis. Lembar uji ini dirancang secara rigid mengacu pada taksonomi Robert H. Ennis. Konfigurasi soal dibuat agar memancing daya nalar siswa dalam memberikan analisis sederhana, mengambil deduksi fenomena, sampai mengatur siasat teknis (troubleshooting). Sebelum disebarkan, soal-soal ini telah lolos tahapan uji validitas.

3. Tata Cara Analisis Data

Skor kognitif dari pre-test dan post-test dibedah menggunakan metode statistik bertahap: (1) Uji N-Gain: Perkembangan nalar siswa ditakar memakai standarisasi N-Gain dari Hake (1999). Modul dinyatakan berhasil bila rata-rata N-Gain minimal menyentuh predikat "Sedang". (2) Uji Paired Sample T-Test: Kalkulasi statistik ini diterapkan guna

membuktikan bahwa lonjakan skor memiliki signifikansi nyata. Syaratnya adalah perolehan nilai signifikansi (p) berada di bawah ambang batas $\alpha = 0,05$. (3) Uji Konsistensi: Analisis tambahan untuk mengomparasi data antara kelas eksperimen dan replikasi demi menolak kemungkinan anomali acak.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Evaluasi Kuantitatif Peningkatan Nalar Kris

Penilaian keefektifan Modul PjBL-STEM berbasis Deep Learning dilaksanakan lewat komparasi nilai tes awal dan tes akhir pada kelompok eksperimen (XII-A) dan kelompok replikasi (XII-B). Secara universal, pencapaian pre-test di kedua rombongan belajar menunjukkan angka yang minim, jauh di bawah standar ketuntasan minimal. Situasi ini memvalidasi asumsi adanya rutinitas surface learning, di mana siswa hanya menghafal persamaan matematis $V = I \cdot R$ tanpa keluwesan untuk merangkaikan variabel tersebut ke dalam sirkuit riil. Akan tetapi, pasca intervensi model PjBL-STEM, muncul peningkatan eksponensial pada hasil post-test.

Untuk menjustifikasi signifikansi dari pergeseran tersebut, uji inferensial Paired Sample T-Test diterapkan. Hasil kalkulasi mencatat nilai probabilitas (p) sebesar 0,000 untuk kedua kelompok. Karena nilai $p < 0,05$, hipotesis nol berhasil dipatahkan, membuktikan eksistensi diferensiasi yang amat mencolok pada nalar kritis siswa antara sebelum dan sesudah intervensi pedagogis ini diberikan.

Keberhasilan ini turut divalidasi oleh besaran Normalized Gain (N-Gain) yang mantap bertengger di kategori "Sedang" baik untuk kelas eksperimen maupun replikasi. Kestabilan ini menghadirkan legitimasi empiris yang kukuh (validitas eksternal) bahwa perangkat ajar ini mampu menaikkan daya analitis siswa secara seragam, bukan sekadar kebetulan sesaat di satu kelompok.

2) Perkembangan Berdasarkan Aspek berpikir Kritis Ennis

Kenaikan kemampuan siswa tidak mendistribusi secara linier di tiap dimensi, melainkan memiliki tren spesifik berlandaskan kerangka Robert H. Ennis:

1. **Penjelasan Sederhana:** Mengalami lonjakan terkuat. Siswa menjadi lebih mahir memilah pokok permasalahan, utamanya ketika menimbang dampak modifikasi variabel dalam rangkaian.

2. **Keterampilan Dasar:** Terlihat saat fase riset; siswa sanggup menyeleksi keabsahan data serta spesifikasi kelistrikan komponen secara akurat sebelum dipasang pada purwarupa.
3. **Menyimpulkan:** Melalui eksplorasi STEM mandiri, siswa tidak lagi menelan mentah-mentah doktrin Hukum Kirchhoff, melainkan bisa merumuskan induksi seputar penurunan tegangan (voltage drop) dari percobaan empiris mereka.
4. **Penjelasan Lanjut:** Siswa piawai dalam menjabarkan makna fisis yang rumit, semisal korelasi antara rugi-rugi hambatan dalam kawat dengan daya alat, menggunakan argumen yang saintifik.
5. **Strategi dan Taktik:** Aspek ini berkembang pesat sewaktu fase perbaikan (troubleshooting). Manakala sirkuit mengalami korsleting, siswa terpacu merumuskan tindakan restorasi yang terorganisir.

3) Dinamika Pembelajaran dan Apresiasi Peserta Didik

Kesuksesan intervensi ini secara fundamental bersumber pada peleburan instrumen Deep Learning ke dalam tulang punggung PjBL-STEM. Sifat abstrak kelistrikan bisa diterjemahkan menjadi entitas konkret berkat Engineering Design Process (EDP). Tatkala merangkai komponen dari material daur ulang, siswa digiring menapaki fase kesulitan produktif (productive struggle) yang memicu eskalasi pemikiran hierarkis sesuai taksonomi DoK. Problem kelistrikan tak dipandang sebagai sanksi nilai, melainkan pelatuk konflik kognitif yang mematangkan penalaran.

Iklim kebebasan belajar juga menjadi pendorong utama. Merujuk pada kuesioner, penerimaan siswa sangat menggembirakan dengan indeks kesetujuan rata-rata mencapai 84,74%. Angka paling spektakuler terlihat di sektor kreativitas (93,33%). Capaian ini dikarenakan otonomi penuh yang dilimpahkan kepada siswa dalam menyeleksi material dan desain perangkat. Sentimen kebebasan ini memupuk rasa kepemilikan (sense of ownership), yang pada akhirnya melecut dorongan intrinsik mereka untuk memecahkan komplikasi fisis.

Hasil penelitian ini bersinergi dengan meta-analisis global Li et al. (2021), yang mensyaratkan bahwa metode STEM memiliki ukuran dampak (effect size) substansial dalam mematangkan kemampuan analitis kritis. Kolaborasi antara PjBL-STEM dan Deep Learning ini terbukti merupakan resep pedagogi andal untuk mengubah tabiat belajar

siswa: dari penghafal teori kelistrikan menuju agen pemecah masalah (problem solver) yang tanggap terhadap dunia nyata.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Mengacu pada bedah data dan telaah empiris, riset ini menghasilkan sejumlah intisari terkait kemanjuran implementasi PjBL-STEM terintegrasi Deep Learning untuk fisika kelas XII:

1. **Tingkat Kefektifan:** Kolaborasi metode ini teruji sangat efektif dalam mendongkrak kapasitas analitis siswa. Fakta ini dikonfirmasi oleh peningkatan rerata skor pre-test 15,3 menjadi post-test 33,7, dengan nilai $p = 0,000$ ($p < 0,05$). Capaian N-Gain yang konstan pada level "Sedang" untuk dua kelompok uji menyingkirkan kemungkinan bias atau anomali.
2. **Apresiasi dan Kemandirian:** Penerapan modul mencetak skor afirmasi yang luar biasa sebesar 84,74%. Elemen kreativitas menduduki puncak tertinggi di 93,33%. Otonomi penuh yang dibelikan kepada peserta didik terbukti menginjeksi motivasi psikologis yang mendalam guna menuntaskan ragam hambatan kelistrikan.

Saran

Untuk melanggengkan manfaat dari intervensi pedagogis ini, dipaparkan beberapa rekomendasi berikut:

1. **Untuk Tenaga Pendidik:** Karena fase merakit memakan banyak waktu, disarankan untuk mengombinasikannya dengan platform digital (blended learning) untuk tahap investigasi (research). Penggunaan barang bekas mutlak dipertahankan demi efisiensi biaya operasional.
2. **Untuk Institusi Pendidikan:** Pihak sekolah diharapkan memfasilitasi area kerja kolektif (makerspace) guna memperlancar agenda rekayasa interdisipliner.
3. **Untuk Riset Masa Depan:** Fokus berikutnya diharapkan mampu mengaplikasikan modul hibrida ini ke topik fisika lain yang rawan memicu miskonsepsi (seperti Fisika Modern atau Kemagnetan), serta menelaah pengaruhnya pada kompetensi kolaborasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ennis, R. H. (2015). *The Nature of Critical Thinking: An Outline of Critical Thinking Dispositions and Abilities*. University of Illinois.
- Hake, R. R. (1999). *Analyzing Change/Gain Scores*. American Educational Research Association's Division D.
- Hess, K. K. (2023). *Rigor by Design, Not Chance: Deeper Thinking Through Actionable Instruction and Assessment*. ASCD.
- Laboy-Rush, D. (2010). *Integrated STEM Education through Project-Based Learning*. Learning.com.
- Li, Y., Froyd, J. E., & Wang, K. (2021). Research and trends in STEM education: A systematic review. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 1-16.
- Kemendikbudristek. (2022). *Panduan Pembelajaran dan Asesmen Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Menengah*. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan.
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development (2nd ed.)*. Pearson Education.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.