

Ulasan Sistematis

Peran teknologi haptic *virtual reality* dalam pendidikan kedokteran gigi: Ulasan sistematis

Mohammad Agiel Abraari^{1*}

Achmad Syawqie²

Nanan Nur'aeny³

*Korespondensi

mohammad21003@mail.unpad.ac.id

Submisi: 22 Juli 2025

Revisi : 31 September 2025

Penerimaan: 27 Agustus 2025

Publikasi Online: 31 Oktober 2025

DOI: [10.24198/pjdrs.v9i3.65494](https://doi.org/10.24198/pjdrs.v9i3.65494)

¹Program Studi Sarjana Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Padjadjaran, Indonesia

²Departemen Oral Biologi, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia

³Departemen Ilmu Penyakit Mulut, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia

ABSTRAK

Pendahuluan: Mahasiswa kedokteran gigi membutuhkan keterampilan motorik klinis yang baik, namun pelatihan konvensional seperti manekin memiliki keterbatasan dalam memberikan umpan balik sensorik. Teknologi *haptic virtual reality* (VR) menawarkan solusi modern dengan stimulasi taktil yang realistis, namun efektivitasnya masih perlu dikaji secara sistematis. Studi ini bertujuan mengevaluasi efektivitas *haptic VR* dalam meningkatkan keterampilan motorik, pengetahuan, dan kepercayaan diri mahasiswa.

Metode: Penelitian menggunakan metode *systematic review* dengan pedoman PRISMA, mencakup artikel RCT atau observasional mengenai *haptic VR* dalam pendidikan kedokteran gigi dari *database* PubMed, Scopus, dan ScienceDirect. Analisis dilakukan secara naratif karena heterogenitas studi. **Hasil:** Terdapat 12 artikel yang menunjukkan *haptic VR* efektif dalam pelatihan prosedur seperti preparasi karies, scaling, veneer, dan pulpotomi. Mahasiswa mengalami peningkatan koordinasi tangan-mata, pemahaman prosedur, dan kepercayaan diri. Efektivitas dipengaruhi oleh kualitas perangkat, pengalaman pengguna, dan integrasi dalam kurikulum. **Simpulan:** *haptic VR* belum menggantikan metode tradisional, namun berpotensi sebagai alat bantu yang efektif, khususnya dalam pelatihan endodontik, periodontik, konservasi, prostodontik, dan kedokteran gigi anak.

KATA KUNCI: Haptic Virtual Reality, Keterampilan Motorik, Pendidikan Kedokteran Gigi

The role of virtual reality haptic technology in dental education: a Systematic Review

ABSTRACT

Introduction: Dental students are required to develop strong clinical motor skills, but conventional training tools such as mannequins often lack realistic sensory feedback. Haptic virtual reality (VR) technology offers a modern solution by providing tactile simulation, though its effectiveness compared to traditional methods remains unclear. This study aims to evaluate the effectiveness of haptic VR in improving motor skills, knowledge, and confidence among dental students. **Methods:** A systematic review was conducted following PRISMA guide lines, including RCT or observational studies on haptic VR in dental education from PubMed, Scopus, and ScienceDirect databases. Data were analyzed narratively due to study heterogeneity. **Results:** A total of 12 studies show that haptic VR is effective for training procedures such as caries preparation, scaling, veneer preparation, and pulpotomy. Students demonstrated improved hand-eye coordination, procedural understanding, and confidence. However, effectiveness depends on device quality, user experience, and integration into the curriculum. **Conclusions:** Haptic VR cannot fully replace traditional methods but serves as a valuable complementary tool, especially in endodontics, periodontics, and as a supplementary aid in conservative dentistry, prosthodontics, and pediatric dentistry.

KEY WORDS: Haptic Virtual Reality, Motoric Skill, Dentistry

PENDAHULUAN

Pendidikan kedokteran gigi melibatkan berbagai keterampilan motorik dalam praktiknya. Keterampilan motorik perlu dilatih menggunakan *training model* agar mahasiswa dapat beradaptasi sebelum menangani pasien.^{1,2} *Training model* yang digunakan dapat berupa *phantom* atau manekin yang dirancang menyerupai kepala manusia termasuk gigi, gusi, dan rahang, yang memungkinkan mahasiswa untuk mempraktikkan prosedur seperti pencabutan gigi, penambalan, dan persiapan mahkota.^{1,2} Kini *Training model* dapat berupa teknologi *haptic virtual reality* (VR).

Haptic berasal dari Bahasa Yunani "haptesthai," yang berarti "dari atau berkaitan dengan indra peraba." Teknologi *haptic* dapat menstimulasi sensasi tekanan, getaran, dan indra lain yang berhubungan dengan sentuhan.³ Mekanisme ini memungkinkan pengguna untuk menyentuh, merasakan, memanipulasi atau mengubah objek yang ada di lingkungan virtual dengan sensasi nyata.⁴ Teknologi *haptic* kini sudah banyak dijumpai di berbagai bidang, termasuk dalam pendidikan kedokteran gigi.^{4,5}

Teknologi *haptic VR* dalam pendidikan kedokteran gigi mulai berkembang pada tahun 2000. *Haptic* dalam pendidikan kedokteran gigi digunakan untuk melatih keterampilan motorik saat melakukan prosedur klinis. Keberagaman bidang ilmu kedokteran gigi mendukung konsep kecerdasan buatan dengan dental simulator yang mengaplikasikan teknologi *haptic*.⁵ Contoh kecerdasan buatan yaitu *DentSim™ Simulator* dalam bidang ilmu Konservasi Gigi untuk tindakan preparasi gigi, *Image Guided Implantology* dalam bidang ilmu Implan, dan *PerioSim™* dalam bidang ilmu Periodontik.⁵ Kini teknologi *haptic* hadir menawarkan alternatif untuk metode pelatihan konvensional dalam beberapa bidang Kedokteran Gigi lain seperti bidang Konservasi Gigi, Prostodontik, Pedodontik, dan Periodontik.⁶⁻¹⁰

Teknologi *haptic* terdiri atas dua komponen utama, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Komponen perangkat keras meliputi alat interaksi seperti stylus atau joystick yang terhubung dengan sistem transduser elektromekanis untuk menghasilkan gaya balik (*force feedback*) sehingga pengguna dapat merasakan sensasi tekanan, getaran, atau resistensi dari objek virtual.¹⁰ Selain itu, sistem ini juga menstimulasi umpan balik kinestetik, yang melibatkan persepsi terhadap gaya, gerakan, dan posisi sendi pengguna selama latihan.¹⁰

Sementara itu, perangkat lunak *haptic* berfungsi dalam proses *haptic rendering*, yaitu perhitungan gaya dan reaksi dari objek virtual yang mencakup deteksi tumbukan, pemodelan permukaan, dan perhitungan gaya respons yang realistis.²⁴ Kombinasi antara perangkat keras dan lunak ini memungkinkan simulasi prosedur klinis yang imersif, membantu mahasiswa kedokteran gigi melatih keterampilan motorik halus dan koordinasi tangan-mata dengan sensasi menyerupai praktik nyata.²⁴

Teknologi *haptic VR* mulai dilakukan uji coba pada tahun 2010. Penelitian Szabolcs (2024) menunjukkan bahwa pelatihan dengan metode *haptic virtual reality* menghasilkan preparasi mahkota gigi yang lebih sesuai dengan yang diharapkan dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional.⁶ Mahasiswa (kelompok studi) melaporkan bahwa penggunaan *haptic virtual reality* memungkinkan mereka berlatih lebih banyak, serta meningkatkan tingkat kepercayaan diri dan koordinasi mata-tangan.⁸ Beberapa publikasi dari negara yang mengaplikasikan teknologi *haptic*, seperti Cina, Amerika Serikat, dan Inggris menunjukkan bahwa teknologi *haptic* menawarkan banyak keuntungan bagi mahasiswa, seperti meningkatkan kepercayaan diri, pengetahuan, dan keterampilan teknis.¹⁰⁻¹²

Pembelajaran motorik di kedokteran gigi dapat diasah melalui latihan simulasi dengan menggunakan manekin atau model gigi.^{1,2} Inovasi teknologi *haptic virtual reality* kini hadir menawarkan alternatif untuk latihan simulasi keterampilan motorik. Teknologi *haptic* memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan lingkungan virtual melalui indra peraba dan menerima umpan balik taktil berupa gaya, getaran, atau gerakan, yang memberikan pengalaman belajar yang imersif dan seolah nyata.⁴

Hal ini mendukung teori experiential yang dikemukakan oleh David Kolb. Teori experiential David Kolb menyebutkan bahwa seseorang dapat belajar lebih baik dengan mengalaminya secara langsung.¹³ Teknologi *haptic* juga memberikan *feedback* terhadap hasil pekerjaan, yang memungkinkan mahasiswa untuk mengetahui kesalahan atau keberhasilan dalam teknik yang dilakukan. Lingkungan pembelajaran yang aman dan waktu penggunaan yang fleksibel menjadi keunggulan tambahan dari teknologi *haptic virtual reality*.¹

Uraian diatas menunjukkan diperlukan kajian lebih lanjut perlu dilakukan untuk menilai efektivitas penggunaan teknologi *haptic VR*, apakah dapat sebanding atau bahkan melebihi metode konvensional simulasi yang selama ini digunakan dalam pendidikan kedokteran gigi. Penelitian ini memiliki kebaruan karena menyajikan tinjauan sistematis terbaru mengenai penggunaan teknologi *haptic virtual reality* dalam pendidikan kedokteran gigi serta membandingkannya dengan metode pembelajaran konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas teknologi *haptic virtual reality* dalam meningkatkan keterampilan motorik, pemahaman prosedur, dan kepercayaan diri mahasiswa kedokteran gigi.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *systematic review* sebagai pendekatan untuk mengumpulkan, menilai, dan menyimpulkan temuan dari berbagai studi yang membahas efektivitas penggunaan teknologi *haptic virtual reality (VR)* dalam pendidikan kedokteran gigi. Metode *systematic review* dipilih karena dinilai mampu memberikan bukti yang kuat dengan risiko bias yang minimal, serta memungkinkan peneliti untuk menjawab pertanyaan penelitian secara menyeluruh. Proses *systematic review* dilakukan secara terstruktur, dimulai dari penentuan pertanyaan penelitian, penetapan kriteria inklusi dan eksklusi, pengembangan strategi pencarian literatur, hingga evaluasi kualitas dan sintesis hasil penelitian. Penelitian ini disusun berdasarkan pedoman PRISMA (Preferred Reporting Items for *Systematic Reviews* and Meta-analyses) untuk memastikan transparansi, konsistensi, dan kualitas pelaporan yang baik.

Database yang digunakan dalam pencarian artikel meliputi PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar. Penelitian ini dilaksanakan di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran Jatinangor, mulai pada bulan Februari 2025. Adapun kriteria inklusi meliputi artikel yang ditulis dalam bahasa Inggris atau Indonesia, membahas teknologi *haptic VR* dalam konteks pendidikan kedokteran gigi, diterbitkan dalam 5 tahun terakhir (2020–2025), berasal dari database yang disebutkan sebelumnya, merupakan jenis penelitian randomized controlled trial, dan observasional (cohort, cross-sectional, atau quasi-experimental), dan tersedia dalam bentuk full-text. Sedangkan artikel yang akan dieksklusi adalah artikel yang membahas penggunaan VR atau *Augmented Reality (AR)* saja tanpa *haptic*, dilakukan pada pasien/klinik, berbentuk review atau meta-analisis, serta artikel duplikat dari database yang berbeda.

Langkah pertama dalam prosedur penelitian adalah merumuskan pertanyaan penelitian berdasarkan elemen PICO, yaitu: Population (mahasiswa kedokteran gigi), Intervention (penggunaan *haptic VR*), Comparison (simulasi metode konvensional), dan Outcome (efektivitas penggunaan *haptic VR*). Strategi pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan fitur advanced search dan metode Boolean untuk menggabungkan kata kunci yang relevan. Kata kunci yang digunakan meliputi: ("Haptic" OR "Haptic simulator" OR "Virtual Reality") AND ("Dentistry" OR "Dental training" OR "Dental Education" OR "Simulation"). Selain pencarian database, dilakukan pula pencarian manual untuk memastikan seluruh literatur yang relevan dapat terjaring.

Setelah artikel dikumpulkan, proses seleksi dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, dilanjutkan dengan evaluasi kualitas artikel menggunakan JBI (Joanna Briggs Institute) Critical Appraisal Tools. Penilaian akan dilakukan oleh satu orang dan diverifikasi oleh validator. Artikel yang memenuhi kriteria evaluasi akan dianalisis lebih

lanjut dengan metode sintesis naratif, karena data yang digunakan berasal dari berbagai desain studi dan populasi yang berbeda.

Outcome yang dicari dari artikel-artikel terpilih adalah bagaimana efektivitas pembelajaran menggunakan teknologi *haptic* VR, mencakup keterampilan motorik, kemampuan kognitif, dan kepercayaan diri mahasiswa dalam melakukan tindakan klinis. Untuk pengukuran hasil tersebut menggunakan ukuran yang berbeda-beda sesuai dalam studi yang terpilih. Untuk keterampilan motorik, ukuran yang digunakan biasanya berupa seberapa akurat mahasiswa menyelesaikan tugas, berapa lama waktu yang dibutuhkan, atau penilaian dari dosen dengan checklist. Untuk kepercayaan diri dan persepsi mahasiswa, hasil diambil dari kuesioner atau skala penilaian diri, lalu disajikan dalam bentuk rata-rata atau ringkasan pendapat.

Sintesis naratif dilakukan dengan membaca isi artikel secara menyeluruh, lalu menyusun temuan-temuan ke dalam format tabel berdasarkan elemen-elemen penting seperti nama penulis, tahun, judul, metode penelitian, jenis *haptic* VR yang digunakan, objek yang diuji, hasil, dan simpulan. Untuk menjaga validitas dan meminimalkan bias, seluruh proses ekstraksi dan analisis data dikonfirmasi oleh validator, dan apabila terjadi ketidaksepakatan, maka diskusi dilakukan atau melibatkan validator kedua. Pendaftaran protokol penelitian ini telah dilakukan di PROSPERO dengan ID registrasi CRD420251090286. Protokol ini tersedia dalam bentuk dokumen tertulis, yang dapat diakses melalui PROSPERO.

Tabel 1. Strategi penyusunan pertanyaan penelitian dengan metode PICO

Akronim	Definisi	Penjelasan	Deskripsi pada penelitian ini
P	Populasi	Mahasiswa Kedokteran Gigi	Mahasiswa kedokteran gigi yang sedang menjalani pelatihan keterampilan klinis.
I	Intervensi	Penggunaan <i>Haptic Virtual Reality</i> dalam simulasi Pendidikan Kedokteran Gigi	Penggunaan <i>Haptic Virtual Reality</i> sebagai media simulasi pembelajaran keterampilan klinis.
C	Kontrol atau perbandingan	Penggunaan metode konvensional dalam simulasi pendidikan Kedokteran Gigi	Penggunaan metode konvensional sebagai media simulasi pembelajaran keterampilan klinis.
O	Hasil	Efektivitas penggunaan teknologi <i>Haptic Virtual Reality</i>	Efektivitas pembelajaran, mencakup keterampilan motorik, kemampuan kognitif, dan kepercayaan diri mahasiswa dalam melakukan tindakan klinis.

HASIL

Proses seleksi artikel ditunjukkan pada Diagram 1. Penelitian ini dilaksanakan secara online melalui database Pubmed, Scopus, dan ScienceDirect. Pencarian artikel *haptic* VR berbahasa Indonesia pada database google scholar tidak ditemukan sehingga tidak ada artikel yang didapatkan. Hasil pencarian didapatkan dengan total 47, kemudian dilakukan proses screening berdasarkan judul, abstrak, dan kesesuaian dengan kriteria inklusi serta eksklusi termasuk mengeliminasi duplikasi sehingga menyisakan 12 artikel.

Beberapa artikel yang awalnya teridentifikasi dalam proses pencarian tidak dimasukkan ke dalam analisis akhir karena tidak memenuhi kriteria inklusi. Alasan pengecualian meliputi artikel yang hanya tersedia dalam bentuk abstrak tanpa versi lengkap (full-text), artikel duplikat dari database yang berbeda, serta studi yang dilakukan pada pasien atau dalam setting klinik, bukan pada mahasiswa kedokteran gigi. Selain itu, beberapa artikel dikeluarkan karena menggunakan teknologi virtual reality (VR) atau augmented reality (AR) tanpa komponen *haptic*, sehingga tidak sesuai dengan fokus penelitian ini.

Artikel yang terpilih dianalisa menggunakan Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Tools. Studi ini menggunakan empat jenis alat penilaian, yaitu untuk analytical randomized controlled trial, analytical cohort study, analytical cross-sectional, dan

quasi-experimental studies. Seluruh artikel berhasil memenuhi standar kelayakan berdasarkan JBI, baik untuk studi cross-sectional analitik maupun quasi-eksperimental, sehingga layak dimasukkan dalam analisis penelitian ini.

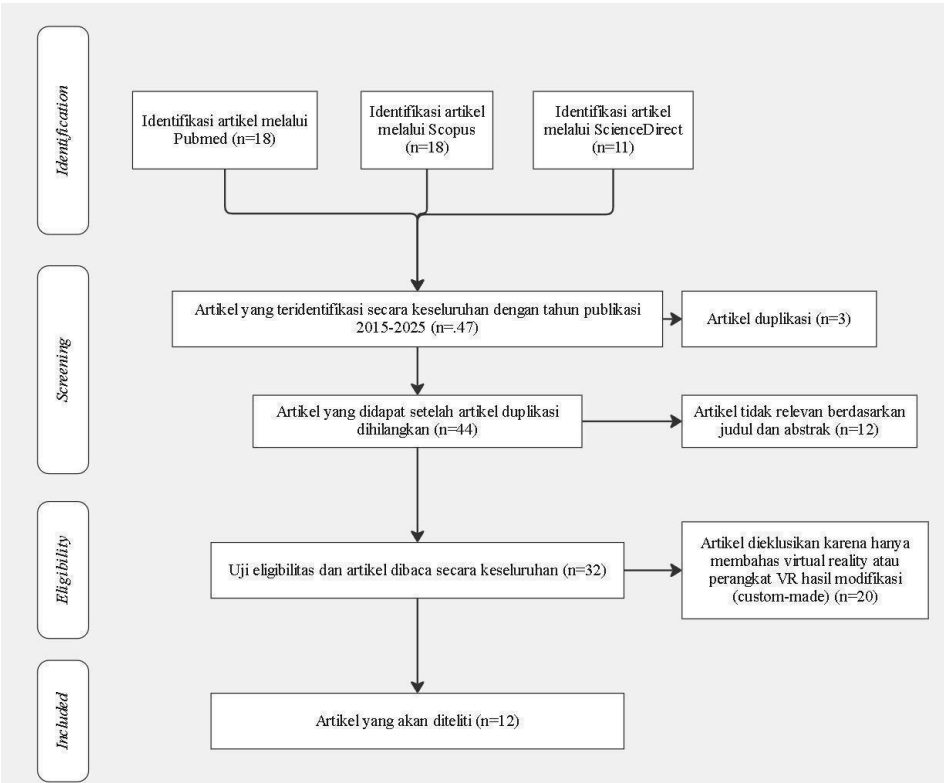


Diagram 1. Diagram alir prisma

Tabel 2. Hasil critical appraisal randomized control studies¹⁴

Jenis Studi	Jumlah Artikel	Rentang Skor JBI (%)	Rata-rata Kelayakan	Kelayakan untuk Analisis
Randomized Controlled Trial (RCT)	7	95–100%	98,6%	Layak dianalisis
Cohort	2	75–80%	76%	Layak dengan catatan minor
Cross-sectional	1	100%	100%	Layak dianalisis
Quasi-experimental	2	100%	100%	Layak dianalisis

Table 3. Karakteristik sampel artikel^{8,17–27}

No	Nama Penulis	Judul Artikel	Tahun Publikasi	Negara	Metode Penelitian
1	Hamdi Hamama, et. al.	Benefits of using virtual reality in cariology teaching	2024	Hong Kong (China)	Randomized controlled study dengan 2 kelompok
2	Yaning Li, et. al.	Effectiveness and Methodologies of Virtual Reality Dental Simulators for Veneer Tooth Preparation Training: Randomized Controlled Trial	2025	China	Randomized Controlled Trial
3	Nebu Philip, et. al.	Effectiveness and Student Perceptions of Haptic Virtual Reality Simulation Training as an Instructional Tool in Pre-Clinical Paediatric Dentistry: A Pilot Pedagogical Study	2023	Qatar	Randomized controlled trial
4	Alaa Daud, et. al.	Enhancing learning experiences in pre-clinical restorative dentistry: the impact of virtual reality haptic simulators	2023	Qatar	Quasi-experimental
5	David Joseph, et. al.	"Distinguishing skill levels with haptic simulation in restorative dentistry: Myth or reality?"	2023	Prancis	Randomized controlled trial

6	Jiarun Fu, et. al.	<i>Effectiveness of typodont, quail egg and virtual simulation for ultrasonic periodontal scaling teaching among pre-clinical students: a randomized trial</i>	2024	Tiongkok	<i>Randomized controlled trial</i>
7	Lea Stoilov, et. al.	<i>Efficacy of Virtual Preparation Simulators Compared to Traditional Preparations on Phantom Heads</i>	2024	Jerman	<i>Quasi-experimental</i>
8	Antonia M. Caley, et. al.	<i>Implementation of Virtual Reality in Preclinical Pediatric Dentistry Learning: A Comparison Between Simodont® and Conventional Methods</i>	2025	Spanyol	<i>Cross-Sectional study</i>
9	Mary A. Baechle, et. al.	<i>Learning Clinical Skills Using Haptic vs. Phantom Head Dental Chair Simulators in Removal of Artificial Caries</i>	2022	UK	<i>Randomized controlled trial</i>
10	Jonathan P. San Diego, et. al.	<i>Practice makes perfect? Association between students' performance measures in an advanced dental simulation course</i>	2022	Virgina (USA)	<i>Cohort study (Retrospektif)</i>
11	Myat Su Yin, et al.	<i>Formative feedback generation in a VR-based dental surgical skill training simulator</i>	2021	Thailand	<i>Randomized controlled trial</i>
12	Octave Nadile Bandiaky, et. al.	<i>Predicting novice dental students' performances in conventional simulation: A prospective pilot study using haptic exercises</i>	2025	Prancis	<i>Cohort study (Prospective)</i>

Table 4. Efektivitas Haptic VR^{8,17-27}

No	Nama Penulis	Sampel	Jenis Haptic VR	Hal yang diujikan	Simpulan
1	Hamdi Hamama, et. al.	76 pre-clinical second-year dental students from the University of Hong Kong 80 fourth-year students from Peking University School and Hospital of Stomatolog y 14 mahasiswa tahun ke-4 undergradu ate dental students at the Qatar University College of Dental Medicine.	Simodont Dental Trainer	Efektivitas simulator VR <i>haptic</i> dalam pelatihan ekskavasi karies (self-confidence, keterampilan klinis, koordinasi tangan-mata)	VR bermanfaat dalam pelatihan praklinik namun tidak bisa menggantikan pelatihan dengan gigi asli sepenuhnya.
2	Yaning Li, et. al.		Simodont (Nissin) & Unidental (China)	Pelatihan preparasi veneer pada insisivus sentral menggunakan simulator vs <i>phantom head</i> dengan variasi urutan pelatihan.	Hasil pelatihan serupa antara VR dan <i>phantom head</i> ; VR efektif sebagai alat pelengkap; urutan pelatihan tidak mempengaruhi hasil akhir secara signifikan.
3	Nebu Philip, et. al.		SIMtoCAR E Dent® (Netherlands)	Kinerja dan persepsi mahasiswa dalam prosedur pulpotomi gigi sulung dengan HVRS dan simulator konvensional	Tidak ada perbedaan signifikan dalam skor kinerja; HVRS dianggap pelengkap bermanfaat namun tidak bisa menggantikan simulator konvensional sepenuhnya.

4	Alaa Daud, et. al.	23 mahasiswa kedokteran gigi tahun ke-3 Universitas Lorraine, Nancy	SIMtoCAR E Dente® (Netherlands)	Efektivitas VRHS dalam pelatihan preparasi kavitas kelas I dan persepsi mahasiswa terhadap penggunaannya	VRHS dianggap bermanfaat sebagai alat bantu pembelajaran manual dexterity, tetapi tidak dapat menggantikan simulator konvensional
5	David Joseph, et. al.	224 mahasiswa kedokteran gigi (93 tahun pertama, 87 tahun ketiga, 44 tahun kelima)	Simodont® (Nissin Dental Products Inc)	Membedakanpd level keterampilan mahasiswa (novice–intermediate–advanced) dalam prosedur restoratif gigi menggunakan tiga latihan (penglihatan langsung, penglihatan tidak langsung, kavitas minimal invasif)	Latihan dengan penglihatan tidak langsung secara signifikan mampu membedakan tingkat keterampilan mahasiswa. Tidak semua latihan cukup diskriminatif. Haptic VR efektif untuk pemantauan perkembangan keterampilan klinis
6	Jiarun Fu, et. al.	108 mahasiswa kedokteran gigi tahun ke-4 Sun Yat-sen University	UniDental VS system (Beijing UniDraw VR Technology Institute)	Efektivitas pelatihan scaling periodontal ultrasonik menggunakan 3 metode: typodont tradisional (TT), telur puyuh (QE), dan simulasi virtual (VS); residual calculus, teknik scaling, dan kepuasan peserta	VS paling efektif dalam penguasaan teknik scaling, terutama untuk sub-gingiva dan area sulit. QE unggul dalam kontrol kekuatan, sedangkan TT lebih baik untuk latihan posisi tubuh dan stabilitas pivot. Integrasi ketiganya disarankan untuk pelatihan menyeluruh
7	Lea Stoilov, et. al.	60 mahasiswa kedokteran gigi University of Bonn (30 kelompok phantom FRA, 30 kelompok HVRS SIM)	Dente® SIMtoCAR E (Vreeland, Belanda)	Efektivitas pelatihan preparasi gigi untuk mahkota penuh menggunakan HVRS dibandingkan simulasi analog tradisional pada phantom head	Hasil menunjukkan kelompok phantom FRA memperoleh nilai yang lebih baik secara signifikan daripada kelompok SIM. HVRS belum setara untuk pelatihan ujian preparasi bagi pemula, namun tetap berguna sebagai alat tambahan untuk pengenalan keterampilan klinis awal.
8	Antonia M. Caley, et. al.	65 mahasiswa kedokteran gigi tahun ke-4 Complutense University of Madrid	Simodont® Dental Trainer (Moog, Belanda)	Perbandingan hasil preparasi gigi (kelas II dan pulpotomi) antara simulasi akrilik (SAT) dan Simodont®; pengaruh pengetahuan teori; persepsi mahasiswa	Nilai preparasi lebih tinggi pada gigi akrilik dibanding Simodont®. Mahasiswa menganggap Simodont® bermanfaat tetapi lebih menyukai metode tradisional. Simodont® efektif sebagai pelengkap pembelajaran, bukan pengganti.
9	Jonathan P. San Diego, et. al.	264 mahasiswa tahun pertama (dua angkatan)	Haptic VR simulator (tidak disebutkan nama dagang)	Efektivitas pelatihan haptik dibanding phantom head untuk preparasi kavitas karies artifisial	Kedua simulator setara dalam hasil, tapi phantom head unggul dalam memegang instrumen & tugas sulit. Haptic berguna sebagai pelengkap, bukan pengganti penuh.
10	Mary A. Baechle,	1.072 mahasiswa	DentSim™	Hubungan antara latihan berulang dan hasil ujian	Skor ujian meningkat signifikan setelah latihan. Praktik berulang dan

	et. al.	kedokteran gigi tahun pertama		simulasi dental (Class I & II)	evaluasi mandiri meningkatkan performa, terutama untuk tugas kompleks.
			Simulator VR buatan Rhienmora et al.,		
11	Myat Su Yin, et al.	30 mahasiswa kedokteran gigi tahun ke-5	dengan dua Geomagic Touch haptic devices	Efektivitas sistem umpan balik formatif berbasis video dalam pembelajaran prosedur akses endodontik	Simulator VR dengan feedback video meningkatkan skor keterampilan signifikan dibanding grup lain. Sistem ini efektif sebagai pelatihan tambahan berbasis objektif.
12	Octave Nadile Bandiaky, et. al.	40 mahasiswa tahun ke-2 (novice)	VirTeaSy Dental® by HRV Simulation	Apakah kegagalan dalam latihan haptic dapat memprediksi kualitas preparasi mahkota di simulator konvensional	Jumlah kegagalan dalam latihan haptic berkorelasi negatif dengan skor preparasi. Haptic efektif untuk deteksi dini kesulitan keterampilan manual mahasiswa.

PEMBAHASAN

Terdapat 12 artikel yang membahas mengenai *haptic* VR efektif dalam pelatihan prosedur seperti preparasi karies, scaling, veneer, dan pulpotomi. Seluruh artikel berhasil memenuhi standar kelayakan berdasarkan JBI, baik untuk studi cross-sectional analitik maupun quasi-eksperimental, sehingga layak dimasukkan dalam analisis penelitian ini.

Haptic VR merupakan teknologi yang dapat menstimulasi sensasi tekanan, getaran, dan indra lain yang berhubungan dengan sentuhan.³ *Haptic* VR dapat digunakan sebagai alat bantu simulasi prosedur klinis dalam pendidikan kedokteran gigi.³ Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *haptic* VR sebanding dengan penggunaan metode konvensional namun tidak cukup lebih unggul.^{8,18–20,23,25} Penelitian oleh Hamama et al.,⁸ yang melibatkan 76 mahasiswa tahun kedua menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan dari hasil penggunaan Simodont® dibandingkan metode tradisional untuk ekskavasi karies.

Temuan serupa dilaporkan oleh Nebu Philip et al.,²³ dalam evaluasi penggunaan SIMtoCARE Dente® untuk prosedur pulpotomi, hasil penelitian menunjukkan tidak adanya peningkatan performa yang signifikan oleh penggunaan *haptic* VR. Penelitian observasional oleh Caleya et al.,²³ Juga menunjukkan hal yang sama, yakni kualitas preparasi gigi anak lebih baik pada penggunaan gigi akrilik (metode konvensional) dibanding Simodont®. Hal ini didukung oleh penelitian Lea Stoilov et al.,²⁵ dengan hasil menunjukkan bahwa kelompok mahasiswa yang berlatih menggunakan *phantom head* (metode konvensional) memperoleh nilai preparasi mahkota yang lebih tinggi secara signifikan dibanding kelompok *haptic* VR, sehingga Lea Stoilov et al.,²⁵ menyimpulkan studinya bahwa simulator virtual belum mampu menggantikan peran metode konvensional, terutama pada mahasiswa yang belum berpengalaman, karena keterbatasan realisme taktil dan ergonomi kerja.

Hasil apabila dikaitkan dengan *Experiential Learning Theory* (ELT) yang dikembangkan oleh David Kolb, tahap pertama yang paling mendasar dalam pembelajaran motorik adalah *Concrete Experience* (pengalaman nyata). Menurut Kolb, seseorang dapat belajar secara efektif ketika mengalami langsung suatu peristiwa secara fisik dan sensorik, sebelum kemudian melakukan refleksi dan konseptualisasi.¹³ Hal ini menekankan bahwa umpan balik sensorik dari metode simulator *haptic* VR masih kurang realistis dibandingkan metode konvensional, sehingga metode konvensional lebih mendukung pembentukan skema gerakan. Beberapa mahasiswa pada penelitian Hamama et al.,⁸ mengomentari seperti umpan balik taktil yang diberikan oleh *haptic* VR Simulator

tidak menyerupai pengalaman nyata saat bekerja dengan gigi asli, terutama karena tekstur gigi pada *haptic VR Simulator* yang dipakai terasa terlalu lunak atau bur terlalu mudah mengikis permukaan. Selain itu, kekuatan handpiece dalam simulasi dianggap terlalu besar, sehingga mengurangi realisme prosedur yang dilakukan.

Meskipun begitu, mahasiswa penelitian-penelitian tersebut mendukung simulator *haptic VR* menjadi alat pelengkap pembelajaran.^{8,18–20,23,25} Hal ini dikarenakan teknologi *haptic VR* bersifat interaktif dan minim risiko cedera.^{18,20} Dengan begitu mahasiswa dapat berlatih lebih banyak sehingga meningkatkan kepercayaan diri mereka dalam melaksanakan prosedur klinis.⁸ Ketika mahasiswa mendapatkan umpan balik yang konsisten dan bisa merasakan kemajuan dalam koordinasi gerakan, mereka akan lebih yakin akan kemampuan motoriknya sehingga meningkatkan kepercayaan diri mereka.^{20,29}

Kelebihan lain dari teknologi *haptic VR* adalah lebih formatif dan objektif.^{24,26} Penelitian oleh Myat Su Yin et al.,²⁶ menekankan manfaat pemberian umpan balik formatif otomatis dalam prosedur endodontik seperti preparasi access opening.²⁶ Teknologi *haptic VR* memungkinkan mahasiswa mendapatkan koreksi spesifik dan objektif atas kesalahan selama latihan, yang secara signifikan meningkatkan performa dibanding kelompok lain tanpa umpan balik otomatis. Evaluasi diri seperti hal ini memperkuat tahap *Reflective Observation* dan *Abstract Conceptualization* dalam Teori David Kolb, karena mahasiswa mampu menilai kesalahan dan memperbaikinya.¹³

Studi retrospektif oleh Mary A. Baechle et al.,²⁴ di Virginia, Amerika Serikat mengevaluasi hubungan antara jumlah latihan, skor latihan, waktu pengerjaan, dan durasi evaluasi diri terhadap nilai ujian akhir pada mahasiswa yang menggunakan simulator DentSim™ (simulator *haptic VR*) untuk latihan preparasi kelas I dan II. Hasil menunjukkan bahwa data skor latihan yang tinggi dengan data waktu evaluasi diri yang lebih banyak berasosiasi positif dengan pencapaian akademik, sementara pengerjaan yang terlalu lama justru berkorelasi negatif.

Kelebihan-kelebihan tersebut, terdapat beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa teknologi *haptic VR* cukup efektif dalam mengasah keterampilan motorik.^{21,26} Jiarun Fu et al.,²¹ justru menemukan bahwa kelompok yang menggunakan teknologi *haptic VR* meraih nilai total tertinggi, terutama dalam kasus yang lebih rumit. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan bidang yang dilatih. Jiarun Fu membandingkan efektivitas tiga metode pelatihan—*virtual simulation* (VS), *typodont* (TT), dan *quail egg* (QE)—untuk prosedur scaling periodontal pada 108 mahasiswa kedokteran gigi tahun keempat di Sun Yat-sen University. Hasilnya menunjukkan bahwa kelompok VS memiliki performa terbaik, mengindikasikan potensi teknologi ini dalam meningkatkan keterampilan motorik kompleks.

Sistem formative feedback pada *simulator haptic VR* memberikan umpan balik otomatis berupa video yang menampilkan jenis, lokasi, dan waktu terjadinya kesalahan selama prosedur *access opening* endodontik. Kesalahan seperti *overcut*, *undercut*, dan *perforation* ditandai dengan warna berbeda pada video latihan, sehingga mahasiswa dapat melihat bagian yang salah dan memperbaiki tekniknya. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Myat Su Yin et al.,²⁶ menunjukkan bahwa kelompok mahasiswa yang berlatih menggunakan simulator VR dengan umpan balik video mengalami peningkatan performa yang signifikan dibandingkan kelompok kontrol. Temuan ini membuktikan bahwa teknologi *haptic VR*, ketika dilengkapi dengan sistem umpan balik formatif otomatis, efektif dalam mengasah keterampilan motorik halus, khususnya dalam konteks prosedur endodontik.

Hal ini dapat dijelaskan oleh metode *blocked practice* seperti yang disebutkan oleh El-Kishawi et al.,²⁸ Latihan berulang (*blocked practice*) lebih efektif untuk keterampilan kompleks seperti instrumentasi saluran akar, karena metode ini membuat otak tidak terlalu terbebani dan memberi kesempatan untuk melakukan gerakan yang sama berulang kali sampai terasa lebih otomatis.²⁸ Sejalan dengan Teori Skema, pembelajaran motorik adalah proses yang terus-menerus di mana skema pengenalan (*recognition schema*) dan skema penarikan (*recall schema*) diperbarui setiap kali suatu gerakan dilakukan. Pengalaman berlatih dengan simulator VR secara berulang memperkaya *recall*

schema dan *recognition schema* yang memungkinkan mahasiswa merespons lebih baik terhadap tugas motorik pada kesempatan berikutnya.²⁹ Jika dikaitkan kembali dengan teori David Kolb, tahapan ini merupakan tahap *Active Experimentation*, di mana menerapkan teori atau kesimpulan pada tahap-tahap sebelumnya.¹³

Beberapa faktor dapat memengaruhi efektivitas penggunaan teknologi Haptic VR dalam pendidikan kedokteran gigi. Salah satu faktor utama adalah kualitas umpan balik taktil yang dihasilkan oleh perangkat simulasi.²⁰ Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Alaa Daud et al.,²⁴ di Qatar University menunjukkan bahwa kualitas umpan balik yang diberikan simulator *haptic VR* (VRHS) berperan besar dalam membentuk pengalaman belajar mahasiswa. Faktor lain yang memengaruhi efektivitas teknologi haptic VR dalam pendidikan kedokteran gigi adalah tingkat pengalaman dan keterampilan awal mahasiswa.²⁵

Penelitian oleh San Diego et al.,²⁵ menunjukkan bahwa mahasiswa dengan latar belakang keterampilan motorik yang lebih baik atau berpengalaman dengan teknologi *haptic* dapat memanfaatkan simulator *haptic VR* lebih efektif. Studi ini menggunakan desain cluster randomized controlled trial yang melibatkan 264 mahasiswa kedokteran gigi tahun pertama di King's College London. Para peserta dibagi menjadi dua kelompok: satu menggunakan simulator konvensional *phantom head*, dan satu lagi menggunakan simulator *haptic* berbasis VR untuk latihan preparasi kavitas pada gigi dengan karies buatan. Hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada tugas preparasi sederhana antara kedua kelompok.

Dalam tugas yang lebih kompleks, kelompok simulator *haptic VR* menunjukkan performa yang lebih rendah, terutama dalam teknik memegang instrumen.²⁵ Temuan ini mengindikasikan bahwa mahasiswa dengan pengalaman terbatas atau yang baru memulai pelatihan memerlukan waktu lebih lama untuk beradaptasi dengan teknologi ini. Hal ini dibuktikan oleh penelitian retrospektif yang dilakukan oleh Mary A. Baechle et al.,²⁴ pada mahasiswa tahun pertama di Amerika Serikat yang menunjukkan bahwa skor ujian meningkat secara signifikan setelah mahasiswa menjalani latihan berulang dalam jangka waktu panjang menggunakan simulator *haptic VR*.

Seluruh 12 studi secara garis besar sejalan dengan pendapat El-Kishawi yang menyebutkan bahwa efektivitas pembelajaran keterampilan motorik halus tidak hanya dipengaruhi oleh media pembelajaran, tetapi juga oleh faktor instruksional, kapasitas kognitif mahasiswa, dan keragaman praktik.²⁸

Dilihat dari hasil tabel 6, beragam jenis teknologi *haptic VR* telah digunakan dalam pendidikan kedokteran gigi. Terdapat berbagai aplikasi *haptic VR* pada berbagai bidang dan tingkat efektivitas yang bervariasi.^{8,17-27} Jenis-jenis *haptic VR* tersebut adalah Simodont®, SIMtoCARE®, UniDental®, DentSim™, dan VirTeaSy®. Masing-masing jenis memiliki kekuatan tersendiri tergantung konteks penggunaannya, mulai dari pembelajaran konservasi dasar, periodontik, prostodontik, dan endodontik.^{8,17-27}



Gambar 1. Perangkat SIMtoCARE Dente®²³

Salah satu perangkat paling umum adalah Simodont® Dental Trainer (Moog, Belanda), yang digunakan dalam studi oleh Hamama et al.,⁸ Caley et al.,¹⁷ dan David Joseph et al.,²³ Simodont® banyak dimanfaatkan dalam pelatihan eksavasi karies, preparasi kavitas, dan prosedur pediatrik, seperti pulpotomi. Meskipun tidak selalu menghasilkan performa teknis yang lebih baik dibanding metode konvensional, teknologi ini efektif dalam meningkatkan kepercayaan diri, koordinasi motorik, serta mengidentifikasi level keterampilan mahasiswa berdasarkan tingkat kesulitan tugas.¹⁷

Jenis lain yang sering digunakan adalah SIMtoCARE Dente® dan SIMtoCARE Dent® (Netherlands), seperti dalam studi oleh Alaa Daud et al.,²⁴ Nebu Philip et al.,²³ dan Lea Stoilov et al.,²⁵ Simulator ini banyak diterapkan pada bidang konservasi gigi (preparasi kavitas kelas I) dan prostodontik (preparasi mahkota penuh). Hasil dari berbagai studi menunjukkan bahwa meskipun simulator ini tidak menggantikan metode *phantom head* dalam pelatihan ujian klinis, mereka tetap dinilai bermanfaat dalam penguatan keterampilan awal dan latihan mandiri (Stoilov, 2024).

Dalam bidang periodontik, terdapat UniDental® VS yang dikembangkan oleh Beijing UniDraw Virtual Reality Technology Research Institute Co., Ltd. pada tahun 2014 dan telah digunakan di 40 sekolah kedokteran gigi di Tiongkok. Studi oleh Jiarun Fu et al.,²¹ menggunakan UniDental® VS system (Beijing UniDraw) untuk pelatihan ultrasonic scaling periodontal, menunjukkan hasil yang sangat positif. Simulator VR dalam penelitian ini bahkan dianggap lebih efektif daripada *typodont* dan media *quail egg*, terutama dalam penguasaan teknik scaling subgingiva dan area sulit.²¹ Ini menunjukkan bahwa haptic VR memiliki potensi besar pada prosedur yang membutuhkan akurasi tekanan dan visualisasi mendalam.

Simulator DentSim™, seperti yang digunakan dalam penelitian retrospektif oleh Bacechle et al.,²⁴ digunakan pada pelatihan kelas lanjutan preparasi kavitas I dan II. Sistem ini terbukti efektif dalam mendukung pembelajaran melalui praktik berulang dan evaluasi mandiri, yang berkorelasi positif dengan peningkatan performa ujian akhir. Jenis simulator lain termasuk VirTeaSy Dental® (HRV Simulation, Prancis), yang digunakan dalam studi oleh Bandiaky et al.,²⁷ untuk mendeteksi dini kelemahan keterampilan motorik mahasiswa pada preparasi mahkota.

Secara umum, beberapa efektivitas teknologi *haptic* VR belum melampaui metode konvensional dalam hal hasil akhir keterampilan teknis, terutama pada mahasiswa pemula dan untuk prosedur taktik yang kompleks seperti preparasi mahkota.^{8,18–20,23,25} Namun, keunggulan teknologi ini terletak pada aspek pendukung pembelajaran, seperti peningkatan kepercayaan diri, kesiapan menghadapi simulasi klinis, refleksi mandiri, serta penyediaan umpan balik spesifik.^{8,18–20,23,25}

Hasil apabila diikaitkan dengan studi EL Kishawi pada tahun 2021 yang berjudul *How to Improve Fine Motor Skill Learning in Dentistry*, pada prosedur seperti preparasi saluran akar, stimulasi taktil memegang peran yang lebih penting dibandingkan dengan penglihatan.²⁸ Dokter gigi harus dapat mengenali bentuk dan sifat objek melalui indera peraba, termasuk mengidentifikasi tekstur, dimensi, struktur spasial, dan temperatur. Proses ini melibatkan persepsi kulit, seperti mengenali batas atau permukaan kasar, serta kemampuan proprioseptif untuk merasakan posisi dan pergerakan tangan meskipun tanpa pengamatan visual secara langsung.²⁸

Dengan begitu, dalam beberapa konteks tertentu seperti pelatihan endodontik atau periodontal scaling, efektivitas *haptic* VR bahkan dapat melebihi metode tradisional, tergantung pada jenis perangkat dan kualitas simulasi yang digunakan.^{21,26} Oleh karena itu, bidang periodonti dan endodonti dapat dianggap sebagai area yang paling potensial untuk penerapan teknologi ini secara lebih luas dan efektif, disusun oleh konservasi gigi, prostodontik, dan kedokteran gigi anak sebagai pelengkap pembelajaran awal dan media latihan mandiri yang aman.^{8,18–20,23,25}

SIMPULAN

Haptic VR belum terbukti lebih unggul dari metode tradisional dalam melatih keterampilan motorik, kecuali jika didukung umpan balik realistis dan latihan berulang. Efektivitas dipengaruhi oleh kualitas simulasi, kompleksitas tugas, dan pengalaman mahasiswa. Teknologi ini paling efektif untuk endodontik dan periodontik, serta bermanfaat sebagai alat bantu di bidang konservasi, prostodontik, dan kedokteran gigi anak.

Implikasi dari *systematic review* ini menunjukkan bahwa teknologi *haptic virtual reality* berpotensi menjadi alat bantu pembelajaran yang efektif dalam pendidikan kedokteran gigi. Teknologi ini dapat melengkapi metode konvensional dengan memberikan pengalaman latihan yang interaktif, aman, dan objektif. Integrasinya ke dalam kurikulum praklinik dapat meningkatkan keterampilan motorik, kepercayaan diri, serta kesiapan mahasiswa menghadapi prosedur klinis nyata.

Kontribusi Penulis: Kontribusi peneliti "Konseptualisasi, M.A., A.S., dan N.N.; metodologi, M.A.; perangkat lunak, M.A.; validasi, A.S., and N.N.; analisis formal, M.A., A.S., dan N.N.; investigasi, M.A., A.S., dan N.N.; sumber daya, M.A.; kurasi data, M.A., A.S., dan N.N.; penulisan—penyusunan draft awal, M.A., A.S., dan N.N.; penulisan—tinjauan dan penyuntingan, M.A., A.S., dan N.N.; visualisasi, M.A., A.S., dan N.N.; supervisi, A.S., dan N.N.; administrasi proyek, M.A.; perolehan pendanaan, M.A. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan."

Pendanaan: Penelitian ini tidak mendapatkan dana dari siapapun.

Pernyataan Ketersediaan Data: Ketersediaan data penelitian akan diberikan izin oleh semua peneliti melalui email korespondensi dengan memperhatikan etika dalam penelitian.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bandiaky ON, Lopez S, Hamon L, Clouet R, Soueidan A, LeGuehennec L. Impact of haptic simulators in preclinical dental education: a systematic review. *J Dent Educ*. 2024;88:366–379. <https://doi.org/10.1002/jdd.13426>
2. Patil S, Bhandi S, Awan KH, Licari FW, Di Blasio M, Ronsivalle V, et al. Effectiveness of haptic feedback devices in preclinical training of dental students—a systematic review. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):410. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03410-3>.
3. Srimathidevi M, Grace CJC, Sivaranjani NE, Nisharni B, Jayaraman G. Design and analysis of smart haptic technology design. *Int J Mech Eng*. 2020. ISSN (Online): 2582-0974
4. Anshory FM, Kurniawan T, Hidayat W. Implementasi teknologi haptic glove dengan teknologi virtual reality. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa*; 2021. Bandung. p.45-52
5. Nur'aeny N, Syawqie A. Pemanfaatan kecerdasan buatan di mata multidisiplin keilmuan: Persembahan insan unggul Universitas Padjadjaran. Bandung: Unpad Press; 2023. ISBN : 9786233523226
6. Felszeghy S, Mutluay M, Liukkonen M, Flacco N, Bakr MM, Rampf S, et al. VR haptic and phantom head dental training: Does the order matter? *J Dent Educ*. 2024;88(1):e1364. <https://doi.org/10.3290/j.iicd.b4451364>.
7. Caley AM, Martín Vacas A, Mourelle Martínez MR, de Nova García MJ, Gallardo López NE. Implementation of virtual reality in preclinical pediatric dentistry learning. *Dent J*. 2025;13(2):51. <https://doi.org/10.3390/dj13020051>.

8. Hamama H, Harrison KY, Murbay S. Benefits of using virtual reality in cariology teaching. *BMC Med Educ.* 2024;24(1):1051. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05980-4>.
9. Fu J, Lao Z, Gao L, Wu S, Huang X, Zhao C, et al. Effectiveness of typodont, quail egg and virtual simulation for ultrasonic periodontal scaling teaching. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):86. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03767-5>
10. Lima BC, Grillo R, Reis BAQ, Pinto LAPF, Melhem Elias F. Haptic devices as an educational approach for oral and maxillofacial surgical procedures. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2024;125(5):101856. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2024.101856>.
11. Pulijala Y, Ma M, Pears M, Peebles D, Ayoub A. Effectiveness of immersive virtual reality in surgical training. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(5):1065–1072. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.10.002>.
12. Hsu MH, Chang YC. Haptic and force feedback technology in dental education: A bibliometric analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(2):1318. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021318>.
13. El Kishawi M, Khalaf K, Winning T. How to improve fine motor skill learning in dentistry. *Int J Dent.* 2021;2021:6674213. <https://doi.org/10.1155/2021/6674213>.
14. Miller CL, Manderfeld M, Harsma EA. Learning theories: Experiential learning. *J Educ Pract.* 2020;11(12):20–25.
15. Ficanysha Y, Neviyarni N. Pembelajaran keterampilan motorik. Padang: Edukatif; 2021. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan.* 2021;3(1):66–74. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v3i1.180>.
16. El-Kishawi M, Khalaf K, Winning T. Understanding motor skill learning as related to dentistry. *Dent J.* 2021. <https://doi.org/10.3390/dj9060068>
17. Gali S, Patil A. The technology of haptics in dental education. *J Dent Orofac Res.* 2018;14(2):70–75.
18. Barker TH, Stone JC, Sears K, Klugar M, Tufanaru C, Leonardi-Bee J, et al. The revised JBI critical appraisal tool for the assessment of risk of bias for randomized controlled trials. *JBIC Evid Synth.* 2023;21(3):494–506. <https://doi.org/10.11124/JBIES-22-00430>.
19. Moola S, Munn Z, Tufanaru C, Aromataris E, Sears K, Sftcu R, Currie M, Lisy K, Qureshi R, Mattis P, Mu P. Systematic reviews of etiology and risk. In: Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z (eds). *JBIC Manual for Evidence Synthesis.* Adelaide (AU): JBI; 2024. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-24-06>.
20. Barker TH, Habibi N, Aromataris E, Stone JC, Leonardi-Bee J, Sears K, Hasanoff S, Klugar M, Tufanaru C, Moola S, Munn Z. The revised JBI critical appraisal tool for the assessment of risk of bias for quasi-experimental studies. *JBIC Evid Synth.* 2024;22(3):378–388. <https://doi.org/10.11124/JBIES-23-00268>
21. Joseph D, Davril J, Mortier É, Martrette JM, Tran N, Corne P, Leriche A, Wajsbrot N, Perrin J-P, Cuisinier F, Renaud M. Distinguishing skill levels with haptic simulation in restorative dentistry. *Eur J Dent Educ.* 2023;27(5):837–846. <https://doi.org/10.1111/eje.12939>.
22. Li Y, Ye H, Wu W, Li J, Zhao X, Liu Y, et al. Effectiveness and methodologies of virtual reality dental simulators for veneer tooth preparation training: a randomized controlled trial. *J Med Internet Res.* 2025; 27: e63961. <https://doi.org/10.2196/e63961>
23. Philip N, Ali K, Duggal M, Daas H, Nazzal H, et al. Effectiveness of haptic virtual reality simulation in pre-clinical paediatric dentistry. *Int J Environ Res Public Health.* 2023. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054226>
24. Daud A, Matoug-Elwerfelli M, Khalid A, Abu-Eid R, Zary N, Banerjee A. The impact of virtual reality haptic simulators in pre-clinical restorative dentistry: a qualitative enquiry into dental students' perceptions. *BMC Oral Health.* 2024;24:988. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04704-w>.
25. Stoilov L, Stephan F, Stark H, Enkling N, Kraus D, Stoilov M. Efficacy of virtual preparation simulators vs. phantom heads. *Dent J.* 2024;12(8):259. doi:10.3390/dj12080259.
26. Baechle MA, Gottlieb R, Carrico CK, Brody ER. Students' performance in advanced dental simulation. *J Dent Educ.* 2022;86(11):1415–1421. <https://doi.org/10.1002/jdd.13017>.
27. San Diego JP, Newton TJ, Sagoo AK, Aston TA, Banerjee A, Quinn BFA, Stanforth R, Patel J, Lynch CD, Aziz K, Wilson NHF. Haptic vs. phantom head simulators in caries removal. *Dent J.* 2022;10(11):198. <https://doi.org/10.3390/dj10110198>.
28. Su Yin M, Haddawy P, Suebnukarn S, Kulapichitr F, Rhiemora P, Jatuwat V, Dailey M, Nakanishi Y. Formative feedback generation in VR-based dental simulator. *J Biomed Inform.* 2021;115:103659. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103659>.
29. Bandiaky ON, Loison V, Lopez S, Piroli F, Volteau C, Hamon L, Brézulier D, Valenti A, Catros S. Predicting dental students' performance using haptic simulation. *J Dent Sci.* 2025;20(1):102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.10.023>.