

Pengembangan Bahan Ajar Interaktif Berbasis PBL Berbantuan *Liveworksheet* untuk Meningkatkan Kemampuan Penalaran dan Komunikasi Matematis Siswa pada Materi Statistika SMK

Merry*, Yumiati, Endang Wahyuningrum
Universitas Terbuka, Batam, Indonesia

*Corresponding Author: merry.2020guru@gmail.com

Dikirim: 30-04-2026; Direvisi: 12-05-2026; Diterima: 17-05-2026

Abstrak: Kemampuan penalaran dan komunikasi matematis siswa SMK masih tergolong rendah, terlebih pada materi statistika yang menuntut kemampuan analisis data dan penyampaian argumen yang terstruktur. Penelitian ini bertujuan mengembangkan bahan ajar interaktif berbasis *Problem based learning* (PBL) berbantuan *Liveworksheet* yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan kemampuan penalaran dan komunikasi matematis siswa SMK pada materi statistika. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) yang diadaptasi dari model Borg & Gall melalui sembilan tahapan. Subjek penelitian terdiri dari 20 siswa kelas X dan 20 siswa kelas XII program Teknik Jaringan Komputer dan Telekomunikasi (TJKT) SMK Negeri 4 Anambas, yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Instrumen pengumpulan data mencakup lembar validasi ahli, angket respon siswa dan guru, serta soal *pre-test-posttes*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan ajar interaktif mencapai rata-rata skor validasi 4,89 (sangat valid), tingkat kepraktisan 91,96% (sangat praktis), peningkatan kemampuan penalaran matematis dengan N-Gain 75,09% (efektif, sig. 0,000076<0,05), dan kemampuan komunikasi matematis dengan N-Gain 77,47% (efektif, sig. 0,000021<0,05). Disimpulkan bahwa bahan ajar interaktif berbasis PBL berbantuan *Liveworksheet* layak digunakan sebagai media pembelajaran matematika di SMK dan berimplikasi pada perlunya adopsi bahan ajar berbasis teknologi dalam pembelajaran matematika kejuruan.

Kata Kunci: Bahan ajar interaktif; kemampuan komunikasi matematis; kemampuan penalaran matematis; *Liveworksheet*; *PBL*.

Abstract: The mathematical reasoning and communication abilities of vocational high school (SMK) students remain low, particularly in statistics which demands data analysis and structured argumentation. This study aims to develop Problem based learning (PBL)-based interactive teaching materials assisted by *Liveworksheet* that are valid, practical, and effective in improving the mathematical reasoning and communication abilities of SMK students on statistics. A Research and Development (R&D) approach adapted from the Borg & Gall model was adopted across nine stages. Research subjects comprised 20 Grade X students and 20 Grade XII students from the Computer and Telecommunication Network Engineering (TJKT) program at SMK Negeri 4 Anambas, selected via purposive sampling. Data collection instruments included expert validation sheets, student and teacher response questionnaires, and pre-testt-post-test assessments. Findings demonstrate that the interactive teaching material achieved a mean validation score of 4.89 (very valid), a practicality rate of 91.96% (very practical), a significant improvement in mathematical reasoning with N-Gain of 75.09% (effective, sig. 0.000076<0.05), and mathematical communication with N-Gain of 77.47% (effective, sig. 0.000021<0.05). It is concluded that the developed PBL-based interactive teaching material is feasible and effective for mathematics learning in vocational schools, implying the need for broader adoption of technology-based instructional materials in vocational mathematics education.

Keywords: Interactive teaching material; Liveworksheet; mathematical communication ability; mathematical reasoning ability; PBL.

PENDAHULUAN

Matematika berperan sebagai fondasi ilmiah yang mengkaji pola, struktur, relasi antar bilangan, serta logika penalaran yang sistematis. Bagi siswa SMK, penguasaan matematika bukan sekadar memahami konsep abstrak, melainkan kebutuhan nyata dalam menghadapi tantangan dunia kerja, khususnya dalam menganalisis data dan mengambil keputusan berbasis angka (Arifin & Herman, 2018). Kemampuan penalaran dan komunikasi matematis menjadi dua kompetensi krusial yang mendukung kemampuan analisis data, penyusunan argumen logis, dan penerjemahan masalah kontekstual ke dalam bahasa matematis yang terstruktur.

Kemampuan penalaran matematis merupakan proses kognitif yang memungkinkan siswa menghasilkan pernyataan logis dan mencapai kesimpulan dalam pemecahan masalah secara efektif (Rismen et al., 2020). Kemampuan ini mencakup kecakapan menganalisis informasi, membangun koneksi antar konsep, dan menarik kesimpulan yang valid dari data matematis. Sementara itu, kemampuan komunikasi matematis merujuk pada kecakapan siswa menyampaikan gagasan matematis secara lisan maupun tertulis menggunakan simbol, tabel, grafik, dan bahasa matematika yang tepat (Lestari, E. L., & Yudhanegara, 2015). Kedua kemampuan ini saling berkaitan dan menjadi penentu kualitas berpikir matematis siswa di tingkat sekolah menengah.

Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kemampuan penalaran dan komunikasi matematis siswa SMK masih berada pada level yang perlu ditingkatkan secara serius. Berdasarkan observasi langsung oleh tim peneliti di SMK Negeri 4 Anambas pada materi statistika mengidentifikasi sejumlah permasalahan signifikan yakni banyak siswa tidak mampu membedakan antara "kenaikan data tertinggi" dengan "nilai data tertinggi" dalam konteks diagram garis dan siswa mengalami hambatan merumuskan argumen secara terstruktur. Faktor lain terkait lemahnya kemampuan penalaran dan komunikasi matematis siswa juga dipaparkan dalam penelitian terdahulu, yakni kecenderungan menghafal prosedur tanpa membangun pemahaman konseptual (Budiman & Rosmiati, 2020). Penelitian terdahulu menyatakan bahwa 70% siswa mengalami kesulitan memahami soal cerita matematika, mengindikasikan lemahnya kemampuan penalaran (Cahyani & Sritresna, 2023). Selain itu, terbatasnya kesempatan berlatih menyampaikan gagasan menjadi faktor utama rendahnya komunikasi matematis siswa (Rismen et al., 2020).

Permasalahan ini berkaitan erat dengan ketiadaan bahan ajar yang mampu memfasilitasi proses berpikir tingkat tinggi secara terstruktur dan kontekstual. Bahan ajar yang selama ini digunakan di SMK Negeri 4 Anambas bersifat konvensional: statis, teks-dominan, dan tidak memberikan umpan balik langsung (Hamzah, 2023). Kondisi ini memperkuat urgensi pengembangan bahan ajar yang lebih interaktif, kontekstual, dan berbasis pemecahan masalah.

Problem based learning (PBL) adalah model pembelajaran yang berpusat pada masalah nyata sebagai titik tolak belajar, mendorong siswa aktif mengidentifikasi, menyelidiki, dan membangun solusi melalui kolaborasi kelompok. Setiap tahapan PBL merangsang penalaran matematis dan fase presentasi kelompok secara langsung melatih kemampuan komunikasi matematis (Firmansyah, Mubarika, 2020). Platform



Liveworksheet hadir sebagai medium digital yang memungkinkan guru mengkonversi bahan ajar cetak menjadi lembar kerja interaktif berbasis web dengan fitur umpan balik otomatis. Integrasi PBL ke dalam bahan ajar berbantuan *Liveworksheet* menciptakan lingkungan belajar yang memungkinkan siswa mengeksplorasi konsep statistika secara mandiri sambil mendapatkan umpan balik instan atas jawaban mereka.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan bahan ajar interaktif berbasis *Problem based learning* (PBL) berbantuan *Liveworksheet* yang memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan kemampuan penalaran dan komunikasi matematis siswa SMK Negeri 4 Anambas pada materi statistika.

KAJIAN TEORI

Kemampuan Penalaran Matematis

Kemampuan penalaran matematis mencakup serangkaian proses kognitif yakni analisis, sintesis, evaluasi, dan pemecahan masalah yang memungkinkan siswa memahami dan menggunakan konsep matematika dalam berbagai situasi nyata (Rismen et al., 2020). Indikator penalaran matematis meliputi menganalisis informasi dengan mengurai relasi antar konsep, menggeneralisasi pola, mengevaluasi keabsahan argumen, dan menyelesaikan masalah tidak rutin (Lestari, E. L., & Yudhanegara, 2015). Penelitian terdahulu juga membuktikan adanya korelasi positif antara intensitas keterlibatan siswa dalam pemecahan masalah autentik dengan kekuatan penalaran yang berkembang (Gürbüz & Erdem, 2016). Dalam penelitian ini, indikator kemampuan penalaran matematis yang diukur mencakup tiga indikator yang disajikan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kisi-kisi Instrumen Kemampuan Penalaran Matematis

No.	Indikator	Deskripsi Kemampuan yang Diukur
1.	Menganalisis informasi	Siswa mampu mengidentifikasi dan menginterpretasi data dari tabel, grafik, atau diagram yang disajikan dalam konteks TJKT
2.	Menyelesaikan masalah secara sistematis	Siswa mampu melakukan langkah-langkah perhitungan yang logis dan terurut untuk menemukan solusi permasalahan statistika
3.	Menarik kesimpulan yang logis	Siswa mampu menyimpulkan hasil analisis berdasarkan data yang diperoleh dan menghubungkannya dengan konteks permasalahan nyata

Kemampuan Komunikasi Matematis

Kemampuan komunikasi matematis adalah kecakapan menyampaikan dan memahami ide-ide matematis secara efektif, baik lisan maupun tertulis, menggunakan bahasa matematika, simbol, grafik, dan representasi visual yang tepat (Lestari, E. L., & Yudhanegara, 2015). Kemampuan komunikasi matematis berperan strategis dalam pembelajaran yakni mempertajam cara berpikir, mengukur pemahaman konseptual, meningkatkan penalaran, dan mengembangkan kepercayaan diri serta keterampilan sosial siswa. Dalam penelitian ini, indikator kemampuan komunikasi matematis yang menjadi acuan disajikan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kisi-kisi Instrumen Kemampuan Komunikasi Matematis

No.	Indikator	Deskripsi Kemampuan yang Diukur
1.	Mengubah permasalahan ke dalam model matematika	Siswa mampu merepresentasikan permasalahan narasi ke dalam bentuk tabel, diagram, grafik,



		atau ekspresi aljabar yang sesuai
2.	Menyajikan hasil analisis secara matematis	Siswa mampu menuliskan atau mengungkapkan secara lisan penjelasan yang sistematis menggunakan bahasa dan simbol matematika yang tepat

Problem based learning (PBL)

Problem based learning (PBL) adalah model pembelajaran yang berpusat pada siswa, menggunakan masalah nyata dan autentik sebagai titik tolak proses belajar. Siswa tidak sekadar menerima informasi dari guru, tetapi secara aktif mengidentifikasi permasalahan, merumuskan pertanyaan, mengumpulkan dan menganalisis informasi, mengembangkan solusi, dan mempresentasikan hasil secara kolaboratif (Boye & Agyei, 2023). Implementasi PBL dalam penelitian ini dilaksanakan melalui lima tahap: (1) orientasi terhadap masalah autentik berbasis konteks TJKT, (2) pengorganisasian kegiatan belajar kelompok, (3) pembimbingan penyelidikan individu dan kelompok, (4) pengembangan dan penyajian hasil karya, serta (5) analisis dan evaluasi proses pemecahan masalah (Hidayah, 2024).

PBL terbukti secara empiris efektif dalam meningkatkan kemampuan penalaran dan komunikasi matematis. Penelitian lain membuktikan bahwa penerapan PBL berpengaruh signifikan terhadap kemampuan penalaran matematis dibandingkan pembelajaran konvensional (Sandi, M. D., Fahinu, 2017). PBL memberikan kontribusi signifikan terhadap kemampuan komunikasi matematis karena mendorong siswa berinteraksi aktif dan berdiskusi (Firmansyah, Mubarika, 2020). Selain itu, tahapan diskusi kelompok dan presentasi dalam PBL secara langsung melatih keberanian dan keterampilan siswa dalam menyampaikan argumen matematis (Basarudin, 2024).

Bahan Ajar Interaktif Berbantuan *Liveworksheet*

Bahan ajar interaktif adalah bahan ajar yang dirancang untuk mendorong siswa belajar secara aktif dan responsif melalui beragam media digital, termasuk aktivitas *drag and drop*, kuis interaktif, umpan balik otomatis, dan elemen multimedia. Bahan ajar ini dapat diakses kapan saja dan di mana saja melalui perangkat digital, sehingga mendukung fleksibilitas dan kemandirian belajar siswa (Hamzah, 2023). Bahan ajar interaktif yang terintegrasi dengan model PBL lebih efektif dibandingkan bahan ajar konvensional dalam meningkatkan kemampuan analisis, evaluasi, dan pemecahan masalah siswa (Retify, L. C., Makmuri, Hidajat, 2025).

Liveworksheet adalah platform online yang memungkinkan guru mengkonversi bahan ajar cetak menjadi lembar kerja digital interaktif. Keunggulan platform ini antara lain: (1) mudah digunakan oleh guru maupun siswa; (2) menyediakan beragam elemen interaktif seperti *textfield*, *open answer*, *drag and drop*, *checkboxes*, *single choice*, dan *join*; (3) dilengkapi fitur koreksi dan umpan balik otomatis yang memperlihatkan skor secara langsung; (4) dapat diakses secara online kapan saja; dan (5) hasil kerja siswa dapat direkap secara otomatis pada akun guru, sehingga efisiensi penilaian meningkat signifikan (Syar, M. N. et al., 2023).

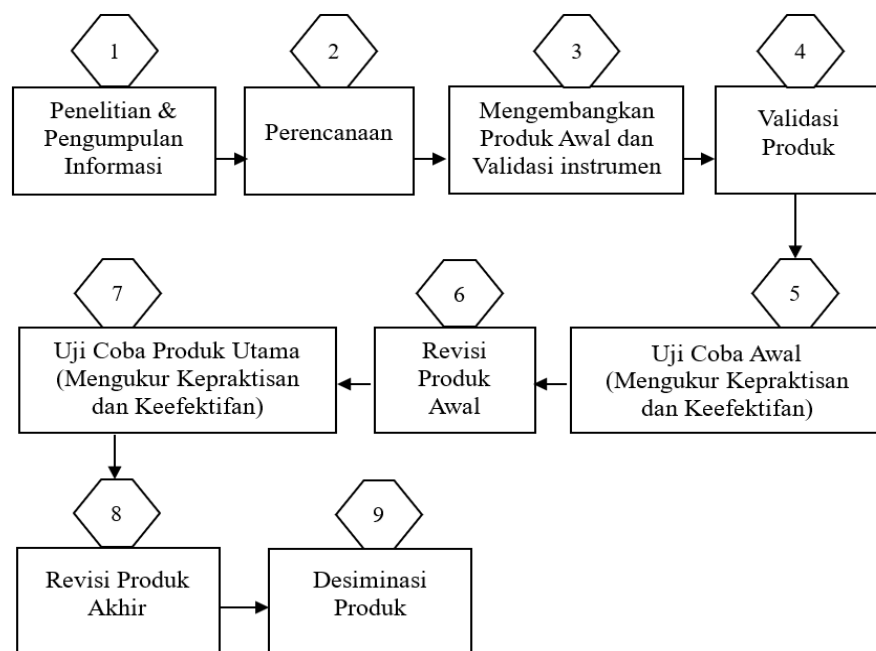
Umpan balik otomatis pada *Liveworksheet* mendorong siswa melakukan introspeksi mandiri tanpa bergantung sepenuhnya pada guru, sekaligus memunculkan diskusi kecil antar siswa ketika mereka menemukan perbedaan jawaban. Dinamika ini mengubah suasana kelas menjadi lebih aktif karena siswa merasa tertantang untuk membedah kesalahan mereka secara bersama-sama. Pada akhirnya, guru dapat



beralih peran menjadi fasilitator yang mengarahkan perdebatan tersebut menuju pemahaman konsep yang lebih mendalam dan akurat. Penggunaan perangkat pribadi dalam model *Bring Your Own Device* (BYOD) mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21 termasuk komunikasi, kolaborasi, dan tanggung jawab belajar siswa (Schmitz et al., 2024).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang diadaptasi dari model Borg & Gall (Sugiyono, 2015). Metode penelitian ini dipilih karena secara sistematis mengintegrasikan tahapan penelitian, perancangan, pengembangan, pengujian, dan penyempurnaan produk hingga memenuhi kriteria kualitas yang ditetapkan yakni valid, praktis, dan efektif.



Gambar 1. Tahapan Penelitian dan Pengembangan Borg and Gall yang diadaptasi

Tahapan Penelitian

Tahap pertama, penelitian dan pengumpulan informasi. Peneliti melakukan observasi kelas, wawancara dengan siswa, dan analisis hasil penilaian pembelajaran statistika tahun sebelumnya untuk mengidentifikasi potensi dan masalah. Ditemukan bahwa siswa mengalami kesulitan dalam menganalisis data, menyusun argumen matematis, dan menghubungkan konsep statistika dengan konteks nyata TJKT. Guru belum memiliki bahan ajar interaktif yang mendukung kemampuan penalaran dan komunikasi matematis. Studi literatur selanjutnya dilakukan untuk memperkuat landasan teoretis pengembangan produk.

Tahap kedua, perencanaan. Peneliti merumuskan tujuan pengembangan, menentukan urutan pembelajaran untuk enam submateri statistika berdasarkan Capaian Pembelajaran Kurikulum Merdeka (Permendikbudristek No. 032/H/KR/2024), dan merancang desain produk secara umum dalam bentuk *story board*. Keenam submateri yang dikembangkan adalah: (1) penyajian data dalam tabel, diagram batang, diagram garis, dan diagram lingkaran; (2) histogram; (3) dot

plot dan diagram pencar; (4) pemusatan data mean; (5) pemusatan data median; dan (6) pemusatan data modus.

Tahap ketiga, pengembangan produk awal dan validasi instrumen. Bahan ajar dikembangkan menggunakan aplikasi Canva untuk desain grafis, kemudian diintegrasikan ke dalam platform *Liveworksheet* dengan menambahkan elemen interaktif yang sesuai di setiap halaman. Setiap submateri terdiri dari dua *worksheet*: bahan ajar dan lembar kerja siswa (LKS), masing-masing maksimal 15 halaman. Instrumen validasi yakni lembar validasi materi, bahasa, media. Instrumen kepraktisan berupa angket respon siswa, angket respon guru pengguna, dan angket respon guru pengamat. Instrumen divalidasi oleh masing-masing ahli sebelum digunakan.

Tahap keempat, validasi produk oleh ahli. Bahan ajar divalidasi oleh tiga orang ahli. Ahli materi adalah seorang guru matematika yang menilai kesesuaian dengan kurikulum SMK, ketepatan isi, dan keselarasan dengan prinsip PBL. Ahli bahasa adalah guru Bahasa Indonesia yang menilai keterbacaan, ejaan, dan kejelasan makna. Ahli media seorang *software engineer* yang menilai *user interface*, kesesuaian menu interaktif, dan kemudahan akses. Penilaian menggunakan skala Likert 1–5 dengan kriteria sangat valid untuk rata-rata $> 4,00$ (Arikunto, 2010).

Tahap kelima, uji coba awal. Produk yang telah valid diuji coba kepada seluruh siswa kelas XII TJKT yang telah mempelajari materi statistika. Pemilihan siswa tingkat atas bertujuan untuk memperoleh umpan balik yang lebih kritis karena mereka memiliki pengetahuan awal tentang statistika. Pengukuran kepraktisan dilakukan melalui angket respon siswa, guru pengguna, dan guru pengamat. Pengukuran keefektifan dilakukan melalui perbandingan *pre-test* dan *post-test* menggunakan analisis N-Gain dan uji-t berpasangan.

Tahap keenam, revisi produk awal. Revisi dilakukan berdasarkan catatan angket respon dan kendala lapangan. Revisi utama mencakup: (a) peningkatan ukuran huruf dari 13pt menjadi 15pt untuk meningkatkan keterbacaan pada perangkat seluler; (b) penggantian elemen titik-titik menjadi kotak biru kosong untuk isian *textfield* agar tidak tumpang tindih dengan karakter jawaban siswa; dan (c) perbaikan kunci jawaban dan konsistensi warna elemen interaktif. Tahap ketujuh, uji coba utama. Produk yang telah direvisi diuji coba kepada seluruh siswa kelas X TJKT yang baru pertama kali mempelajari materi statistika. Uji coba ini memberikan gambaran representatif mengenai efektivitas produk dalam kondisi pembelajaran yang sesungguhnya, karena siswa belum memiliki pengetahuan awal tentang materi. Prosedur pengukuran kepraktisan dan keefektifan sama dengan uji coba awal.

Tahap kedelapan, revisi produk akhir. Revisi finalisasi dilakukan berdasarkan temuan uji coba utama. Revisi utama berupa penambahan informasi submateri pada sampul setiap *worksheet*, karena perbedaan warna sampul saja tidak cukup untuk membedakan antarsubmateri dalam praktik mengajar sehari-hari. Tahap kesembilan, diseminasi produk. Produk akhir disebarluaskan melalui platform *Liveworksheet* dan dapat diakses oleh khalayak umum dengan mengetikkan kata kunci "statistika" dan menyortir berdasarkan level 10. Bahan ajar juga dapat diunduh dan dicetak oleh pengguna lain. Guru lainnya dapat menggunakan *Liveworksheet* ini dalam proses pembelajaran dan siswa dapat mengirimkan hasil pengerjaannya ke email yang terhubung ke akun *Liveworksheet* guru.



Subjek dan Teknik Sampling Penelitian

Subjek penelitian terdiri dari dua kelompok. Pertama, 20 orang siswa kelas XII TJKT sebagai subjek uji coba awal, dipilih untuk mengukur validitas, reabilitas, daya beda, dan tingkat kesukaran soal *pre-test*. Kedua, 20 orang siswa X TJKT sebagai subjek uji coba utama, dipilih karena baru pertama kali mempelajari materi statistika dengan kurikulum merdeka sehingga memberikan gambaran representatif mengenai efektivitas bahan ajar interaktif dalam kondisi pembelajaran sesungguhnya. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling*, dengan pertimbangan relevansi subjek terhadap tujuan penelitian. Selain siswa, subjek penelitian juga melibatkan seorang guru pengguna, seorang guru pengamat, dan tiga orang ahli untuk uji kevalidan yakni ahli materi merupakan seorang guru matematika, ahli bahasa merupakan seorang guru Bahasa Indonesia, dan ahli media merupakan seorang *software engineer*.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan mencakup: (1) lembar validasi materi, bahasa, dan media menggunakan skala Likert 1–5 dengan kategori sangat valid untuk rata-rata $\geq 4,00$ (Arikunto, 2010); (2) angket respon siswa, guru pengguna, dan guru pengamat untuk mengukur kepraktisan; serta (3) soal *pre-test-post-test* untuk mengukur peningkatan kemampuan penalaran dan komunikasi matematis. Kisi-kisi instrumen mengacu pada indikator kemampuan penalaran dan komunikasi matematis yang telah diuraikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Teknik Analisis Data

Kevalidan

Kevalidan dianalisis dengan menghitung rata-rata skor seluruh indikator dari ketiga aspek validasi menggunakan skala penilaian Arikunto (2010), dengan kategori sangat valid untuk rata-rata $\geq 4,00$. Data yang dikumpulkan adalah hasil validasi produk oleh validator materi, bahasa dan media.

Rumus mencari rata-rata total validasi:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

Keterangan :

V = rata-rata total validasi

R_i = rata-rata indikator ke- i

i = indikator

m = jumlah indikator

Sumber : (Sugiyono, 2015)

Selanjutnya mencocokkan rata-rata total validasi dengan kategori validasi.

Tabel 3. Kategori Validasi Bahan Ajar Interaktif

Interval	Kategori
$4,00 \leq T < 5,00$	Sangat Valid
$3,00 \leq T < 4,00$	Valid
$2,00 \leq T < 3,00$	Kurang Valid
$1,00 \leq T < 2,00$	Tidak Valid

Sumber : (Arikunto, 2010)



Kepraktisan

Kepraktisan dihitung sebagai persentase respons positif dari seluruh responden (Akbar, 2016), dengan kategori sangat praktis untuk persentase $\geq 85,01\%$. Analisis kepraktisan produk didapatkan dari hasil angket respon siswa dan guru. Persentase kepraktisan dari lembar angket respon siswa dan guru digunakan rumus:

$$P = \frac{S_d}{S_m} \times 100\%$$

Keterangan :

P = Persentase kepraktisan dari lembar angket responden

S_e = Skor hasil penilaian responden

S_m = Skor maksimal yang diharapkan dari hasil penilaian responden

Sumber : (Akbar, 2016)

Tabel 4. Kriteria Tingkat Kepraktisan Bahan Ajar Interaktif

Kriteria	Tingkat kepraktisan,
85,01% - 100,00%	Sangat Praktis
70,01% - 85,00%	Praktis
50,01% - 70,00%	Kurang Praktis
01,00% - 50,00%	Tidak Praktis

Sumber: (Akbar, 2016)

Keefektifan

Keefektifan diukur menggunakan skor N-Gain (Sukarelawan et al., 2024) dengan kategori efektif untuk persentase $>75\%$, dan diperkuat melalui uji-t berpasangan (*Paired Sample T-test*) pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ menggunakan perangkat lunak SPSS.

Rumus menghitung skor *N-Gain*:

$$N_{Gain} = \frac{\text{skor posttest} - \text{skor pretes}}{\text{skor ideal} - \text{skor pretest}}$$

Kategori besarnya peningkatan skor *N-Gain*, dapat mengacu berdasarkan kriteria *Gain* ternormalisasi berikut:

Tabel 5. Kriteria *Gain* Ternormalisasi

Nilai <i>N-Gain</i>	Interpretasi
$0,70 \leq g \leq 1,00$	Tinggi
$0,30 \leq g < 0,70$	Sedang
$0,00 < g < 0,30$	Rendah
$g = 0,00$	Tidak terjadi peningkatan
$-1,00 \leq g < 0,00$	Terjadi penurunan

Sumber : (Sukarelawan et al., 2024)

Tabel 6. Kriteria Penentuan Tingkat Keefektifan

Persentase (%)	Interpretasi
> 75	Efektif
$56 - 75$	Cukup Efektif
$40 - 55$	Kurang Efektif
< 40	Tidak Efektif

Sumber : (Sukarelawan et al., 2024)

Hasil analisis akan diperkuat secara statistika dengan melakukan uji-t berpasangan (*Paired Sample T-test*). Uji-t dilakukan dengan tujuan untuk



mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai sebelum dan sesudah penggunaan bahan ajar interaktif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Validasi Produk

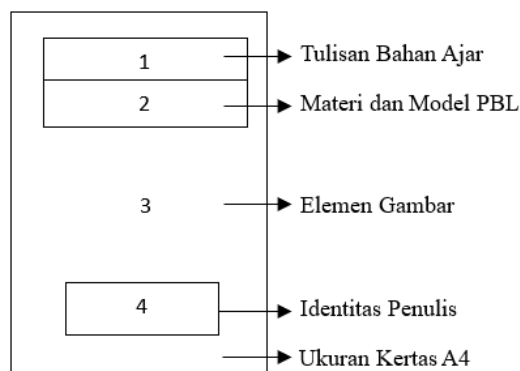
Bahan ajar interaktif berbasis PBL berbantuan *Liveworksheet* divalidasi pada dua tahapan dan dinilai dari tiga aspek: materi, bahasa, dan media. Rekapitulasi hasil validasi disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Validasi Bahan Ajar Interaktif

No.	Kriteria Kevalidan	Uji Coba Awal	Uji Coba Utama	Kategori
1	Bahasa	4,84	4,98	Sangat Valid
2	Materi	4,91	4,99	Sangat Valid
3	Media	4,58	4,69	Sangat Valid
	Rata-Rata	4,78	4,89	Sangat Valid

Tabel 7 menunjukkan peningkatan konsisten dari uji coba awal (4,78) ke uji coba utama (4,89), dengan seluruh aspek berkategori sangat valid. Temuan ini mengindikasikan bahwa bahan ajar yang dikembangkan layak secara akademis dan pedagogis. Aspek materi mencapai skor tertinggi (4,99) pada uji coba utama, mengkonfirmasi bahwa konten statistika yang dikembangkan selaras dengan Kurikulum Merdeka SMK dan secara cermat mengintegrasikan kelima tahapan PBL ke dalam setiap submateri. Penggunaan konteks permasalahan yang relevan dengan kompetensi keahlian TJKT, seperti analisis waktu respons router dan distribusi kecepatan jaringan, hal ini terbukti meningkatkan relevansi materi bagi siswa SMK. Hal ini sejalan dengan pandangan (Hidayah, 2024) bahwa bahan ajar berkualitas harus mampu membantu siswa membangun koneksi antar konsep dan merumuskan argumen logis.

Aspek bahasa meningkat signifikan dari 4,84 menjadi 4,98 sebagai hasil revisi terhadap kesalahan ejaan, inkonsistensi huruf kapital, dan ketidaktepatan tanda baca yang teridentifikasi pada uji coba awal. Aspek media meningkat dari 4,58 menjadi 4,69 setelah perbaikan konsistensi warna, ukuran huruf, dan kesesuaian fungsi menu interaktif agar memenuhi kriteria *user interface* yang ergonomis dan intuitif untuk pembelajaran SMK. Gambar 2 dan Gambar 3 menyajikan tampilan *story board* yang akan dikembangkan menjadi desain yang akan dibuat menjadi interaktif melalui platform *Liveworksheet*. Gambar 4 hingga 7 menyajikan tampilan bahan ajar sebelum dan sesudah revisi berdasarkan masukan validator.



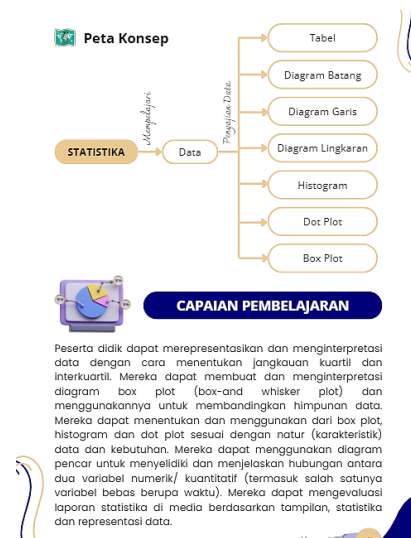
Gambar 2. Story Board Cover



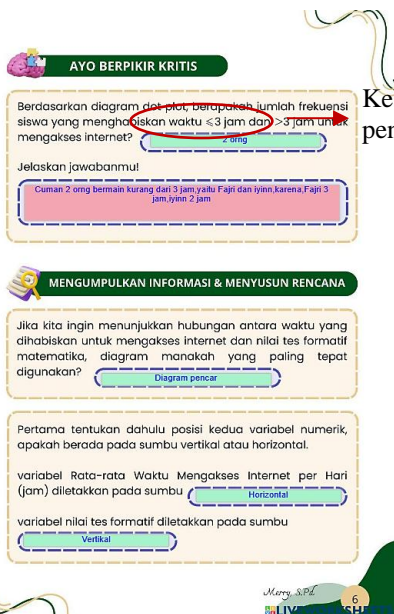
Gambar 3. Desain Sampul Bahan Ajar



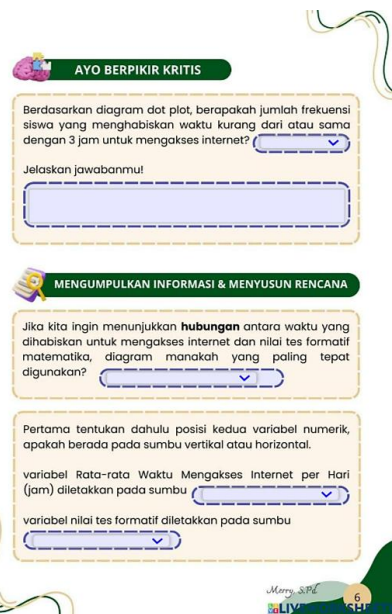
Gambar 4. Tampilan Isi Bahan Ajar Bagian 1 Sebelum Revisi



Gambar 5. Tampilan Isi Bahan Ajar Bagian 1 Setelah Revisi Ukuran Huruf



Gambar 6. Tampilan Isi Bahan Ajar Bagian 2 Kesalahan Pengetikan



Gambar 7. Tampilan Isi Bahan Ajar Bagian 2 Setelah Revisi



Tabel 8. Ringkasan Masukan Validator dan Hasil Revisi Produk

Aspek	Masukan Validator	Hasil Revisi
Materi	Konteks permasalahan perlu lebih spesifik pada kompetensi TJKT	Semua konteks masalah disesuaikan dengan data jaringan komputer dan telekomunikasi
Bahasa	Terdapat kesalahan ejaan dan inkonsistensi huruf kapital	Ejaan, huruf kapital, dan tanda baca direvisi sesuai kaidah PUEBI
Media	Ukuran huruf terlalu kecil untuk perangkat seluler; elemen interaktif tumpang tindih	Ukuran huruf ditingkatkan dari 13pt menjadi 15pt dan kotak isian diperjelas dengan batas biru

Hasil Kepraktisan

Kepraktisan bahan ajar diukur melalui angket respon siswa, guru pengguna, dan guru pengamat setelah menyelesaikan seluruh rangkaian enam pertemuan pembelajaran. Hasil analisis kepraktisan pada uji coba utama disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisis Kepraktisan pada Uji Coba Utama

No.	Responden	Persentase (%)	Kategori
1	Siswa	90,60	Sangat Praktis
2	Guru Pengguna	95,56	Sangat Praktis
3	Guru Pengamat	89,72	Sangat Praktis
	Rata-Rata	91,96	Sangat Praktis

Rata-rata kepraktisan 91,96% (sangat praktis) menunjukkan penerimaan positif dari seluruh pemangku kepentingan. Guru pengguna memberikan penilaian tertinggi (95,56%), mengaitkan kepraktisan tinggi dengan dua keunggulan utama: kemudahan menyajikan alur tahapan PBL secara terstruktur serta efisiensi penilaian melalui rekap otomatis pada akun *Liveworksheet*. Guru pengamat (89,72%) mengamati bahwa *Liveworksheet* memungkinkan siswa mempresentasikan hasil diskusi langsung melalui proyektor tanpa menulis ulang di papan tulis, menghemat waktu yang berharga. Respons positif siswa (90,60%) didorong oleh tampilan berwarna dan interaktif yang secara langsung memotivasi keterlibatan belajar. Fitur umpan balik instan mendorong siswa yang biasanya pasif untuk secara mandiri mengoreksi jawaban dan memulai diskusi kecil ketika menemukan perbedaan. Temuan ini selaras dengan penelitian terdahulu yang menegaskan bahwa teknologi modern memfasilitasi interaksi aktif siswa secara lebih luas (Kerimbayev et al., 2023).

Hasil Keefektifan

Keefektifan bahan ajar diukur melalui perbandingan skor *pretes* dan *postes* menggunakan analisis N-Gain serta uji-t berpasangan. Hasil analisis keefektifan pada uji coba utama disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Analisis Keefektifan pada Uji Coba Utama

Kemampuan	Rerata <i>Pre-testt</i>	Rerata <i>Post-test</i>	N-Gain (%)	Sig. (2-tailed)
Penalaran Matematis	1,49	4,14	75,09	0,000076
Komunikasi Matematis	1,22	4,15	77,47	0,000021

Tabel 11. Perbandingan N-Gain Uji Coba Awal dan Utama

Kemampuan	N-Gain Uji Coba Awal (%)	N-Gain Uji Coba Utama (%)	Kategori Akhir
Penalaran Matematis	69,53	75,09	Efektif
Komunikasi Matematis	71,59	77,47	Efektif

Berdasarkan Tabel 10, kemampuan penalaran matematis siswa meningkat signifikan dari rata-rata *pretes* 1,49 menjadi 4,14, menghasilkan N-Gain 75,09%



(kategori efektif) dengan nilai signifikansi $0,000076 < 0,05$. Kemampuan komunikasi matematis mengalami peningkatan serupa dari 1,22 menjadi 4,15, dengan N-Gain 77,47% (efektif) dan signifikansi $0,000021 < 0,05$. Tabel 11 mengungkapkan bahwa kedua kemampuan mengalami peningkatan kategori dari uji coba awal ke uji coba utama, kemampuan penalaran dari cukup efektif (69,53%) menjadi efektif (75,09%), dan komunikasi dari cukup efektif (71,59%) menjadi efektif (77,47%).

Pembahasan

Temuan penelitian ini mengungkapkan bahwa bahan ajar interaktif berbasis PBL berbantuan *Liveworksheet* berhasil memenuhi ketiga kriteria kualitas produk secara bersamaan. Dari sisi kevalidan, tingginya skor validasi aspek materi (4,99) mencerminkan keberhasilan dalam mengintegrasikan konteks permasalahan berbasis kompetensi TJKT ke dalam tahapan PBL yang terstruktur. Penggunaan konteks autentik seperti analisis waktu respons router dan distribusi penggunaan internet harian mendorong siswa melakukan proses mental yang kompleks dalam menganalisis data jaringan komputer. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menjelaskan bahwa semakin intensif siswa terlibat dalam pemecahan masalah autentik, semakin kuat kemampuan penalarannya berkembang (Gürbüz & Erdem, 2016).

Dari sisi kepraktisan, nilai 91,96% mengkonfirmasi bahwa bahan ajar ini dapat diimplementasikan dengan mudah dalam konteks kelas nyata. Ketersediaan buku panduan penggunaan bagi guru dan siswa terbukti membantu mengatasi hambatan teknis awal, termasuk cara mengakses *Liveworksheet*, mengisi identitas, dan mengirimkan jawaban akhir. Implementasi model BYOD yang kemudian dialihkan ke laboratorium komputer untuk mengatasi kendala layar kecil sejalan dengan rekomendasi (Schmitz et al., 2024) mengenai pentingnya kesiapan perangkat dalam mendukung keterampilan abad ke-21.

Dari sisi keefektifan, peningkatan kemampuan penalaran matematis (N-Gain 75,09%) didorong oleh desain bahan ajar yang secara konsisten menyajikan permasalahan berbasis konteks TJKT. Siswa dituntut menganalisis data jaringan komputer, mengidentifikasi pola distribusi, dan membangun solusi secara mandiri maupun kolaboratif. PBL berpengaruh signifikan terhadap kemampuan penalaran dibandingkan pembelajaran konvensional (Sandi, M. D., Fahinu, 2017), hal ini sejalan dengan temuan yang dikuatkan oleh penelitian ini. Peningkatan kemampuan komunikasi matematis (N-Gain 77,47%) berlangsung seiring intensitas diskusi kelompok dan presentasi dalam setiap sesi PBL. Koneksi antara konsep statistika dan masalah kontekstual merupakan kunci utama pengembangan komunikasi matematis (Firmansyah, Mubarika, 2020).

Liveworksheet berperan sebagai medium yang mengamplifikasi efek pedagogis PBL. Tanpa *Liveworksheet*, tahapan PBL hanya dapat terlaksana melalui lembar kerja cetak yang bersifat satu arah. Dengan *Liveworksheet*, setiap tahapan PBL menjadi lebih interaktif: siswa dapat langsung mengetahui kebenaran jawaban analisis data (tahap penyelidikan), memperbaiki kesalahan secara mandiri (tahap evaluasi), dan mendapatkan bukti kuantitatif kemajuan belajar melalui skor yang muncul setelah mengklik *finish*. Kombinasi PBL dan *Liveworksheet* menghasilkan siklus belajar yang lengkap dilengkapi dengan masalah kontekstual, penyelidikan aktif, umpan balik instan, diskusi reflektif, presentasi, kesimpulan, proses ini adalah sebuah ekosistem yang secara simultan mengembangkan penalaran dan komunikasi



matematis siswa. Hasil ini mendukung temuan (Retify, L. C., Makmuri, & Hidajat, 2025) bahwa bahan ajar interaktif terintegrasi PBL lebih efektif dibandingkan bahan ajar konvensional dalam meningkatkan kemampuan tingkat tinggi siswa.

Implikasi penelitian ini bagi praktik pembelajaran matematika di SMK sangat signifikan. Guru dapat mengadopsi bahan ajar interaktif berbasis PBL berbantuan *Liveworksheet* sebagai alternatif yang lebih efektif dibandingkan bahan ajar konvensional, khususnya untuk materi yang menuntut kemampuan analisis data dan presentasi hasil, kompetensi ini sangat relevan dengan kebutuhan industri teknologi. Dari perspektif teori belajar, temuan ini mengkonfirmasi relevansi konstruktivisme (Bustomi, B., Sukardi, I., & Astuti, 2024) dalam pengembangan bahan ajar SMK: siswa membangun pengetahuan statistika secara bermakna melalui penyelidikan masalah nyata dari bidang jaringan komputer, bukan melalui hafalan prosedur.

KESIMPULAN

Penelitian pengembangan ini menghasilkan bahan ajar interaktif berbasis PBL berbantuan *Liveworksheet* pada materi statistika SMK yang memenuhi tiga kriteria kualitas secara bersamaan sesuai tujuan penelitian yakni valid, praktis, dan efektif. Pertama, bahan ajar memenuhi kriteria sangat valid dengan rata-rata 4,89 dari aspek materi, bahasa, dan media. Kedua, bahan ajar sangat praktis dengan 91,96% berdasarkan respons guru pengguna, guru pengamat, dan siswa. Ketiga, bahan ajar terbukti efektif meningkatkan kemampuan penalaran matematis dengan N-Gain sebesar 75,09%, sig. 0,000076 dan komunikasi matematis dengan N-Gain sebesar 77,47%, sig. 0,000021.

Bagi peneliti selanjutnya, pendekatan pengembangan yang sama dapat diuji pada materi matematika SMK lainnya, dikaitkan dengan variabel kemandirian belajar, atau diterapkan pada kompetensi keahlian non-teknologi untuk mengkaji generalisabilitas model. Sekolah perlu memastikan kesiapan infrastruktur internet sebagai prasyarat implementasi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. (2016). Instrumen Perangkat Pembelajaran. In *Remaja Rosdakarya*.
- Arifin, F., & Herman, T. (2018). Pengaruh pembelajaran e-learning model web centric course terhadap pemahaman konsep dan kemandirian belajar matematika siswa [The effect of e-learning web centric course model on students' understanding mathematics concepts and self-regulated learning]. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 12(2), 1–12. <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/jpm/article/view/4152/pdf>
- Arikunto, A. (2010). Evaluasi Program Pendidikan. In *Bumi Aksara*.
- Basarudin. (2024). Penerapan Model Problem Based Learning (PBL) untuk Meningkatkan Kemampuan Komunikasi Matematis dan Rasa Percaya Diri Siswa Kelas SMA Negeri 2 Muara Beliti. *Journal of Mathematics Science and Education*, 7(1), 1–9. <https://ojs.stkipgri-lubuklinggau.ac.id/index.php/JMSE>
- Boye, E. S., & Agyei, D. D. (2023). Effectiveness of problem-based learning strategy in improving teaching and learning of mathematics for pre-service teachers in



- Ghana. *Social Sciences and Humanities Open*, 7(1), 100453. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100453>
- Budiman, H., & Rosmiati, M. (2020). *Penerapan Teori Belajar Van Hiele Berbantuan Geoge*. 9(1), 47–56.
- Bustomi, B., Sukardi, I., & Astuti, M. (2024). Pemikiran konstruktivisme dalam teori pendidikan kognitif Jean Piaget dan Lev Vygotsky. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7(4), 16376–16383.
- Cahyani, N. D., & Sritresna, T. (2023). Kemampuan penalaran matematis siswa dalam menyelesaikan soal cerita Pendahuluan Matematika merupakan pengetahuan universal yang mendasari perkembangan teknologi. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Matematika: PowerMathEdu (PME)*, 02(01), 103–112.
- Firmansyah, Mubarika, M. (2020). “Implementasi Model Pembelajaran Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Komunikasi dan Koneksi Matematis serta Self-Efficacy Siswa SMA. *Pasundan Journal of Mathematics Education*, 10(2), 51–64. <https://doi.org/10.26740/ipf.v10n1.p1-7>
- Gürbüz, R., & Erdem, E. (2016). Relationship between mental computation and mathematical reasoning. *Cogent Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2016.1212683>
- Hamzah, A. (2023). Metode penelitian dan pengembangan: Research dan development uji kuantitatif dan kualitatif proses dan hasil. In *CV. Literasi Nusantara Abadi*.
- Hidayah, S. (2024). Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) dalam Upaya Meningkatkan Kemampuan Penalaran Matematis Siswa. *MATH-EDU: Jurnal Ilmu Pendidikan Matematika*, 9(2), 536–545. <https://doi.org/10.32938/jipm.v9i2.7658>
- Kerimbayev, N., Umirzakova, Z., Shadiev, R., & Jotsov, V. (2023). A student-centered approach using modern technologies in distance learning: a systematic review of the literature. *Smart Learning Environments*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00280-8>
- Lestari, E. L., & Yudhanegara, M. R. (2015). Penelitian pendidikan matematika. In *PT Refika Aditama*. PT Refika Aditama.
- Retify, L. C., Makmuri, & Hidajat, F. A. (2025). Systematic literature review: Transformasi pembelajaran dengan e-modul interaktif berbasis problem based learning untuk meningkatkan high order thinking skills. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika Jakarta*, 7(2), 54–63.
- Retify, L. C., Makmuri, Hidajat, F. A. (2025). Systematic Literature review: Transformasi Pembelajaran dengan E-Modul Interaktif Berbasis Problem Based Learning untuk Meningkatkan High Order Thinking Skills. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika Jakarta*, 7(2), 54–63.
- Rismen, S., Mardiyah, A., & Puspita, E. M. (2020). Analisis Kemampuan Penalaran dan Komunikasi Matematis Siswa. *Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika*, 9(2), 263–274. <https://doi.org/10.31980/mosharafa.v9i2.609>



- Sandi, M. D., Fahinu, dan M. (2017). Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) terhadap Kemampuan Penalaran Matematis ditinjau dari Kemampuan Awal Matematika *Jurnal Pembelajaran Berpikir Matematika*, 2(1), 47–56. <https://repository.uin-suska.ac.id/44195/>
- Schmitz, M.-L., Consoli, T., Antonietti, C., Cattaneo, A., Gonon, P., & Petko, D. (2024). Examining 21st century skills in BYOD schools: From programs to practice. *Zeitschrift Für Bildungsforschung*, 14(2), 299–322. <https://doi.org/10.1007/s35834-024-00425-w>
- Sugiyono. (2015). Metode penelitian dan pengembangan research and development. In *Alfabeta*.
- Sukarelawa, M. I., Indratno, T. K., & Ayu, S. M. (2024). *N-Gain vs Stacking Analisis Perubahan*.
- Syar, M. N., Husniati, Andi., & Kristiawati. (2023). Efektivitas Penerapan Model Problem Based Learning Berbantuan Lkpd Liveworksheet Terhadap Hasil Belajar Matematika Siswa Kelas IV UPT SPF SD Inpres Barombong 3. *COMPASS: Journal of Education and Counselling*, 1(2), 303–312. <https://doi.org/10.58738/compass.v1i2.388>

