



## Jurna Pendidikan Fisika dan Sains (JPFS)

Journal homepage: <http://journal.unucirebon.ac.id/index.php/jpfs>



### Integrasi *Scientific and Engineering Practices* untuk Meningkatkan Literasi Sains dan Rekayasa

Alimah Nuryanti<sup>\*1</sup>, Ida Kaniawati<sup>2</sup>, dan Irma Rahma Suwarma<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung

<sup>2,3</sup> Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia

\*Email: [alimahnuryanti@radenintan.ac.id](mailto:alimahnuryanti@radenintan.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.52188/jpfs.v9i2.2365>

Accepted: 27 Juli 2026 Approved: 13 Agustus 2026 Published: 30 September 2026

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan literasi sains dan rekayasa dalam Pembelajaran IPA berbasis integrasi *scientific and engineering practices* melalui *Levels of Inquiry* dan *Engineering Design Process*. Metode penelitian yang digunakan adalah *pre eksperimental* dengan *one group pretest posttest design* yang dilakukan di salah satu SMP Negeri Kota Bandung. Pengumpulan data dilakukan dengan tes awal dan tes akhir untuk mengukur literasi sains pada domain kompetensi dan literasi rekayasa pada area *design and system* dalam praktik dan konteks memahami prinsip teknologi dan mengembangkan solusi dan mencapai tujuan. Berdasarkan hasil analisis data diperoleh rata-rata *N-gain* kemampuan literasi sains 0,49 dan untuk literasi rekayasa diperoleh rata-rata *N-gain* 0,36. Hal tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran IPA berbasis integrasi *scientific and engineering practices* melalui *Levels of Inquiry* dan *Engineering Design Process* mampu meningkatkan literasi sains dan rekayasa siswa.

**Kata kunci:** *scientific and engineering practices*, literasi sains, dan literasi rekayasa.

#### ABSTRACT

This study aims to analyze the improvement of scientific and engineering literacy in Science Learning based on the integration of scientific and engineering practices through Levels of Inquiry and Engineering Design Process. The research method used is pre-experimental with one group pretest posttest design conducted in one of the Public Junior High Schools in Bandung City. Data collection was carried out with initial tests and final tests to measure scientific literacy in the competency domain and engineering literacy in the design and system area in practice and the context of understanding technological principles and developing solutions and achieving goals. Based on the results of data analysis, the average N-gain for scientific literacy ability was 0.49 and for engineering literacy, the average N-gain was 0.36. This shows that science learning based on the integration of scientific and engineering practices through Levels of Inquiry and Engineering Design Process is able to improve students' scientific and engineering literacy.

**Keyword:** scientific and engineering practices, scientific literacy, and engineering literacy.

@2026 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon

#### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana geologi yang tinggi karena berada pada kawasan *Ring of Fire*. Gempa bumi dan aktivitas gunung api dapat memberikan dampak signifikan terhadap kehidupan sosial, ekonomi, dan lingkungan masyarakat.

Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya membangun kemampuan peserta didik untuk memahami fenomena alam, mengevaluasi informasi berbasis bukti, dan menggunakan pengetahuan ilmiah dalam menghadapi permasalahan nyata. Pendidikan sains berperan strategis melalui pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga melibatkan peserta didik dalam praktik ilmiah dan rekayasa atau *Science and Engineering Practices* (English, 2017; Falloon et al., 2020).

Salah satu tantangan pendidikan sains di Indonesia adalah kemampuan peserta didik dalam menggunakan pengetahuan ilmiah untuk menjelaskan fenomena, menganalisis bukti, dan memecahkan permasalahan kehidupan nyata. Hasil PISA 2022 menunjukkan bahwa capaian literasi sains peserta didik Indonesia masih rendah (OECD, 2023). *Inquiry-based learning* banyak digunakan untuk mengembangkan penalaran ilmiah, kemampuan penyelidikan, dan konstruksi pengetahuan (Urdanivia Alarcon et al., 2023). Eymur & Çetin (2024) juga menunjukkan bahwa pembelajaran laboratorium berbasis inkuiri dapat mengembangkan literasi sains. Namun, penelitian berbasis inkuiri masih lebih banyak berfokus pada literasi sains dan praktik ilmiah, sementara hasil penyelidikan belum banyak diarahkan secara sistematis untuk menjadi dasar perancangan dan pengujian solusi rekayasa.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengembangkan praktik ilmiah adalah *Levels of Inquiry*, yang menyediakan tahapan inkuiri dari bentuk terstruktur menuju keterlibatan peserta didik yang semakin mandiri. Melalui *Levels of Inquiry*, peserta didik dapat merumuskan masalah, melakukan penyelidikan, menganalisis data, dan membangun penjelasan berdasarkan bukti. Selanjutnya, hasil penyelidikan tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan *Engineering Practices* melalui *Engineering Design Process*. *Engineering Design Process* melibatkan proses identifikasi masalah, penentuan *criteria and constraints*, pengembangan alternatif solusi, pembuatan dan pengujian desain, serta evaluasi dan perbaikan (Halawa et al., 2024; Wahono et al., 2020).

Integrasi praktik ilmiah dan rekayasa semakin mendapat perhatian dalam pendidikan STEM dan NGSS. Christian et al. (2021) menunjukkan pentingnya praktik rekayasa dalam implementasi NGSS, sedangkan Schaben et al. (2022) mengidentifikasi tantangan dalam menghubungkan praktik ilmiah dan rekayasa di kelas. Lin et al. (2021) menunjukkan bahwa *Engineering Design Process* (EDP) dalam pembelajaran STEM dapat mengembangkan *engineering design thinking*, sementara McLure et al. (2022) menunjukkan bahwa implementasi *integrated STEM* masih memiliki variasi dalam penggunaan *design challenge* dan EDP. Larkin dan Lowrie (2023) juga menunjukkan bahwa integrasi STEM masih dapat bersifat siloed dan belum sepenuhnya menunjukkan integrasi autentik antardisiplin. Penelitian García-Carmona dan Toma (2024) menunjukkan bahwa integrasi praktik rekayasa ke dalam pembelajaran sains masih menjadi tantangan bagi guru, sedangkan kajian sistematis *integrated STEM* menegaskan bahwa *inquiry* dan *design* merupakan prinsip penting, tetapi pemaknaan dan penerapannya masih beragam. Lebih lanjut, Antink-Meyer et al. (2025) menemukan bahwa penelitian tentang hubungan sains dan rekayasa di pendidikan K-12 masih banyak berfokus pada pembelajaran konten sains melalui pengalaman rekayasa, sementara Kidd et al. (2025) menunjukkan bahwa penelitian STEM K-12 yang berorientasi *engineering* didominasi tugas desain, pemecahan masalah, dan EDP, dengan variasi dalam karakterisasi praktik rekayasa.

Berdasarkan kajian tersebut, terdapat tiga kesenjangan penelitian. Pertama, penelitian inkuiri lebih banyak berfokus pada literasi sains dan penalaran ilmiah, sedangkan penelitian *Engineering Design Process* lebih menekankan *engineering design*, *design thinking*, kreativitas, dan pemecahan masalah (Wahono et al., 2020; Yata et al., 2020). Kedua, penelitian yang secara eksplisit mengintegrasikan *Levels of Inquiry* dan *Engineering Design Process* secara berurutan masih terbatas. Ketiga, literasi sains dan literasi rekayasa belum banyak dikembangkan secara simultan melalui hubungan sistematis antara *Scientific Practices* dan *Engineering Practices*. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi berurutan *Levels of Inquiry* sebagai *Scientific Practices* dilanjutkan dengan *Engineering Design Process* sebagai *Engineering Practices*, dengan hasil penyelidikan ilmiah digunakan sebagai dasar perancangan solusi rekayasa.

Konteks gempa bumi dan gunung api dipilih karena memungkinkan peserta didik mempelajari fenomena geologi melalui penyelidikan ilmiah sekaligus merancang solusi mitigasi berbasis bukti, kriteria, dan batasan desain. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan pembelajaran berbasis *Scientific and Engineering Practices* melalui integrasi *Levels of Inquiry* dan

*Engineering Design Process* serta pengaruhnya terhadap literasi sains dan literasi rekayasa peserta didik pada tema gempa bumi dan gunung api.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode pre-eksperimental dengan desain *One Group Pretest–Posttest Design*. Desain ini digunakan untuk mengukur perubahan kemampuan literasi sains dan literasi rekayasa peserta didik sebelum dan sesudah penerapan pembelajaran. Pengukuran dilakukan melalui pemberian pretest sebelum pembelajaran dan posttest setelah pembelajaran pada satu kelompok tanpa melibatkan kelompok kontrol (Jack R. Fraenkel, Norman E Wallen, Helen H Hyun, 2022).

Penelitian dilaksanakan di salah satu SMP Negeri di Kota Bandung dengan melibatkan 30 peserta didik kelas VII sebagai subjek penelitian. Teknik pengambilan sampel menggunakan purposive sampling, dengan mempertimbangkan karakteristik peserta didik serta kesesuaian materi pembelajaran dengan tujuan penelitian.

Pembelajaran pada penelitian ini dilaksanakan dalam 4 pertemuan melalui integrasi *Levels of Inquiry* sebagai representasi *Scientific Practices* dan *Engineering Design Process* sebagai representasi *Engineering Practices*. Pada tahap awal, peserta didik mengikuti pembelajaran berbasis *Levels of Inquiry* yang mencakup 3 tingkatan yaitu *discovery learning*, *interactive demonstration*, dan *inquiry lesson*. Pembelajaran berbasis *Levels of Inquiry* dilakukan untuk mengembangkan kemampuan melakukan penyelidikan ilmiah melalui kegiatan mengamati fenomena, merumuskan pertanyaan, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menyusun penjelasan berdasarkan bukti ilmiah. Selanjutnya, pembelajaran dilanjutkan dengan *Engineering Design Process* yang meliputi 3 tahapan yaitu *define*, *develop solution*, dan *optimize*. Pada pembelajaran *Engineering Design Process*, peserta didik mengidentifikasi permasalahan, menentukan kriteria dan batasan (*constraints*), merancang alternatif solusi, membuat dan menguji rancangan, serta melakukan evaluasi dan perbaikan desain berdasarkan hasil pengujian. Integrasi kedua tahapan tersebut dirancang untuk memberikan pengalaman belajar yang menghubungkan proses penyelidikan ilmiah dengan proses pemecahan masalah berbasis rekayasa. Dengan demikian, hasil penyelidikan ilmiah yang diperoleh melalui *Levels of Inquiry* menjadi dasar bagi peserta didik dalam mengidentifikasi masalah, menetapkan kriteria desain, dan mengembangkan solusi pada tahap *Engineering Design Process*. Alur ini mencerminkan integrasi *Scientific Practices* dan *Engineering Practices* sebagaimana direkomendasikan dalam kerangka NGSS

Instrumen penelitian terdiri atas tes literasi sains dan tes literasi rekayasa. Instrumen literasi sains dikembangkan berdasarkan kompetensi utama literasi sains menurut OECD (2023), yang meliputi: (1) menjelaskan fenomena ilmiah; (2) mengevaluasi dan mendesain penyelidikan ilmiah; serta (3) menginterpretasikan data dan bukti secara ilmiah. Instrumen ini terdiri atas 14 soal pilihan ganda yang diberikan pada saat pretest dan posttest. Adapun instrumen literasi rekayasa dikembangkan berdasarkan kerangka Technological and Engineering Literacy (NAEP, 2021), yang mencakup dua indikator utama, yaitu: (1) memahami prinsip dasar teknologi; dan (2) mengembangkan solusi untuk mencapai tujuan melalui proses desain rekayasa. Instrumen literasi rekayasa terdiri atas 11 soal pilihan ganda yang diberikan pada saat pretest dan posttest.

Sebelum digunakan dalam penelitian, seluruh instrumen terlebih dahulu melalui uji kualitas butir soal yang meliputi uji validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya pembeda (Azwar, S., 2021). Validitas instrumen dalam penelitian ini dilakukan dengan cara validitas isi dan konstruk melalui pertimbangan (*judgement*) ahli untuk selanjutnya dilakukan pengujian validitas butir soal dengan menggunakan korelasi *point biserial*. Hasil analisis menunjukkan bahwa dari 15 soal literasi sains yang dikembangkan, sebanyak 14 soal dinyatakan valid dengan tingkat kesukaran berada pada kategori mudah hingga sedang. Reliabilitas butir soal dihitung dengan menggunakan rumus KR-20. Uji reliabilitas menunjukkan koefisien sebesar 0,77 yang termasuk dalam kategori tinggi. Sementara itu, pada instrumen literasi rekayasa, dari 12 soal yang dikembangkan sebanyak 11 soal dinyatakan valid dengan tingkat kesukaran mudah hingga sedang. Hasil uji reliabilitas menunjukkan koefisien sebesar 0,71 yang juga termasuk dalam kategori tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua instrumen layak digunakan untuk mengukur kemampuan literasi sains dan literasi rekayasa peserta didik.

Data penelitian dianalisis menggunakan normalized gain (N-gain) untuk mengetahui peningkatan kemampuan literasi sains dan literasi rekayasa setelah penerapan pembelajaran. Nilai N-gain dihitung berdasarkan selisih skor pretest dan posttest yang dinormalisasi terhadap skor maksimum, kemudian dikategorikan ke dalam tiga tingkat peningkatan, yaitu rendah ( $g < 0,30$ ), sedang ( $0,30 \leq g < 0,70$ ), dan tinggi ( $g \geq 0,70$ ) (Hake, R., 2021). Selain data kuantitatif, penelitian ini juga mengumpulkan data keterlaksanaan pembelajaran sebagai data pendukung melalui lembar observasi. Lembar observasi digunakan untuk menilai keterlaksanaan setiap tahapan pembelajaran berbasis *Levels of Inquiry* dan *Engineering Design Process* sesuai dengan sintaks pembelajaran yang telah dirancang.

## HASIL

Kemampuan literasi sains peserta didik diukur menggunakan tes pilihan ganda yang terdiri atas 14 butir soal dan diberikan pada saat pretest dan posttest. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kemampuan literasi sains setelah peserta didik mengikuti pembelajaran berbasis *Levels of Inquiry* yang diintegrasikan dengan *Scientific and Engineering Practices*. Rata-rata nilai pretest sebesar 52,53 meningkat menjadi 75,81 pada posttest. Hasil analisis menggunakan normalized gain (N-gain) menunjukkan nilai sebesar 0,49, yang termasuk dalam kategori sedang. Data peningkatan kemampuan literasi sains berdasarkan setiap kompetensi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pretest dan Posttest Kemampuan Literasi Sains

| Kompetensi Literasi Sains                        | Rata-Rata Skor Pretest | Rata-Rata Skor posttest | N-Gain | Kategori |
|--------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------|----------|
| Menjelaskan Fenomena Ilmiah                      | 49.03                  | 80.65                   | 0.62   | Sedang   |
| Mengevaluasi dan Mendesain Penyelidikan Ilmiah   | 64.51                  | 74.19                   | 0.28   | Rendah   |
| Menginterpretasikan data dan Bukti Secara Ilmiah | 53.23                  | 72.98                   | 0.42   | Sedang   |

Berdasarkan Tabel 1, seluruh kompetensi literasi sains mengalami peningkatan setelah pembelajaran. Kompetensi menjelaskan fenomena ilmiah memperoleh peningkatan tertinggi dengan nilai N-gain sebesar 0,62 (kategori sedang), diikuti kompetensi menginterpretasikan data dan bukti ilmiah dengan nilai N-gain sebesar 0,42 (kategori sedang). Sementara itu, kompetensi mengevaluasi dan mendesain penyelidikan ilmiah memperoleh peningkatan paling rendah dengan nilai N-gain sebesar 0,28 (kategori rendah).

Kemampuan literasi rekayasa peserta didik diukur menggunakan tes pilihan ganda yang terdiri atas 11 butir soal yang diberikan pada saat pretest dan posttest. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kemampuan literasi rekayasa setelah peserta didik mengikuti pembelajaran. Rata-rata nilai pretest sebesar 52,20 meningkat menjadi 69,50 pada posttest. Hasil analisis N-gain menunjukkan nilai sebesar 0,36, yang termasuk dalam kategori sedang. Data peningkatan kemampuan literasi rekayasa berdasarkan setiap indikator disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pretest dan Posttest Kemampuan Literasi Rekayasa

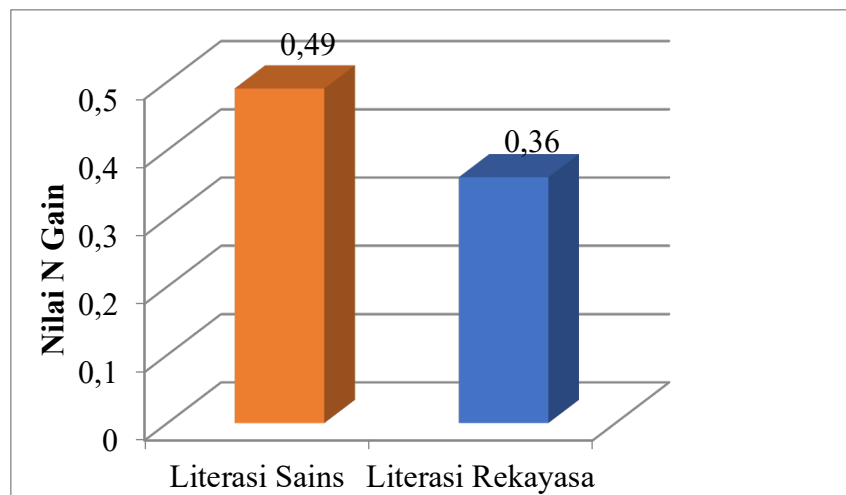
| Kompetensi Literasi Rekayasa               | Indikator | Rata-Rata Skor Pretest | Rata-Rata Skor posttest | N-Gain | Kategori |
|--------------------------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|--------|----------|
| Memahami Prinsip Dasar Teknologi           | 1         | 0.93                   | 0.96                    | 0.50   | Sedang   |
|                                            | 2         | 0.16                   | 0.45                    | 0.35   | Sedang   |
|                                            | 3         | 0.50                   | 0.87                    | 0.56   | Sedang   |
|                                            | 4         | 0.64                   | 0.87                    | 0.64   | Sedang   |
|                                            | 5         | 0.64                   | 0.67                    | 0.09   | Rendah   |
| Mengembangkan Solusi untuk Mencapai Tujuan | 6         | 0.16                   | 0.32                    | 0.19   | Rendah   |
|                                            | 7         | 0.80                   | 0.83                    | 0.17   | Rendah   |
|                                            | 8         | 0.41                   | 0.61                    | 0.33   | Sedang   |
|                                            | 9         | 0.58                   | 0.61                    | 0.08   | Rendah   |
|                                            | 10        | 0.38                   | 0.54                    | 0.26   | Rendah   |

Keterangan:

- Indikator 1: Menjelaskan fitur suatu sistem atau proses
- Indikator 2: Mengidentifikasi contoh dari sistem atau proses
- Indikator 3: Menjelaskan karakteristik perbedaan material yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan produk
- Indikator 4: Menganalisis kebutuhan
- Indikator 5: Mengelompokkan elemen dari sistem
- Indikator 6: Mendesain produk dengan menggunakan bahan dan proses yang sesuai
- Indikator 7: Mengembangkan teknik yang memungkinkan
- Indikator 8: Menguji coba model atau prototipe
- Indikator 9: Memecahkan masalah kerusakan
- Indikator 10: Merencanakan daya tahan produk

Berdasarkan Tabel 2, peningkatan tertinggi diperoleh pada indikator menganalisis kebutuhan dengan nilai N-gain sebesar 0,64, diikuti indikator menjelaskan karakteristik material dengan nilai N-gain sebesar 0,56. Kedua indikator tersebut termasuk dalam kategori sedang. Sebaliknya, peningkatan terendah terdapat pada indikator mengidentifikasi dan mengatasi kerusakan atau kegagalan produk dengan nilai N-gain sebesar 0,08, yang termasuk kategori rendah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan literasi sains maupun literasi rekayasa peserta didik mengalami peningkatan setelah mengikuti pembelajaran berbasis *Levels of Inquiry* yang diintegrasikan dengan *Engineering Design Process*. Nilai N-gain literasi sains sebesar 0,49 lebih tinggi dibandingkan literasi rekayasa sebesar 0,36, meskipun keduanya berada pada kategori sedang seperti yang terlihat pada Grafik 1. di bawah ini.



Grafik 1. Data Peningkatan Literasi Sains dan Rekayasa

## PEMBAHASAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi *Scientific and Engineering Practices* melalui *Levels of Inquiry* dan *Engineering Design Process* mampu meningkatkan literasi sains dan literasi rekayasa peserta didik. Temuan ini mengindikasikan bahwa pembelajaran tidak hanya mendukung penguasaan konsep-konsep ilmiah, tetapi juga memfasilitasi peserta didik dalam menggunakan pengetahuan tersebut untuk menyelidiki fenomena alam dan mengembangkan solusi terhadap permasalahan nyata. Hasil ini sejalan dengan paradigma pembelajaran STEM yang menempatkan peserta didik sebagai pelaku utama dalam proses membangun pengetahuan melalui penyelidikan ilmiah dan desain rekayasa secara terpadu (English, 2017; McLure et al., 2022; Sung & Kelley, 2023).

Peningkatan kedua kompetensi tersebut menunjukkan bahwa integrasi praktik sains dan praktik rekayasa memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dibandingkan pembelajaran yang hanya berorientasi pada penguasaan konsep. Dalam penelitian ini, peserta didik terlebih dahulu melakukan penyelidikan ilmiah melalui tahapan *Levels of Inquiry* untuk memahami penyebab, mekanisme, dan dampak gempa bumi serta gunung api. Pengetahuan yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam *Engineering Design Process* untuk merancang solusi terhadap

permasalahan yang diberikan. Alur pembelajaran tersebut sesuai dengan kerangka Next Generation Science Standards (NGSS) yang menempatkan *Scientific Practices* dan *Engineering Practices* sebagai dua praktik yang saling melengkapi dalam membangun kompetensi peserta didik (NGSS Lead States, 2013).

Temuan penelitian ini memperkuat berbagai hasil penelitian yang menunjukkan bahwa pembelajaran STEM efektif meningkatkan literasi sains ketika peserta didik terlibat secara aktif dalam proses penyelidikan dan pemecahan masalah autentik (Bybee, R.W., 2021; Fan, S. C., & Yu, K. C., 2021; Margot & Kettler, 2019; Wahono et al., 2021). Di sisi lain, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa implementasi *Engineering Design Process* mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah karena peserta didik dilatih mengevaluasi berbagai alternatif solusi berdasarkan bukti empiris (Guzey & Jung, 2021; Panergayo & Roleda, 2025; Pleasants et al., 2021). Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut yang umumnya menerapkan pembelajaran inkuiri atau desain rekayasa secara terpisah, penelitian ini menunjukkan bahwa *Levels of Inquiry* dapat menjadi fondasi pedagogis bagi pelaksanaan *Engineering Design Process*. Dengan demikian, proses penyelidikan ilmiah tidak berhenti pada penguasaan konsep, tetapi berlanjut menjadi dasar dalam proses desain rekayasa. Temuan ini memperluas implementasi kerangka NGSS dengan menunjukkan adanya kesinambungan antara praktik sains dan praktik rekayasa dalam satu rangkaian pembelajaran.

Meskipun kedua kompetensi mengalami peningkatan pada kategori sedang, literasi sains menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan literasi rekayasa. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perkembangan kedua kompetensi dipengaruhi oleh karakteristik proses belajar yang berbeda. Literasi sains berkembang melalui aktivitas observasi, penyelidikan, analisis data, dan penyusunan penjelasan ilmiah yang relatif telah dikenal peserta didik sejak jenjang pendidikan dasar. Sebaliknya, literasi rekayasa menuntut peserta didik mengintegrasikan pengetahuan ilmiah dengan proses desain, pengambilan keputusan, evaluasi alternatif, serta optimasi solusi yang merupakan pengalaman belajar baru bagi sebagian besar peserta didik (English, 2017; Kidd et al., 2025a; Panergayo & Roleda, 2025).

Temuan ini sejalan dengan kajian sistematis Halawa et al., (2024), yang menunjukkan bahwa praktik rekayasa masih relatif jarang diterapkan dalam pembelajaran IPA dibandingkan praktik penyelidikan ilmiah. Akibatnya, peserta didik umumnya lebih siap mengikuti aktivitas inkuiri daripada aktivitas desain rekayasa. Penelitian Yata et al., (2020) dan (Pleasants et al., 2021) juga menjelaskan bahwa kemampuan rekayasa berkembang melalui proses iteratif yang memerlukan pengalaman berulang dalam mengidentifikasi masalah, mengembangkan solusi, melakukan pengujian, dan memperbaiki desain. Oleh karena itu, peningkatan literasi rekayasa yang lebih rendah dalam penelitian ini merupakan konsekuensi logis dari kompleksitas kompetensi yang dikembangkan.

Analisis berdasarkan kompetensi menunjukkan bahwa kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah mengalami peningkatan paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa *Levels of Inquiry* efektif membangun pemahaman konseptual peserta didik melalui aktivitas observasi, pengumpulan data, dan penyusunan penjelasan berdasarkan bukti. Temuan tersebut konsisten dengan penelitian Wiyarsi et al., (2021), yang menyatakan bahwa pembelajaran inkuiri berkontribusi signifikan terhadap kemampuan menjelaskan fenomena dan menggunakan bukti ilmiah dalam penalaran. Sebaliknya, kompetensi mengevaluasi dan mendesain penyelidikan ilmiah menunjukkan peningkatan paling rendah karena memerlukan kemampuan metakognitif dan penalaran ilmiah yang lebih kompleks. Menurut (Wenning, C. J, 2005), kemampuan tersebut berkembang pada tingkat inkuiri yang lebih tinggi dan membutuhkan pengalaman belajar yang berulang. Penjelasan tersebut diperkuat oleh Kang, (2022) dan Sutiani, A., et al., (2021), yang menekankan bahwa implementasi *Levels of Inquiry* perlu dilakukan secara bertahap agar peserta didik mampu berkembang dari inkuiri terbimbing menuju inkuiri mandiri.

Pada literasi rekayasa, indikator menganalisis kebutuhan dan menjelaskan karakteristik material menunjukkan peningkatan tertinggi. Kedua indikator tersebut berkaitan dengan tahap awal *Engineering Design Process*, yaitu memahami permasalahan, menetapkan kriteria, dan memilih material yang sesuai. Sebaliknya, indikator yang berkaitan dengan evaluasi desain dan perencanaan ketahanan produk menunjukkan peningkatan lebih rendah karena memerlukan kemampuan reflektif dan pengambilan keputusan berbasis bukti yang lebih kompleks (Guzey & Jung, 2021; McLure et al., 2022; Panergayo & Roleda, 2025). Temuan ini menguatkan pandangan bahwa kemampuan rekayasa

berkembang secara bertahap dan memerlukan proses desain yang berulang agar peserta didik mampu mengevaluasi dan mengoptimalkan solusi secara sistematis.

Temuan penelitian ini memberikan implikasi penting bagi implementasi pembelajaran STEM, khususnya dalam penerapan *Scientific and Engineering Practices* sebagaimana direkomendasikan dalam kerangka NGSS. Selama ini, implementasi pembelajaran STEM di sekolah masih cenderung berorientasi pada kegiatan membuat produk (*product-oriented*) atau penyelidikan ilmiah secara terpisah, sehingga hubungan antara praktik sains dan praktik rekayasa belum berkembang secara optimal (Halawa et al., 2024; McLure et al., 2022). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kedua praktik tersebut dapat diintegrasikan melalui alur pembelajaran yang sistematis, yaitu *Levels of Inquiry* sebagai tahapan untuk membangun kemampuan penyelidikan ilmiah, kemudian dilanjutkan dengan *Engineering Design Process* untuk menerapkan pengetahuan ilmiah dalam menghasilkan solusi terhadap permasalahan nyata.

Pendekatan tersebut memberikan pengalaman belajar yang selaras dengan hakikat STEM sebagai pembelajaran yang mengintegrasikan pengetahuan, proses, dan aplikasi. Peserta didik tidak hanya memperoleh konsep ilmiah melalui observasi dan investigasi, tetapi juga menggunakan konsep tersebut sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan, memilih material, merancang alternatif solusi, menguji prototipe, serta mengevaluasi hasil desain. Proses ini menunjukkan bahwa pengetahuan ilmiah berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan dalam praktik rekayasa, sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna (English, 2017; Fan, S. C., & Yu, K. C., 2021; Sung & Kelley, 2023).

Implikasi lain dari penelitian ini adalah pentingnya memberikan pengalaman belajar yang berkelanjutan dalam mengembangkan literasi rekayasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indikator-indikator yang berkaitan dengan evaluasi dan penyempurnaan desain berkembang lebih lambat dibandingkan indikator identifikasi masalah dan analisis kebutuhan. Temuan ini mengindikasikan bahwa pembelajaran rekayasa memerlukan waktu yang lebih panjang agar peserta didik terbiasa melakukan proses desain secara iteratif. Oleh karena itu, implementasi *Engineering Design Process* sebaiknya tidak diposisikan sebagai kegiatan proyek sesaat, tetapi menjadi bagian yang terintegrasi dalam pembelajaran IPA secara berkesinambungan. Rekomendasi ini sejalan dengan penelitian Kidd et al., (2025), Panergayo & Roleda, (2025), dan Pleasants et al., (2021), yang menegaskan bahwa kemampuan berpikir rekayasa berkembang melalui latihan yang berulang dan refleksi terhadap hasil desain.

Selain itu, penggunaan konteks gempa bumi dan gunung api dalam penelitian ini menunjukkan bahwa isu kebencanaan dapat menjadi konteks yang efektif untuk mengintegrasikan literasi sains dan literasi rekayasa. Fenomena kebencanaan tidak hanya menuntut peserta didik memahami konsep-konsep geosains, tetapi juga mendorong mereka merancang solusi yang mempertimbangkan aspek keamanan, fungsi, efisiensi, dan keterbatasan sumber daya. Dengan demikian, pembelajaran tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan capaian akademik, tetapi juga membangun kemampuan pemecahan masalah yang relevan dengan kebutuhan masyarakat. Pendekatan kontekstual semacam ini juga mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 yang menekankan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan pengambilan keputusan berbasis bukti (OECD, 2023; UNESCO, 2021; World Economic Forum, 2023).

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada model integrasi yang diterapkan. Sebagian besar penelitian sebelumnya menempatkan pembelajaran inkuiri dan desain rekayasa sebagai dua pendekatan yang berdiri sendiri (Fan, S. C., & Yu, K. C., 2021; Guzey & Jung, 2021; Halawa et al., 2024). Sebaliknya, penelitian ini menunjukkan bahwa *Scientific Practices* yang dikembangkan melalui *Levels of Inquiry* dapat menjadi fondasi pedagogis bagi pelaksanaan *Engineering Practices* melalui *Engineering Design Process*. Dengan kata lain, kemampuan peserta didik dalam melakukan penyelidikan ilmiah menjadi prasyarat penting sebelum mereka mampu mengembangkan solusi rekayasa secara rasional. Temuan ini memperkaya implementasi NGSS dengan menawarkan alur pembelajaran yang menghubungkan proses memperoleh pengetahuan (*knowledge construction*) dengan proses penerapan pengetahuan (*knowledge application*) secara berkesinambungan.

Meskipun penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi *Levels of Inquiry* dan *Engineering Design Process* berkontribusi terhadap peningkatan literasi sains dan literasi rekayasa, beberapa keterbatasan perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian. Pertama, penelitian menggunakan desain *pre-experimental* dengan *One Group Pretest–Posttest Design*, sehingga

pengaruh pembelajaran belum dapat dibandingkan secara langsung dengan model pembelajaran lain melalui kelompok kontrol. Kedua, jumlah peserta penelitian masih terbatas pada satu kelas di satu sekolah, sehingga generalisasi hasil penelitian perlu dilakukan secara hati-hati. Ketiga, implementasi pembelajaran hanya dilakukan pada materi gempa bumi dan gunung api sehingga efektivitas model ini pada materi IPA lainnya masih memerlukan pembuktian empiris.

Keterbatasan berikutnya berkaitan dengan pengukuran literasi rekayasa yang masih didominasi oleh instrumen tes pilihan ganda. Meskipun instrumen tersebut telah memenuhi persyaratan validitas dan reliabilitas, kemampuan rekayasa pada hakikatnya tidak hanya mencakup aspek kognitif, tetapi juga kemampuan merancang, mengembangkan, menguji, dan mengevaluasi solusi secara langsung. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengombinasikan tes tertulis dengan asesmen autentik, seperti *performance assessment*, penilaian prototipe, *engineering design notebook*, maupun portofolio proyek sehingga kemampuan literasi rekayasa dapat diukur secara lebih komprehensif (McLure et al., 2022; Pleasants et al., 2021).

Penelitian selanjutnya juga perlu menguji efektivitas model pembelajaran ini melalui desain eksperimen semu (*quasi-experimental*) atau eksperimen murni dengan jumlah sampel yang lebih besar serta melibatkan berbagai karakteristik sekolah. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi integrasi *Scientific and Engineering Practices* pada berbagai konteks pembelajaran STEM, seperti perubahan iklim, energi terbarukan, pencemaran lingkungan, maupun keberlanjutan (*sustainability*), sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas model pembelajaran ini dalam meningkatkan literasi sains dan literasi rekayasa pada berbagai bidang kajian IPA.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa integrasi *Levels of Inquiry* dan *Engineering Design Process* mampu mendukung pengembangan literasi sains dan literasi rekayasa secara simultan. Lebih dari itu, penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan melakukan penyelidikan ilmiah dapat menjadi dasar bagi pengembangan kemampuan rekayasa dalam menyelesaikan permasalahan nyata. Temuan tersebut memberikan kontribusi konseptual terhadap implementasi pembelajaran STEM berbasis NGSS dengan menawarkan suatu model pembelajaran yang menghubungkan *Scientific Practices* dan *Engineering Practices* dalam satu rangkaian aktivitas belajar yang terpadu. Model ini berpotensi menjadi alternatif bagi guru IPA dalam mengembangkan pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada kemampuan peserta didik menggunakan pengetahuan ilmiah untuk menghasilkan solusi yang relevan terhadap berbagai permasalahan di kehidupan nyata.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi *Scientific and Engineering Practices* melalui pembelajaran *Levels of Inquiry* yang dilanjutkan dengan *Engineering Design Process* mampu meningkatkan literasi sains dan literasi rekayasa peserta didik pada materi gempa bumi dan gunung api. Peningkatan terjadi pada kedua kompetensi, meskipun literasi sains berkembang lebih optimal dibandingkan literasi rekayasa. Temuan ini mengindikasikan bahwa pembelajaran inkuiri efektif membangun pemahaman konseptual, kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah, serta penggunaan bukti ilmiah dalam pengambilan keputusan. Sementara itu, penerapan *Engineering Design Process* memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menerapkan konsep-konsep sains dalam mengidentifikasi kebutuhan, merancang solusi, dan mengevaluasi hasil desain sebagai bagian dari proses pemecahan masalah yang autentik.

Penelitian ini memberikan kontribusi konseptual dengan menunjukkan bahwa *Scientific Practices* yang dikembangkan melalui *Levels of Inquiry* dapat menjadi fondasi pedagogis bagi pelaksanaan *Engineering Practices* melalui *Engineering Design Process*. Integrasi kedua pendekatan tersebut membentuk alur pembelajaran yang berkesinambungan, mulai dari penyelidikan ilmiah hingga penerapan pengetahuan dalam penyelesaian masalah nyata, sehingga mendukung pengembangan literasi sains dan literasi rekayasa secara simultan. Temuan ini memperkaya implementasi pembelajaran STEM berbasis *Next Generation Science Standards* (NGSS) dan dapat menjadi alternatif bagi guru IPA dalam merancang pembelajaran yang lebih kontekstual, bermakna, dan berorientasi pada pengembangan kompetensi abad ke-21. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji model pembelajaran ini pada materi IPA yang lebih beragam, melibatkan desain eksperimen dengan kelompok kontrol, serta menggunakan asesmen autentik untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai perkembangan literasi sains dan literasi rekayasa peserta didik.

## REFERENSI

- Antink-Meyer, A., Brown, R. A., Parker, M. E., & Smith, J. (2025). A Review of Research on Engineering in K-12 Science Education. *Science Education*, 109(3), 893–910. <https://doi.org/10.1002/sce.21950>
- Azwar, S. (2021). *Reliabilitas dan validitas* (5th ed.). Pustaka Pelajar.
- Bybee, R.W. (2021). *STEM education in the United States: A landscape study*. 32(1), 5–12.
- Christian, K. B., Kelly, A. M., & Bugallo, M. F. (2021). NGSS-based teacher professional development to implement engineering practices in STEM instruction. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00284-1>
- English, L. D. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(S1), 5–24. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x>
- Eymur, G., & Çetin, P. S. (2024). Investigating the role of an inquiry-based science lab on students' scientific literacy. *Instructional Science*, 52(5), 743–760. <https://doi.org/10.1007/s11251-024-09672-w>
- Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A., & Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM Education: A Framework for Developing STEM Literacy. *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), 369–385. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09823-x>
- Fan, S. C., & Yu, K. C. (2021). How an integrated STEM curriculum can benefit students' scientific literacy: A meta-analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 30(6), 789–805.
- García-Carmona, A., & Toma, R. B. (2024). Integration of Engineering Practices into Secondary Science Education: Teacher Experiences, Emotions, and Appraisals. *Research in Science Education*, 54(4), 549–572. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10152-3>
- Guzey, S. S., & Jung, J. Y. (2021). Productive Thinking and Science Learning in Design Teams. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19(2), 215–232. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10057-x>
- Hake, R. (2021). *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data*.
- Halawa, S., Lin, T.-C., & Hsu, Y.-S. (2024a). Exploring instructional design in K-12 STEM education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00503-5>
- Halawa, S., Lin, T.-C., & Hsu, Y.-S. (2024b). Exploring instructional design in K-12 STEM education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00503-5>
- Jack R. Fraenkel, Norman E Wallen, Helen H Hyun. (2022). *How to Design and Evaluate Research in Education*. McGraw Hill LLC.
- Kang, J. (2022a). Interrelationship Between Inquiry-Based Learning and Instructional Quality in Predicting Science Literacy. *Research in Science Education*, 52(1), 339–355. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09946-6>
- Kang, J. (2022b). Interrelationship Between Inquiry-Based Learning and Instructional Quality in Predicting Science Literacy. *Research in Science Education*, 52(1), 339–355. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09946-6>
- Kidd, N., Tang, K.-S., & Lin, K.-Y. (2025a). A systematic review of engineering practice in K-12 STEM studies. *Research in Science & Technological Education*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/02635143.2025.2561994>
- Kidd, N., Tang, K.-S., & Lin, K.-Y. (2025b). A systematic review of engineering practice in K-12 STEM studies. *Research in Science & Technological Education*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/02635143.2025.2561994>

- Alimah Nuryanti<sup>1</sup>, Ida Kamiawati<sup>2</sup>, Irma Rahma Suwarma<sup>3</sup> / JPFS 9 (2) (2026) 258-268
- Larkin, K., & Lowrie, T. (2023). Teaching Approaches for STEM Integration in Pre- and Primary School: A Systematic Qualitative Literature Review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21(S1), 11–39. <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10362-1>
- Lin, K.-Y., Wu, Y.-T., Hsu, Y.-T., & Williams, P. J. (2021). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00258-9>
- Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- McLure, F. I., Tang, K.-S., & Williams, P. J. (2022). What do integrated STEM projects look like in middle school and high school classrooms? A systematic literature review of empirical studies of iSTEM projects. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00390-8>
- NAEP (National Assessment of Educational Progress ). (2021). *Technology and engineering literacy framework*.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. National Academies Press.
- OECD. (2023). *PISA 2022 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics and financial literacy*. (Original work published OECD Publishing)
- Panergayo, A. A. E., & Roleda, L. S. (2025). EFFECTS OF ENGINEERING DESIGN-BASED STEM APPROACH ON STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING, ENGINEERING DESIGN PERFORMANCE, AND SCIENTIFIC CREATIVITY. *Journal of Baltic Science Education*, 24(6), 1208. <https://doi.org/10.33225/jbse/25.24.1208>
- Pleasants, J., Tank, K. M., & Olson, J. K. (2021). Conceptual connections between science and engineering in elementary teachers' unit plans. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00274-3>
- Schaben, C., Andersson, J., & Cutucache, C. (2022). A multiple case study to understand how students experience science and engineering practices. *Frontiers in Education*, 7, 960346. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.960346>
- Sung, E., & Kelley, T. R. (2023). Elementary Students' Engineering Design Process: How Young Students Solve Engineering Problems. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21(5), 1615–1638. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10317-y>
- Sutiani, A., Situmorang, M., & Silalahi, A. (2021). *Implementation of an inquiry learning model with science literacy to improve student critical thinking skills* (Pt. 117-138). 14(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.29333/iji.2021.1428a>
- UNESCO. (2021). *Engineering for sustainable development: Delivering on the Sustainable Development Goals*. UNESCO Publishing.
- Urdanivia Alarcon, D. A., Talavera-Mendoza, F., Rucano Paucar, F. H., Cayani Caceres, K. S., & Machaca Viza, R. (2023). Science and inquiry-based teaching and learning: A systematic review. *Frontiers in Education*, 8, 1170487. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1170487>
- Wahono, B., Chang, C.-Y., & Khuyen, N. T. T. (2021). Teaching socio-scientific issues through integrated STEM education: An effective practical averment from Indonesian science lessons. *International Journal of Science Education*, 43(16), 2663–2683. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1983226>
- Wahono, B., Lin, P.-L., & Chang, C.-Y. (2020). Evidence of STEM enactment effectiveness in Asian student learning outcomes. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00236-1>
- Wenning, C. J. (2005). Levels of inquiry: Hierarchies of pedagogical practices and inquiry processes. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(3), 3–12.

- Wiyarsi, A., Prodjosantoso, A. K., & Nugraheni, A. R. E. (2021). Promoting Students' Scientific Habits of Mind and Chemical Literacy Using the Context of Socio-Scientific Issues on the Inquiry Learning. *Frontiers in Education*, 6, 660495. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.660495>
- World Economic Forum. (2023). *The future of jobs report 2023*.
- Yata, C., Ohtani, T., & Isobe, M. (2020). Conceptual framework of STEM based on Japanese subject principles. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00205-8>