

BAB VI

SIMPULAN DAN IMPLIKASI

Penelitian desain didaktis materi bangun ruang sisi lengkung (BRSL) yang terintegrasi teknologi ini yang dilaksanakan pada salah satu sekolah menengah di Bandung mendapatkan beberapa temuan yang telah diuraikan pada Bab IV dan dijelaskan di Bab V. Berdasarkan temuan dan pembahasan tersebut, diperoleh simpulan penelitian, implikasi hasil penelitian dan rekomendasi sebagai berikut ini.

6.1 Simpulan Penelitian

- a. Penelitian ini menempatkan transposisi didaktik internal sebagai aspek kunci dalam memahami bagaimana pengetahuan matematika akademik ditransformasikan menjadi pengetahuan yang diajarkan dan dipelajari dalam konteks kelas melalui pendekatan *Didactical Design Research* (DDR). Temuan menunjukkan bahwa proses transposisi tidak berlangsung secara linier, melainkan mengalami perubahan makna yang dipengaruhi oleh konteks guru, media pembelajaran, dan karakteristik siswa, sehingga menghasilkan perbedaan antara *curriculum formel*, *réel*, dan *réalisé*. Analisis *praxeological-didactical* terhadap materi ajar menunjukkan bahwa alur tugas yang disusun guru belum sepenuhnya merepresentasikan urutan epistemologis yang bersumber dari *scholarly knowledge*, yang berdampak pada munculnya *learning obstacle* (LO). Hambatan-hambatan tersebut terkait dengan urutan materi yang tidak progresif, minimnya integrasi teknologi secara epistemik, serta keterbatasan dalam representasi visual. Namun demikian, hasil analisis juga membuka peluang perbaikan melalui penataan ulang urutan topik, penyusunan *learning trajectory* berbasis referensi epistemologis, serta optimalisasi media pembelajaran untuk mendukung akuisisi pengetahuan yang lebih bermakna dan berkesinambungan.
- b. Penelitian ini secara komprehensif memetakan hambatan belajar ontogenik, didaktis, dan epistemologis pada materi BRSL di tiga kelas, yaitu IX-F, IX-G, dan IX-H di salah satu SMP di Bandung, melalui studi dokumentasi bahan ajar, observasi kelas, angket, tes, dan wawancara yang dianalisis dengan pendekatan

fenomenologi hermeneutik, dan *praxeological-didactical analysis* (PDA). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada bagian pengantar BRSL, guru merancang empat tugas berlevel rendah dengan keterkaitan konseptual yang kuat, namun ketiadaan representasi visual dan pengenalan istilah baru seperti “garis pelukis” berpotensi menimbulkan kesalahan interpretasi yang memerlukan antisipasi didaktis dan pedagogis. Pada topik luas permukaan tabung, delapan tugas disusun secara progresif dari level *understand* ke *apply*, tetapi penggunaan hanya satu lembar kerja peserta didik (LKPD) per kelompok dan tidak adanya gambar menghambat eksplorasi individual siswa. Pada materi volume tabung dan kerucut, ditemukan transisi yang lemah antar tugas, seperti dari pengukuran dimensi ke perhitungan volume atau dari jari-jari dan tinggi ke perbandingan volume, yang memicu kesenjangan konsep dan beban prosedural, serta menyebabkan hambatan ontogenik dan didaktis. Sementara itu, pada materi luas permukaan dan volume bola, lompatan dari unsur lingkaran ke unsur bola tanpa jembatan konseptual yang memadai, serta tuntutan untuk menemukan rumus secara mandiri, menimbulkan hambatan epistemologis, terutama ketika siswa mentransfer strategi lama ke konteks baru. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa rendahnya motivasi, keterbatasan penguasaan prasyarat konsep, kesulitan aritmetika desimal, urutan materi yang tidak progresif, minimnya integrasi teknologi, serta lompatan konsep antar tugas merupakan pemicu utama hambatan belajar, sehingga diperlukan perbaikan struktural berupa penataan ulang urutan topik, penyediaan representasi visual yang kaya, LKPD individual, media interaktif berbasis teknologi, dan situasi adidaktik yang dirancang secara cermat sebagai dasar konstruksi *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) dan desain didaktis hipotesis yang koheren antara *scholarly knowledge*, *taught knowledge*, dan *learned knowledge*.

- c. HLT yang dikembangkan dalam penelitian ini disusun sebagai suatu kerangka pembelajaran yang sistematis dan terstruktur, yang mencakup perumusan tujuan pembelajaran, aktivitas pembelajaran yang dirancang secara berurutan, serta prediksi terhadap proses berpikir dan perkembangan pemahaman siswa. Penyusunan HLT ini dilakukan secara progresif, dimulai dari pengenalan

karakteristik umum bangun ruang sisi lengkung seperti sifat, unsur, dan jaringan-jaring, kemudian dilanjutkan dengan pengembangan konsep luas permukaan berbagai bangun seperti tabung, kerucut, bola, dan bangun gabungan, hingga mencapai pemahaman terhadap konsep volume. Urutan pembelajaran ini disusun dengan mempertimbangkan kesinambungan antartopik dan keterkaitan antar tugas sehingga memungkinkan terjadinya transisi yang bermakna secara konseptual dan kognitif. Selain merepresentasikan struktur konseptual materi secara menyeluruh, HLT ini juga diarahkan untuk mendukung pembelajaran yang bersifat epistemik dan berkelanjutan. Sebagai bagian dari strategi pembelajaran yang berorientasi pada penguatan proses kognitif siswa, teknologi diintegrasikan ke dalam HLT melalui pengembangan e-modul interaktif disertai LKPD baik cetak maupun non cetak untuk setiap individu yang terhubung dengan perangkat visualisasi matematika guna mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran serta memperkuat pemahaman konseptual melalui interaksi dengan representasi visual dan lingkungan belajar yang mendukung.

- d. Desain didaktis hipotetik dalam penelitian ini disusun berdasarkan HLT yang dikembangkan melalui pendekatan metapedadidaktik berparadigma kritis, sebagai jembatan antara pengetahuan teoretis dan praktik pembelajaran. HLT dirancang melalui PDA dan diperkuat oleh struktur penyajian materi yang mengacu pada pengetahuan ilmiah (*scholarly knowledge*), sehingga mendukung kesinambungan antar tugas dan representasi dalam pembelajaran. Desain ini juga merupakan bagian dari proses transposisi didaktik eksternal yang bertujuan menjembatani kesenjangan antara pengetahuan ilmiah dengan materi yang diajarkan di sekolah. Dengan mengintegrasikan identifikasi hambatan belajar, teori situasi didaktis, kontrak didaktis, serta pendekatan fenomenologi hermeneutik dalam analisis retrospektif, desain ini menghadirkan struktur pembelajaran yang sistemik, epistemik, dan adaptif terhadap dinamika kelas. Kehadiran antisipasi didaktis dan pedagogis memperkuat hubungan dalam segitiga didaktis, sementara integrasi teknologi melalui e-modul interaktif dan aplikasi visualisasi matematika memperluas potensi *extended*

cognition siswa. Penyusunan sembilan topik pembelajaran secara bertahap dan sistematis, disertai penggunaan berbagai bentuk representasi, turut memperkaya pemahaman konseptual siswa. Dengan demikian, desain ini tidak hanya menyajikan pembelajaran yang terstruktur dan bermakna, tetapi juga mendorong pengembangan kompetensi matematis yang berkelanjutan.

- e. Implementasi desain didaktis hipotetik dalam pembelajaran bangun ruang sisi lengkung mencerminkan bagaimana desain didaktis yang dibuat menciptakan situasi didaktis dan adidaktis yang mendorong siswa membangun pengetahuannya melalui integrasi teknologi dan pendekatan konstruktivis. Selama sembilan pertemuan, pembelajaran dirancang secara sistematis untuk mengembangkan cara memahami dan cara berpikir siswa melalui aktivitas eksploratif, visualisasi dinamis, eksperimen konkret, serta diskusi kolaboratif. Intervensi guru melalui antisipasi didaktis dan pedagogis turut membantu mengatasi hambatan ontogenik, didaktik dan epistemologis siswa, terutama pada materi yang menuntut pemahaman abstrak seperti luas dan volume bangun ruang lengkung. Teknologi berperan sebagai dukungan kognitif eksternal yang memperluas kapasitas berpikir (*extended cognition*) siswa dan memperkuat proses institusionalisasi konsep. Pendekatan ini sekaligus menunjukkan upaya adaptasi materi formal ke dalam bentuk yang kontekstual dan dapat dengan mudah diakses siswa, serta mengintegrasikan penalaran abstrak dengan representasi visual. Secara keseluruhan, desain didaktis hipotetik yang dirancang dengan urutan pembelajaran dan struktur pengetahuan yang epistemik dan sistemik ini berhasil meningkatkan pemahaman konseptual siswa melalui perpaduan antara rancangan didaktis, pemanfaatan teknologi, dan praktik kelas yang kolaboratif.
- f. Refleksi kritis terhadap implementasi di kelas dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian antara rancangan awal dan realitas pembelajaran, mengidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perbaikan, mengeksplorasi hambatan belajar yang muncul, serta mengkaji keterbatasan yang ditemukan selama proses penelitian. Temuan menunjukkan bahwa desain didaktis yang dikembangkan mampu mendukung proses akuisisi pengetahuan secara aktif dan reflektif, serta

memfasilitasi perkembangan cara berpikir matematis yang diperluas melalui pemanfaatan teknologi, representasi visual, dan interaksi sosial. Penyusunan materi yang berjenjang, penggunaan media pembelajaran yang relevan, serta penyediaan aktivitas eksploratif berbasis teknologi terbukti efektif dalam memperkuat proses institusionalisasi konsep dan mendukung pemahaman konseptual yang lebih mendalam. Sejumlah revisi dilakukan pada tahap implementasi, antara lain penyederhanaan redaksi instruksi tugas agar lebih komunikatif, pengurangan tingkat kompleksitas soal awal guna menghindari hambatan psikologis, serta peningkatan dukungan guru melalui antisipasi didaktis dan pedagogis, terutama pada materi yang menuntut keterampilan berhitung dan penguasaan konsep prasyarat. Penyesuaian terhadap media pembelajaran dan urutan tugas juga dilakukan untuk memastikan pembelajaran berlangsung secara terstruktur dan mendukung perkembangan berpikir siswa secara bertahap dan bermakna. Dengan demikian, desain didaktis empiris yang dihasilkan dalam penelitian ini berhasil meminimalkan potensi hambatan belajar, baik dalam proses difusi pengetahuan oleh guru maupun dalam proses akuisisi pengetahuan oleh siswa.

6.2 Implikasi Hasil Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam lima dimensi, yaitu teoretis, metodologis, kebijakan, praktis, dan sosial-empiris. Setiap dimensi mencerminkan dampak hasil penelitian terhadap pengembangan pengetahuan, praktik pembelajaran matematika, serta perumusan kebijakan pendidikan, khususnya dalam konteks perancangan desain didaktis disertai dengan integrasi teknologi berbasis PDA.

6.2.1. Implikasi Teoretis dan Konseptual

Penelitian ini memperluas ranah teori pendidikan matematika melalui pembuatan desain didaktis dengan kerangka analisis baru, yakni *praxeological-didactical analysis* (PDA), yang memadukan teori prakseologi dan sudut pandang didaktis. PDA memungkinkan analisis terhadap keterkaitan struktur tugas

pembelajaran (tipe tugas, level tugas, dimensi proses kognitif dan struktur pengetahuan mengacu pada taksonomi Bloom yang telah direvisi, teknik, teknologi, dan teori) dengan potensi munculnya LO. Keterkaitan antar tugas juga dapat dinyatakan melalui justifikasi yang diberikan menurut kriteria keterkaitan konten/konteks dan keterkaitan dimensi proses kognitif dan struktur pengetahuan yang saling terhubung membentuk suatu alur pembelajaran. Kontribusi teoretis ini menguatkan pemahaman bahwa struktur pengetahuan, sistematika alur pembelajaran dan komposisi tugas memiliki dampak langsung terhadap kesiapan dan pemakaian belajar siswa. Secara khusus, penelitian ini menegaskan pentingnya menyusun alur pembelajaran secara epistemik dan sistemik, yaitu berdasarkan struktur logis perkembangan konsep dan kohesi antara elemen tugas, untuk membangun landasan berpikir matematis yang kuat. Pendekatan ini mendukung pengembangan *extended mathematical cognition* siswa, terutama dalam membentuk pemahaman terhadap representasi geometris pada materi BRSL.

6.2.2. Implikasi Metodologis

Penelitian ini memperkenalkan PDA sebagai pendekatan analisis kualitatif yang sistematis dan dapat direplikasi. PDA tidak hanya memfasilitasi identifikasi hambatan belajar, tetapi juga berfungsi sebagai alat validasi koherensi epistemik dan sistemik dari suatu desain didaktik atau desain materi ajar guru. Penggunaan perangkat metodologis seperti tabel prakseologis, hubungan antar tugas, identifikasi *learning trajectory*, deskripsi potensi *learning obstacle*, dan teknik triangulasi (termasuk diskusi kelompok terfokus/FGD) memperkuat validitas dan keandalan temuan. Hal ini menunjukkan bahwa PDA dapat digunakan sebagai pendekatan metodologis lintas konteks dan jenjang, sekaligus sebagai fondasi pengembangan desain didaktis yang berbasis analisis mendalam terhadap struktur konten dan perkembangan struktur pengetahuan siswa dalam proses kognitifnya.

6.2.3. Implikasi Kebijakan

Hasil penelitian ini memberikan dua arah implikasi kebijakan yang saling melengkapi. Pertama, melalui pendekatan *praxeological didactical analysis* (PDA),

perancangan kurikulum dan perangkat ajar dapat difokuskan pada struktur dan urutan tugas yang selaras dengan perkembangan kognitif serta potensi hambatan belajar siswa, bukan semata pada isi konten. Kedua, integrasi teknologi dalam desain didaktis mendorong kebijakan yang menempatkan alat bantu digital khususnya pada materi bangun ruang sisi lengkung yang membutuhkan representasi visual seperti penggunaan e-modul, aplikasi GeoGebra, video pembelajaran, dan alat peraga konkrit yang menarik serta media interaktif lainnya sebagai sarana dalam pembelajaran untuk mendukung *extended cognition* siswa. Ini diperlukan secara khusus dalam memahami objek geometri tiga dimensi melalui representasi yang bersifat dinamis dan manipulatif.

6.2.4. Implikasi Praktis

Penelitian ini menghasilkan desain didaktis empiris yang aplikatif dan dapat digunakan langsung oleh guru dalam pembelajaran BRSK. Desain tersebut memuat urutan pembelajaran berbasis tugas yang dirancang secara sistemik dan epistemik, serta didukung dengan integrasi teknologi seperti GeoGebra 3D, e-modul, video pembelajaran, dan alat peraga digital. Secara praktis, pendekatan ini memberikan ruang bagi siswa untuk membangun pemahaman terhadap konsep bangun ruang sisi lengkung tidak hanya secara simbolik, tetapi juga melalui representasi visual dan manipulatif yang memperluas kapasitas berpikir spasial mereka (*extended mathematical cognition*). Guru pun terbantu dalam mengarahkan pembelajaran yang adaptif terhadap kesulitan siswa melalui menerapkan antisipasi didaktis-pedagogis yang lebih konkret.

6.2.5. Implikasi Sosial dan Empiris

Secara empiris, penelitian ini memberikan pemetaan komprehensif terhadap berbagai LO yang dialami siswa SMP dalam memahami konsep-konsep pada materi bangun ruang sisi lengkung. Temuan ini memberikan justifikasi untuk menyusun *Hypothetical Learning Trajectory* dan desain didaktis hipotesis yang responsif terhadap hambatan tersebut, serta memvalidasinya menjadi desain didaktis empirik. Inovasi ini berpotensi memperluas cakupan praktik

pengembangan instruksional di kelas, mendorong guru untuk mengintegrasikan teknologi dalam kerangka berpikir analitik, serta menciptakan model difusi pengetahuan geometri yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Secara empiris, penelitian ini memberikan pemetaan yang komprehensif terhadap berbagai bentuk LO yang dialami siswa SMP dalam memahami konsep pada materi bangun ruang sisi lengkung. Temuan ini menjadi dasar penyusunan HLT dan desain didaktis hipotesis yang secara eksplisit merespons hambatan belajar, kemudian divalidasi menjadi desain didaktis empirik.

Secara sosial, penelitian ini mendorong praktik pengajaran yang reflektif dan inovatif melalui penyusunan alur pembelajaran yang epistemik dan sistemik, yaitu alur yang disusun berdasarkan struktur konseptual materi dan urutan berpikir siswa yang mencerminkan perkembangan kognitifnya. Dalam konteks ini, guru berperan sebagai agen difusi pengetahuan yang membangun kondisi belajar untuk membantu siswa mengakuisisi pengetahuan secara aktif dan bermakna. Pemanfaatan teknologi digital seperti E-Modul, GeoGebra dan video pembelajaran, gambar representasi yang menarik, serta alat peraga konkret, memperkuat proses ini melalui representasi visual dan manipulatif yang mendukung perkembangan daya pikir spasial siswa.

6.3 Rekomendasi

Berdasarkan simpulan dan implikasi hasil penelitian yang telah diuraikan, berikut beberapa rekomendasi yang dapat menjadi acuan untuk pengembangan praktik pendidikan matematika di masa depan:

- a. Proses transposisi didaktik, baik internal maupun eksternal, perlu diperhatikan secara serius dalam penyusunan materi ajar matematika, khususnya pada topik bangun ruang sisi lengkung. Transposisi didaktik eksternal mencakup proses pemilihan, penyesuaian, pengorganisasian, dan penyajian pengetahuan dari ranah ilmiah (*scholarly knowledge*) menjadi bahan ajar yang dapat diimplementasikan dalam konteks pembelajaran tertentu. Sementara itu, transposisi didaktik internal mengacu pada proses adaptasi materi ajar agar sesuai dengan kebutuhan dan realitas pembelajaran di kelas, termasuk

pengembangan tugas, penilaian, serta penyesuaian terhadap kondisi dan keterbatasan institusi maupun guru. Oleh karena itu, perhatian terhadap kedua bentuk transposisi ini sangat penting untuk memastikan bahwa transformasi pengetahuan dari bentuk teoritis ke bentuk operasional yang diajarkan (*taught knowledge*) dan dipelajari (*learned knowledge*) dapat berlangsung secara bermakna, relevan, dan efektif bagi siswa.

- b. Penyusunan urutan pembelajaran dan struktur tugas pada penelitian ini didasarkan pada pendekatan epistemik dan sistemik, agar alur belajar yang dirancang selaras dengan perkembangan kognitif siswa dan meminimalkan potensi LO, baik yang bersifat ontogenik, didaktik, maupun epistemologis. Penyusunan HLT dengan pendekatan PDA direkomendasikan sebagai pendekatan metodologis.
- c. Direkomendasikan bahwa dalam pengembangan integrasi teknologi dalam pembelajaran, seperti penggunaan e-modul yang di dalamnya memuat aplikasi GeoGebra, LKPD, alur pembelajaran berbentuk komik dengan representasi visual yang menarik, serta video pembelajaran, tidak hanya difokuskan pada aspek teknis atau estetika semata. Integrasi ini perlu dirancang secara epistemik dan sistemik, dengan tetap memperhatikan aspek teknis secara cermat. Salah satu hal yang penting diperhatikan adalah pemilihan tugas pada awal topik yang dipelajari, yang perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan perkembangan kognitif siswa (yakni tingkat kesulitan tugas tidak melebihi kemampuan siswa). Ketidaksesuaian dalam hal ini dapat berdampak pada waktu pembelajaran yang lebih panjang atau ketidakjelasan materi, karena siswa mengalami kebingungan sejak awal proses pembelajaran.
- d. Direkomendasikan agar guru dapat mengelola waktu dengan baik dalam penerapan LKPD individual yang memuat eksplorasi visual dan tugas kontekstual yang bermakna, guna mendorong keterlibatan aktif setiap siswa dalam proses pembelajaran. Pengelolaan waktu yang kurang optimal dapat menyebabkan terpotongnya alokasi pembelajaran, yang berdampak pada terputusnya pengalaman belajar siswa dan memerlukan penyesuaian ulang pada pertemuan berikutnya.

- e. Penggunaan teknologi dalam pembelajaran sebaiknya difasilitasi melalui kebijakan sekolah yang menyediakan perangkat digital yang terstandar, aman, dan terkontrol, seperti tablet atau komputer sekolah. Kebijakan ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan siswa pada perangkat pribadi, seperti smartphone, yang berpotensi mengganggu konsentrasi dan efektivitas pembelajaran akibat potensi distraksi atau penyalahgunaan selama proses belajar berlangsung. Oleh karena itu, penelitian mendatang disarankan untuk mengeksplorasi integrasi teknologi dalam lingkungan belajar yang didukung oleh perangkat resmi sekolah guna menciptakan suasana pembelajaran yang lebih kondusif, fokus, dan terkendali.
- f. Diperlukan penelitian lanjutan yang mengembangkan desain didaktis pada materi matematika lainnya agar pendekatan ini dapat diterapkan secara lebih luas. Pengembangan ini penting untuk menguji fleksibilitas pendekatan dalam menghadapi karakteristik konsep yang berbeda serta memperluas kontribusinya terhadap peningkatan kualitas pembelajaran matematika, khususnya yang berbasis pada identifikasi learning obstacle dan integrasi teknologi.
- g. Berdasarkan ruang lingkup dan fokus penelitian ini yang terbatas pada materi bangun ruang sisi lengkung, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan untuk mengembangkan desain didaktis pada topik-topik matematika lainnya. Pendekatan *praxeological-didactical analysis* yang digunakan terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan mengatasi learning obstacle, serta dalam merancang strategi pembelajaran yang terintegrasi dengan teknologi. Oleh karena itu, pendekatan ini memiliki potensi untuk diterapkan secara lebih luas dalam pengembangan desain didaktis pada berbagai topik matematika, guna memperkuat aspek epistemik, sistemik, dan keberlanjutan pembelajaran.
- h. Terakhir, berdasarkan ruang lingkup dan fokus penelitian ini yang terbatas pada materi bangun ruang sisi lengkung, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan untuk mengembangkan desain didaktis pada materi geometri lainnya dengan tetap menerapkan pendekatan *praxeological-didactical analysis* (PDA) sebagai bagian dari analisis prospektif dalam kerangka

Didactical Design Research (DDR). Penerapan PDA dalam penelitian ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan mengatasi *learning obstacle*, serta dalam merancang strategi pembelajaran yang terintegrasi dengan teknologi. Oleh karena itu, perluasan penerapan pendekatan ini diharapkan dapat memperkuat integrasi sistemik antara organisasi materi dan struktur *praxeology*, serta mendukung perancangan lintasan belajar yang lebih kontekstual dan adaptif terhadap karakteristik peserta didik.