PENGARUH MODEL PEMBELAJARAN PAKDE BERBANTUAN SIMULASI PhET TERHADAP HASIL BELAJAR PEMANASAN GLOBAL

Floresa Putra Nur Holi Dalu[1*], Badrul Wajdi[2], Khaerussyahidi[3]

[1,2,3] Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hamzanwadi, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Corresponding Author: floresadalu27@gmail.com

ABSTRAK

Pembelajaran fisika pada materi pemanasan global di MA NW Lendang Nangka masih didominasi penyampaian satu arah dan minim visualisasi, sehingga siswa kesulitan menangkap mekanisme efek rumah kaca yang bersifat abstrak. Penelitian ini bertujuan menguji pengaruh penerapan model pembelajaran PAKDE (Presentasi, Audiensi, Konfirmasi, Diskusi, dan Evaluasi) yang dipadukan dengan media simulasi interaktif PhET terhadap hasil belajar aspek kognitif siswa. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif dengan metode *quasi experiment* berdesain *Nonequivalent Control Group Design*. Melalui *purposive sampling* ditetapkan kelas X-A (19 siswa) sebagai kelompok eksperimen dan kelas X-B (21 siswa) sebagai kelompok kontrol yang diajar dengan model *Problem Based Instruction*. Data dijaring menggunakan tes objektif berjumlah 15 butir valid dengan koefisien reliabilitas 0,779. Hasil uji Shapiro-Wilk memperlihatkan keempat kelompok data yaitu pretest dan postest kelompok kontrol dan eksperimen tidak berdistribusi normal, sehingga pengujian hipotesis dialihkan pada statistik non-parametris. Uji Mann-Whitney U menghasilkan mean rank 25,26 pada kelompok eksperimen berbanding 16,19 pada kelompok kontrol dengan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,013 ($p < 0,05$), sehingga H0 ditolak. Temuan ini menegaskan bahwa perpaduan sintaks PAKDE dengan simulasi PhET memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan hasil belajar aspek kognitif siswa pada materi pemanasan global.

Kata Kunci: ***model PAKDE, simulasi PhET, hasil belajar, pemanasan global, quasi experiment***

ABSTRACT

Physics instruction on global warming at MA NW Lendang Nangka has long relied on one-way delivery with little visual support, leaving students unable to grasp the abstract mechanism of the greenhouse effect. This study examines the effect of the PAKDE learning model (Presentation, Audience, Confirmation, Discussion, and Evaluation) combined with PhET interactive simulation on students cognitive learning outcomes. A quantitative approach was applied through a quasi-experimental method with a Nonequivalent Control Group Design. Purposive sampling assigned class X-A (19 students) as the experimental group and class X-B (21 students) as the control group taught with Problem Based Instruction. Data were collected through an objective test of 15 valid items with a reliability coefficient of 0.779. Shapiro-Wilk testing indicated that all four data sets departed from normality, so hypothesis testing was shifted to non-parametric statistics. The Mann-Whitney U test produced a mean rank of 25.26 for the experimental group against 16.19 for the control group, with an Asymp. Sig. (2-tailed) value of 0.013 ($p < 0.05$), leading to the rejection of H0. These findings confirm that pairing the PAKDE syntax with PhET simulation significantly improves student learning outcomes on the topic of global warming.

Keywords: ***PAKDE model, PhET simulation, learning outcomes, global warming, quasi experiment***

PENDAHULUAN

Pendidikan sains menempati posisi strategis dalam menyiapkan generasi yang mampu berpikir kritis, kreatif, sekaligus memiliki kepedulian terhadap keberlanjutan lingkungan. Salah satu persoalan lingkungan yang paling banyak dibicarakan secara global adalah pemanasan global, yaitu peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi yang memicu rangkaian perubahan iklim (Achmad, 2011). Dampaknya terasa luas, mulai dari naiknya muka air laut yang mengancam keberadaan pulau-pulau kecil, penurunan hasil tangkapan perikanan akibat kenaikan suhu perairan, meluasnya penyebaran penyakit seiring naiknya suhu udara, hingga bertambahnya kejadian banjir dan longsor akibat curah hujan yang semakin ekstrem (Leu et al., 2021). Karena dampaknya menyentuh kehidupan sehari-hari, materi pemanasan global semestinya menjadi topik yang paling mudah dihubungkan siswa dengan pengalaman nyata mereka.

Kenyataan di ruang kelas justru menunjukkan hal yang berbeda. Meskipun isu pemanasan global kerap muncul di media massa dan telah dimuat dalam kurikulum, sebagian besar siswa tetap kesulitan memahami konsep ilmiah yang menjadi dasarnya. Keterkaitan antara efek rumah kaca, meningkatnya konsentrasi karbon dioksida di atmosfer, dan naiknya suhu bumi dipersepsikan sebagai rangkaian peristiwa yang abstrak dan sulit dibayangkan. Perbedaan persepsi semacam ini menjadi lahan subur bagi tumbuhnya miskonsepsi pada diri siswa (Suryawirawati et al., 2018).

Salah satu akar persoalan tersebut terletak pada pilihan metode mengajar yang masih berporos pada guru (*teacher centered*), khususnya ceramah konvensional. Pola satu arah ini menyempitkan ruang interaksi, sehingga siswa cenderung pasif menerima informasi tanpa kesempatan memverifikasi pemahamannya. Akibat lanjutannya cukup berantai: penyerapan pengetahuan berlangsung dangkal, latihan berdiskusi dan mengemukakan pendapat nyaris tidak terjadi, ruang bagi kreativitas menyempit, dan guru kehilangan instrumen untuk membaca sejauh mana konsep benar-benar dikuasai seluruh siswa (Ramadhan, 2022). Persoalan ini diperberat oleh terbatasnya media yang mampu menghadirkan fenomena pemanasan global secara visual dan dapat dimanipulasi.

Gambaran ideal pembelajaran fisika tersebut belum sejalan dengan temuan lapangan. Observasi awal yang dilakukan pada 30 Maret 2026 di MA NW (Madrasah Aliyah Nahdlatul Wathan) Lendang Nangka mengungkap tiga hambatan yang saling berkelindan. Pertama, menurut Baiq Aprianingsih S.Pd selaku pengajar di MA NW Lendang Nangka berpendapat bahwa, pengajaran fisika masih bertumpu pada ceramah monoton dengan guru sebagai satu-satunya sumber informasi, sehingga keterlibatan siswa dalam mengeksplorasi konsep sangat rendah; siswa mendengar dan mencatat, tetapi jarang benar-benar memahami. Kedua, dari sisi siswa, dominasi pola tersebut menurunkan motivasi dan kemampuan akademik sains siswa kelas X. Fenomena kompleks seperti efek rumah kaca dan emisi gas buang sulit dicerna bila hanya dituturkan secara verbal, sehingga siswa berakhir menghafal definisi tanpa memahami hubungan sebab-akibatnya. Ketiga, dari sisi sarana, fasilitas pendukung visualisasi konsep abstrak masih sangat terbatas. Pemanfaatan komputer maupun proyektor untuk menayangkan simulasi interaktif jarang dilakukan, sehingga buku teks cetak menjadi satu-satunya rujukan dan pembelajaran terasa kering serta kurang kontekstual.

Kompleksitas persoalan itu menuntut solusi berupa model pembelajaran yang terstruktur sekaligus ditopang media visual yang dinamis. Model PAKDE (Presentasi, Audiensi, Konfirmasi, Diskusi, dan Evaluasi) yang diintegrasikan dengan media interaktif berbasis PhET (*Physics Education Technology*) dipandang berpotensi menjembatani jurang antara konsep abstrak dan pemahaman visual siswa, sekaligus memindahkan pusat aktivitas belajar dari guru kepada siswa (*student-centered learning*). Kesulitan siswa mengaitkan konsep dengan realitas justru menegaskan pentingnya kehadiran simulasi interaktif untuk menyangga model pembelajaran yang inovatif (Pakaya et al., 2024).

Sejumlah kajian terdahulu memperkuat arah tersebut. Simulasi interaktif terbukti membantu siswa menembus fenomena yang sukar diamati langsung, termasuk efek rumah kaca dan perubahan iklim (Chan et al., 2021). PhET *Interactive Simulation* menyediakan laboratorium virtual yang memungkinkan siswa bereksperimen dengan tampilan visual yang jelas serta variabel yang dapat diubah sesuai kehendak pengguna. Melalui simulasi tersebut siswa dapat langsung mengamati bagaimana perubahan jenis dan konsentrasi gas berpengaruh pada suhu bumi. Keunggulan utama PhET terletak pada kemampuannya menerjemahkan gagasan abstrak menjadi representasi yang konkret melalui sajian visual, verbal, maupun matematis (Purwana & Saputra, 2025).

Kehadiran media simulasi interaktif seperti PhET terbukti efektif mengatasi kendala visualisasi konsep fisika yang tidak kasat mata. Memot et al. (2026) memperlihatkan bahawa pembelajaran yang memadukan demonstrasi simulasi PhET dengan forum interaktif mampu mereduksi miskonsepsi serta membimbing siswa mengaitkan hubungan antarvariabel fisis secara nyata. Namun di sisi lain, kajian Nurmi et al. (2026) mengingatkan bahwa pemanfaatan simulasi digital secara mandiri rentan menimbulkan disorientasi bagi siswa apabila tidak diimbangi oleh bimbingan instruksional yang terpadu dan penjelasan teoritis dari pendidik. Hal ini menegaskan bahwa keunggulan visual PhET mutlak memerlukan dukungan model pembelajaran dengan alur sintaks yang mampu memvalidasi konsep secara terarah dan berkesinambungan.

Dari sisi model, Wajdi (2022) mengembangkan model perkuliahan PAKDE berbasis pendekatan saintifik yang menempatkan mahasiswa sebagai penemu pengetahuan, bukan sekadar penerima informasi. Hasil pengembangan tersebut menunjukkan model ini layak digunakan dan efektif meningkatkan prestasi belajar sekaligus sikap ilmiah mahasiswa. Temuan itu memberi pijakan bahwa sintaks PAKDE berpeluang diadaptasi ke pembelajaran fisika jenjang SMA/MA. Kendati demikian, kajian Wajdi (2022) masih terbatas pada konteks perguruan tinggi dengan materi gelombang. Penelitian yang menguji PAKDE pada jenjang menengah, terlebih pada topik kontekstual seperti pemanasan global, masih jarang dijumpai. Padahal pemanasan global merupakan fenomena nyata yang sangat dekat dengan keseharian siswa dan sangat membutuhkan pendekatan interaktif berbasis simulasi. Celah inilah yang hendak diisi oleh penelitian ini.

Dalam kerangka implementasi Kurikulum Merdeka, pembelajaran fisika dituntut bergeser sepenuhnya dari paradigma lama menuju pola yang berpusat pada peserta didik guna menguatkan keterampilan abad ke-21(Junaedi & Asbari, 2024). Salah satu model inovatif yang setara dan sejalan dengan prinsip tersebut adalah *Problem Based Instruction* (PBI) atau *Problem Based Learning* (Saleh et al., 2024). Model PBI berpangkal pada pemberian stimulus berupa masalah otentik untuk dipecahkan siswa secara ilmiah melalui penyelidikan

kelompok (Wahyuni et al., 2024), sehingga relevan diterapkan pada materi berdampak global seperti pemanasan global (Amalia & Perdana, 2023). Melalui PBI, siswa dilatih mengonstruksi pemahaman lewat penyelesaian isu lingkungan di sekitarnya, bukan menghafal (Chan et al., 2021).

Meski demikian, penerapan pembelajaran inovatif di jenjang menengah kerap terganjal kebutuhan akan alur sintaks yang lebih tegas dalam melatih komunikasi ilmiah serta proses konfirmasi konsep secara verbal untuk mencegah miskonsepsi pada materi fisika yang abstrak (Suryawirawati et al., 2018). Di titik inilah PAKDE menawarkan keunggulan sintaksis yang spesifik (Wajdi, 2022). Tahapan PAKDE tidak hanya menuntut siswa aktif memecahkan masalah, tetapi secara eksplisit melatih mereka menyampaikan gagasan (Presentasi), menanggapi ide rekan sejawat (Audiensi), berargumentasi secara kritis (Diskusi), dan memperoleh penguatan konsep yang sahih dari pendidik (Konfirmasi). Struktur semacam ini terbukti menekan salah konsep sekaligus mendongkrak prestasi dan sikap ilmiah peserta didik.

Atas dasar itu, PBI diposisikan sebagai model pembanding yang setara untuk menguji efektivitas PAKDE. Penempatan PBI di kelas kontrol dimaksudkan agar terlihat sejauh mana PAKDE berbantuan PhET memberi pengaruh yang lebih optimal terhadap hasil belajar kognitif siswa (Chairunisa, 2024). Perbandingan antara dua model inovatif ini tetap berangkat dari akar masalah di lapangan, yaitu rendahnya pemahaman konsep akibat dominasi ceramah yang monoton (Ramadhan, 2022). Dengan menguji PAKDE terhadap model sekelas seperti PBI, penelitian ini diharapkan menghasilkan kontribusi empiris yang lebih kuat mengenai strategi pembelajaran fisika yang sesuai standar penilaian Kurikulum Merdeka (Toharudin, 2025), sekaligus menumbuhkan kesadaran siswa terhadap isu lingkungan global sebagaimana tuntutan pembelajaran IPA abad ke-21 berbasis literasi sains (Pratiwi et al., 2019).

Berpijak pada uraian di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah apakah terdapat pengaruh penerapan model pembelajaran PAKDE menggunakan media interaktif berbasis PhET terhadap hasil belajar siswa pada materi pemanasan global di kelas X MA NW Lendang Nangka. Sejalan dengan itu, penelitian ini bertujuan mengetahui ada tidaknya pengaruh tersebut, dengan hipotesis kerja bahwa penerapan model PAKDE berbantuan PhET berpengaruh terhadap hasil belajar siswa pada materi pemanasan global.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen yang ditempuh melalui tiga tahapan, yakni persiapan, pelaksanaan, dan pengolahan data. Metode eksperimen dipilih karena tujuan utamanya adalah menelusuri pengaruh suatu perlakuan (*treatment*) terhadap variabel tertentu (Sugiyono, 2017). Jenis eksperimen yang diterapkan *adalah quasi experimental design*, yang digunakan ketika peneliti tidak memiliki kendali penuh atas variabel luar yang turut memengaruhi jalannya eksperimen. Meski demikian, perlakuan tetap diberikan kepada kelompok eksperimen sehingga pengaruh *treatment* masih dapat diidentifikasi. Desain ini dinilai relevan untuk penelitian pendidikan yang berlangsung di kelas nyata, tempat faktor eksternal sulit dieliminasi dan randomisasi subjek terhalang kendala administratif maupun logistik (Anantasia, 2025).

Bentuk desain yang dipakai adalah *Nonequivalent Control Group Design*. Pemilihan desain ini didasari kondisi lapangan yang tidak memungkinkan pembagian kelompok secara

acak, sehingga peneliti memanfaatkan rombongan belajar yang sudah terbentuk. Satu kelas ditetapkan sebagai kelompok eksperimen dan satu kelas lain sebagai kelompok kontrol. Kelompok eksperimen memperoleh perlakuan berupa model PAKDE berbantuan media interaktif PhET pada materi pemanasan global, sedangkan kelompok kontrol memperoleh pembelajaran dengan model *Problem Based Instruction*. Kedua kelompok sama-sama dikenai pre-test sebelum perlakuan dan post-test setelah perlakuan, sehingga kemampuan awal maupun capaian akhir keduanya dapat diperbandingkan secara objektif (Sugiyono, 2017). Pola desain tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pola Nonequivalent Control Group Design

Kelompok	Pre-test	Perlakuan	Post-test
Eksperimen	O1	X	O2
Kontrol	O3	Y	O4

Sumber: Sugiyono (2017)

Keterangan: O1 dan O3 adalah tes awal untuk memotret kemampuan dasar kedua kelompok; X adalah perlakuan model PAKDE berbantuan PhET yang hanya dikenakan pada kelompok eksperimen; Y adalah perlakuan model PBI pada kelompok kontrol; sedangkan O2 dan O4 adalah tes akhir untuk mengukur capaian setelah perlakuan diberikan.

Penelitian dilaksanakan di MA NW Lendang Nangka, Kecamatan Masbagik, Kabupaten Lombok Timur, Provinsi Nusa Tenggara Barat, pada bulan Mei semester genap tahun ajaran 2025/2026. Populasi penelitian mencakup seluruh siswa kelas X MA NW Lendang Nangka tahun ajaran 2025/2026 yang terdistribusi dalam tiga rombongan belajar, yaitu kelas X-A berjumlah 19 siswa, kelas X-B berjumlah 21 siswa, dan kelas X-C berjumlah 12 siswa, sehingga totalnya 52 siswa. Pemilihan populasi ini dilandasi kesesuaian materi pemanasan global dengan kurikulum yang berlaku di jenjang tersebut.

Penentuan sampel dilakukan melalui *purposive sampling*, yakni teknik pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu yang selaras dengan tujuan penelitian (Sugiyono, 2017). Pertimbangan yang digunakan adalah kemiripan karakteristik kedua kelas dari segi kurikulum, cakupan materi, dan kondisi pembelajaran. Berdasarkan pertimbangan tersebut, kelas X-A (19 siswa) ditetapkan sebagai kelas eksperimen yang belajar dengan model PAKDE berbantuan PhET, sedangkan kelas X-B (21 siswa) ditetapkan sebagai kelas kontrol yang belajar dengan model PBI. Total sampel penelitian berjumlah 40 siswa.

Variabel dan Instrumen Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah penerapan model pembelajaran PAKDE berbantuan media interaktif PhET, sedangkan variabel terikatnya adalah hasil belajar siswa pada materi pemanasan global yang diukur melalui skor pre-test dan post-test. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah tes, yaitu serangkaian soal yang disusun untuk mengukur pengetahuan dan kemampuan siswa (Sugiyono, 2017). Instrumen berupa tes objektif pemahaman konsep pemanasan global yang diberikan dua kali, sebelum dan sesudah perlakuan, kepada kedua kelompok.

Sebelum digunakan, instrumen diuji validitas dan reliabilitasnya. Validitas butir dihitung dengan korelasi *product moment Pearson*, dan dari proses tersebut diperoleh 15 butir soal yang dinyatakan valid. Pengujian reliabilitas terhadap 15 butir final menggunakan

IBM *SPSS Statistics 29* menghasilkan koefisien alpha sebesar 0,779. Karena nilai alpha melampaui batas 0,60, instrumen tes kognitif tersebut tergolong reliabel dan memiliki konsistensi internal yang memadai untuk dipakai sebagai alat ukur pre-test maupun post-test.

Prosedur Perlakuan

Pembelajaran di kelas eksperimen berlangsung dalam dua kali pertemuan dengan alokasi 2 x 45 menit dan mengikuti lima tahapan sintaks PAKDE. Tahap Presentasi diawali dengan setiap kelompok menyampaikan gagasan atau hasil kajian awalnya mengenai fenomena pemanasan global. Tahap Audiensi memberi kesempatan kelompok lain menyimak, mencatat, dan menanggapi sajian tersebut. Pada tahap Konfirmasi, guru menegaskan dan memvalidasi konsep dengan menampilkan simulasi PhET *Greenhouse Effect* sehingga siswa dapat mengamati langsung proses terperangkapnya radiasi inframerah oleh gas rumah kaca sekaligus memanipulasi jenis dan konsentrasi gas. Tahap Diskusi membuka ruang bagi siswa untuk memperdalam pemahaman, mempertahankan argumen, dan menyelesaikan perbedaan pandangan antarkelompok berdasarkan hasil pengamatan simulasi. Rangkaian ditutup dengan tahap Evaluasi berupa penilaian terhadap proses maupun capaian belajar. Kelas kontrol menempuh alokasi waktu dan cakupan materi yang setara, namun menggunakan sintaks PBI tanpa dukungan simulasi, sehingga siswa hanya bertumpu pada penjelasan verbal dan gambar statis.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan bantuan *IBM SPSS Statistics 29* melalui dua tahap, yaitu uji prasyarat dan uji hipotesis. Uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk karena jumlah sampel tiap kelompok kurang dari 50; data dinyatakan normal apabila nilai signifikansi melebihi 0,05. Uji homogenitas ditempuh dengan Levene's Test, dengan kriteria varians dinyatakan homogen bila signifikansi lebih besar dari 0,05. Secara ideal, pengujian pengaruh pada desain eksperimen dilakukan melalui Independent Sample T-test. Namun uji parametris tersebut mensyaratkan terpenuhinya asumsi normalitas dan homogenitas secara ketat. Apabila salah satu asumsi tidak terpenuhi, khususnya ketika data terbukti tidak berdistribusi normal, pengujian hipotesis wajib dialihkan pada statistik non-parametris agar kesimpulan tidak bias (Siregas, 2021). Padanan non-parametris yang sahih untuk membandingkan dua kelompok yang saling bebas adalah Uji *Mann-Whitney U*, karena uji ini membandingkan peringkat median dan tidak bergantung pada sebaran normal maupun kesamaan varians populasi. Kriteria keputusan yang digunakan adalah H0 ditolak apabila nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* lebih kecil dari 0,05, yang berarti perlakuan memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data Hasil Belajar

Data penelitian dihimpun dari 40 siswa yang terbagi ke dalam kelas eksperimen (19 siswa) dan kelas kontrol (21 siswa). Sebaran nilai pre-test dan post-test kedua kelompok dirangkum pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Nilai Pre-test dan Post-test Kelas Eksperimen

Nilai	(f) Pre-test	(%) Pre-test	Nilai	(f) Post-test	(%) Post-test
20	1	5,3	40	1	5,3
53	3	15,8	53	1	5,3
60	8	42,1	60	1	5,3
67	2	10,5	73	4	21,1
87	1	5,3	80	1	5,3
93	4	21,1	87	6	31,6
—	—	—	93	3	15,8
—	—	—	100	2	10,5
Total	19	100,0	Total	19	100,0

Tabel 3. Distribusi Frekuensi Nilai Pre-test dan Post-test Kelas Kontrol

Nilai	(f) Pre-test	(%) Pre-test	Nilai	(f) Post-test	(%) Post-test
13	1	4,8	20	1	4,8
33	1	4,8	53	3	14,3
40	1	4,8	60	9	42,9
47	1	4,8	67	3	14,3
53	6	28,6	87	1	4,8
60	8	38,1	93	4	19,0
67	2	9,5	—	—	—
73	1	4,8	—	—	—
Total	21	100,0	Total	21	100,0

Tabel 2 memperlihatkan bahwa sebelum perlakuan diberikan, kemampuan awal kelas eksperimen berada pada rentang rendah hingga sedang. Nilai yang paling sering muncul adalah 60 dengan frekuensi 8 siswa (42,1%), dan secara kumulatif 63,2% siswa memperoleh nilai 60 ke bawah. Setelah pembelajaran dengan model PAKDE berbantuan PhET, sebaran nilai bergerak tajam ke arah kanan. Modus nilai berpindah ke angka 87 yang diraih 6 siswa (31,6%), sebanyak 84,2% siswa berhasil menembus nilai 73 ke atas, dan 2 siswa (10,5%) memperoleh nilai sempurna 100.

Pada kelas kontrol, Tabel 3 menunjukkan nilai pre-test tersebar dari 13 hingga 73 dengan modus 60 yang dicapai 8 siswa (38,1%). Sebanyak 85,7% siswa memperoleh nilai 60 ke bawah, sehingga titik berangkat kedua kelas dapat dikatakan relatif sebanding. Setelah pembelajaran dengan PBI tanpa dukungan simulasi, pergeseran sebaran nilai post-test berlangsung jauh lebih terbatas. Nilai 60 tetap mendominasi dengan frekuensi 9 siswa (42,9%), dan hanya 4 siswa (19,0%) yang mencapai nilai tertinggi 93.

Perbandingan kedua tabel memperlihatkan pola yang kontras. Kelas eksperimen mengalami perpindahan konsentrasi nilai dari rentang 20–67 pada pre-test menuju rentang 73–100 pada post-test, sedangkan kelas kontrol hanya bergeser tipis dengan pusat sebaran yang tetap bertahan di angka 60. Secara deskriptif, pola ini sudah mengisyaratkan bahwa perlakuan pada kelas eksperimen memberi dampak yang lebih besar terhadap hasil belajar dibandingkan perlakuan pada kelas kontrol.

Hasil Uji Prasyarat Analisis

Uji normalitas Shapiro-Wilk diterapkan pada empat kelompok data dan hasilnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Data	Sig. (Shapiro-Wilk)	Keterangan
Pre-test Kelas Eksperimen	0,004	Tidak Normal
Post-test Kelas Eksperimen	0,030	Tidak Normal
Pre-test Kelas Kontrol	0,001	Tidak Normal
Post-test Kelas Kontrol	0,002	Tidak Normal

Keempat nilai signifikansi pada Tabel 4 berada di bawah 0,05, sehingga seluruh kelompok data dinyatakan menyimpang dari distribusi normal. Konsekuensinya, asumsi utama statistik parametris tidak terpenuhi dan pengujian hipotesis tidak dapat dipaksakan menggunakan Independent Sample T-test.

Selanjutnya, uji homogenitas Levene dilakukan untuk memastikan kesetaraan varians antarkelompok, dengan hasil sebagaimana Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Homogenitas Levene's Test

Data	Sig. (Levene Test)	Keterangan
Pre-test Eksperimen dan Kontrol	0,135	Homogen
Post-test Eksperimen dan Kontrol	0,895	Homogen

Nilai signifikansi pada data pre-test sebesar 0,135 dan pada data post-test sebesar 0,895, keduanya melampaui 0,05, sehingga varians kedua kelompok dinyatakan homogen. Meskipun demikian, karena asumsi normalitas tidak terpenuhi, pengujian hipotesis tetap dialihkan ke statistik non-parametris.

Hasil Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan melalui Uji *Mann-Whitney U* terhadap data post-test kedua kelompok. Ringkasan peringkat dan statistik ujinya disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Ranks Uji Mann-Whitney U Data Post-test

Kelas	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Eksperimen	19	25,26	480,00
Kontrol	21	16,19	340,00
Total	40	—	—

Tabel 7. Statistik Uji Mann-Whitney U Data Post-test

Statistik Uji	Nilai
Mann-Whitney U	109,000
Wilcoxon W	340,000
Z	-2,487
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,013

Tabel 6 menunjukkan *mean rank* kelas eksperimen sebesar 25,26, jauh di atas mean rank kelas kontrol yang hanya 16,19. Selisih peringkat ini menandakan bahwa capaian post-test kelompok eksperimen secara konsisten *Asymp. Sig. (2-tailed)* menempati posisi yang lebih tinggi. Tabel 7 memperkuat temuan tersebut melalui nilai sebesar 0,013. Karena 0,013 lebih kecil daripada taraf kekeliruan 0,05, maka H0 ditolak dan Ha diterima. Dengan demikian, terdapat pengaruh yang signifikan dari penerapan model pembelajaran PAKDE berbantuan media interaktif berbasis PhET terhadap hasil belajar siswa pada materi pemanasan global di kelas X MA NW Lendang Nangka tahun ajaran 2025/2026.

Pembahasan

Perbedaan capaian antara kedua kelompok dapat ditelusuri kembali pada perbedaan pengalaman belajar yang mereka jalani. Di kelas eksperimen, sintaks PAKDE menyediakan alur yang memaksa setiap siswa melewati lima titik aktivitas kognitif yang berbeda. Tahap Presentasi menuntut siswa merumuskan pemahamannya sendiri dalam bentuk yang dapat dikomunikasikan; tahap Audiensi melatih kemampuan menyimak kritis; tahap Konfirmasi memberikan titik koreksi berbasis bukti visual; tahap Diskusi menuntut siswa mempertahankan atau merevisi argumennya; dan tahap Evaluasi memberikan umpan balik atas keseluruhan proses. Sementara di kelas kontrol, meskipun PBI juga merupakan model inovatif yang berpusat pada siswa, ketiadaan simulasi membuat siswa hanya mengandalkan penjelasan verbal dan gambar statis untuk membayangkan mekanisme efek rumah kaca.

Kehadiran simulasi PhET pada tahap Konfirmasi tampaknya menjadi pembeda yang paling menentukan. Melalui simulasi *Greenhouse Effect*, konsep yang semula hanya berupa rangkaian kalimat berubah menjadi peristiwa yang dapat diamati dan dimanipulasi. Siswa dapat menaikkan konsentrasi gas rumah kaca dan langsung menyaksikan perubahan jumlah radiasi inframerah yang terperangkap serta kenaikan suhu yang menyertainya. Pengalaman ini menjadikan hubungan sebab-akibat yang abstrak dapat diverifikasi secara langsung, sehingga peluang terbentuknya miskonsepsi menyempit. Temuan ini sejalan dengan Purwana & Saputra (2025) yang menyimpulkan bahwa simulasi PhET mampu mengubah konsep fisika yang abstrak menjadi lebih konkret melalui visualisasi yang jelas, meskipun dalam penelitian tersebut PhET dipadukan dengan model *Guided Inquiry*, bukan PAKDE.

Konsistensi efektivitas sintaks PAKDE juga terlihat bila dibandingkan dengan penelitian Wajdi (2022), yang melaporkan peningkatan hasil belajar mahasiswa dengan skor N-gain 0,81 pada kategori tinggi. Meskipun penelitian tersebut berlangsung di jenjang perguruan tinggi dengan materi gelombang dan tanpa dukungan simulasi khusus, arah temuan keduanya searah. Hal ini menunjukkan bahwa keunggulan PAKDE tidak terikat pada satu jenjang pendidikan atau satu materi tertentu, melainkan bersumber pada struktur sintaksisnya yang secara sistematis memaksa terjadinya artikulasi, konfrontasi, dan validasi gagasan.

Secara teoretis, keunggulan kombinasi PAKDE dan PhET selaras dengan pandangan konstruktivisme yang menempatkan pengetahuan bukan sebagai informasi yang dipindahkan dari guru ke siswa, melainkan sebagai konstruksi yang dibangun siswa melalui proses berpikir dan pengalaman (Angglepi et al., 2025). Dalam kerangka tersebut, simulasi PhET berperan sebagai *scaffolding* visual yang memungkinkan siswa bereksperimen dan memanipulasi variabel secara mandiri. Proses observasi dan eksperimentasi mandiri ini memberikan pengalaman empiris yang sejalan dengan gagasan Bruner mengenai pentingnya

penyajian pengetahuan melalui tindakan dan representasi visual. Di sisi lain, tahap Konfirmasi dan Diskusi dalam PAKDE mengambil peran vital sebagai mekanisme validasi. Interaksi sosial yang terjadi pada kedua tahap tersebut sejalan dengan konsep *Zone of Proximal Development* dari Vygotsky, karena siswa saling mengoreksi kekeliruan konsep dan memperdalam pemahaman secara kolaboratif, sesuatu yang sulit terjadi pada pembelajaran yang berpusat pada guru.

Keberhasilan ini juga tidak lepas dari kesesuaiannya dengan persoalan konkret di lokasi penelitian. Observasi awal menemukan bahwa pembelajaran fisika di MA NW Lendang Nangka masih bersifat satu arah dan minim media interaktif, sehingga siswa kesulitan memvisualisasikan konsep abstrak dan rawan mengalami miskonsepsi. Penerapan PAKDE berbantuan PhET secara efektif mengubah ekosistem kelas tersebut: siswa yang semula berperan sebagai pendengar pasif bergeser menjadi subjek aktif yang terlibat dalam eksperimen virtual dan perdebatan ilmiah. Pergeseran dari ceramah monoton menuju pembelajaran berbasis penemuan inilah yang paling masuk akal menjelaskan mengapa distribusi nilai post-test kelas eksperimen bergerak jauh lebih besar dibandingkan kelas kontrol.

Secara keseluruhan, hasil analisis statistik, konfirmasi dari penelitian terdahulu, dan landasan teoretis yang digunakan saling menguatkan satu sama lain. Integrasi antara sintaks pembelajaran yang sistematis dan visualisasi interaktif yang dapat dimanipulasi terbukti menciptakan pengalaman belajar yang lebih aktif dan bermakna, sekaligus menjawab keterbatasan pemahaman siswa pada materi pemanasan global. Sebagai catatan, penelitian ini masih terbatas pada satu sekolah dengan jumlah sampel yang relatif kecil dan hanya mengukur ranah kognitif, sehingga generalisasi temuan perlu dilakukan secara berhati-hati.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penerapan model pembelajaran PAKDE (Presentasi, Audiensi, Konfirmasi, Diskusi, dan Evaluasi) berbantuan media interaktif berbasis PhET berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa pada materi pemanasan global di kelas X MA NW Lendang Nangka tahun ajaran 2025/2026. Kesimpulan ini didukung oleh capaian post-test kelas eksperimen yang secara umum lebih tinggi daripada kelas kontrol, dengan *mean rank* 25,26 berbanding 16,19, serta hasil Uji *Mann-Whitney U* yang menghasilkan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,013 ($p < 0,05$). Dengan demikian, kombinasi sintaks PAKDE dan simulasi PhET terbukti lebih efektif meningkatkan hasil belajar kognitif siswa dibandingkan model *Problem Based Instruction* tanpa media simulasi.

Berpijak pada temuan tersebut, guru fisika disarankan menjadikan model PAKDE berbantuan PhET sebagai salah satu variasi strategi pembelajaran, khususnya pada materi yang abstrak dan kontekstual, dengan tetap memperhatikan pengelolaan waktu pada tahap Presentasi dan Diskusi agar seluruh sintaks berjalan optimal. Pihak sekolah diharapkan terus menopang ketersediaan perangkat teknologi informasi serta memfasilitasi pelatihan bagi guru mengenai model pembelajaran inovatif berbasis teknologi. Peneliti berikutnya dapat menguji model ini pada materi fisika lain, jenjang yang berbeda, dan skala sampel yang lebih luas, sekaligus mengukur variabel terikat lain seperti keterampilan berpikir kritis, literasi sains, keterampilan komunikasi, maupun sikap ilmiah siswa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala MA NW Lendang Nangka beserta guru mata pelajaran fisika dan seluruh siswa kelas X yang telah memberikan izin serta berpartisipasi aktif selama proses pengambilan data. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hamzanwadi atas dukungan akademik yang diberikan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad, R. (2011). *Isu Lingkungan Global* (Pp. 1–34). Http://Repository.Ut.Ac.Id/4658/2/Peki4312-M1.

Amalia, A., & Perdana, R. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Video Animasi. *Jurnal Pembelajaran Ipa Dan Aplikasinya (Quantum)*, *3*(1), 36–41.

Anantasia, G. (2025). *Metodologi Penelitian Quasi Eksperimen*. *5*(2), 183–192.

Angglepi, M. S., Sakilah, Azzahra, A., & Suwandi, R. (2025). *Teori Belajar Konstruktivisme*. *4*(4), 7329–7339. Https://Publisherqu.Com/Index.Php/Pediaqu

Chairunisa, T. (2024). *Efektivitas Penggunaan Media Pembelajaran Phet Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Pada Pembelajaran Fisika Dalam*. 115–127.

Chan, M. I. H., Septia, E. A., & Febrianti, K. (2021). *Efektivitas Model Pembelajaran Terhadap Peningkatan Pemahaman Konsep Fisika Siswa Sma : Meta-Analisis*. *7*(November), 238–245.

Junaedi, N., & Asbari, M. (2024). Prinsip Pembelajaran Dalam Kurikulum Merdeka. *Journal Of Information Systems And Management*, *03*(02), 11–17.

Leu, B., Tinggi, S., Islam, A., & Islam, P. (2021). *Dampak Pemanasan Global Dan Upaya Pengen- Daliannya Melalui Pendidikan Lingkungan*. *5*(2), 1–15.

Memot, I. E. P., Naen, A. B., & Hida, F. (2026). Peningkatan Pemahaman Siswa Kelas Xi Sma Negeri 9 Kupang Pada Hukum Newton Melalui Metode Demonstrasi Dan Diskusi. *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, *10*(1), 49–59.

Nurmi, K., Lutfin, N. A., & Agung, A. (2026). Analisis Persepsi Siswa Terhadap Penggunaan Laboratorium Virtual Phet Pada Materi Perubahan Energi. *Optika:Jurnal Pendidikan Fisika*, *10*(1), 324–337.

Pakaya, R., Diani, Y. H., Waru, H. L., Sabilu, Y., Karimuna, S. R., Resna, M., Iqbah, I. P., Kandari, A. M., Sitompul, F., Kesuma, A. P. K., Gatra, F., & Sirada, A. (2024). *Pemanasan Global Dan Perubahan Iklim* (Rahmawati & R. Tosepu (Eds.)). Eureka Media Aksara.

Pratiwi, S. N., Cari, C., & Aminah, N. S. (2019). Pembelajaran Ipa Abad 21 Dengan Literasi Sains Siswa. *Jurnal Materi Dan Pembelajaran Fisika (Jmpf)*, *9*, 34–42.

Purwana, I. G., & Saputra, E. (2025). *Efektivitas Pembelajaran Fisika Berorientasi Guided Inquiry Berbantuan Phet Simulasi Terhadap Pengembangan Keterampilan Proses Sains Siswa*. *17*(2). Https://Doi.Org/10.35457/Konstruk.V17i2.4646

Ramadhan, M. A. (2022). *Metode Ceramah Untuk Pembelajaran*.

Saleh, M., Hasim, E., & Smith, M. Bin. (2024). *Implementasi Model-Model Pembelajaran Inovatif Abad 21*. *04*(1), 35–44.

Siregas, S. (2021). *Statistik Parametrik Untuk Penelitian Kuantitatif: Dilengkapi Dengan Perhitungan Manual Dan Aplikasi Spss Versi 17*. Bumi Aksara.

Https://Books.Google.Co.Id/Books?Id=Kndkeaaaqbaj

Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R & D* (25th Ed.). Alfabeta.

Suryawirawati, I. G., Ramdhan, B., & Juhanda, A. (2018). *Pada Konsep Pemanasan Global Dengan Tes Diagnostik (Two-Tier Test) Setelah Pembelajaran*. *1*(1), 93–105. Http://Journal.Stainkudus.Ac.Id/Index.Php/Jbe

Toharudin, T. (2025). *Pembelajaran Dan Asesmen* (Ketiga). Badan Standar, Kurikulum, Dan Asesmen Pendidikan (Bskap) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi.

Wahyuni, R. S., Arifin, S., Puspitasari, I., Astiswijaya, N., Santika, N. W. R., Oktaviane, Y., Zahro, U. C., Lestariani, N., Nurlaela, E., Sari, A. S. D., & Kusumatiti, W. (2024). *Model - Model Pembelajaran* (A. Masruroh (Ed.)). Widina Media Utama.

Wajdi, B. (2022). Pengembangan Model Perkuliahan Pakde (Presentasi, Audiensi, Konfirmasi, Diskusi Dan Evaluasi) Berbasis Pendekatan Saintifik. *Kappa Journal Program Studi Pendidikan Fisika Fmipa Universitas Hamzanwadi*, *6*(1), 126–133. Http://E-Journal.Hamzanwadi.Ac.Id/Index.Php/Kpj/Index%0ajuni