

Integrasi Pemodelan Komputasional Berbasis *Python* dalam Pembelajaran Difraksi Gelombang pada Mahasiswa Pendidikan Fisika

Hebat Shidow Falah^{1*}, Sigap Abror Falah²

¹ Universitas Jambi, Indonesia; hebatshidowfalah@unja.ac.id

² IPB University, Indonesia; abrorfalah.sigap@apps.ipb.ac.id

Keywords:

Computational Modeling; Wave Diffraction; Learning; Physics; Python.

Abstract

Computational modeling is increasingly important in modern physics courses because it can connect abstract concepts with dynamic visualizations of physical phenomena. This study aims to analyze changes in students' conceptual understanding through the integration of Python-based computational modeling of wave diffraction and to identify early indications of computational thinking practices in learning activities. This study used a one-group pretest-posttest design involving 15 physics education students taking the Waves and Optics course. Data were collected through conceptual understanding tests, computational modeling activity sheets, and student reflections. Data analysis was performed using descriptive statistics, the Shapiro-Wilk normality test, paired sample t-test, and N-gain. The results showed an increase in the average score from 67.50 in the pretest to 71.73 in the posttest with a statistically significant difference ($p = 0.012$). The N-gain value of 0.127 indicates that the increase in conceptual understanding is in the low category. Qualitative analysis showed that 73% of students experienced a change in reasoning from descriptive explanations to reasoning based on model parameters. This study shows that a low-threshold computational modeling approach can be an effective first step to integrate computational practices into physics learning for students with limited programming experience.

Kata kunci:

Pemodelan Komputasional; Difraksi Gelombang; Pembelajaran; Fisika; Python.

Article history:

Received: 03-01-2026

Revised 02-03-2026

Accepted 17-03-2026

Abstrak

Pemodelan komputasional semakin penting dalam pembelajaran fisika modern karena mampu menghubungkan konsep abstrak dengan visualisasi fenomena fisika secara dinamis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan pemahaman konseptual mahasiswa melalui integrasi pemodelan komputasional berbasis Python pada materi difraksi gelombang serta mengidentifikasi indikasi awal praktik berpikir komputasional dalam aktivitas pembelajaran. Penelitian ini menggunakan desain *one-group pretest-posttest* dengan melibatkan 15 mahasiswa pendidikan fisika yang mengikuti mata kuliah Gelombang dan Optik. Data dikumpulkan melalui tes pemahaman konseptual, lembar aktivitas pemodelan komputasional, dan refleksi mahasiswa. Analisis data dilakukan menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas Shapiro-Wilk, *paired sample t-test*, serta *N-gain*. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan rata-rata skor dari 67,50 pada pretest menjadi 71,73 pada posttest dengan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p = 0,012$). Nilai *N-gain* sebesar 0,127 menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konseptual berada pada kategori rendah. Analisis kualitatif menunjukkan bahwa 73% mahasiswa mengalami perubahan penalaran dari penjelasan deskriptif menuju penalaran berbasis parameter model. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *low-threshold computational modeling* dapat menjadi langkah awal yang efektif untuk mengintegrasikan praktik komputasi dalam pembelajaran fisika bagi mahasiswa yang memiliki pengalaman pemrograman terbatas.

Corresponding Author:

Hebat Shidow Falah

Universitas Jambi, Indonesia; hebatshidowfalah@unja.ac.id

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu fisika modern menunjukkan bahwa komputasi telah menjadi bagian penting dalam praktik ilmiah dan pembelajaran fisika di perguruan tinggi. Dalam satu dekade terakhir, integrasi pemodelan komputasional dalam pendidikan fisika berkembang pesat karena memungkinkan mahasiswa menghubungkan representasi matematis dengan fenomena fisika melalui simulasi dinamis (Phillips et al., 2023). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan simulasi dan pemodelan komputasional dapat meningkatkan keterlibatan belajar serta pemahaman konseptual mahasiswa terhadap konsep-konsep fisika yang abstrak (Caballero et al., 2012; Chabay & Sherwood, 2008; Odden et al., 2019). Selain itu, simulasi interaktif seperti PhET juga terbukti efektif dalam membantu mahasiswa memahami fenomena gelombang dan optik melalui eksplorasi parameter secara langsung (Finkelstein et al., 2005; Ginting et al., 2020; Koryataini et al., 2024; Ropinur et al., 2025). Dalam konteks pendidikan fisika di perguruan tinggi Indonesia, integrasi komputasi dalam pembelajaran masih terus berkembang dan memerlukan pendekatan yang sesuai dengan karakteristik mahasiswa (Irvani et al., 2024).

Salah satu materi fisika yang sering menimbulkan kesulitan konseptual adalah difraksi gelombang. Berdasarkan observasi awal pada perkuliahan Gelombang dan Optik terhadap 15 mahasiswa pendidikan fisika, sebagian besar mahasiswa mengalami kesulitan dalam menjelaskan hubungan antara parameter gelombang, seperti panjang gelombang dan lebar celah, dengan pola difraksi yang terbentuk. Mahasiswa cenderung memberikan penjelasan deskriptif tanpa mampu mengaitkan perubahan parameter dengan perubahan pola secara konseptual. Kondisi ini senada dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan adanya miskonsepsi pada materi gelombang optik, khususnya dalam membedakan difraksi dan interferensi serta dalam menghubungkan representasi matematis dengan fenomena fisika (Lutfia & Putra, 2020; Mešić et al., 2019). Data awal tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara pembelajaran konsep gelombang dan kebutuhan penggunaan pendekatan berbasis model yang lebih interaktif.

Penelitian dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan perkembangan penggunaan pemodelan komputasional dalam pendidikan fisika. Pada awal dekade terakhir, penelitian lebih banyak menekankan penggunaan simulasi interaktif untuk meningkatkan pemahaman konsep (Aisah et al., 2024; Saridawati et al., 2022). Selanjutnya, integrasi pemodelan komputasional mulai diterapkan dalam pembelajaran fisika untuk mendukung aktivitas eksplorasi dan pemecahan masalah (Weber & Wilhelm, 2020). Penelitian berikutnya berkembang pada penguatan kemampuan berpikir komputasional melalui aktivitas pemodelan (Gambrell & Brewes, 2024; Odden et al., 2019; Weller et al., 2022; Yeni et al., 2024). Penelitian terbaru menunjukkan pentingnya pendekatan *low-threshold computational modeling*, yaitu aktivitas pemodelan yang memungkinkan mahasiswa memodifikasi model yang telah tersedia tanpa harus menulis kode dari awal (Riazy et al., 2020). Namun demikian, implementasi pendekatan tersebut pada pembelajaran difraksi gelombang dalam konteks mahasiswa pendidikan

fisika masih relatif terbatas (Irvani et al., 2024). Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya dilakukan dalam konteks pembelajaran dengan durasi lebih panjang atau mahasiswa yang telah memiliki pengalaman komputasi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan integrasi pemodelan komputasional berbasis Python dalam pembelajaran difraksi gelombang melalui strategi berambang rendah (*low-threshold*). Secara teoritis, pemodelan komputasional memungkinkan mahasiswa membangun pemahaman konseptual melalui eksplorasi parameter (Vieyra et al., 2024) dan visualisasi fenomena secara langsung, sekaligus memperkenalkan praktik berpikir komputasional sebagai bagian dari pembelajaran fisika modern (Aho, 2012; Gambrell & Brewe, 2024; Rabiudin et al., 2023). Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan aktivitas modifikasi model komputasional oleh mahasiswa yang belum memiliki pengalaman coding dan implementasi dalam pembelajaran terbatas, sehingga pembelajaran tetap berfokus pada pemahaman konsep fisika tanpa terbebani aspek teknis coding. Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya menekankan aktivitas pemrograman penuh atau penggunaan simulasi secara pasif.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis perubahan pemahaman konseptual mahasiswa setelah penerapan aktivitas pemodelan pada materi difraksi gelombang serta mengidentifikasi indikasi awal munculnya kemampuan berpikir komputasional dalam aktivitas pembelajaran. Penelitian ini berasumsi bahwa terdapat perbedaan pemahaman konseptual mahasiswa sebelum dan sesudah penerapan pemodelan komputasional berbasis Python.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan desain *one-group pretest-posttest* untuk menganalisis perubahan pemahaman konseptual mahasiswa setelah penerapan pemodelan komputasional berbasis Python pada materi difraksi gelombang. Desain ini dipilih karena penelitian dilaksanakan dalam konteks kelas nyata dengan jumlah peserta terbatas serta bertujuan mengevaluasi efektivitas awal penerapan aktivitas pemodelan komputasional dalam pembelajaran fisika.

Pada desain ini, mahasiswa terlebih dahulu diberikan *pretest* untuk mengukur pemahaman konseptual awal mengenai difraksi gelombang. Selanjutnya, mahasiswa mengikuti rangkaian kegiatan pembelajaran berbasis pemodelan komputasional, kemudian diakhiri dengan *posttest* menggunakan instrumen yang sama untuk mengukur perubahan pemahaman konseptual setelah intervensi pembelajaran.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi penelitian adalah seluruh mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika yang mengikuti mata kuliah Gelombang dan Optik pada semester berjalan. Sampel penelitian terdiri dari 15 mahasiswa yang mengikuti perkuliahan tersebut.

Teknik pengambilan sampel menggunakan total sampling, yaitu seluruh mahasiswa yang mengikuti perkuliahan dijadikan sebagai subjek penelitian. Teknik ini

dipilih karena jumlah mahasiswa dalam kelas relatif kecil serta penelitian dilaksanakan dalam konteks pembelajaran nyata sehingga seluruh peserta perkuliahan dilibatkan dalam kegiatan penelitian.

Seluruh mahasiswa memiliki latar belakang pembelajaran fisika dasar yang relatif seragam dan belum memiliki pengalaman sebelumnya dalam pemrograman Python. Hal ini memungkinkan penelitian mengevaluasi efektivitas pendekatan *low-threshold computational modeling*, yaitu aktivitas pemodelan yang memungkinkan mahasiswa memodifikasi model komputasional tanpa harus menulis kode dari awal.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas tiga jenis, yaitu tes pemahaman konseptual, lembar aktivitas pemodelan komputasional, dan artefak pemodelan mahasiswa.

Tes pemahaman konseptual

Tes pemahaman konseptual digunakan untuk mengukur perubahan pemahaman mahasiswa mengenai konsep difraksi gelombang sebelum dan sesudah pembelajaran. Tes terdiri dari 10 soal konseptual berbentuk uraian yang disusun berdasarkan lima indikator pemahaman konsep, yaitu:

1. konsep dasar difraksi gelombang
2. hubungan panjang gelombang dengan pola difraksi
3. hubungan lebar celah dengan pola difraksi
4. interpretasi representasi visual pola difraksi
5. penalaran berbasis parameter model

Setiap soal dinilai menggunakan rubrik skoring 0–4, dengan kriteria: skor 0 (tidak menjawab atau tidak relevan), skor 1 (jawaban salah atau miskonsepsi), skor 2 (jawaban sebagian benar), skor 3 (jawaban benar namun penjelasan kurang lengkap), dan skor 4 (jawaban benar dengan penjelasan konseptual lengkap). Skor maksimum tes adalah 40, yang kemudian dikonversi ke skala 0–100 untuk memudahkan interpretasi hasil belajar mahasiswa.

Lembar Aktivitas Pemodelan Komputasional

Lembar aktivitas pemodelan digunakan untuk mendokumentasikan proses eksplorasi model komputasional yang dilakukan mahasiswa selama pembelajaran. Lembar aktivitas ini memuat beberapa tahapan kegiatan, yaitu:

1. membuat prediksi awal terhadap perubahan pola difraksi
2. memodifikasi parameter model komputasional
3. menjalankan simulasi dan mengamati hasil
4. membandingkan hasil simulasi dengan prediksi awal
5. menjelaskan hubungan antara parameter model dan pola difraksi

Parameter model yang dapat dimodifikasi oleh mahasiswa meliputi panjang gelombang (λ), lebar celah (a), dan jarak layar (L).

Artefak Pemodelan Mahasiswa

Artefak pemodelan berupa hasil simulasi, catatan aktivitas, dan jawaban refleksi mahasiswa selama kegiatan pemodelan. Data ini digunakan untuk mengidentifikasi perubahan pola penalaran mahasiswa dalam memahami hubungan antara parameter model dan fenomena difraksi. Analisis artefak dilakukan secara kualitatif untuk melihat indikasi awal munculnya penalaran berbasis model dan aktivitas berpikir komputasional selama proses pembelajaran.

Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Tes pemahaman konseptual divalidasi oleh dua dosen ahli pendidikan fisika melalui evaluasi validitas isi dan konstruk. Hasil validasi menunjukkan skor rata-rata 0,92, yang menunjukkan bahwa instrumen memiliki tingkat validitas yang sangat tinggi.

Uji reliabilitas dilakukan menggunakan Cronbach's Alpha berdasarkan data uji coba instrumen pada mahasiswa angkatan di atas yang telah menyelesaikan mata kuliah Gelombang dan Optik. Hasil analisis menunjukkan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,81, yang menunjukkan bahwa instrumen memiliki konsistensi internal yang tinggi dan layak digunakan untuk mengukur pemahaman konseptual mahasiswa.

Prosedur Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan dalam tiga pertemuan pembelajaran, dengan durasi masing-masing 3×50 menit. Rangkaian kegiatan pembelajaran dilaksanakan sebagai berikut.

Pada pertemuan pertama, mahasiswa diperkenalkan pada konsep difraksi gelombang melalui diskusi konsep dasar dan visualisasi pola difraksi menggunakan simulasi komputasional berbasis Python.

Pada pertemuan kedua, mahasiswa melakukan eksplorasi model komputasional dengan memodifikasi parameter seperti panjang gelombang dan lebar celah menggunakan program Python yang dijalankan melalui Visual Studio Code. Mahasiswa mengamati perubahan pola difraksi yang dihasilkan dari variasi parameter tersebut.

Pada pertemuan ketiga, mahasiswa melakukan aktivitas prediksi sebelum menjalankan simulasi, kemudian membandingkan hasil simulasi dengan prediksi awal serta menjelaskan hubungan antara parameter model dan fenomena difraksi.

Sebelum kegiatan pembelajaran dimulai, mahasiswa diberikan pretest untuk mengukur pemahaman konseptual awal. Setelah seluruh rangkaian kegiatan pembelajaran selesai, mahasiswa diberikan posttest menggunakan instrumen yang sama.

Teknik Analisis Data

Data kuantitatif berupa skor pretest dan posttest dianalisis menggunakan statistik deskriptif yang meliputi nilai rata-rata, nilai minimum, nilai maksimum, dan standar deviasi.

Sebelum pengujian hipotesis dilakukan, data diuji terlebih dahulu menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk. Uji normalitas dilakukan menggunakan uji Shapiro-Wilk

karena jumlah sampel penelitian kurang dari 50. Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi (*p-value*) lebih besar dari 0,05. Jika data memenuhi asumsi normalitas, maka pengujian hipotesis dilanjutkan menggunakan *paired sample t-test*.

Setelah memenuhi asumsi normalitas, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *paired sample t-test* pada taraf signifikansi 0,05 untuk mengetahui perbedaan skor pemahaman konseptual mahasiswa sebelum dan sesudah pembelajaran.

Selain itu, peningkatan hasil belajar dianalisis menggunakan *normalized gain* (*N-gain*) untuk mengetahui tingkat peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa. Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 27.

Data kualitatif berupa artefak pemodelan dan jawaban refleksi mahasiswa dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi perubahan pola penalaran mahasiswa, khususnya kemampuan menghubungkan perubahan parameter model dengan pola difraksi yang diamati selama kegiatan pemodelan komputasional.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil Analisis Statistik Deskriptif

Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk mendapatkan gambaran perubahan pemahaman konseptual mahasiswa sebelum dan sesudah penerapan pemodelan komputasional berbasis *Python* pada materi difraksi gelombang. Ringkasan hasil analisis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1
Statistik Deskriptif Skor Pretest dan Posttest

Variabel	N	Minimum	Maksimum	Rata-rata	SD
Pretest	15	57.00	79.00	67.50	7.62
Posttest	15	57.50	82.00	71.73	7.38

Berdasarkan Tabel 1, nilai rata-rata posttest lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rata-rata pretest. Selisih rata-rata sebesar 4,33 poin menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa setelah mengikuti pembelajaran berbasis pemodelan komputasional.

Hasil Uji Normalitas

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, data diuji menggunakan uji normalitas untuk menentukan jenis statistik yang digunakan. Uji normalitas yang dipilih yaitu uji Shapiro-Wilk berdasarkan jumlah sampel kurang dari 50. Hasil uji asumsi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2
Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Data	Statistic	Sig.	Keterangan
Pretest	0.914	0.158	Normal
Posttest	0.952	0.552	Normal

Berdasarkan hasil uji Shapiro–Wilk, nilai signifikansi untuk *pretest* sebesar 0,158 dan *posttest* sebesar 0,552. Kedua nilai tersebut lebih besar dari 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal. Dengan demikian, analisis selanjutnya dapat dilakukan menggunakan *paired sample t-test*.

Hasil Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *paired sample t-test* untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* mahasiswa. Hasil uji hipotesis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3
Hasil Uji Paired sample t-test

Variabel	Mean	SD	t	df	Sig. (2-tailed)
Pretest	67.50	7.62			
Posttest	71.73	7.38	-2.905	14	0.012

Hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* ($t(14) = -2,905$; $p = 0,012$). Nilai $p = 0,012$ menunjukkan bahwa peningkatan tersebut signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi memberikan efek nyata secara statistik meskipun tingkat peningkatan belajar masih berada pada tahap awal. Selain itu, penerapan pemodelan komputasional berbasis Python menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa setelah intervensi pembelajaran. Nilai *N-gain* negatif pada sebagian kecil mahasiswa menunjukkan adanya penurunan skor individual meskipun rata-rata kelas mengalami peningkatan.

Analisis Peningkatan Menggunakan N-Gain

Untuk mengetahui tingkat peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa, dilakukan analisis menggunakan *normalized gain (N-gain)*.

Tabel 4
Hasil Analisis N-Gain

N	Minimum	Maksimum	Mean	Std. Deviation
15	-0.2	0.4	0.127	0.1723

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai rata-rata *N-gain* sebesar 0,127, yang termasuk dalam kategori rendah. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa secara statistik, perubahan konseptual yang terjadi masih berada pada tahap awal.

Selain itu, beberapa mahasiswa menunjukkan *N-gain* negatif, yang menunjukkan adanya penurunan skor pada *posttest* dibandingkan dengan *pretest*. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan pemahaman konseptual mahasiswa tidak selalu terjadi secara linear dan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kesulitan konsep atau proses adaptasi terhadap pendekatan pembelajaran baru.

Hasil Analisis Data Kualitatif

Data kualitatif diperoleh dari lembar aktivitas pemodelan dan jawaban refleksi mahasiswa selama proses pembelajaran. Analisis menunjukkan adanya perubahan pola penalaran mahasiswa setelah mengikuti aktivitas pemodelan komputasional.

Sebelum pembelajaran, sebagian besar mahasiswa memberikan penjelasan yang bersifat deskriptif, misalnya menjelaskan difraksi sebagai proses “penyebaran cahaya setelah melewati celah”. Setelah mengikuti aktivitas pemodelan komputasional, sebagian mahasiswa mulai menjelaskan fenomena difraksi berdasarkan hubungan parameter model seperti panjang gelombang dan lebar celah.

Dari 15 mahasiswa, sebanyak 11 mahasiswa (73%) menunjukkan perubahan penalaran menuju penjelasan berbasis parameter model. Contoh perubahan penalaran mahasiswa disajikan pada Tabel 5. Inisial A–O digunakan untuk menjaga kerahasiaan identitas mahasiswa.

Tabel 5

Contoh Perubahan Penalaran Mahasiswa

Mahasiswa	Sebelum Pembelajaran	Sesudah Pembelajaran
Mahasiswa A	Pola berubah karena cahaya menyebar.	Pola melebar ketika lebar celah diperkecil.
Mahasiswa F	Belum memahami hubungan parameter dan pola.	Perubahan parameter menghasilkan pola yang berbeda secara konsisten.
Mahasiswa M	Pola berubah karena cahaya menyebar.	Lebar celah yang kecil menyebabkan pola difraksi lebih lebar.

Catatan: Kode mahasiswa digunakan untuk menjaga kerahasiaan identitas peserta penelitian.

Perubahan ini menunjukkan bahwa aktivitas pemodelan komputasional membantu mahasiswa mulai memahami hubungan antara parameter fisika dan fenomena difraksi secara lebih sistematis.

Ringkasan Hasil Penelitian

Ringkasan temuan utama penelitian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6

Ringkasan Hasil Penelitian

Aspek Temuan	Hasil
Rata-rata skor pretest	67,50
Rata-rata skor posttest	71,73
Selisih rata-rata	4,33
Signifikansi statistik	$p = 0,012$
Nilai N-gain	0,127 (kategori rendah)
Perubahan penalaran	11 dari 15 mahasiswa (73%)

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan pemodelan komputasional berbasis *Python* memberikan dampak positif terhadap pemahaman

konseptual mahasiswa serta memunculkan indikasi awal penalaran berbasis model dalam memahami fenomena difraksi gelombang.

Pembahasan

Peningkatan Pemahaman Konseptual melalui Pemodelan Komputasional

Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa setelah penerapan pemodelan komputasional berbasis Python pada materi difraksi gelombang. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata skor posttest dibandingkan dengan pretest serta hasil uji *paired sample t-test* yang menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua skor tersebut ($p < 0,05$). Temuan ini menunjukkan bahwa aktivitas pemodelan komputasional dapat membantu mahasiswa memahami hubungan antara konsep matematis dan fenomena fisika melalui visualisasi fenomena secara dinamis.

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pemodelan komputasional dapat meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa dalam pembelajaran fisika karena mahasiswa dapat mengamati hubungan antara variabel fisika melalui simulasi yang bersifat interaktif (Gambrell & Brewe, 2024; Weber & Wilhelm, 2020). Melalui simulasi, konsep yang sebelumnya bersifat abstrak dapat divisualisasikan sehingga mempermudah mahasiswa memahami fenomena gelombang secara lebih konkret (Saba et al., 2023).

Meskipun demikian, nilai *N-gain* sebesar 0,127 menunjukkan bahwa tingkat peningkatan pemahaman konseptual masih berada pada kategori rendah. Temuan serupa juga dilaporkan dalam penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konseptual melalui aktivitas pemodelan komputasional sering memerlukan durasi pembelajaran yang lebih panjang agar perubahan konseptual dapat berkembang secara lebih stabil. Kondisi ini dapat dipahami karena aktivitas pemodelan komputasional dalam penelitian ini dilaksanakan dalam waktu yang relatif singkat, yaitu hanya tiga pertemuan pembelajaran. Selain itu, sebagian besar mahasiswa belum memiliki pengalaman sebelumnya dalam aktivitas pemodelan komputasional sehingga mereka masih berada pada tahap awal dalam memahami hubungan antara model komputasional dan konsep fisika.

Selain itu, beberapa mahasiswa juga menunjukkan penurunan skor pada posttest. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses perubahan konseptual tidak selalu terjadi secara linear. Dalam pembelajaran berbasis model, mahasiswa sering mengalami fase transisi ketika mencoba merekonstruksi pemahaman awal mereka terhadap konsep yang dipelajari. Oleh karena itu, perubahan konseptual yang stabil biasanya memerlukan paparan aktivitas pemodelan yang lebih berulang dan berkelanjutan.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi pemodelan komputasional dapat memberikan dampak positif terhadap pemahaman konseptual mahasiswa, meskipun peningkatan yang terjadi masih berada pada tahap awal.

Perubahan Penalaran Mahasiswa dalam Aktivitas Pemodelan

Selain peningkatan pemahaman konseptual secara kuantitatif, hasil analisis data kualitatif juga menunjukkan adanya perubahan pola penalaran mahasiswa selama proses pembelajaran. Sebelum mengikuti aktivitas pemodelan komputasional, sebagian besar mahasiswa memberikan penjelasan yang bersifat deskriptif terhadap fenomena difraksi. Mahasiswa umumnya menjelaskan difraksi sebagai proses “penyebaran cahaya setelah melewati celah” tanpa mengaitkannya dengan parameter fisika yang memengaruhi pola difraksi.

Setelah mengikuti aktivitas pemodelan komputasional, sebagian mahasiswa mulai menunjukkan penjelasan yang lebih sistematis dengan menghubungkan perubahan parameter model dengan perubahan pola difraksi. Dari 15 mahasiswa yang mengikuti penelitian ini, 11 mahasiswa (73%) menunjukkan perubahan penalaran menuju penjelasan berbasis parameter model.

Sebagai contoh, salah satu mahasiswa menyatakan bahwa “saat lebar celah diperkecil, pola difraksi melebar. Saya mencoba beberapa nilai dan hasilnya konsisten.” Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa mahasiswa mulai memahami hubungan antara parameter fisika dan pola difraksi melalui eksplorasi model komputasional. Contoh lain ditunjukkan oleh mahasiswa yang menyatakan, “simulasi menunjukkan bahwa panjang gelombang yang lebih besar menghasilkan pola difraksi yang lebih lebar.” Kutipan tersebut menunjukkan bahwa mahasiswa mulai menggunakan model komputasional sebagai alat untuk menjelaskan fenomena fisika secara konseptual. Perubahan pola penalaran ini menunjukkan munculnya indikasi awal praktik berpikir komputasional dalam aktivitas pemodelan, yaitu kemampuan menghubungkan parameter model dengan fenomena fisika yang diamati (Lagubeau et al., 2020).

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa aktivitas pemodelan komputasional dapat mendorong mahasiswa untuk berpikir secara sistematis melalui eksplorasi model dan analisis hubungan antara variabel fisika (Odden et al., 2019; Weller et al., 2022). Dalam konteks ini, pemodelan komputasional tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai sarana untuk membangun penalaran ilmiah berbasis model.

Kontribusi Pendekatan Low-Threshold Computational Modeling

Salah satu kontribusi penting dalam penelitian ini adalah penerapan pendekatan *low-threshold computational modeling* dalam pembelajaran difraksi gelombang. Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa untuk terlibat dalam aktivitas pemodelan komputasional tanpa harus memiliki kemampuan pemrograman yang tinggi.

Dalam penelitian ini, program simulasi Python telah disiapkan sebelumnya dan dijalankan menggunakan *Visual Studio Code*, sehingga mahasiswa dapat langsung memodifikasi parameter model seperti panjang gelombang dan lebar celah tanpa harus menulis kode dari awal (Hutchins et al., 2020). Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa untuk fokus pada pemahaman konsep fisika tanpa terbebani oleh aspek teknis pemrograman.

Pendekatan berambang rendah ini terbukti efektif untuk mahasiswa yang sebagian besar belum memiliki pengalaman dalam pemrograman. Melalui aktivitas eksplorasi parameter, mahasiswa dapat mengamati secara langsung bagaimana perubahan nilai parameter memengaruhi pola difraksi yang dihasilkan oleh model komputasional.

Temuan ini menunjukkan bahwa pemodelan komputasional dapat diintegrasikan secara bertahap dalam pembelajaran fisika melalui aktivitas eksplorasi model yang sederhana (Riazy et al., 2020). Dengan pendekatan ini, mahasiswa dapat mulai mengembangkan pemahaman tentang hubungan antara model matematis, simulasi komputasional, dan fenomena fisika secara lebih intuitif.

Implikasi bagi Pembelajaran Fisika di Perguruan Tinggi

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting bagi pengembangan pembelajaran fisika di perguruan tinggi. Pertama, integrasi pemodelan komputasional dapat menjadi strategi pembelajaran yang efektif untuk membantu mahasiswa memahami konsep fisika yang bersifat abstrak, khususnya pada materi gelombang dan optik.

Kedua, pendekatan *low-threshold computational modeling* dapat menjadi alternatif yang realistis untuk mulai mengintegrasikan komputasi dalam pembelajaran fisika, terutama pada program studi pendidikan fisika yang mahasiswanya belum memiliki latar belakang pemrograman (Ilma et al., 2023; Irvani et al., 2024). Dengan menyediakan model komputasional yang telah disiapkan sebelumnya, mahasiswa dapat terlibat dalam aktivitas eksplorasi model tanpa harus menghadapi hambatan teknis dalam pemrograman.

Ketiga, penerapan pendekatan ini dapat mendukung pengembangan pembelajaran fisika berbasis STEM di perguruan tinggi. Melalui aktivitas pemodelan komputasional, mahasiswa tidak hanya mempelajari konsep fisika, tetapi juga mulai mengenal praktik ilmiah yang melibatkan penggunaan model dan simulasi komputasional dalam memahami fenomena alam.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan komputasional berbasis Python dapat menjadi langkah awal yang efektif dalam mengintegrasikan praktik komputasi dalam pembelajaran fisika pada mata kuliah Gelombang dan Optik di program studi pendidikan fisika.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan pemodelan komputasional berbasis Python melalui pendekatan *low-threshold computational modeling* memberikan dampak positif terhadap pemahaman konseptual mahasiswa pada materi difraksi gelombang. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan nilai rata-rata dari 67,50 pada *pretest* menjadi 71,73 pada *posttest*, dengan selisih peningkatan sebesar 4,33 poin. Hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan bahwa perbedaan tersebut signifikan secara statistik ($p = 0,012$). Analisis peningkatan menggunakan *N-gain* menunjukkan nilai rata-rata sebesar

0,127, yang termasuk dalam kategori rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa, perubahan konseptual yang terjadi masih berada pada tahap awal.

Selain temuan kuantitatif, analisis data kualitatif menunjukkan adanya perubahan pola penalaran mahasiswa selama aktivitas pemodelan komputasional. Sebanyak 11 dari 15 mahasiswa (73%) menunjukkan perubahan penalaran dari penjelasan yang bersifat deskriptif menuju penjelasan yang menghubungkan fenomena difraksi dengan parameter fisika seperti panjang gelombang dan lebar celah. Temuan ini menunjukkan munculnya indikasi awal praktik berpikir komputasional dalam aktivitas pemodelan, di mana mahasiswa mulai menggunakan model komputasional untuk memahami hubungan antara parameter fisika dan fenomena gelombang.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *low-threshold computational modeling* dapat menjadi langkah awal yang efektif untuk mengintegrasikan komputasi dalam pembelajaran fisika, khususnya pada mata kuliah Gelombang dan Optik di program studi pendidikan fisika. Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa terlibat dalam aktivitas pemodelan komputasional tanpa harus memiliki kemampuan pemrograman yang tinggi, sehingga mahasiswa dapat lebih fokus pada pemahaman konsep fisika.

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan aktivitas pemodelan komputasional dalam durasi pembelajaran yang lebih panjang serta pada materi fisika lainnya untuk mengevaluasi dampaknya terhadap perkembangan pemahaman konseptual dan kemampuan berpikir komputasional mahasiswa secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Aho, A. V. (2012). Computation and Computational Thinking. *The Computer Journal*, 55(7), 832–835. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxs074>
- Aisah, N., Yuliani, H., & Nasir, M. (2024). Meta Analisis: Pengaruh Multimedia Interaktif Terhadap Pemahaman Konsep IPA. *Kappa Journal*, 8(2), 249–254. <https://doi.org/10.29408/kpj.v8i2.26294>
- Caballero, M. D., Kohlmyer, M. A., & Schatz, M. F. (2012). Implementing and assessing computational modeling in introductory mechanics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(2), 020106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020106>
- Chabay, R., & Sherwood, B. (2008). Computational physics in the introductory calculus-based course. *American Journal of Physics*, 76(4), 307–313. <https://doi.org/10.1119/1.2835054>
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Reid, S., & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 010103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>

- Gambrell, J., & Brewster, E. (2024). Analyzing interviews on computational thinking for introductory physics students: Toward a generalized assessment. *Physical Review Physics Education Research*, 20(1), 010128. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010128>
- Ginting, F. W., Novita, N., & Rahmadhani, Y. (2020). PENERAPAN MODEL TGT MELALUI SIMULASI PhET TERHADAP PENINGKATAN PEMAHAMAN SISWA PADA ALAT-ALAT OPTIK. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 3(2), 1–9. <https://doi.org/10.29103/relativitas.v3i2.3341>
- Hutchins, N. M., Biswas, G., Zhang, N., Snyder, C., Lédeczi, Á., & Maróti, M. (2020). Domain-Specific Modeling Languages in Computer-Based Learning Environments: A Systematic Approach to Support Science Learning through Computational Modeling. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30(4), 537–580. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00209-z>
- Ilma, A. Z., Wilujeng, I., Nurtanto, M., & Kholifah, N. (2023). A Systematic Literature Review of STEM Education in Indonesia (2016-2021): Contribution to Improving Skills in 21st Century Learning. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(2), 134–146. <https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.17>
- Irvani, A. I., Rochintaniawati, D., Riandi, R., & Sinaga, P. (2024). Analyzing the Integration of Computational Thinking in Science and Physics Education within the Indonesian Curriculum. *Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ)*, 7(1), 182–194. <https://doi.org/10.37891/kpej.v7i1.620>
- Koryataini, L., Sumo, M., Minnah, L., Solehah, S., & Khoiroh, A. R. A. (2024). Analisis Penggunaan Media Pembelajaran PhET pada Materi Gelombang Berjalan dan Stasioner: A Review Literatur. *MUTIARA: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(3), 120–138. <https://doi.org/10.61404/jimi.v2i3.256>
- Lagubeau, G., Tecpan, S., & Hernández, C. (2020). Active learning reduces academic risk of students with nonformal reasoning skills: Evidence from an introductory physics massive course in a Chilean public university. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 023101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.023101>
- Lutfia, W., & Putra, N. M. D. (2020). Analisis Profil Pemahaman Konsep dan Model Mental Siswa di SMA Kesatrian 2 Semarang pada Materi Interferensi dan Difraksi Cahaya. *UPEJ Unnes Physics Education Journal*, 9(1), 27–35. <https://doi.org/10.15294/upej.v9i1.38278>
- Mešić, V., Neumann, K., Aviani, I., Hasović, E., Boone, W. J., Erceg, N., Grubelnik, V., Sušac, A., Glamović, D. S., Karuza, M., Vidak, A., Alihodžić, A., & Repnik, R. (2019). Measuring students' conceptual understanding of wave optics: A Rasch modeling approach. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010115. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010115>
- Odden, T. O. B., Lockwood, E., & Caballero, M. D. (2019). Physics computational literacy: An exploratory case study using computational essays. *Physical Review Physics*

- Education Research*, 15(2).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020152>
- Phillips, A. M., Gouvea, E. J., Gravel, B. E., Beachemin, P.-H., & Atherton, T. J. (2023). Physicality, modeling, and agency in a computational physics class. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010121.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010121>
- Rabiudin, Afifi, E. H. N., Hastuti, T. W., & Nisa, D. C. (2023). Computational Thinking Skills to Solve Kinematics Problems at High Cognitive Level Cases. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 10955–10964.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.5775>
- Riazy, S., Weller, S., & Simbeck, K. (2020). Evaluation of Low-threshold Programming Learning Environments for the Blind and Partially Sighted: *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education*, 366–373.
<https://doi.org/10.5220/0009448603660373>
- Ropinur, M., Anggraini, S., & Angin, S. (2025). Peran Simulasi PHET dalam Meningkatkan Pemahaman Mahasiswa Tentang Fenomena Dualisme Partikel-Gelombang. *JGK (Jurnal Guru Kita)*, 9, 674–682.
<https://doi.org/10.24114/jgk.v9i3.64315>
- Saba, J., Hel-Or, H., & Levy, S. T. (2023). Much.Matter.in.Motion: Learning by modeling systems in chemistry and physics with a universal programming platform. *Interactive Learning Environments*, 31(5), 3128–3147.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1919905>
- Saridawati, S., Muinah, M., & Dinata, K. B. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Menggunakan Aurora 3D Presentation 2012 terhadap Pemahaman Konsep Materi Bangun Ruang Siswa Kelas VIII SMP Negeri 10 Kotabumi. *Eksponen*, 12(2), 63–73. <https://doi.org/10.47637/eksponen.v12i2.633>
- Vieyra, R. E., Megowan-Romanowicz, C., Fisler, K., Lerner, B. S., Politz, J. G., & Krishnamurthi, S. (2024). Expanding Models for Physics Teaching: A Framework for the Integration of Computational Modeling. *Education Sciences*, 14(8).
<https://doi.org/10.3390/educsci14080861>
- Weber, J., & Wilhelm, T. (2020). The benefit of computational modelling in physics teaching: A historical overview. *European Journal of Physics*, 41(3), 034003.
<https://doi.org/10.1088/1361-6404/ab7a7f>
- Weller, D. P., Bott, T. E., Caballero, M. D., & Irving, P. W. (2022). Development and illustration of a framework for computational thinking practices in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 020106.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020106>
- Yeni, S., Nijenhuis-Voogt, J., Saeli, M., Barendsen, E., & Hermans, F. (2024). Computational thinking integrated in school subjects – A cross-case analysis of students' experiences. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 42, 100696. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2024.100696>