

## PEMBELAJARAN FISIKA BERBASIS BUDAYA: INTEGRASI ANGKLUNG TERHADAP PEMAHAMAN KONSEP INTENSITAS BUNYI

Awal Mulia Rejeki Tumanggor<sup>1\*</sup>, Widyata Nikbert Sarayar<sup>2</sup>, Varisky Abraham Dumanaw<sup>3</sup>,  
Yustinus Tarigan<sup>4</sup>, Dominikus Rojoki Manullang<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup> Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado, Indonesia

<sup>2</sup> Fakultas Bahasa dan Seni, Universitas Negeri Manado, Indonesia

<sup>4</sup> Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan Masyarakat, Universitas Negeri Manado, Indonesia

<sup>5</sup> Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Manado, Indonesia

\*email: [awaltumanggor@unima.ac.id](mailto:awaltumanggor@unima.ac.id)

### ABSTRAK

Kearifan lokal Angklung sebagai warisan budaya dimanfaatkan dalam pembelajaran fisika untuk menjembatani konsep abstrak. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas pendekatan *Culturally Responsive Teaching* (CRT) menggunakan Angklung dalam meningkatkan pemahaman konsep intensitas bunyi dan apresiasi budaya siswa SMA. Metode penelitian menggunakan desain *quasi-experiment* dengan model *pretest-posttest nonequivalent control group* pada dua kelas yaitu eksperimen dan kontrol di SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan. Kelompok eksperimen menggunakan modul berbasis CRT-Angklung yang mengaitkan prinsip fisika intensitas bunyi dengan nilai budaya, dan kelompok kontrol menggunakan pembelajaran konvensional. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pemahaman konsep pada kelompok eksperimen ( $N\text{-Gain}=59,8\%$ ) dibanding kontrol ( $49,2\%$ ) dengan  $81\%$  siswa eksperimen mencapai kategori tinggi dalam apresiasi budaya. Observasi partisipasi siswa juga mencatat antusiasme lebih tinggi ( $93\%$ ) pada kelompok eksperimen selama praktik Angklung. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi budaya lokal melalui CRT tidak hanya mengatasi miskonsepsi fisika, tetapi juga memperkuat literasi budaya siswa, mendukung pembelajaran kontekstual yang relevan dengan kebijakan Merdeka Belajar.

**Kata Kunci:** angklung, *culturally responsive teaching*, intensitas bunyi, kearifan lokal

### ABSTRACT

*The local wisdom of Angklung as a cultural heritage is utilized in physics learning to bridge abstract concepts. This study aims to analyze the effectiveness of the Culturally Responsive Teaching (CRT) approach using Angklung in improving the conceptual understanding of sound intensity and cultural appreciation of high school students. The research method used a quasi-experimental design with a pretest-posttest nonequivalent control group model in two classes, namely experimental and control at SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan. The experimental group used a CRT-Angklung based module that linked the physics principles of sound intensity with cultural values, and the control group used conventional learning. Results showed a significant increase in concept understanding in the experimental group ( $N\text{-Gain}=59,8\%$ ) compared to the control group ( $49,2\%$ ), with  $81\%$  of experimental students reaching the high category in cultural appreciation. Student participation observations also recorded higher enthusiasm ( $93\%$ ) in the experimental group during Angklung practice. These findings prove that integrating local culture through CRT not only overcomes physics misconceptions, but also strengthens students' cultural literacy, supporting contextual learning relevant to Merdeka Belajar policy.*

**Keywords:** *angklung, culturally responsive teaching, local wisdom, sound intensity*

### 1. PENDAHULUAN

Fisika adalah bagian ilmu sains yang mempelajari fenomena alam secara kuantitatif dan konseptual. Salah satu tantangan utama dalam pembelajaran fisika adalah kesulitan siswa dalam memahami konsep yang bersifat abstrak dan matematis (Nirmala et al., 2021; Tarigan & Tumanggor, 2025; Tumanggor & Supahar, 2020). Pembelajaran fisika di Indonesia sering

dihadapkan pada tantangan rendahnya minat dan pemahaman siswa terkait konsep-konsep abstrak, salah satunya intensitas bunyi (OECD, 2019). Pemahaman tentang intensitas bunyi sangat penting karena penerapannya yang luas, baik dalam bidang teknologi audio, musik hingga mitigasi kebisingan lingkungan.

Kekayaan budaya Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai media edukasi, yaitu mengintegrasikan budaya dalam konteks fisika (Almuharomah et al., 2019; Tumanggor et al., 2025). Pengalaman di lapangan menunjukkan minimnya penggunaan konteks budaya atau kearifan lokal dalam pembelajaran yang menyebabkan siswa kesulitan menghubungkan teori dan realitas (Hake, 1998; Sugara et al., 2017). Salah satu kekayaan budaya Indonesia yang tercatat sebagai warisan budaya tak benda oleh UNESCO (2010) dan menyimpan potensi pedagogis berbasis fisika gelombang bunyi untuk menjelaskan konsep intensitas bunyi adalah alat musik tradisional Angklung. Penelitian terdahulu telah menganalisis intensitas bunyi Angklung namun belum mengimplementasikan dalam pembelajaran di kelas (Hartanti & Astuti, 2016), dan terdapat juga penelitian masih terbatas pada konsep frekuensi dan resonansi (Nugraha & Prabowo, 2022), sementara eksplorasi terhadap intensitas bunyi sebagai parameter independen belum banyak dilakukan.

Urgensi penelitian ini dilatarbelakangi oleh minimnya pembelajaran sains yang dihubungkan dengan budaya, dan terdapatnya miskonsepsi umum siswa yang mengartikan intensitas bunyi sebagai frekuensi, padahal keduanya adalah parameter berbeda, di mana intensitas ditentukan oleh amplitudo sedangkan frekuensi sebagai tinggi rendahnya nada (Giancoli, 2015; Knight, 2017). Oleh karena itu, pendekatan *culturally responsive teaching* (CRT) menjadi solusi strategis. CRT menekankan relevansi budaya untuk menciptakan pembelajaran inklusif dan bermakna (Gay, 2018; Nurbatra & Masyhud, 2022), sekaligus memperkuat literasi multidisiplin melalui keterlibatan langsung dengan objek budaya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas integrasi Angklung melalui pendekatan CRT dalam meningkatkan pemahaman konsep intensitas bunyi pada siswa SMA, sekaligus mengevaluasi dampaknya terhadap kesadaran budaya Indonesia. Pemberian solusi dilakukan melalui tahap pengembangan modul ajar yang mengaitkan prinsip fisika pada Angklung dengan konsep intensitas bunyi, lalu mengimplementasi CRT dengan melibatkan siswa dalam eksperimen mengukur intensitas bunyi menggunakan

aplikasi *sound level meter* serta evaluasi multidimensi menggunakan tes objektif dan angket refleksi untuk mengukur pencapaian akademik dan apresiasi budaya.

*Culturally Responsive Teaching* adalah pendekatan pedagogis yang menekankan integrasi budaya siswa ke dalam pembelajaran untuk menciptakan pengalaman edukasi yang inklusif dan relevan serta efektif (Gay, 2018; Nurbatra & Masyhud, 2022). Teori ini berakar pada keyakinan bahwa budaya bukan sekadar konteks, melainkan fondasi kognitif yang membentuk cara siswa memahami sekitar (Civitillo et al., 2019; Cressey, 2019). Bukti empiris menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis CRT meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa. Studi (Alhanachi et al., 2021) menunjukkan bahwa CRT dapat meningkatkan kompetensi dan kualitas guru untuk mengimplementasikan pembelajaran di kelas yang heterogeny dengan memperhatikan perspektif budaya siswa. Berdasarkan studi Jayadi et al. (2025) menemukan bahwa penggunaan alat musik tradisional dalam pembelajaran meningkatkan minat siswa sebesar 82% sekaligus memperkuat identitas budaya. Temuan ini mengindikasikan bahwa CRT tidak hanya efektif secara akademis. Tetapi juga berperan sebagai alat pelestarian budaya.

Angklung adalah alat musik tradisional Sunda yang terbuat dari bambu, dan telah diakui sebagai warisan budaya dunia oleh UNESCO (2010). Secara fisika, bunyi Angklung dihasilkan dari resonansi tabung bambu yang bergetar saat digoyang, di mana intensitas bunyi bergantung pada amplitudo ayunan dan jumlah tabung yang aktif bunyi karena benturan dengan sisi lainnya (Hartanti & Astuti, 2016). Karakteristik ini menjadikan Angklung sebagai alat ideal untuk memvisualisasikan konsep intensitas bunyi ( $I \propto A^2$ ), sekaligus merepresentasikan nilai budaya kolektivitas, karena dimainkan secara berkelompok. Penelitian terdahulu telah membuktikan potensi alat musik dalam sains. Nugraha & Prabowo (2022) mengintegrasikan Rebana dalam pembelajaran gelombang bunyi dan menemukan peningkatan pemahaman siswa. Selain itu, studi Hartanti & Astuti, (2016) tentang Angklung hanya fokus pada aspek teknis getaran tanpa mengaitkannya dengan pendekatan budaya. Dengan demikian,

terdapat celah akademis untuk mengeksplorasi integrasi Angklung dalam pembelajaran intensitas bunyi melalui pendekatan CRT.

Intensitas bunyi didefinisikan sebagai daya per satuan luas ( $I = P/4\pi r^2$ ) yang menentukan kenyaringan bunyi dan bergantung pada amplitudo gelombang (Knight, 2017; Serway & Jewett, 2016). Namun, siswa sering keliru mengaitkan intensitas dengan frekuensi karena pengalaman sehari-hari, misalnya suara bernada tinggi (frekuensi besar) seperti sirine dianggap lebih “kuat” (Hake, 1998). Miskonsepsi ini diperkeruh oleh pembelajaran konvensional yang abstrak dan minim konteks (Tumanggor, Supahar, Ringo, et al., 2020). Studi empiris oleh Silaban & Jumadi (2022) menunjukkan bahwa 30,91% siswa SMA mengalami miskonsepsi dan 26,83% gagal membedakan intensitas bunyi dan frekuensi dalam tes konseptual. Selain itu, penelitian serupa oleh Pejuan et al., (2012) mengungkapkan bahwa siswa menganggap “nada tinggi” identik dengan “bunyi keras”. Pendekatan eksperimen langsung dengan alat musik tradisional dapat mengatasi miskonsepsi ini, karena memungkinkan siswa memahami amplitudo (intensitas) secara visual dan auditori (Hartanti & Astuti, 2016; Tumanggor, Supahar, Kuswanto, et al., 2020).

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *quasi-experiment design* dengan model *pretest-posttest nonequivalent control group design*. Pemilihan desain ini dilakukan karena peneliti tidak dapat melakukan penugasan acak (*random assignment*) mengingat kelas telah terbentuk sebelumnya (Creswell, 2014). Desain ini dipandang tepat untuk membandingkan efektivitas pembelajaran berbasis *culturally responsive teaching* (CRT) menggunakan Angklung (kelompok eksperimen) dengan metode konvensional (kelompok kontrol), sekaligus mengontrol perbedaan kemampuan awal melalui *pretest*.

Lokasi penelitian di SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan karena sekolah ini merupakan Sekolah Penggerak yang aktif mengintegrasikan kearifan lokal dalam kurikulum. Sampel penelitian terdiri dari dua kelas yaitu XI MIPA5 (30 siswa) sebagai kelompok eksperimen dan XI MIPA6 (30 siswa) sebagai kelompok kontrol. Pemilihan sampel secara *purposive sampling* berdasarkan

kesamaan rerata nilai ulangan harian fisika (kelas eksperimen: 72,5; kelas kontrol:73,1), keterlibatan siswa dalam ekstrakurikuler Angklung, dan kesesuaian jadwal pembelajaran. Teknik ini dipilih untuk meminimalkan bias akibat perbedaan latar belakang akademik dan keterpaparan budaya.

Pengumpulan data melalui tiga teknik utama yaitu (1) *pretest* dan *posttest* untuk mengukur pemahaman konsep intensitas bunyi, (2) kuesioner apresiasi budaya dengan skala Likert 1-4 untuk menilai pengetahuan dan sikap terhadap pelestarian Angklung, serta (3) observasi partisipatif selama proses pembelajaran menggunakan lembar observasi berindikator partisipasi dan antusiasme. Instrumen penelitian telah divalidasi oleh 3 dosen, 2 guru fisika, dan 2 praktisi pendidikan, dengan koefisien reliabilitas Alpha Cronbach sebesar 0,79 untuk tes dan 0,81 untuk kuesioner.

Variabel bebas adalah pembelajaran berbasis CRT-Angklung, yang dioperasionalkan melalui penggunaan modul kontekstual, diskusi filosofi budaya, dan eksperimen langsung. Variabel terikat terdiri dari pemahaman konsep intensitas bunyi (*posttest*) dan apresiasi budaya (kuesioner). Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan uji prasyarat (normalitas *Shapiro-Wilk* dan homogenitas *Levene's Test*) serta uji hipotesis menggunakan *independent sample t-test* untuk membandingkan peningkatan skor (*N-Gain*) antar kelompok.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran fisika dengan pendekatan *culturally responsive teaching* (CRT) menggunakan Angklung terbukti meningkatkan pemahaman konsep intensitas bunyi dan apresiasi budaya siswa. Temuan utama penelitian disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen (31,7) dan kontrol (29,3) pada *pretest*, hal ini menunjukkan kesetaraan kemampuan awal siswa. Pada tahap *posttest*, kelompok eksperimen mengalami peningkatan signifikan (72,2) dibanding kontrol (64,2).

Peningkatan kelompok eksperimen tergolong cukup efektif (59,8%) sementara kontrol tergolong kurang efektif (49,2). Kategori *N-Gain* mengacu pada kriteria Hake (1998) yang menyatakan kategori efektif (>76%), cukup efektif (56-75%), kurang efektif (40-55%) dan tidak efektif (<40%).

Tabel 1. Perbandingan Hasil *Pretest*, *Posttest*, dan *N-Gain*

| Kelompok          | <i>Pretest</i><br>(Rerata ± SD) | <i>Posttest</i><br>(Rerata ± SD) | <i>N-Gain</i><br>(%) |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Eksperimen (n=30) | 31,7 ± 8,9                      | 72,2 ± 9,1                       | 59,8                 |
| Kontrol (n=30)    | 29,3 ± 10,0                     | 64,2 ± 8,1                       | 49,2                 |

Uji prasyarat dilakukan untuk memastikan data memenuhi asumsi analisis parametrik. Uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa semua data kelompok eksperimen sig. 0,143 > 0,05 dan kontrol sig. 0,158 > 0,05 berdistribusi normal. Pada uji homogenitas diketahui nilai sig. pada *Levene's Test* sebesar 0,934 > 0,05 maka disimpulkan varians data *N-Gain* (%) untuk data kelas eksperimen dan kelas kontrol adalah homogen.

Dengan terpenuhinya asumsi normalitas dan homogenitas, analisis statistik parametrik (*independent t-test*) dapat dilakukan secara valid. Berdasarkan tabel output SPSS pada *independent samples test* tersebut, diketahui sig. (2tailed) adalah sebesar 0,000 < 0,05 dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan efektivitas yang signifikan (nyata) antara pendekatan CRT-Angklung dengan konvensional terhadap pemahaman konsep intensitas bunyi pada siswa SMA.

Tabel 2 menunjukkan sebesar 81% (tinggi) pembelajaran dengan pendekatan CRT menggunakan Angklung di kelompok eksperimen berhasil meningkatkan kesadaran budaya dan 63% (cukup) mengindikasikan pembelajaran konvensional di kelompok kontrol kurang efektif di aspek budaya. Hasil kuesioner apresiasi budaya

diukur dengan skala Likert 1-4 dan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Kuesioner Apresiasi Budaya

| Kelompok          | Rerata ± SD | Distribusi Siswa                                                    |
|-------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------|
| Eksperimen (n=30) | 34,5 ± 3,8  | Tinggi 81% (26 siswa)<br>Cukup 16% (5 siswa)<br>Rendah 3% (1 siswa) |
| Kontrol (n=30)    | 23,7 ± 5,4  | Cukup 63% (19 siswa)<br>Rendah 3% (11 siswa)                        |

Hasil observasi keterlibatan siswa dihitung dari total siswa yang aktif dalam setiap indikator dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan kelompok eksperimen mendominasi partisipasi, terutama dalam praktik langsung (93%) membuktikan aktivitas pendekatan CRT menggunakan Angklung meningkatkan motivasi belajar.

Tabel 3. Hasil Observasi Keterlibatan Siswa

| Indikator Observasi               | Eksperimen | Kontrol |
|-----------------------------------|------------|---------|
| Frekuensi bertanya terkait budaya | 86%        | 15%     |
| Antusiasme dalam Angklung         | 93%        | 42%     |
| Partisipasi diskusi kelompok      | 78%        | 35%     |

Peningkatan signifikan pemahaman konsep pada kelompok eksperimen (*N-Gain* = 0,59) selaras dengan teori konstruktivisme sosial Vygotsky (1980), di mana interaksi langsung dengan objek budaya (Angklung) memfasilitasi penguatan secara mendalam konsep abstrak melalui aktivitas kolaboratif. Ketika siswa mengayunkan Angklung dengan amplitudo berbeda, mereka secara empiris membuktikan hubungan  $I \propto A^2$ , sekaligus memahami bahwa frekuensi tetap meskipun intensitas berubah. Temuan ini mengatasi miskonsepsi umum siswa yang menyamakan intensitas (keras-lunak) dengan frekuensi (tinggi-rendah) (Knight, 2017; Silaban & Jumadi, 2022).



Gambar 1. Implementasi CRT-Angklung

Gambar 1 menunjukkan siswa sedang melakukan aktivitas pembelajaran CRT-Angklung. Beberapa siswa memegang Angklung dan mengayunnya dengan amplitudo berbeda, sementara siswa lain mengukur intensitas bunyi menggunakan *sound level meter*. Kolaborasi budaya dan sains tercipta dalam diskusi tentang filosofi kebersamaan (gotong royong) sebagai analogi ansambel Angklung dan distribusi intensitas bunyi. Hal ini sejalan dengan prinsip Gay (2018) bahwa pembelajaran berbasis budaya menciptakan iklim inklusif dan relevan, di mana siswa tidak hanya menjadi penerima informasi, tetapi juga pelestari nilai lokal.

Hasil penelitian ini memiliki keterbatasan implemetasi pada sekolah yang tidak memiliki akses penggunaan Angklung dan komitmen menerapkan CRT, namun temuan ini mendukung implementasi Kurikulum Merdeka dengan menyarankan integrasi alat musik tradisional sebagai media pembelajaran sains berbasis budaya. Guru fisika dapat mengembangkan modul ajar serupa menggunakan alat musik tradisional *Gordang Sambilan* (Budaya Batak) dan *Kolintang* (Budaya Minahasa), dan pihak sekolah perlu menjalin kemitraan dengan komunitas penggiat budaya untuk pengayaan konten pembelajaran.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi alat musik tradisional Angklung melalui pendekatan *Culturally Responsive*

*Teaching (CRT)* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan pemahaman konsep intensitas bunyi dan apresiasi budaya siswa SMA. Hasil uji *independent sample t-test* menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol ( $\text{sig. } 0,000 < 0,05$ ), yang berarti pembelajaran CRT-Angklung lebih efektif dibanding pembelajaran konvensional. Rata-rata skor pretest pada kelompok eksperimen sebesar  $31,7 \pm 8,9$ , meningkat menjadi  $72,2 \pm 9,1$  pada *posttest* dengan N-Gain sebesar 59,8%, tergolong kategori *cukup efektif*. Sementara kelompok kontrol meningkat dari  $29,3 \pm 10,0$  menjadi  $64,2 \pm 8,1$  dengan N-Gain 49,2%, kategori *kurang efektif*. Selain itu, hasil kuesioner apresiasi budaya menunjukkan 81% siswa pada kelas eksperimen mencapai kategori tinggi, dibandingkan dengan 63% pada kelas kontrol yang hanya berada pada kategori cukup. Observasi partisipasi siswa juga menunjukkan tingkat antusiasme yang sangat tinggi pada kelompok eksperimen (93%) dibanding kontrol (42%). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran fisika berbasis budaya melalui CRT-Angklung tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep sains secara signifikan, tetapi juga menumbuhkan literasi dan apresiasi budaya lokal, mendukung prinsip *Merdeka Belajar* serta pembelajaran kontekstual berbasis kearifan lokal.

#### 5. REFERENSI

- Alhanachi, S., de Meijer, L. A. L., & Severiens, S. E. (2021). Improving culturally responsive teaching through professional learning communities: A qualitative study in Dutch pre-vocational schools. *International Journal of Educational Research*, 105(October 2020), 101698. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2020.101698>
- Almuharomah, F. A., Mayasari, T., & Kurniadi, E. (2019). Pengembangan Modul Fisika STEM Terintegrasi Kearifan Lokal "Beduk" untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa SMP. *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.20527/bipf.v7i1.5630>
- Civitillo, S., Juang, L. P., Badra, M., & Schachner, M. K. (2019). The interplay between culturally responsive teaching, cultural diversity beliefs, and self-

- reflection: A multiple case study. *Teaching and Teacher Education*, 77, 341–351.  
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.11.002>
- Cressey, J. (2019). Developing culturally responsive social, emotional, and behavioral supports. *Journal of Research in Innovative Teaching and Learning*, 12(1), 53–67.  
<https://doi.org/10.1108/JRIT-01-2019-0015>
- Creswell, J. W. (2014). Research Design, Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches. In *SAGE Publications* (Fourth).
- Gay, G. (2018). *Culturally Responsive Teaching - Theory, Research, and Practice*. Teachers College Press.
- Giancoli, D. C. (2015). *Physics: Principles with Applications, Global Edition* (Vol. 1). Pearson Education Limited.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.  
<https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hartanti, R. S., & Astuti, B. (2016). Analysis of Angklung Sound Intensity as a Acoustic Instrument. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research*, 2(1), 122–126.  
<https://doi.org/10.21580/jnsmr.2016.1.1.1646>
- Jayadi, A., Winarno, N., & Kurniasih, E. (2025). Implementasi Pendekatan Culturally Responsive Teaching (CRT) pada Materi Getaran dan Gelombang untuk Meningkatkan Miinat Belajar IPA. *JITERA - Journal in Teaching and Education Area*, 2(1), 92–102.
- Knight, R. D. (2017). *Physics for Scientists and Engineers - A Strategic Approach with Modern Physics* (Fourth). Pearson Education Limited.
- Nirmala, M. F. T., Gebze, D. A., Tumanggor, A. M. R., Lengkong, M., & Wilujeng, I. (2021). Physics Learning with E-Book Using Problem Based Learning (PBL) Model to Improve Image Representation Ability of High School Students on Optical Material. *Proceedings of the 7th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Sciences (ICRIEMS 2020)*, 528(Icriems 2020), 547–554.  
<https://doi.org/10.2991/assehr.k.210305.080>
- Nugraha, B. S., & Prabowo, P. (2022). Respon Siswa SMA Terhadap Pembelajaran Fisika Berbasis Kearifan Lokal Pada Alat Musik Tradisional Rebana Untuk Meningkatkan Keterampilan Literasi Sains. *PENDIPA Journal of Science Education*, 6(2), 556–564.  
<https://doi.org/10.33369/pendipa.6.2.556-564>
- Nurbatra, L. H., & Masyhud, M. (2022). Infusing Culturally Responsive Teaching in Higher Education: Insights for Multicultural Education in Indonesia. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 3(4), 722–730.  
<https://doi.org/10.46843/jiecr.v3i4.321>
- OECD. (2019). PISA 2018 Results (Volume II). In *OECD Publishing: Vol. II*. OECD.  
<https://doi.org/10.1787/b5fd1b8f-en>
- Pejuan, A., Bohigas, X., Jaén, X., & Periago, C. (2012). Misconceptions About Sound Among Engineering Students. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 669–685.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-011-9356-6>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2016). *Physics for Scientists and Engineers Volume 1* (Ninth Edit). CENGAGE Learning.
- Silaban, Y. F. H., & Jumadi, J. (2022). Concept understanding profile of high school students on doppler effect and sound intensity levels. *Momentum: Physics Education Journal*, 6(1), 51–58.  
<https://doi.org/10.21067/mpej.v6i1.5664>
- Sugara, Y. D., Sutopo, S., & Latifah, E. (2017). Pemikiran Siswa Ketika Menyelesaikan Soal-Soal Textbook Dan Real-World. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 2(11), 1534–1538.
- Tarigan, Y., & Tumanggor, A. M. R. (2025). Analysis of Parabolic Motion in Javelin Throwing Instruction: Integration of Physics and Physical Education.

- Klasikal: Journal of Education, Language Teaching and Science*, 7(1), 561–570.  
<https://doi.org/10.52208/klasikal.v7i1.1331>
- Tumanggor, A. M. R., Paembonan, T. L., Siahaan, B. M., & Sampouw, F. (2025). Atap Tongkonan dalam Perspektif Sains: Kajian Fisika dan Integral Berbasis Kearifan Lokal. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 6(1), 6–13.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.53682/fista.v6i1.423>
- Tumanggor, A. M. R., Supahar, Kuswanto, H., & Ringo, E. S. (2020). Using four-tier diagnostic test instruments to detect physics teacher candidates' misconceptions: Case of mechanical wave concepts. *Journal of Physics: Conference Series*, 1440, 012059.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1440/1/012059>
- Tumanggor, A. M. R., & Supahar, S. (2020). The development of diagnostic test instrument for mathematical representation ability (PhysDTRA) in high school physics learning. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(4), 1439–1453.  
<https://doi.org/10.17478/jegys.777425>
- Tumanggor, A. M. R., Supahar, S., Ringo, E. S., & Harliadi, M. D. (2020). Detecting Students' Misconception in Simple Harmonic Motion Concepts Using Four-Tier Diagnostic Test Instruments. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 9(1), 21–31.  
<https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v9i1.4571>
- UNESCO. (2010). Representative List (00393). In *UNESCO* (00393).
- Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.