



PENERAPAN MEDIA SIMULASI DINAMIKA ATMOSFER PADA POKOK BAHASAN PEMANASAN GLOBAL DI KELAS 10 SMA NEGERI 10 KOTA JAMBI

Tugiyono Aminoto¹, Nova Susanti², Rahma Dani³, Edi Kuntarto⁴
^{1,2,3,4}Universitas Jambi, Jambi, Indonesia
Email penulis korespondensi: tugiyono@unja.ac.id

Abstract

Global warming is a complex global environmental issue that requires a deep understanding; however, concepts related to atmospheric dynamics are often considered abstract and difficult for students to grasp. This study aims to: (1) evaluate the potential and feasibility of several online and offline simulation media on atmospheric dynamics, (2) implement them as learning media in classroom instruction, and (3) measure their impact on improving students' interest and conceptual understanding among tenth-grade students at SMA Negeri 10 Kota Jambi. The study employed a quasi-experimental approach with a pretest–posttest control group design. The sample consisted of two purposively selected classes: one as the experimental group (using simulation media) and the other as the control group (using conventional learning methods). Research instruments included a conceptual understanding test (pretest and posttest), a student response questionnaire, and an observation sheet on learning engagement. Data were analyzed using normality, homogeneity, and independent sample t-tests to determine differences in learning outcomes between groups. The evaluation of the simulation media used (Earth Nullschool, Windy, and PhET Greenhouse Effect) indicated that all three were feasible based on content, interactivity, and pedagogical relevance. The use of simulation media significantly enhanced students' interest and understanding of global warming concepts compared to conventional methods. Students also responded positively to simulation-based learning due to its more visual and interactive presentation. The findings of this study are expected to provide practical contributions for physics teachers in designing more effective and contextual learning experiences through simulation-based media.

Keywords: Atmospheric dynamics, Global warming, High school physics simulation media

PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan isu lingkungan global yang semakin relevan untuk dibahas dalam pembelajaran Fisika di tingkat sekolah menengah. Fenomena ini mencerminkan perubahan iklim yang disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca, yang pada akhirnya berdampak pada kehidupan manusia dan lingkungan (IPCC, 2021). Oleh karena itu, pemahaman siswa mengenai dinamika atmosfer sebagai penyebab utama pemanasan global menjadi sangat penting. Dalam konteks pembelajaran Fisika, pemanasan global dapat dijadikan topik interdisipliner yang menggabungkan konsep-konsep dasar seperti radiasi, konduksi, konveksi, serta hukum-hukum termodinamika. Sebagai contoh, konsep efek rumah kaca dapat dijelaskan dengan menggunakan hukum Stefan-Boltzmann yang menggambarkan bagaimana benda hitam menyerap dan memancarkan radiasi panas. Gas rumah kaca menyerap radiasi infra merah yang dipantulkan oleh permukaan bumi, kemudian memantulkannya kembali ke permukaan bumi, sehingga meningkatkan suhu atmosfer (Ramanathan & Feng, 2009). Namun, berdasarkan hasil observasi awal di SMA Negeri 10 Kota Jambi, ditemukan bahwa pemahaman siswa terhadap materi pemanasan global masih rendah. Hal ini disebabkan oleh penyajian materi yang cenderung teoritis dan kurang melibatkan visualisasi proses atmosfer secara nyata. Padahal, dalam pembelajaran Fisika, keterampilan berpikir spasial dan pemahaman proses dinamis sangat dibutuhkan (Rusman, 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa metode konvensional dalam menyampaikan materi pemanasan global, seperti ceramah dan penggunaan buku teks semata, kurang efektif dalam membangun pemahaman menyeluruh (Solehudin, 2020). Selain itu, siswa sering kesulitan

dalam membayangkan proses-proses atmosfer yang bersifat abstrak, seperti pergerakan massa udara, efek rumah kaca, dan sirkulasi global (Firmansyah, 2022). Media pembelajaran berbasis simulasi telah terbukti meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa pada materi-materi yang kompleks. Menurut Hidayati (2020), penggunaan simulasi berbasis komputer dapat memperjelas konsep-konsep fisik yang tidak dapat diamati secara langsung dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam kajian perubahan iklim dan sistem atmosfer. Penelitian lain oleh Nurhayati & Prasetyo (2021) juga menunjukkan bahwa simulasi meningkatkan retensi materi dan kemampuan analitis siswa dalam memahami hubungan sebab-akibat antar variabel iklim. Selain itu, media simulasi dapat membantu siswa memahami konsep abstrak dan dinamis seperti pergerakan atmosfer, radiasi matahari, serta aliran energi bumi secara lebih konkret (Wibowo, 2019). Dengan visualisasi yang interaktif, media simulasi memungkinkan siswa mengeksplorasi berbagai skenario perubahan iklim dan mengamati dampaknya secara langsung, sehingga meningkatkan keterlibatan dan pemahaman mereka terhadap materi (Arsyad, 2017). Namun, sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada konteks pembelajaran fisika atau IPA secara umum, belum secara spesifik mengkaji efektivitas media simulasi dalam mata pelajaran Fisika, khususnya pada topik pemanasan global dan dinamika atmosfer di tingkat SMA. Selain itu, masih jarang ditemukan penelitian yang mengintegrasikan media simulasi dengan konteks lokal, seperti dalam lingkungan pendidikan di Kota Jambi. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisi kekosongan (gap) tersebut dengan menerapkan media simulasi dinamika atmosfer dalam konteks pembelajaran Fisika di SMA Negeri 10 Kota Jambi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep pemanasan global melalui pendekatan yang lebih visual, interaktif, dan berbasis teknologi.

Penelitian yang memanfaatkan media simulasi umumnya masih terbatas pada pengembangan teknis media atau uji coba, tanpa mengevaluasi efektivitasnya dalam mata pelajaran Fisika yang menekankan keterkaitan spasial dan konseptual. Penelitian yang dilakukan di lingkungan pendidikan SMA di Propinsi Jambi masih sangat minim. Dengan demikian, terdapat gap dalam literatur terkait penerapan media simulasi khususnya untuk pembelajaran Fisika pada materi pemanasan global, terutama pada pembelajaran siswa SMA di wilayah Jambi. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengisi gap tersebut dengan menerapkan dan menguji efektivitas media simulasi dinamika atmosfer dan arus laut global dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa Kelas 10 SMA Negeri 10 Kota Jambi terhadap fenomena pemanasan global.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuasi-eksperimen (Ary et al., 2010) dengan desain *pretest-post test control group design*. Desain ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan hasil belajar siswa sebelum dan sesudah perlakuan (*treatment*) diberikan, baik pada kelompok eksperimen maupun kelompok kontrol. Dalam penelitian ini, kelas eksperimen diberikan perlakuan berupa pembelajaran menggunakan media simulasi online yang bersumber dari dua platform utama, yaitu *Earth-Nullschool* dan *Windy* (Firmansyah, 2022; Cresswell, 2019). Media simulasi yang digunakan terlebih dahulu dievaluasi kelayakannya dalam konteks pembelajaran dinamika atmosfer dan pemanasan global. Kedua media tersebut dipilih karena disamping keduanya saling melengkapi dan faktor utamanya adalah keduanya mampu menyajikan visualisasi data atmosfer secara real-time dan interaktif, yang mencakup elemen-elemen penting seperti angin, suhu, tekanan udara, curah hujan, serta dinamika sistem cuaca global. *Windy* digunakan untuk menampilkan simulasi prakiraan cuaca harian dan fenomena atmosfer berdasarkan data satelit dan model cuaca global, sedangkan *Earth-Nullschool* dimanfaatkan untuk mengeksplorasi aliran angin serta pola tekanan dan suhu bumi secara visual dan ilmiah. Kedua simulasi tersebut saling melengkapi karena memiliki fitur-fitur yang berbeda. Melalui pendekatan ini, siswa diajak untuk memahami konsep pemanasan global dan dinamika atmosfer secara lebih konkret dan menarik melalui eksplorasi langsung terhadap data visual berbasis web, sehingga diharapkan dapat meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa terhadap materi pembelajaran pemanasan global.

Target/Subjek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kelas 10 SMA Negeri 10 Kota Jambi pada semester ganjil tahun ajaran 2025/2026 dengan pelaksanaan pada bulan Agustus hingga Oktober 2025. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas 10 di SMA Negeri 10 Kota Jambi yang terdiri atas 5 kelas. Teknik *purposive sampling* (Arikunto, 2006) digunakan untuk memilih dua kelas sebagai sampel yaitu dengan memilih dua kelas dari lima kelas yang tersedia berdasarkan hasil uji homogenitas, di mana kedua kelas tersebut memiliki kemampuan awal yang setara.

Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan melalui tiga instrumen utama. Pertama, tes berupa pretest dan posttest digunakan untuk mengukur pemahaman konseptual siswa sebelum dan sesudah proses pembelajaran. Kedua, angket respon siswa diberikan untuk mengetahui tanggapan mereka terhadap penggunaan media simulasi. Ketiga, observasi dilakukan untuk mengamati jalannya pembelajaran serta tingkat keterlibatan siswa selama kegiatan berlangsung. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan beberapa teknik. Uji normalitas dan homogenitas digunakan untuk memastikan terpenuhinya syarat analisis parametrik. Uji normalitas dilakukan dengan Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk—dengan Shapiro-Wilk lebih direkomendasikan jika jumlah sampel kecil (<50)—sedangkan uji homogenitas menggunakan uji Levene. Data dianggap berdistribusi normal dan homogen apabila nilai signifikansi (*p-value*) lebih besar dari 0,05. Pengolahan uji ini dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik seperti SPSS (Santoso, 2017). Selanjutnya, untuk mengetahui perbedaan rata-rata pemahaman antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, digunakan uji-t (*independent sample t-test*). Uji ini diaplikasikan setelah data dinyatakan normal dan homogen, dengan tujuan membandingkan skor pemahaman perubahan iklim mahasiswa yang belajar menggunakan *e-assessment* berbasis AI dengan yang menggunakan metode konvensional. Hasil analisis dinyatakan signifikan apabila nilai $p < 0,05$ (Priyatno, 2016). Selain itu, analisis deskriptif juga digunakan untuk menelaah respon siswa dan efektivitas media simulasi secara kualitatif, sehingga memberikan gambaran umum mengenai hasil pretest dan posttest, tanggapan siswa melalui angket, serta observasi keterlibatan mereka selama pembelajaran berlangsung.

Langkah pertama dilakukan dengan mengumpulkan seluruh data yang telah diperoleh, kemudian mengelompokkan data berdasarkan jenis instrumen, yaitu data kuantitatif dari hasil tes dan angket, serta data observasi yang dapat berupa skor penilaian atau deskripsi perilaku siswa. Selanjutnya, dilakukan perhitungan statistik deskriptif seperti nilai rata-rata (*mean*), median, modus, standar deviasi, dan persentase untuk masing-masing kelompok data. Nilai pretest dan posttest dibandingkan untuk mengukur peningkatan pemahaman siswa, sedangkan skor gain dihitung untuk menunjukkan seberapa besar peningkatan tersebut. Hasil angket respon siswa dianalisis menggunakan skala Likert, lalu disajikan dalam bentuk persentase dan grafik batang atau lingkaran agar mudah diinterpretasi. Data observasi keterlibatan siswa juga dianalisis secara deskriptif dengan melihat frekuensi dan intensitas keterlibatan selama proses pembelajaran. Seluruh hasil analisis ini kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, disertai dengan penjelasan naratif untuk menginterpretasikan makna dari temuan yang diperoleh. Analisis ini menjadi dasar untuk mengetahui efektivitas media simulasi dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap materi pemanasan global.

Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Tiga instrumen utama digunakan dalam penelitian ini:

1. Tes pemahaman konseptual (pretest dan posttest) untuk mengukur peningkatan pengetahuan siswa sebelum dan sesudah pembelajaran.
2. Angket respon siswa, untuk mengetahui tanggapan siswa terhadap penggunaan media simulasi.
3. Lembar observasi keterlibatan belajar, untuk mencatat aktivitas dan partisipasi siswa selama proses pembelajaran berlangsung.

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif menggunakan software SPSS melalui tahap editing, coding, entry, dan cleaning data. Analisis dilakukan dengan uji t-dependen untuk melihat perbedaan hasil pretest dan posttest dalam kelompok yang sama, serta uji t-independen untuk

membandingkan hasil antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Hasil uji dinyatakan signifikan apabila $p < 0,05$. Selain itu, perhitungan N-gain digunakan untuk menafsirkan tingkat peningkatan pemahaman konseptual siswa sesuai dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi terhadap Media Simulasi yang digunakan

Evaluasi terhadap media simulasi yang digunakan dalam pembelajaran dinamika atmosfer dan pemanasan global menjadi langkah penting dalam memastikan efektivitas dan relevansi teknologi pendidikan yang diterapkan. Media simulasi seperti Earth Nullschool, Windy, dan PhET Greenhouse Effect menawarkan pendekatan visual dan interaktif yang mampu menjembatani kompleksitas konsep atmosferik dengan pengalaman belajar yang lebih konkret. Namun, untuk menjamin bahwa media tersebut benar-benar mendukung pencapaian kompetensi siswa, diperlukan analisis sistematis terhadap aspek kelayakan konten, kualitas interaktivitas, kemudahan akses, serta dampaknya terhadap pemahaman konsep. Evaluasi ini tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur efektivitas, tetapi juga sebagai dasar dalam pengembangan modul pembelajaran yang terintegrasi dengan kurikulum dan kebutuhan peserta didik. Beberapa simulasi dinamika atmosfer yang dievaluasi dan dapat digunakan siswa untuk membantu memahami materi pemanasan global dan perubahan iklim secara interaktif dan kontekstual antara lain disajikan pada Tabel 1.

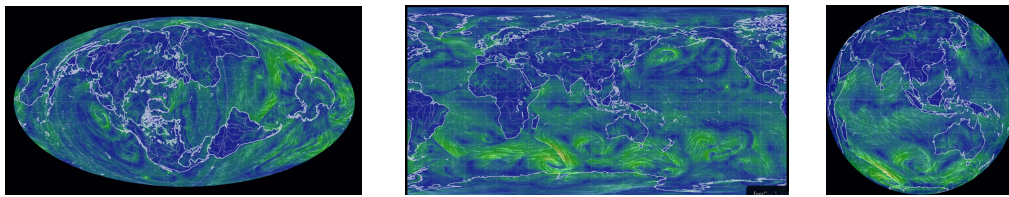
Tabel 1. Hasil Eksplorasi Simulasi Dinamika Atmosfer

Nama simulasi	Deskripsi singkat	Konsep yang dipelajari	Link/pranala
Earth Nullschool	Visualisasi real-time pola atmosfer dan laut di seluruh dunia, termasuk angin, suhu, tekanan, kelembapan, dan arus laut.	Sirkulasi atmosfer global, pola angin, suhu laut, arus laut, dan dampaknya terhadap iklim.	earth.nullschool.net
Windy	Peta interaktif cuaca dan atmosfer yang menampilkan data prakiraan dan observasi seperti kecepatan angin, curah hujan, suhu, gelombang, dan polusi udara.	Analisis prakiraan cuaca, distribusi curah hujan, suhu global, pola badai, dan fenomena iklim ekstrem.	windy.com
PhET – Greenhouse Effect	Simulasi interaktif yang menunjukkan peran gas rumah kaca dalam menyerap radiasi dan mempengaruhi suhu bumi.	Efek rumah kaca, radiasi inframerah, peran CO ₂ dan CH ₄ .	phet.colorado.edu

Website *earth.nullschool.net* merupakan media visualisasi data atmosfer dan kelautan berbasis globe interaktif yang sangat bermanfaat dalam mendukung pembelajaran geografi dan IPA, khususnya dalam topik pemanasan global. Situs ini menyajikan data real-time mengenai suhu, angin, CO₂, dan arus laut, yang secara langsung berkaitan dengan fenomena pemanasan global. Namun, untuk dapat digunakan secara efektif dan optimal dalam kelas SMA, diperlukan sejumlah analisis dan evaluasi atas kelebihan, keterbatasan, serta saran pengembangan fitur yang lebih edukatif.

Earth.nullschool.net memiliki beberapa keunggulan penting untuk proses pembelajaran. Antarmukanya visual, intuitif, dan mendukung observasi langsung atas perubahan dinamika atmosfer bumi (Gambar 1). Data yang ditampilkan bersifat real-time atau near real-time, sehingga siswa dapat

mempelajari dampak pemanasan global melalui data yang sedang terjadi, bukan hanya teori. Siswa juga dapat mengeksplorasi pola suhu, sebaran CO₂, pergerakan angin, serta arus laut yang semuanya sangat relevan dengan topik iklim global. Visualisasi berbasis globe 3D memudahkan pemahaman spasial dan korelasi geografis antar wilayah.



Gambar 1. Tampilan simulasi pada website *earth.nullschool.net* dengan mode (a) Atlantis, (b) Equirectangular, (c) Orthographic

Pada simulasi interaktif di *earth.nullschool.net*, pengguna disediakan berbagai fitur untuk menampilkan kondisi atmosfer dan samudra secara real time. Menu Mode memungkinkan pemilihan jenis data, seperti atmosfer (Air), laut (Ocean), kimia (Chem), partikel udara (Particulates), ruang angkasa (Space), dan biologi (Bio). Data dapat dianimasikan melalui opsi Animate, misalnya angin (Wind), arus laut (Currents), atau gelombang (Waves). Pada bagian Height, pengguna bisa memilih ketinggian atau tekanan atmosfer (misalnya permukaan/Sfc, 1000–10 hPa) untuk melihat distribusi variabel di lapisan berbeda. Opsi Overlay menyediakan tampilan tambahan seperti suhu (Temp), kelembaban relatif (RH), titik embun (Dew), tekanan permukaan laut (MSLP), indeks radiasi UV (UVI), hingga kecepatan angin maksimum (WPD). Sedangkan Projection memungkinkan perubahan proyeksi peta, misalnya orthographic (O), azimuthal (A), atau equirectangular (E), sehingga pengguna dapat menyesuaikan tampilan sesuai kebutuhan analisis maupun visualisasi global (Tabel 2).

Tabel 2. Kaitan Fitur *Earth Nullschool* dengan Pemanasan Global

Fitur / Aspek	Data yang ditampilkan	Keterkaitan dengan Pemanasan Global
Mode – Air	Angin global, suhu udara, kelembaban, tekanan	Pola sirkulasi atmosfer berubah akibat pemanasan global (misalnya pergeseran monsun, jet stream melemah).
Mode – Ocean	Suhu permukaan laut (SST), arus laut, gelombang	Pemanasan laut memperkuat El Niño/La Niña, memicu anomali curah hujan ekstrem dan badai tropis lebih intens.
Mode – Chem	Konsentrasi gas (CO ₂ , O ₃ , polutan)	CO ₂ sebagai penyebab utama efek rumah kaca → indikator langsung dari pemanasan global.
Mode – Particulates	PM2.5, debu, aerosol	Aerosol berperan dalam pemanasan/pendinginan regional, juga memengaruhi kesehatan akibat perubahan iklim.
Overlay – Temp	Suhu udara pada berbagai ketinggian	Peningkatan suhu global dapat divisualisasi, termasuk fenomena <i>heatwave</i> .
Overlay – RH / Dew	Kelembaban relatif, titik embun	Udara lebih hangat → kapasitas uap air meningkat → hujan ekstrem lebih sering (keterkaitan dengan siklus hidrologi).
Overlay – MSLP	Tekanan permukaan laut	Pemanasan laut meningkatkan frekuensi intensitas siklon tropis (tekanan rendah ekstrem).
Overlay – TPW/TCW	Kandungan uap air total di atmosfer	Pemanasan global meningkatkan kandungan uap air → memicu hujan lebat & badai ekstrem.
Overlay – UVI	Indeks radiasi UV	Penipisan ozon & pemanasan atmosfer meningkatkan paparan UV, memengaruhi kesehatan dan ekosistem.

Animate – Wind / Currents / Waves	Animasi angin, arus laut, gelombang	Menggambarkan dampak pemanasan global terhadap dinamika atmosfer–laut, misalnya gelombang tinggi dan badai lebih kuat.
--------------------------------------	--	--

Terdapat beberapa keterbatasan dalam penggunaan *Earth.Nullschool.net*, pertama, tidak adanya penjelasan edukatif atau narasi ilmiah yang menyertai data, membuat siswa—terutama yang belum terbiasa dengan data atmosfer—kesulitan dalam menginterpretasikan informasi. Situs ini lebih cocok untuk peneliti atau pengguna tingkat lanjut, bukan pelajar pemula. Kedua, tidak tersedia fitur bahasa Indonesia, yang menjadi hambatan tambahan bagi siswa yang belum terbiasa dengan istilah geosains dalam bahasa Inggris. Selain itu, tampilan data yang dinamis bisa membingungkan jika tidak didampingi dengan panduan guru atau LKS yang terstruktur. Agar lebih efektif diterapkan di kelas SMA, *Earth.Nullschool.net* dapat dilengkapi dengan beberapa fitur pendukung edukasi, seperti:

1. Mode pembelajaran: sebuah layer atau tab khusus untuk siswa yang menyajikan interpretasi data, penjelasan interaktif, dan kuis singkat.
2. Integrasi bahasa: penambahan opsi multi-bahasa, termasuk bahasa Indonesia, akan meningkatkan aksesibilitas dan pemahaman siswa.
3. Petunjuk dan tutorial penggunaan: video atau petunjuk penggunaan berbasis visual (tooltips atau overlay) sangat membantu untuk pembelajaran mandiri.
4. Histori data dan komparasi tahun ke tahun: fitur ini penting untuk menunjukkan tren pemanasan global secara longitudinal, misalnya suhu permukaan bumi dari tahun 2000 hingga sekarang.

Secara keseluruhan *Earth.Nullschool.net* adalah sumber daya digital yang sangat potensial untuk pendidikan iklim, tetapi masih memerlukan adaptasi pedagogis agar sesuai dengan kurikulum SMA. Dengan dukungan modul pembelajaran dari guru, pengayaan visualisasi berbasis edukasi, serta penerjemahan bahasa, situs ini dapat menjadi laboratorium digital interaktif yang mendorong literasi iklim generasi muda secara mendalam dan kontekstual.

Pada bagian ini disajikan analisis dan evaluasi situs *Windy.com* sebagai media pembelajaran pada materi pemanasan global. Website *Windy.com* merupakan platform pemetaan dan pemodelan cuaca interaktif yang menyajikan data atmosfer secara real-time, termasuk suhu, kecepatan dan arah angin, curah hujan, tekanan udara, kelembapan, bahkan konsentrasi polutan seperti CO₂ dan PM2.5. Dengan antarmuka yang menarik dan intuitif, *Windy.com* memiliki potensi besar sebagai alat bantu belajar dalam topik-topik perubahan iklim dan pemanasan global di jenjang SMA. Salah satu keunggulan *Windy.com* dibandingkan situs serupa adalah visualisasi data yang lebih kaya dan profesional, dilengkapi dengan berbagai lapisan informasi (layers) yang mudah diakses melalui sidebar. Siswa dapat membandingkan kondisi atmosfer di berbagai wilayah dunia, serta memantau pola pergerakan massa udara dan konsentrasi gas rumah kaca. Selain itu, *Windy.com* memiliki fitur prediksi hingga beberapa hari ke depan, yang memberikan konteks pada pembelajaran mengenai perubahan cuaca ekstrem sebagai dampak pemanasan global. Keunggulan lain adalah adanya berbagai model cuaca seperti ECMWF dan GFS, yang memberikan pilihan pembandingan data lebih lanjut. Meskipun fiturnya lengkap, *Windy.com* tidak secara eksplisit dirancang untuk keperluan pendidikan, terutama di tingkat SMA. Sama seperti *Earth.Nullschool.net*, *Windy.com* kurang menyediakan penjelasan ilmiah atau konteks edukatif yang dapat membantu siswa memahami keterkaitan antara data yang ditampilkan dan konsep-konsep dasar pemanasan global. Fitur-fitur seperti CO₂ dan PM2.5 juga tidak langsung terlihat dan memerlukan pemahaman awal tentang jenis data yang tersedia. Selain itu, antarmuka yang kompleks dan data yang sangat teknis berpotensi membingungkan bagi siswa jika tidak disertai bimbingan atau petunjuk khusus dari guru. Agar *Windy.com* lebih efektif diintegrasikan dalam pembelajaran SMA, perlu adanya sejumlah penyesuaian:

1. Penyediaan mode edukasi: seperti fitur khusus "Edukasi" yang menampilkan narasi ilmiah singkat, penjelasan lapisan data, dan integrasi dengan kurikulum sekolah.
2. Panduan interaktif: penambahan tutorial interaktif atau penjelasan tooltips dalam berbagai bahasa (termasuk Bahasa Indonesia) akan sangat membantu siswa memahami maksud dari parameter seperti dew point, lapse rate, atau konsentrasi partikulat.
3. Data historis dan grafik tren: fitur untuk menampilkan perubahan suhu atau CO₂ dalam jangka waktu panjang akan sangat berguna dalam menjelaskan tren pemanasan global.
4. Integrasi dengan LMS atau google classroom: jika *Windy* menyediakan opsi integrasi untuk tugas dan penilaian siswa, platform ini bisa menjadi lebih kolaboratif dalam pembelajaran digital.

Secara keseluruhan Windy.com merupakan alat observasi cuaca dan atmosfer canggih yang sangat relevan dalam pendidikan iklim, terutama jika dikaitkan dengan topik pemanasan global. Dengan dukungan materi pembelajaran dari guru, serta penambahan fitur edukatif di dalam situsnya, Windy.com dapat menjadi salah satu media pembelajaran berbasis data yang efektif, menarik, dan kontekstual bagi siswa SMA. Penggunaan Windy.com dalam kelas juga dapat melatih keterampilan berpikir kritis, interpretasi data, dan kesadaran lingkungan sejak dini.

Simulasi Greenhouse Effect pada situs *PhET Interactive Simulations* merupakan media pembelajaran interaktif yang sangat potensial untuk membantu siswa SMA memahami mekanisme pemanasan global. Melalui visualisasi yang sederhana namun efektif, siswa dapat memanipulasi variabel seperti konsentrasi gas rumah kaca (CO₂, metana, uap air, dan nitrous oxide), keberadaan awan, serta kondisi atmosfer pada berbagai periode waktu, mulai dari zaman glasial, tahun 1750, hingga proyeksi masa depan. Perubahan yang dilakukan akan langsung ditampilkan melalui animasi interaktif, sehingga konsep seperti efek albedo, radiasi infra merah, dan keseimbangan energi dapat dipahami secara lebih intuitif. Interaktivitas ini mampu membangun rasa ingin tahu siswa dan mendorong eksplorasi ilmiah secara mandiri. Namun, meskipun kaya akan potensi, simulasi ini memiliki beberapa keterbatasan jika diterapkan di kelas tanpa pendampingan guru. Antarmukanya tidak menyertakan narasi edukatif atau panduan langkah demi langkah, sehingga siswa yang belum memahami istilah-istilah ilmiah mungkin akan kesulitan menafsirkan data. Walaupun tersedia dalam berbagai bahasa, termasuk Bahasa Indonesia, beberapa istilah teknis seperti *albedo* atau *infrared radiation* tetap memerlukan penjelasan tambahan. Selain itu, penyederhanaan representasi data yang dilakukan demi kelancaran visualisasi dapat mengurangi ketelitian ilmiah jika tidak diimbangi dengan penjelasan konseptual.

Agar lebih efektif digunakan di kelas SMA, simulasi ini sebaiknya dilengkapi dengan panduan edukatif yang menampilkan penjelasan singkat untuk setiap parameter, disertai dengan skenario pembelajaran terpandu yang selaras dengan kurikulum. Fitur tambahan seperti grafik tren historis, kuis reflektif setelah simulasi, atau pertanyaan analitis akan membantu siswa tidak hanya bereksperimen, tetapi juga menarik kesimpulan berbasis data. Selain itu, integrasi dengan lembar kerja siswa (LKS) dan arahan diskusi guru akan membuat pembelajaran menjadi lebih terarah dan bermakna. Dengan adaptasi pedagogis semacam ini, simulasi *PhET Greenhouse Effect* dapat berperan sebagai laboratorium virtual yang efektif untuk membangun literasi iklim dan kesadaran lingkungan di kalangan siswa SMA.

Hasil Penerapan Media Simulasi

Berdasarkan hasil uji homogenitas terhadap nilai pretes dari dua kelas X di SMA Negeri 10 Kota Jambi (Tabel 3), diperoleh dua kelas yang memiliki varians dan rata-rata kemampuan awal yang setara secara statistik. Uji homogenitas dilakukan menggunakan uji Levene (karena data yang diuji tidak normal), dan nilai p-value yang diperoleh melebihi batas signifikansi 0,05, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan varians yang signifikan antar kelas. Oleh karena itu, dua kelas yang paling mendekati karakteristik homogen, yakni kelas X-A dan X-B, dipilih sebagai sampel untuk penelitian lanjutan. Kelas X-A ditetapkan sebagai kelompok eksperimen yang menggunakan media simulasi dalam proses pembelajaran, sedangkan kelas X-B sebagai kelompok kontrol yang menggunakan metode konvensional.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas

Uji	Statistik	P_Value	Metode	Kesimpulan
Normalitas A	0.76	3.01E-05	Shapiro-Wilk	Tidak Normal
Normalitas B	0.74	8.18E-07	Shapiro-Wilk	Tidak Normal
Homogenitas		0.37	Levene Test	Homogen

Dalam penelitian ini, kelas eksperimen diberikan perlakuan berupa pembelajaran menggunakan media simulasi online yang bersumber dari platform utama, yaitu Earth-Nullschool.net. Earth-Nullschool.net digunakan untuk memvisualisasikan dinamika atmosfer secara real-time, seperti pola angin, tekanan udara, dan suhu permukaan bumi. Siswa diajak untuk mengamati pergerakan massa udara dan fenomena atmosfer lainnya melalui peta interaktif berbasis data satelit. Penggunaan simulasi ini memungkinkan siswa untuk memahami konsep-konsep abstrak seperti sirkulasi atmosfer dan tekanan global dengan pendekatan visual dan kontekstual, sehingga meningkatkan keterlibatan dan pemahaman mereka terhadap materi yang kompleks (26).

Sementara itu, Windy.com dimanfaatkan untuk mendukung pembelajaran tentang pemanasan global dengan menampilkan data polusi udara, suhu global, dan konsentrasi gas rumah kaca seperti CO₂ dan NO₂. Melalui aplikasi ini, siswa dapat membandingkan kondisi atmosfer di berbagai wilayah dan menganalisis dampak aktivitas manusia terhadap perubahan iklim. Simulasi berbasis Windy.com juga digunakan dalam pendekatan EarthComm untuk melatih keterampilan berpikir spasial siswa dalam memecahkan masalah lingkungan global. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Windy.com dalam pembelajaran berbasis kontekstual dapat meningkatkan kemampuan analisis spasial dan pemahaman siswa terhadap isu perubahan iklim secara signifikan (27).

Setelah perlakuan diberikan, dilakukan uji beda terhadap nilai postes untuk mengetahui efektivitas penggunaan media simulasi. Hasil uji menunjukkan bahwa kelompok eksperimen (X-A) mengalami peningkatan skor postes yang lebih signifikan dibandingkan kelompok kontrol (X-B). Hal ini terlihat dari nilai rata-rata postes kelompok eksperimen yang lebih tinggi, dan diperkuat dengan hasil uji statistik (uji t dan Mann-Whitney) yang menunjukkan nilai $p < 0,05$. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan media simulasi memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap hasil belajar siswa dibandingkan metode konvensional.

Perbedaan Uji t dan Mann-Whitney yaitu sama-sama digunakan untuk membandingkan dua kelompok, namun pemilihannya bergantung pada distribusi data. Uji t (independent sample t-test) digunakan jika data berskala interval atau rasio, berdistribusi normal, dan memiliki varians yang homogen; langkahnya meliputi uji normalitas, uji homogenitas, lalu analisis perbedaan rata-rata antar kelompok. Sebaliknya, uji Mann-Whitney digunakan jika data tidak normal atau berskala ordinal, dengan prosedur yang lebih fleksibel karena tidak memerlukan asumsi distribusi; analisis dilakukan dengan membandingkan peringkat nilai antar kelompok untuk melihat apakah terdapat perbedaan signifikan. Kedua uji menghasilkan nilai p, dan jika $p < 0.05$, maka perbedaan antar kelompok dianggap signifikan (15).

Tabel 4. Hasil Uji Pre-Test dan Post-Test

Uji	Statistik	P Value	Kesimpulan
Normalitas Eksperimen	0.56	6.32E-08	Tidak Normal
Normalitas Kontrol	0.67	5.01E-08	Tidak Normal
Homogenitas		0.91	Homogen
Mann-Whitney U Test	752.5	0.0008	Ada perbedaan signifikan

Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa media pembelajaran berbasis simulasi dapat meningkatkan pemahaman konsep, terutama pada materi abstrak atau kompleks seperti yang terdapat dalam kurikulum fisika. Simulasi memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi konsep secara interaktif dan visual, sehingga memperkuat keterlibatan belajar dan memperdalam pemahaman kognitif siswa. Sebagai contoh, penggunaan PhET Simulation terbukti meningkatkan skor pemahaman konsep secara signifikan dibandingkan metode konvensional (Fathurohman, 2018). Simulasi ini juga memberikan umpan balik instan, memungkinkan siswa untuk melihat langsung dampak dari variabel fisika yang dimanipulasi (Chairunnisa, 2023). Dengan demikian, penerapan media simulasi dapat menjadi strategi pembelajaran alternatif yang efektif dalam konteks pendidikan sains di tingkat SMA, terutama ketika keterbatasan fasilitas laboratorium menjadi kendala.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap tiga media simulasi—Earth Nullschool, Windy, dan PhET Greenhouse Effect—dalam konteks pembelajaran dinamika atmosfer dan pemanasan global, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Kelayakan Media Simulasi
Ketiga media dinilai sangat layak digunakan sebagai alat bantu pembelajaran berdasarkan hasil validasi oleh ahli materi dan ahli media. Earth Nullschool dan Windy unggul dalam visualisasi data atmosfer secara real-time, sementara PhET Greenhouse Effect efektif dalam menyederhanakan konsep efek rumah kaca melalui simulasi interaktif berbasis eksperimen.
2. Efektivitas dalam Pembelajaran
Penggunaan media simulasi menunjukkan peningkatan pemahaman siswa terhadap konsep

atmosfer dan pemanasan global. Hasil pretest dan posttest menunjukkan nilai gain ternormalisasi berada pada kategori sedang hingga tinggi, yang mengindikasikan bahwa media ini mampu mendukung pencapaian kompetensi dasar secara signifikan.

3. Respons dan Persepsi Pengguna

Siswa memberikan respons positif terhadap media simulasi, terutama dalam hal kemudahan penggunaan, daya tarik visual, dan kemampuan untuk belajar secara mandiri. Guru juga menilai media ini sebagai inovatif dan relevan dengan kebutuhan pembelajaran berbasis kurikulum merdeka.

4. Potensi Pengembangan Modul Pembelajaran

Berdasarkan hasil evaluasi, dirancang modul pembelajaran berbasis media simulasi yang terintegrasi dengan kurikulum geografi dan fisika atmosfer. Modul ini berpotensi meningkatkan literasi iklim dan keterampilan berpikir kritis siswa melalui pendekatan eksploratif dan berbasis data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hasil penelitian ini merupakan bagian dari proyek penelitian yang didanai oleh Hibah PNBPU Universitas Jambi Tahun Anggaran 2025 melalui Skema Penelitian Terapan, dengan Nomor Kontrak: 394/UN21.11/PT.01.05/SPK/2025.

REFERENSI

- Arsyad, A. (2017). *Media Pembelajaran*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Ary, D, Jacobs, L. C., & Sorensen, C. (2010). *Introduction to Research in Education*. 8th ed. Belmont: Wadsworth Cengage Learning.
- Fathurohman, C. (2018) *Penerapan Media Simulasi PhET untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa SMA pada Materi Fluida*. Serang: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Chairunisa, T. (2012). Efektivitas Penggunaan Media Pembelajaran PhET dalam Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Pembelajaran Fisika. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Khatulistiwa*. 12(5):1–10.
- Choiri, M. Z., Purwanto, Rosyida F, & Wagistina S. (2024). Pengaruh EarthComm Berbantuan Aplikasi Windy terhadap Berpikir Spasial dalam Memecahkan Masalah Perubahan Iklim Global. Universitas Negeri Malang.
- Creswell, J. W. & Guetterman T. C. (2019). *Educational research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. 6th ed. Boston (MA): Pearson;
- Earth Nullschool – Earth Wind Map (Internet cited 2025 May 10). Available from: <https://earth.nullschool.net>
- Firmansyah, R. (2022). Efektivitas Penggunaan Media Simulasi terhadap Hasil Belajar Geografi Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 10(1), 55–64.
- Firmansyah, D. (2022). Efektivitas media simulasi terhadap pemahaman konsep perubahan iklim pada siswa SMA. *J Inovasi Pendidikan IPA*, 8(2), 112–120.
- Hamalik, O. (2010). *Proses Belajar Mengajar*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hidayati, N. (2022). Kendala pembelajaran pemanasan global pada siswa SMA: Studi kasus di beberapa sekolah negeri. *J Pendidikan Geografi*. 5(1), 34–42.
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Labibah, U. N. (2018). *Efektivitas Model Pembelajaran Simulasi Berbantuan PhET pada Pembelajaran Fisika Ditinjau dari Peningkatan Keaktifan dan Hasil Belajar Aspek Kognitif Peserta Didik SMA*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nurhayati, R, Prasetyo, E. (2021). Pengaruh penggunaan simulasi dalam pembelajaran atmosfer terhadap pemahaman konseptual siswa. *J Teknologi Pendidikan*, 23(1), 77–85.

- Priyatno, D. *Mandiri Belajar Analisis Data dengan SPSS*. Yogyakarta: Mediakom; 2016.
- Ramanathan, V., Feng, Y. (2009). Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. *Atmospheric Environment*, 43(1):37–50.
- Rusman. (2019). *Model-Model Pembelajaran: Mengembangkan Profesionalisme Guru*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Santoso, S. (2017). *Menguasai Statistik di Era Revolusi Industri 4.0 dengan SPSS 25*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Sarwono, J. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Satiadi, D., Subarna, D. (2007). Penggunaan Model Simulasi Atmosfer sebagai Alat Pembelajaran dalam Pendidikan. Seminar Nasional MIPA. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Solehudin, M. (2020). Peran pembelajaran geografi dalam meningkatkan literasi iklim siswa. *J Geografi dan Pembelajaran*. 2020;8(1):45–52.
- Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Cetakan ke-3*. Bandung: Alfabeta.
- Taufik, T. A. (2005). *Konsep dan Metode Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi/TKT (Technology Readiness Level/TRL)*. In *Proceedings Workshop KNRT–BPPT*.
- Trianto. (2012). *Mendesain Model Pembelajaran Inovatif-Progresif: Konsep, Landasan, dan Implementasinya pada Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP)*. Jakarta: Kencana Prenada Media Group.
- Wibowo, R. (2019). Evaluasi pembelajaran geografi pada topik pemanasan global: studi di sekolah menengah atas. *J Pendidikan Sosial*, 14(3), 205–213.
- Windy.com (Internet cited 2025 May 10). Available from: <https://www.windy.com>