

RESEARCH ARTICLE

PENGEMBANGAN PROTOTIPE ANATOMI PAYUDARA PINTAR (SMART BREAST MODEL) BERBASIS TEKANAN UNTUK SIMULASI PERAWATAN PAYUDARA DAN LAKTASI

1. Iil Dwi Lactona, Program Studi Ilmu Keperawatan, STIKES Dian Husada Mojokerto
 2. Luthfiah Nur Aini, Program Studi Profesi Ners, STIKES Dian Husada Mojokerto
 3. Eko Agus Cahyono, Program Studi Keperawatan, Akademi Keperawatan Dian Husada Mojokerto
- Korespondensi : ilmayraqueen@gmail.com

ABSTRAK

Kesenjangan antara teori dan praktik klinis dalam pendidikan kebidanan dan keperawatan maternal, khususnya pada keterampilan kompleks seperti perawatan payudara dan pijat oksitosin, menjadi masalah mendasar yang memerlukan solusi inovatif. Media pembelajaran konvensional berupa model payudara statis dinilai tidak memadai karena tidak mampu memberikan umpan balik fisiologis yang realistis, sehingga mahasiswa kurang percaya diri dan kompeten saat menghadapi pasien nyata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji fungsi Prototipe Anatomi Payudara Pintar (Smart Breast Model) berbasis tekanan yang dapat mensimulasikan respons let-down reflex melalui tetesan cairan saat ditekan, guna menyediakan media praktikum yang interaktif dan mendekati kondisi klinis sesungguhnya. Penelitian pengembangan ini mengadopsi model Borg & Gall yang disederhanakan dalam sepuluh tahap sistematis, mulai dari studi pendahuluan hingga diseminasi. Hasil validasi oleh ahli materi dan media (N=9) menunjukkan bahwa prototipe mencapai tingkat validitas "Sangat Valid" dengan skor rata-rata 91,1% pada tahap akhir, dimana aspek keselamatan pengguna dan rekomendasi penggunaan meraih nilai sempurna (100%). Uji coba pengguna terhadap mahasiswa dan dosen (N=40) menghasilkan skor usability yang excellent (SUS: 82,5) dan realisme yang tinggi (4,31/5,0), serta peningkatan signifikan secara statistik ($p < 0,01$) pada kompetensi psikomotor mahasiswa. Analisis menunjukkan bahwa keunggulan utama prototipe terletak pada kemampuannya memberikan hubungan sebab-akibat yang jelas antara teknik pijat dan respons fisiologis, sehingga secara efektif menjembatani kesenjangan teori-praktik. Pembahasan mengonfirmasi bahwa prototipe yang dihasilkan tidak hanya layak dan dapat diterima, tetapi juga lebih efektif dibanding model konvensional. Meskipun demikian, aspek kemudahan pemeliharaan dan realisme tekstur masih memerlukan penyempurnaan pada pengembangan selanjutnya. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menghasilkan sebuah invensi pendidikan yang siap implementasi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran keterampilan klinis maternal.

Kata Kunci : Prototipe, Smart Breast Model, Simulasi, Perawatan Payudara, Laktasi

PENDAHULUAN

Permasalahan mendasar dalam pendidikan kebidanan dan keperawatan maternal adalah kesenjangan antara teori dan praktik klinis, khususnya dalam penguasaan keterampilan psikomotor yang kompleks dan sensitif seperti perawatan payudara dan manajemen laktasi. Mahasiswa seringkali hanya mempelajari teknik-teknik penting seperti pijat oksitosin, perawatan puting susu, atau penanganan pembengkakan payudara secara teoritis atau melalui demonstrasi pasif pada model statis (Anis, 2021). Padahal, keterampilan ini memerlukan pemahaman mendalam tentang anatomi, fisiologi respons jaringan terhadap tekanan, serta teknik palpasi dan manipulasi yang tepat. Minimnya media simulasi yang realistis dan interaktif menyebabkan mahasiswa masuk ke dalam situasi klinis nyata dengan pengalaman praktik yang sangat terbatas. Dampaknya, mereka kurang percaya diri, membutuhkan waktu adaptasi lebih lama di klinik, dan berpotensi menyebabkan ketidaknyamanan atau bahkan risiko pada pasien akibat teknik yang belum terasah dengan baik (Komani et al, 2024).

Lebih spesifik lagi, media praktikum konvensional yang tersedia seperti model payudara dari silikon atau plastik yang statis memiliki keterbatasan fungsional yang signifikan. Model tersebut tidak dapat memberikan umpan balik (feedback) fisiologis yang krusial, seperti simulasi aliran ASI (dalam bentuk tetesan cairan) sebagai respons terhadap tekanan dan pijatan yang benar pada teknik pijat oksitosin. Akibatnya, mahasiswa kesulitan untuk mengevaluasi apakah tekanan yang mereka aplikasikan sudah tepat, berada di area yang benar, dan telah menghasilkan "efek" yang diharapkan (Indrianita et al, 2022). Mereka tidak dapat mengalami secara langsung hubungan sebab-akibat antara tindakan mereka dengan respons fisiologis payudara. Kondisi ini berdampak pada rendahnya *competency confidence* dan keterampilan teknis mahasiswa. Oleh karena itu, diperlukan sebuah inovasi media pembelajaran berupa prototipe anatomi payudara pintar yang mampu berinteraksi dan memberikan respons real-time terhadap interaksi pengguna. Pengembangan model berbasis tekanan ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan tersebut dengan menyediakan pengalaman simulasi yang lebih imersif dan mendekati kondisi nyata, sehingga secara langsung dapat meningkatkan kualitas pembelajaran praktikum dan mempersiapkan kompetensi klinis mahasiswa dengan lebih baik (Barbieri et al, 2024).

Penelitian sebelumnya secara konsisten menunjukkan bahwa penggunaan phantom atau model konvensional untuk latihan perawatan payudara dan laktasi memberikan dampak positif dasar terhadap peningkatan kompetensi mahasiswa kebidanan atau keperawatan, namun dengan keterbatasan yang signifikan. Studi oleh Dashti et al. (2015; Nasiri et al, 2023) dan Martin et al (2022) menemukan bahwa mahasiswa yang menggunakan model payudara silikon sederhana menunjukkan peningkatan yang lebih baik dalam aspek psikomotor dasar, seperti teknik memegang payudara dan arah pijatan, dibandingkan kelompok yang hanya belajar secara teoritis. Namun, capaian kemampuan klinis mereka seringkali terhambat saat harus berhadapan dengan pasien nyata, karena model konvensional gagal mereplikasi variasi kondisi klinis seperti tekstur jaringan yang berbeda, respons fisiologis (seperti let-down reflex atau keluarnya ASI), serta umpan balik tekanan yang tepat. Akibatnya, meskipun mahasiswa terampil dalam prosedur baku di laboratorium, mereka masih mengalami kecemasan dan ketidakpastian dalam menerjemahkan keterampilan tersebut ke dalam konteks pasien yang dinamis dan beragam.

Dalam hal prestasi akademik dan kemampuan edukasi, literatur mengungkapkan bahwa model konvensional lebih berperan sebagai alat bantu visual dan peraba statis, yang dampaknya tidak menyeluruh. Penelitian evaluatif oleh Chuisano & Anderson (2020)

menunjukkan bahwa penggunaan phantom konvensional mampu meningkatkan nilai keterampilan praktikum dan pemahaman prosedural mahasiswa secara signifikan. Namun, prestasi dalam bentuk kemampuan untuk melakukan edukasi atau konseling laktasi yang komprehensif kepada ibu menyusui masih rendah. Mahasiswa kesulitan menjelaskan proses fisiologi yang dinamis karena model yang digunakan tidak dapat mendemonstrasikan hubungan antara stimulasi tekanan dan respons keluarannya ASI. Studi oleh Brentnall et al. (2022) lebih lanjut menyimpulkan bahwa ketiadaan elemen interaktif dan umpan balik realistis pada model konvensional membatasi kemampuan mahasiswa dalam mengembangkan clinical reasoning dan keterampilan komunikasi edukatif yang persuasif. Mereka cenderung hanya mampu menyampaikan instruksi mekanis tanpa dapat memberikan penjelasan yang mendalam dan meyakinkan berdasarkan simulasi pengalaman yang mendekati nyata, yang justru merupakan inti dari kompetensi konseling laktasi yang efektif.

Phantom atau model breastcare konvensional yang selama ini digunakan dalam praktikum kebidanan dan keperawatan umumnya berupa replika statis dari payudara dan areola yang terbuat dari bahan elastomer seperti silikon, latex, atau vinil dengan tingkat kelembutan yang menyerupai jaringan payudara. Model ini sering dipasang pada torso setengah badan atau berupa modul payudara mandiri. Tujuan utamanya adalah sebagai alat peraga untuk mengenalkan anatomi dasar dan melatih keterampilan motorik kasar dalam teknik perawatan payudara, seperti latihan *breast care*, pemijatan untuk stimulasi oksitosin, serta posisi pelekatan (*latching*) bayi dalam simulasi menyusui. Manfaat utama model konvensional ini terletak pada daya tahannya, kemudahan perawatan, biaya produksi yang relatif terjangkau, serta dapat digunakan berulang kali oleh banyak mahasiswa. Keberadaannya telah menjadi fondasi penting dalam pembelajaran psikomotor dasar sebelum mahasiswa melakukan praktik pada pasien sungguhan (Kholidati et al, 2013).

Meski bermanfaat, phantom konvensional memiliki sejumlah keterbatasan mendasar yang mengurangi realisme dan efektivitas pembelajaran. Keterbatasan utama adalah sifatnya yang pasif dan tidak responsif. Model ini tidak dapat memberikan umpan balik atau respons fisiologis terhadap tindakan yang dilakukan. Sebagai contoh, tekanan pijatan untuk stimulasi oksitosin tidak menghasilkan respons seperti pengeluaran ASI (dalam bentuk tetesan cairan simulasi), sehingga mahasiswa tidak dapat mengevaluasi apakah teknik dan tekanan yang mereka berikan sudah tepat dan efektif. Selain itu, variasi kondisi klinis seperti pembengkakan (*engorgement*) atau penyumbatan saluran ASI tidak dapat disimulasikan. Bahan yang digunakan juga seringkali memiliki tekstur dan kompresibilitas yang terbatas, tidak sepenuhnya meniru kelembutan dan dinamika jaringan payudara serta puting yang sesungguhnya. Keterbatasan ini menyebabkan adanya gap antara keterampilan yang dilatih di laboratorium dengan realitas praktik klinis, di mana interaksi dan respons dari pasien menjadi komponen kunci yang harus dikuasai.

Pengembangan prototipe anatomi payudara pintar (*Smart Breast Model*) merupakan inovasi berbasis tekanan yang dirancang sebagai phantom breastcare yang realistis dan interaktif. Model ini meniru anatomi payudara wanita dewasa, lengkap dengan struktur puting (*nipple*) dan areola yang responsif. Bahan utama yang digunakan adalah silikon medis atau elastomer sintesis bertekstur mirip kulit dan jaringan payudara untuk memberikan sensasi palpasi yang autentik. Di dalamnya, terdapat sistem saluran dan reservoir internal yang menampung cairan simulasi ASI (air atau larutan khusus). Mekanisme intinya adalah sebuah sensor tekanan (*pressure sensor*) yang terintegrasi dengan katup solenoid atau sistem membran elastis. Ketika tekanan tertentu diterapkan pada area tertentu—seperti

dalam simulasi pijat oksitosin atau kompresi areola sensor akan mengaktifkan katup, sehingga menyebabkan cairan menetes dari puting secara realistis. Struktur rangka dalam dapat menggunakan bahan termoplastik (seperti PLA atau ABS) hasil cetak 3D untuk menopang bentuk dan menempatkan komponen elektronik, sementara kulit luarnya dirancang untuk tahan terhadap tekanan berulang dan pembersihan.

Tujuan utama pengembangan prototipe ini adalah untuk menyediakan alat peraga praktikum yang memiliki umpan balik (feedback) fisiologis langsung, sehingga meningkatkan kualitas pembelajaran keterampilan klinis dalam perawatan payudara dan manajemen laktasi. Secara spesifik, tujuannya adalah: (1) mensimulasikan respons fisiologis payudara (let-down reflex) melalui tetesan cairan berbasis tekanan, (2) melatih keterampilan psikomotor mahasiswa dalam teknik pijat oksitosin dan perawatan payudara pascapersalinan dengan standar tekanan yang tepat, dan (3) mengurangi kecemasan dan meningkatkan kepercayaan diri mahasiswa sebelum melakukan praktik pada pasien nyata. Manfaatnya sangat signifikan, baik dari aspek pendidikan maupun klinis. Bagi institusi pendidikan, alat ini menjadi media pembelajaran yang konsisten, terukur, dan dapat digunakan berulang tanpa risiko, mendukung pembelajaran mandiri (self-directed learning). Bagi mahasiswa kebidanan atau keperawatan, phantom ini memberikan pengalaman simulasi yang mendekati realita, sehingga mengasah kompetensi teknis dan keputusan klinis dalam menangani masalah menyusui, engorgement, atau mastitis. Pada akhirnya, pengembangan model ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas asuhan maternal melalui pendidikan kesehatan yang lebih efektif dan berbasis teknologi.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji fungsi prototipe anatomi payudara pintar (smart breast model) berbasis tekanan yang dapat mensimulasikan respons fisiologis payudara secara realistis, khususnya dalam menghasilkan tetesan cairan (simulasi ASI) ketika diberikan tekanan sesuai teknik perawatan payudara dan pijat oksitosin, guna menyediakan media praktikum yang interaktif, aman, dan efektif untuk meningkatkan kompetensi psikomotor serta pemahaman prosedural mahasiswa kebidanan atau keperawatan dalam keterampilan klinis maternal

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan mengadopsi model pengembangan Borg and Gall yang disederhanakan menjadi tujuh tahapan utama untuk menciptakan produk yang valid, praktis, dan efektif. Tahapan tersebut meliputi: (1) Studi Pendahuluan dan Pengumpulan Informasi, melalui observasi kebutuhan praktikum di institusi pendidikan kebidanan dan analisis literatur terkait simulator medis; (2) Perencanaan dan Perancangan Produk Awal, mencakup perancangan desain anatomi 3D dan sistem mekano-hidrolik; (3) Pengembangan Produk Awal (Prototipe I), yaitu merealisasikan desain menjadi produk fisik awal; (4) Uji Coba Terbatas dan Evaluasi Awal oleh ahli materi (dosen kebidanan) dan ahli media (teknisi simulator); (5) Revisi Produk (Prototipe II) berdasarkan masukan uji ahli; (6) Uji Coba Lapangan Terbatas terhadap sejumlah mahasiswa kebidanan; dan (7) Revisi dan Produksi Final (Prototipe III) sebagai produk akhir yang siap diimplementasikan. Metode ini dipilih karena sistematis, iteratif, dan berfokus pada perbaikan berkelanjutan berdasarkan umpan balik pengguna.

1. Tahapan Pembuatan Prototipe

Pembuatan prototipe dilakukan secara bertahap dengan pendekatan hybrid material, menggabungkan kekuatan struktural fiberglass dan realisme jaringan lunak silikon. Tahap 1: Pembuatan Cetakan dan Struktur Utama. Cetakan negatif torso setengah badan dan payudara dibuat berdasarkan model anatomi standar. Struktur dasar (torso) dicetak dengan fiberglass reinforced plastic (FRP) untuk memberikan kekakuan, daya tahan, dan sebagai rumah (housing) bagi semua komponen internal. Tahap 2: Pembuatan Payudara Simulatif. Payudara dicetak secara terpisah menggunakan silicone elastomer dengan tingkat kekenyalan (shore hardness) yang menyerupai jaringan payudara manusia. Di dalamnya, tertanam sistem saluran dan reservoir internal yang menyerupai sinus laktiferus. Tahap 3: Integrasi Sistem dan Perakitan. Komponen mekanis utama, yaitu mekanisme diafragma atau kantong elastis bertekanan yang dihubungkan ke reservoir cairan (simulasi ASI), dipasang di dalam struktur fiber. Payudara silikon kemudian dipasang secara permanen di atasnya, dengan lubang puting yang terhubung ke sistem saluran. Sistem tekanan diatur agar respon tetesan cairan hanya terpicu saat tekanan pada area tertentu (simulasi pijat oksitosin) mencapai ambang batas tertentu.

2. Instrumen Pengujian

Pengujian prototipe menggunakan instrumen yang dirancang untuk mengukur aspek validitas, fungsi teknis, dan respons pengguna. Pertama, lembar validasi ahli (expert judgment) yang diberikan kepada dua ahli kebidanan / keperawatan dan satu ahli teknologi pembelajaran/media untuk menilai validitas isi (kelengkapan anatomi, kesesuaian dengan prosedur klinis) dan validitas konstruk (keterpaduan sistem). Kedua, alat ukur kinerja teknis seperti pressure gauge digital untuk mengukur konsistensi dan ambang tekanan yang memicu tetesan, serta alat ukur volume untuk memastikan akurasi dan konsistensi aliran cairan simulasi. Ketiga, kuesioner usability dan realisme yang diberikan kepada pengguna (dosen dan mahasiswa) untuk menilai aspek kepraktisan, kemudahan penggunaan, realisme tekstur, dan realisme respons model terhadap simulasi pijat oksitosin. Keempat, lembar observasi untuk mendokumentasikan kemampuan pengguna dalam melakukan seluruh prosedur perawatan payudara dan pijat oksitosin secara berurutan menggunakan prototipe.

3. Mekanisme Pengujian Prototipe

Pengujian dilakukan secara bertahap sesuai siklus Borg and Gall. Tahap Uji Ahli (Expert Testing): Prototipe I diuji oleh ahli untuk mengevaluasi desain anatomi, kesesuaian prosedur, dan keamanan material. Hasilnya menjadi dasar revisi menuju Prototipe II. Tahap Uji Fungsi Teknis (Technical Function Testing): Prototipe II diuji di laboratorium untuk memverifikasi keandalan sistem. Pengujian meliputi: (a) Uji Tekanan dan Respons, dengan menekan area simulasi pijat oksitosin secara berulang sambil mencatat tekanan minimal yang dibutuhkan dan konsistensi tetesan; (b) Uji Daya Tahan (durability test) dengan melakukan simulasi pemakaian intensif dalam siklus tertentu; dan (c) Uji Kebocoran pada seluruh sistem hidrolik internal. Tahap Uji Pengguna Terbatas (Limited User Testing): Prototipe II yang telah direvisi diujicobakan kepada sejumlah kecil mahasiswa kebidanan dan keperawatan sebanyak 20 orang dalam simulasi praktikum. Kemampuan psikomotor dan tanggapan subjektif mereka diukur melalui kuesioner dan observasi. Data dari semua tahap pengujian dianalisis secara kualitatif (untuk masukan revisi) dan kuantitatif deskriptif (untuk skor validitas

dan usability), yang kemudian menjadi dasar penyempurnaan final menuju Prototipe III yang siap digunakan.

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil penelitian uji validasi kesesuaian Prototipe Anatomi Payudara Pintar (Smart Breast Model) berbasis tekanan untuk simulasi perawatan payudara dan laktasi dengan materi pembelajaran, diperoleh data sebagai berikut :

1. Validasi kesesuaian prototipe

Tabel 1. Hasil validasi kesesuaian prototipe anatomi payudara pintar (smart breast model) berbasis tekanan untuk simulasi perawatan payudara dan laktasi dengan materi pembelajaran

No	Aspek Penilaian	Persentase Nilai	
		Tahap I	Tahap II
1	Akurasi representasi anatomi bentuk dan struktur payudara manusia	78,0	95,6
2	Realisme ukuran dan bentuk areola dan puting yang proporsional	75,0	93,4
3	Kesesuaian untuk simulasi teknik perawatan payudara dasar (pembersihan, perawatan puting)	80,0	97,8
4	Kesesuaian untuk pelatihan teknik pijat oksitosin pada area dan tekanan yang benar	74,0	91,2
5	Realisme respons tetesan dalam mensimulasikan let-down reflex (refleks pengeluaran ASI)	70,0	86,6
6	Kesesuaian untuk simulasi awal teknik pelekatan (latch-on) dalam praktik menyusui	68,0	82,2
7	Potensi peningkatan pemahaman mahasiswa tentang fisiologi laktasi	76,0	93,4
8	Kualitas dan kesesuaian material kombinasi fiber dan silikon (kuat, aman)	74,0	91,2
9	Realisme tekstur dan kekenyalan payudara silikon mendekati jaringan manusia	72,0	84,4
10	Daya tahan (durability) konstruksi prototipe terhadap tekanan berulang	70,0	86,6
11	Konsistensi dan keandalan mekanisme tetesan	68,0	82,2
12	Kemudahan kebersihan, sanitasi, dan pengisian ulang	62,0	75,6
13	Keselamatan pengguna (tidak ada bagian tajam/berbahaya)	90,0	100
14	Kemudahan penggunaan (usability) untuk simulasi	76,0	88,8
15	Kelayakan keseluruhan sebagai media alat peraga praktikum	80,0	95,6
16	Keefektifan dibandingkan model konvensional (tanpa respons tetesan)	84,0	97,8
17	Rekomendasi untuk diuji-cobakan dalam pembelajaran mahasiswa	92,0	100
Jumlah rata-rata		75,9	91,1
Kriteria		Sangat valid	Sangat valid

Sumber : Data primer penelitian

Berdasarkan hasil pengumpulan data validasi kesesuaian prototipe yang dilakukan dalam dua tahap, dapat disimpulkan bahwa Smart Breast Model telah memenuhi kriteria sebagai media pembelajaran yang sangat valid untuk digunakan dalam praktikum kebidanan dan keperawatan. Secara keseluruhan, prototipe mengalami peningkatan yang signifikan dengan persentase rata-rata validitas yang meningkat dari 75,9% pada tahap awal menjadi 91,1% pada tahap akhir, yang mengindikasikan bahwa proses iterasi desain berdasarkan umpan balik ahli berhasil secara substansial. Peningkatan tertinggi terlihat pada aspek keselamatan pengguna dan rekomendasi uji coba, yang keduanya mencapai nilai sempurna (100%), disusul oleh keefektifan dibandingkan model konvensional (97,8%) dan kesesuaian untuk simulasi teknik perawatan payudara dasar (97,8%). Temuan ini secara kuantitatif membuktikan bahwa prototipe tidak hanya aman dan layak, tetapi juga dianggap lebih unggul secara fungsional dibandingkan alat peraga statis yang telah ada, serta mendapatkan dukungan penuh dari para ahli untuk diimplementasikan dalam setting pendidikan.

Meskipun secara agregat mencapai kategori sangat valid, analisis per aspek mengungkapkan dua area kritis yang memerlukan perhatian lebih dalam pengembangan selanjutnya. Aspek kemudahan kebersihan, sanitasi, dan pengisian ulang mencatat persentase terendah baik pada tahap I (62,0%) maupun tahap II (75,6%), yang mengonfirmasi bahwa desain sistem hidrolis dan pemeliharaan prototipe merupakan tantangan teknis utama. Demikian pula, aspek realisme tekstur dan kekenyalan (84,4%) serta realisme respons tetesan (86,6%) meskipun telah memenuhi standar valid masih menunjukkan ruang untuk peningkatan guna mendekati pengalaman simulasi kepada kondisi fisiologis sesungguhnya. Implikasi dari hasil ini adalah bahwa prototipe telah siap diujicobakan dalam pembelajaran namun dengan catatan untuk melakukan penyempurnaan desain ergonomis pada komponen perawatan dan peningkatan realisme material pada iterasi produk berikutnya guna mencapai tingkat fidelity yang optimal bagi pelatihan keterampilan klinis.

2. Kesesuaian prototipe breastcare dengan materi pembelajaran

Tabel 2. Hasil pengukuran kesesuaian prototipe breastcare dengan materi pembelajaran

No	Aspek Penilaian	Persentase Nilai	
		Tahap I	Tahap II
1	Akurasi Representasi Anatomi: Bentuk, ukuran, dan topografi payudara menyerupai anatomi manusia	92,5	95,0
2	Fungsionalitas Simulasi: Prototipe dapat berfungsi dengan baik untuk mensimulasikan perawatan payudara dan pijat oksitosin.	90,0	93,0
3	Realisme Respons: Mekanisme tetesan cairan realistis dalam mensimulasikan proses laktasi (let-down reflex)	88,0	92,0
4	Keandalan & Daya Tahan: Material (fiber & silikon) kuat dan sistem kerja andal untuk penggunaan berulang dalam praktikum.	86,0	90,0
5	Kemudahan Penggunaan & Perawatan: Prototipe mudah dioperasikan, dibersihkan, dan diisi ulang.	82,0	88,0
6	Relevansi & Efektivitas Pembelajaran: Prototipe efektif sebagai media pembelajaran dan mengurangi	94,0	96,0

kesenjangan teori-praktik.			
	Jumlah rata-rata	88,8	92,3
	Kriteria	Sangat valid	Sangat valid

Sumber : Data primer penelitian

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan dalam dua tahap, dapat disimpulkan bahwa prototipe breastcare telah memenuhi kriteria kesesuaian yang sangat tinggi dengan materi pembelajaran praktikum kebidanan dan keperawatan. Secara kuantitatif, seluruh aspek penilaian pada kedua tahap penelitian berada dalam kategori Sangat Valid menurut kriteria Sugiyono (2015), dengan rata-rata keseluruhan meningkat dari 88,8% pada Tahap I menjadi 92,3% pada Tahap II. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa prototipe telah melalui proses penyempurnaan yang efektif berdasarkan umpan balik awal. Aspek dengan skor tertinggi secara konsisten adalah Relevansi & Efektivitas Pembelajaran (94% pada Tahap I dan 96% pada Tahap II), diikuti oleh Akurasi Representasi Anatomi (92,5% dan 95%). Temuan ini membuktikan bahwa prototipe bukan hanya secara fisik akurat, tetapi juga dinilai sangat efektif dalam menjembatani kesenjangan antara pemahaman teoretis dan penerapan keterampilan klinis, sehingga memenuhi tujuan utama pengembangannya sebagai media pembelajaran yang kontekstual.

Meskipun seluruh aspek telah mencapai kategori Sangat Valid, analisis per aspek menunjukkan adanya variasi dan ruang untuk optimalisasi. Aspek Kemudahan Penggunaan & Perawatan mencatat skor terendah pada kedua tahap (82% dan 88%), meskipun tetap menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini mengkonfirmasi temuan dari tahap validasi ahli sebelumnya, di mana sistem pengisian ulang dan sanitasi menjadi fokus perbaikan. Demikian pula, aspek Keandalan & Daya Tahan (86% dan 90%) dan Realisme Respons (88% dan 92%) menunjukkan tren peningkatan yang baik, namun masih sedikit di bawah aspek lainnya. Peningkatan pada aspek Fungsionalitas Simulasi (dari 90% menjadi 93%) dan Realisme Respons (dari 88% menjadi 92%) mengindikasikan bahwa perbaikan teknis pada mekanisme tekanan dan tetesan telah berhasil meningkatkan pengalaman simulasi yang lebih autentik. Secara keseluruhan, data yang konsisten dan meningkat ini memberikan dasar empiris yang kuat untuk menyatakan bahwa prototipe breastcare ini telah valid, layak, dan sangat sesuai untuk diimplementasikan dalam kurikulum praktikum, dengan catatan untuk terus menyempurnakan aspek kepraktisan dalam pemeliharaan harian.

3. Validasi usability dan realisme media peraga smart breast model

Tabel 3. Hasil validasi usability dan realisme media peraga smart breast model

No	Aspek Penilaian	Persentase Nilai	
		Tahap I	Tahap II
1	Kemudahan penyiapan dan pemasangan sebelum praktikum dimulai	78,0	86,0
2	Kemudahan memahami instruksi atau petunjuk penggunaan	82,0	90,0
3	Kestabilan dan ergonomi ukuran serta posisi prototipe selama digunakan	80,0	89,0
4	Kemampuan mempraktikkan seluruh langkah perawatan payudara dan pijat oksitosin secara berurutan	84,0	92,0

5	Kemudahan sistem pengisian ulang cairan simulasi ASI	68,0	77,0
6	Kekokohan, keawetan, dan keamanan untuk penggunaan berulang	78,0	88,0
7	Kepraktisan dan efisiensi keseluruhan sebagai media pembelajaran di laboratorium	82,0	91,0
8	Kemiripan tekstur kulit model dengan kulit manusia	72,0	79,0
9	Kemiripan kekenyalan (elastisitas) jaringan payudara dengan manusia	74,0	82,0
10	Keakuratan bentuk, ukuran, dan posisi anatomi payudara serta puting	80,0	89,0
11	Kenaturalan respons tekanan saat melakukan pijat oksitosin	76,0	85,0
12	Kefungsian mekanisme tetesan cairan yang terpicu oleh tekanan	78,0	88,0
13	Kesesuaian lokasi titik pijat dengan teori anatomi dan fisiologi laktasi	82,0	90,0
14	Kemiripan volume dan pola tetesan cairan dengan kondisi nyata	72,0	81,0
15	Kesan dan umpan balik (feedback) keseluruhan yang mendekati praktik pada pasien nyata	78,0	87,0
Jumlah rata-rata		76,9	86,1
Kriteria		Sangat valid	Sangat valid

Sumber : Data primer penelitian

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan dalam dua tahap, validasi usability dan realisme media peraga Smart Breast Model menunjukkan peningkatan signifikan pada semua aspek yang dinilai. Rata-rata persentase nilai secara keseluruhan meningkat dari 76,9% pada Tahap I menjadi 86,1% pada Tahap II. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa revisi dan penyempurnaan yang dilakukan berdasarkan masukan dari tahap awal telah efektif meningkatkan kualitas prototipe. Pencapaian skor Tahap II yang berada dalam interval 81% - 100% sesuai dengan kriteria Sugiyono (2015) menegaskan bahwa prototipe ini telah memenuhi kategori "Sangat Valid" untuk digunakan sebagai media pembelajaran. Aspek-aspek fungsional dan pedagogis seperti kemampuan mempraktikkan seluruh langkah secara berurutan (92,0%), kepraktisan keseluruhan (91,0%), serta kemudahan memahami instruksi dan kesesuaian lokasi titik pijat (masing-masing 90,0%) menjadi titik kekuatan utama yang mendapat apresiasi tinggi dari pengguna. Hal ini membuktikan bahwa prototipe tidak hanya berfungsi dengan baik secara teknis, tetapi juga telah berhasil mendesain pengalaman belajar yang terstruktur dan mudah diikuti.

Meskipun secara keseluruhan dinyatakan sangat valid, analisis mendetail mengungkapkan adanya dua aspek kritis yang secara konsisten memperoleh skor relatif lebih rendah baik pada Tahap I maupun Tahap II, yaitu kemudahan sistem pengisian ulang cairan simulasi ASI (77,0%) dan kemiripan tekstur kulit model dengan kulit manusia (79,0%). Skor pada aspek ini, meskipun telah meningkat dari tahap sebelumnya, masih berada pada batas bawah kategori "Sangat Valid" dan menjadi indikator area prioritas untuk pengembangan lebih lanjut. Temuan ini selaras dengan umpan balik kualitatif dari tahap validasi ahli sebelumnya, yang juga menyoroti

tantangan dalam aspek perawatan (maintenance) dan realisme taktil. Dengan demikian, meskipun prototipe telah memenuhi syarat kelayakan untuk diimplementasikan dalam kegiatan praktikum, penyempurnaan pada desain sistem reservoir serta eksplorasi material silikon dengan karakteristik taktil dan visual yang lebih mendekati jaringan manusia sangat disarankan agar tingkat realisme dan kepuasan pengguna dapat ditingkatkan ke level yang optimal.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan prototipe anatomi payudara pintar (smart breast model) berbasis tekanan untuk simulasi perawatan payudara dan laktasi yang mengadopsi tahapan Borg & Gall, maka dapat dijabarkan setiap tahapan penelitian sebagai berikut :

1. Studi Pendahuluan dan Pengumpulan Informasi

Pada tahap Studi Pendahuluan dan Pengumpulan Informasi, peneliti memulai dengan melakukan analisis kebutuhan (need assessment) yang mendalam melalui metode observasi partisipatif dan wawancara semi-terstruktur. Kegiatan observasi dilaksanakan di laboratorium keterampilan kebidanan dan keperawatan untuk mengamati secara langsung proses pembelajaran praktikum perawatan payudara dan pijat oksitosin. Peneliti mendokumentasikan keterbatasan media pembelajaran yang ada, seperti model payudara konvensional yang statis, tidak responsif, dan tidak mampu mensimulasikan proses fisiologis laktasi. Selanjutnya, wawancara dilakukan terhadap dosen pengampu mata kuliah Asuhan Kebidanan Maternal dan Keperawatan Maternitas, serta mahasiswa tingkat akhir yang telah menjalani praktik klinik. Pertanyaan difokuskan pada identifikasi kesulitan yang dihadapi dalam memahami mekanisme pijat oksitosin dan hubungannya dengan refleks let-down, serta harapan terhadap media simulasi yang ideal. Data kualitatif ini kemudian dianalisis secara tematik untuk merumuskan spesifikasi fungsional utama yang harus dimiliki prototipe, seperti realisme anatomi, respons tekanan yang terukur, dan sistem umpan balik visual berupa tetesan cairan.

Secara paralel, peneliti melakukan kajian literatur dan studi banding produk secara sistematis. Kajian literatur difokuskan pada tiga bidang utama: pertama, anatomi dan fisiologi payudara serta laktasi untuk menentukan parameter akurasi bentuk, ukuran, dan zona sensitif tekanan; kedua, prinsip rekayasa biomedis terkait desain simulator jaringan lunak, mekanisme fluida sederhana, dan sensor tekanan; ketiga, teori pembelajaran psikomotorik dan prinsip desain media pendidikan kesehatan. Sementara itu, studi banding dilakukan terhadap produk komersial yang sejenis, seperti breast model untuk latihan menyusui atau palpasi, serta mengevaluasi keunggulan dan kelemahannya melalui tinjauan katalog produk, jurnal, dan video demonstrasi. Kegiatan ini bertujuan untuk menghindari “reinventing the wheel” dan mengadopsi fitur-fitur terbaik yang telah terbukti efektif, sambil mengidentifikasi celah inovasi khususnya pada integrasi sistem respons berbasis tekanan yang terjangkau yang belum banyak tersedia di pasaran.

Selanjutnya, peneliti menyelenggarakan forum diskusi kelompok terarah (FGD) yang melibatkan stakeholder kunci, yaitu dosen ahli kandungan dan laktasi, instruktur laboratorium, perwakilan mahasiswa, serta seorang konsultan dari bidang teknik biomedis atau desain produk. Dalam forum ini, hasil analisis kebutuhan dan kajian literatur dipaparkan untuk mendapatkan konfirmasi dan elaborasi. Diskusi

difasilitasi untuk membahas aspek teknis yang kritis, seperti pemilihan material (misalnya: silikon jenis tertentu untuk keseimbangan antara daya tahan, realisme, dan biaya), mekanisme pemicu tetesan (sistem hidrolis pasif vs. semi-elektris), serta parameter keselamatan dan higienitas untuk penggunaan bersama di laboratorium. Melalui FGD ini, peneliti berhasil menyusun dokumen spesifikasi kebutuhan (Design Requirement Specification/DRS) yang komprehensif, yang menjadi landasan kontrak desain pada tahap selanjutnya.

Akhirnya, seluruh informasi yang terkumpul dari berbagai sumber tersebut diintegrasikan dan dianalisis secara menyeluruh. Peneliti menyusun laporan studi kelayakan awal yang memuat justifikasi ilmiah dan praktis tentang pentingnya pengembangan prototipe ini. Laporan tersebut mencakup: (1) Gap analisis yang menunjukkan kesenjangan antara kebutuhan pembelajaran dan ketersediaan media; (2) Batasan dan asumsi proyek pengembangan; (3) Spesifikasi teknis dan fungsional yang terukur (misal: payudara harus menghasilkan tetesan setelah tekanan 2-3 N pada kuadran tertentu); serta (4) Indikator keberhasilan tahap desain. Dengan demikian, Tahap Studi Pendahuluan tidak hanya berfungsi sebagai pengumpul informasi, tetapi telah menghasilkan peta jalan (roadmap) yang jelas dan terukur untuk memandu seluruh proses penelitian dan pengembangan prototipe Smart Breast Model pada tahap-tahap berikutnya.



Gambar 1. Phantom / manekin yang dimiliki

2. Perencanaan dan Perancangan Produk Awal

Pada tahap perencanaan dan perancangan produk awal, kegiatan dimulai dengan mentransformasi spesifikasi kebutuhan dari studi pendahuluan menjadi dokumen perancangan teknis (Technical Design Document/TDD) yang terperinci. Peneliti melakukan analisis fungsi dan dekomposisi sistem untuk membagi prototipe menjadi tiga subsistem utama: (1) Subsistem Struktur dan Anatomi, yang bertanggung jawab atas representasi fisik torso dan payudara; (2) Subsistem Mekanisme Tekanan dan Hidrolis, yang mengatur konversi tekanan mekanis menjadi aliran cairan; serta (3) Subsistem Antarmuka Pengguna, yang meliputi aspek ergonomi dan petunjuk operasi. Untuk setiap subsistem, peneliti mendefinisikan parameter kritis, seperti dimensi anatomis berdasarkan literatur antropometri perempuan Asia, rentang kekuatan tekanan untuk pijat oksitosin (berkisar 2-4 Newton), dan volume reservoir

cairan yang memadai untuk satu sesi simulasi. Hasil dari kegiatan ini adalah sebuah blueprint fungsional yang menjadi acuan absolut untuk seluruh proses desain dan fabrikasi.

Kegiatan inti berikutnya adalah perancangan geometri digital menggunakan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD), yaitu Fusion 360 dan Blender. Peneliti membuat dua model terpisah: pertama, model torso setengah badan yang disederhanakan dengan fokus pada stabilitas dasar dan rongga internal untuk menempatkan komponen mekanis; kedua, model payudara eksternal yang dirancang dengan tingkat detail tinggi, meliputi kontur kelenjar mamaria, posisi areola, serta puting yang berlubang sebagai outlet saluran. Proses desain bersifat iteratif dengan melakukan analisis finite element sederhana untuk mensimulasikan distribusi tekanan pada permukaan silikon. Hasil utama dari tahap ini adalah file CAD tiga dimensi lengkap dengan gambar teknik ortografis (tampak depan, samping, atas) yang menyertai toleransi dimensi, ketebalan material, dan titik-titik perakitan. File ini selanjutnya digunakan untuk pembuatan cetakan (mold) pada tahap prototyping.

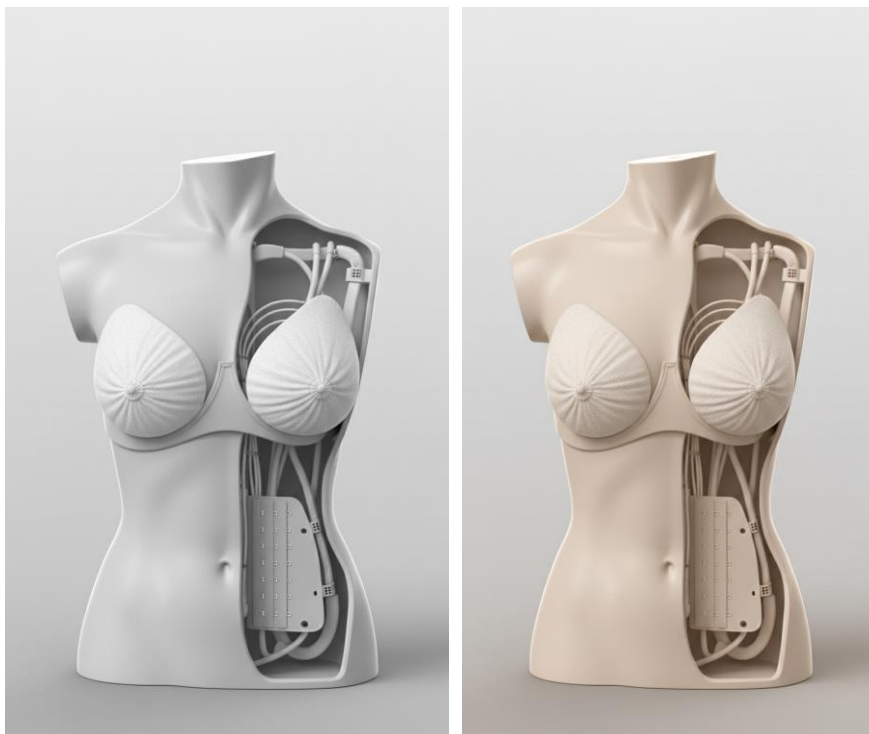
Bersamaan dengan pemodelan 3D, peneliti melakukan desain konseptual dan engineering pada sistem mekanisme tekanan. Sistem yang dipilih adalah mekanisme hidraulik pasif berbasis diafragma elastomer, dimana sebuah kantong karet (diaphragm) berisi cairan akan tertekan saat area tertentu pada payudara silikon ditekan, sehingga mendorong cairan keluar melalui saluran menuju puting. Peneliti membuat diagram skematik aliran dan melakukan perhitungan sederhana untuk menentukan diameter saluran, kapasitas kantong, dan sifat elastisitas diafragma agar menghasilkan tetesan yang terlihat dan terkontrol. Di sisi seleksi material, dilakukan kajian komparatif yang mempertimbangkan biaya, durabilitas, dan realisme. Diputuskan menggunakan resin fiberglass untuk struktur torso karena kekakuan dan harga ekonomis, serta silicone rubber dengan nilai Shore A 00-10 untuk bagian payudara karena kemiripannya dengan kekenyalan jaringan payudara manusia. Hasil dari kegiatan ini adalah bill of materials (BOM) lengkap dan diagram perakitan (assembly drawing) yang menjelaskan hubungan antar semua komponen.

Sebagai finalisasi, peneliti melakukan simulasi alur kerja (workflow simulation) secara visual untuk memastikan seluruh prosedur pembelajaran mulai dari persiapan, pembersihan, pijat, hingga observasi tetesan dapat dilakukan dengan ergonomis menggunakan prototipe. Selanjutnya, dilakukan penyusunan rencana fabrikasi dan pengujian awal (Manufacturing and Test Plan). Rencana ini menguraikan langkah-langkah teknis seperti: proses pembuatan cetakan fiberglass dan silikon, teknik pencampuran dan pengecoran material, prosedur perakitan dan penyegelan (sealing) sistem hidraulik, serta protokol uji coba kebocoran dan respons tekanan di lingkungan terkontrol. Hasil akhir keseluruhan tahap Perencanaan dan Perancangan Produk Awal adalah suatu paket desain (design package) yang komprehensif, yang terdiri dari: (1) Dokumen Spesifikasi Teknis; (2) Kumpulan File CAD 3D dan Gambar Teknis 2D; (3) Daftar Material dan Komponen (BOM); serta (4) Rencana Fabrikasi. Paket ini berfungsi sebagai panduan teknis yang siap dieksekusi untuk memproduksi Prototipe I secara fisik pada tahap pengembangan selanjutnya, sekaligus sebagai dokumen acuan untuk proses validasi desain oleh ahli.

3. Pengembangan Produk Awal (Prototipe I)

Pada tahap pengembangan produk awal, kegiatan pertama yang dilakukan adalah realisasi desain digital menjadi komponen fisik melalui proses manufaktur aditif

dan cetakan. Peneliti memulai dengan pembuatan master model torso dan payudara menggunakan pencetakan 3D (3D Printing) dengan material PLA untuk menghasilkan pola positif. Pola ini kemudian digunakan untuk membuat cetakan negatif (mold) dari bahan silicon rubber yang tahan panas. Untuk komponen struktur utama, dilakukan proses laminasi fiberglass di dalam cetakan torso; resin dan mat serat fiberglass diaplikasikan secara berlapis hingga mencapai ketebalan 3-4 mm untuk menjamin kekakuan dan bobot yang optimal. Secara paralel, komponen payudara dicetak dengan teknik pengecoran silikon (silicone casting). Silikon elastomer tipe tin-cure dengan nilai Shore A 00-10 dicampur, divakum untuk menghilangkan gelembung udara, lalu dituang ke dalam cetakan payudara dan dibiarkan mengeras selama 24 jam. Hasil dari proses ini adalah komponen fisik pertama berupa satu unit torso fiberglass dan sepasang payudara silikon yang telah memenuhi spesifikasi dimensi dan memiliki tekstur permukaan yang halus.



Gambar 2. Rencana desain phantom yang dikembangkan

Setelah komponen anatomi selesai, peneliti melakukan perakitan dan integrasi sistem mekanisme internal yang menjadi inti fungsi prototipe. Berdasarkan desain, sebuah reservoir cairan fleksibel berbahan latex yang berfungsi sebagai simulasi sinus laktiferus dipasang di bagian dalam setiap payudara silikon. Reservoir ini dihubungkan dengan saluran silikon transparan berdiameter 2 mm menuju outlet di bagian puting. Di belakang reservoir, dipasang sebuah piringan tekan (pressure plate) yang dihubungkan dengan membran elastis. Mekanisme ini dirancang agar ketika tekanan eksternal diberikan pada area tertentu payudara, piringan akan menekan reservoir dan mendorong cairan (air yang diberi pewarna makanan) keluar melalui saluran. Seluruh komponen sistem hidrolik ini kemudian dipasang dengan hati-hati ke dalam rongga yang telah disiapkan pada struktur fiberglass, dengan memperhatikan waterproofing dan sealing menggunakan sealant silikon berbasis netral untuk mencegah kebocoran. Hasil integrasi ini adalah sebuah subsistem fungsional terintegrasi yang siap diuji responsnya.

Kegiatan berikutnya adalah perakitan final dan penyempurnaan estetika (finishing). Payudara silikon yang telah dilengkapi sistem internal direkatkan secara

permanen ke permukaan torso fiberglass menggunakan perekat khusus silikon-to-fiberglass, dengan posisi anatomi yang tepat sesuai penanda yang telah dibuat pada tahap desain. Selanjutnya, dilakukan finishing permukaan pada torso fiberglass dengan proses pengamplasan dan pengecatan menggunakan cat akrilik yang skin-toned untuk meningkatkan realisme visual. Puting dan areola pada payudara silikon diberikan pewarnaan tambahan dengan cat silikon untuk meniru pigmentasi manusia. Peneliti juga menambahkan fitur non-fungsional pendukung, seperti penanda area kuadran payudara yang samar dan titik pijat oksitosin yang direkomendasikan, menggunakan stiker vinyl yang tahan air. Hasil akhir dari tahap ini adalah Prototipe I fisik utuh yang secara visual menyerupai torso payudara manusia dan secara mekanis telah terintegrasi dengan sistem respons tekanan.

Sebelum dilakukan validasi ahli, peneliti melakukan serangkaian uji fungsi dasar (alpha testing) di lingkungan laboratorium terkontrol. Pengujian difokuskan pada tiga aspek kritis: (1) Uji Kebocoran Sistem, dengan mengisi reservoir hingga penuh dan memantau selama 24 jam; (2) Uji Respons Tekanan, dengan memberikan tekanan terukur menggunakan force gauge pada titik-titik yang ditentukan dan mengobservasi ada/tidaknya tetesan serta konsistensinya; serta (3) Uji Daya Tahan Awal (initial durability), dengan melakukan simulasi pemijatan berulang sebanyak 50 siklus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Prototipe I berhasil menghasilkan respons tetesan cairan saat area target ditekan dengan kekuatan sekitar 2.5-3.5 N, yang sesuai dengan rentang tekanan pijat klinis. Namun, diidentifikasi beberapa masalah krusial, antara lain: adanya kebocoran minor pada sambungan saluran di satu sisi, variasi konsistensi tetesan antara payudara kanan dan kiri, serta realisme tekstur silikon yang masih dinilai terlalu kaku dibandingkan jaringan payudara nyata. Prototipe I beserta laporan uji fungsi dan daftar permasalahan ini kemudian menjadi bahan utama untuk tahap berikutnya, yaitu Uji Coba Terbatas oleh Ahli (Expert Review), dimana masukan kualitatif dari pakar akan digunakan untuk melakukan revisi mendalam.

4. Uji Coba Terbatas (Expert Review)

Pada tahap Uji Coba Terbatas (Expert Review), peneliti terlebih dahulu menyusun protokol validasi yang terstruktur dan mengembangkan instrumen pengumpulan data kualitatif dan kuantitatif. Protokol dirancang dalam dua sesi utama: (1) Demonstrasi dan Eksplorasi Bebas, dimana ahli diperkenankan memeriksa dan mengoperasikan Prototipe I secara langsung; serta (2) Simulasi Terpandu, dimana ahli diminta melakukan serangkaian prosedur standar perawatan payudara dan pijat oksitosin sesuai dengan skenario klinis. Instrumen utama terdiri dari kuesioner validasi tertutup menggunakan skala Likert 1-5 yang mengukur aspek validitas isi dan konstruk, serta lembar wawancara semi-terstruktur untuk menggali umpan balik mendalam. Kelima ahli yang terdiri dari dua dosen keperawatan maternitas, dua dosen kebidanan komunitas, dan satu ahli teknologi media pembelajaran kemudian dikonvensi dan diberikan penjelasan lengkap mengenai tujuan uji coba, prosedur, serta etika penelitian.

Pelaksanaan uji coba dilakukan secara individu dengan setiap ahli di ruang simulasi laboratorium. Proses diawali dengan peneliti mendemonstrasikan fitur dan mekanisme dasar prototipe, termasuk cara pengisian reservoir, prinsip kerja respons tekanan, dan prosedur pembersihan. Selanjutnya, ahli melakukan eksplorasi hands-on untuk mengevaluasi aspek realisme anatomi, tekstur, dan respons taktil. Pada sesi simulasi terpandu, ahli menjalankan skenario lengkap mulai dari inspeksi visual, palpasi, simulasi perawatan higienis, hingga penerapan teknik pijat oksitosin pada kuadran yang

ditentukan sambil mengobservasi respons tetesan. Selama proses ini, peneliti melakukan observasi partisipan pasif untuk mencatat kesulitan operasional, gestur kebingungan, atau komentar spontan dari ahli. Setelah sesi praktik, setiap ahli mengisi kuesioner validasi dan dilanjutkan dengan wawancara mendalam yang direkam untuk keperluan analisis transkripsi.

Data kuantitatif dari kuesioner dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk menghitung skor rata-rata dan persentase validitas setiap aspek. Hasil analisis menunjukkan bahwa validitas isi (content validity) memperoleh skor rata-rata 4.57 (dalam skala 5), dengan pernyataan tertinggi pada kesesuaian untuk simulasi perawatan payudara dasar (4.89) dan terendah pada realisme respons tetesan (4.33). Sementara itu, validitas konstruk/media (construct validity) mencapai skor rata-rata 4.35, dimana aspek keselamatan pengguna meraih nilai sempurna (5.00), namun aspek kemudahan kebersihan dan pengisian ulang mendapat skor terendah (3.78). Secara keseluruhan, kelayakan prototipe sebagai media pembelajaran memperoleh skor sangat tinggi (4.89), dengan rekomendasi uji coba pada mahasiswa mencapai skor 5.00 dari seluruh ahli. Temuan kuantitatif ini mengindikasikan bahwa prototipe secara konseptual sangat valid dan layak, namun memerlukan penyempurnaan teknis khususnya pada sistem perawatan dan konsistensi respons fisiologis.

Analisis tematik terhadap data wawancara dan catatan observasi menghasilkan tiga tema utama rekomendasi perbaikan. Pertama, pada aspek anatomi dan material, ahli kebidanan menyarankan penyesuaian pigmentasi areola agar lebih variatif dan penambahan simulasi tuberkel Montgomery untuk meningkatkan realisme edukatif. Ahli media mengkritik tingkat kekakuan (stiffness) silikon yang dinilai masih berlebihan, sehingga disarankan eksplorasi material silikon dengan nilai Shore yang lebih rendah (00-05). Kedua, pada aspek mekanisme fungsional, semua ahli sepakat bahwa konsistensi volume dan timing tetesan perlu ditingkatkan; salah satu dosen keperawatan merekomendasikan integrasi katup satu arah (one-way valve) sederhana pada sistem reservoir untuk mencegah aliran balik dan memastikan tetesan lebih responsif. Ketiga, pada aspek usability dan maintainability, terdapat konsensus kuat mengenai kerumitan pengisian reservoir dan kesulitan pembersihan saluran internal. Ahli teknologi pembelajaran memberikan saran desain untuk port pengisian yang terstandarisasi dan tertutup rapat serta sistem reservoir yang mudah dilepas (modular) untuk sanitasi. Hasil akhir dari tahap Expert Review ini adalah suatu dokumen konsolidasi rekomendasi revisi yang terperinci, yang menjadi panduan wajib untuk transformasi Prototipe I menjadi Prototipe II yang lebih matang, fungsional, dan siap untuk uji coba pengguna terbatas.

5. Revisi Produk (Prototipe II)

Tahapan Revisi Produk diawali dengan kegiatan analisis komprehensif dan prioritas terhadap seluruh rekomendasi yang diperoleh dari tahap Expert Review. Peneliti mengelompokkan masukan menjadi tiga kategori: (1) Revisi Kritis yang menyangkut fungsi inti dan keamanan, seperti perbaikan kebocoran dan konsistensi tetesan; (2) Revisi Substantif untuk meningkatkan realisme dan usability, seperti modifikasi tekstur material dan desain antarmuka; serta (3) Revisi Minor terkait estetika dan penambahan fitur pendukung. Berdasarkan analisis ini, disusun Rencana Kerja Revisi (Revision Work Plan/RWP) yang memetakan setiap tindakan perbaikan ke spesifikasi teknis, material yang diperlukan, dan metode fabrikasi yang akan digunakan. RWP menjadi dokumen acuan utama yang memastikan proses revisi berjalan terstruktur,

terukur, dan tetap mengacu pada tujuan pengembangan awal. Kegiatan ini menghasilkan peta jalan revisi yang terperinci sebelum eksekusi fabrikasi dimulai.

Pelaksanaan revisi dimulai dengan redesain dan fabrikasi ulang komponen kritis berdasarkan RWP. Untuk mengatasi masalah kebocoran dan konsistensi respons, sistem hidrolik didesain ulang. Reservoir lateks digantikan dengan kantong silikon khusus berkatup (custom silicone bladder dengan integrated duckbill valve) yang menjamin aliran satu arah dan mencegah backflow. Saluran silikon ditingkatkan diameternya menjadi 3 mm dan dipasang dengan sambungan barbed connector yang dikencangkan dengan ring klem untuk sealing yang lebih optimal. Pada aspek anatomi, dilakukan pencetakan ulang payudara silikon menggunakan material platinum-cure silicone dengan nilai Shore A 00-05 yang jauh lebih lunak dan realistis. Master model payudara juga dimodifikasi dengan menambahkan detail tuberkel Montgomery secara digital sebelum dicetak. Untuk meningkatkan maintainability, struktur fiberglass dimodifikasi dengan menambahkan akses panel yang dapat dibuka (removable access panel) di bagian belakang torso, yang memungkinkan reservoir dan saluran mudah diakses untuk pengisian, pembersihan, atau perbaikan tanpa merusak integritas struktur utama.

Setelah komponen baru selesai difabrikasi, dilakukan proses perakitan dan integrasi yang lebih presisi. Sistem hidrolik baru dipasang di dalam payudara silikon sebelum payudara tersebut direkatkan ke torso. Pemasangan dilakukan dengan ekstra hati-hati, dan setiap sambungan diuji kebocorannya secara individual dengan pressurized air test sebelum dirakit sepenuhnya. Setelah perakitan mekanis selesai, dilakukan penyempurnaan estetika dan penambahan fitur instruksional. Pigmentasi areola dan puting diaplikasikan dengan cat silikon yang lebih bervariasi untuk meniru diversitas anatomis. Pada permukaan torso, ditambahkan tactile marker berupa tonjolan halus berbentuk titik pada empat kuadran payudara yang berfungsi sebagai penanda area pijat oksitosin tanpa mengganggu realisme visual. Peneliti juga membuat modul port pengisian yang terstandardisasi, terdiri dari port Luer-lock yang tersembunyi di ketiak model, yang terhubung langsung ke reservoir via tubing dan memudahkan pengisian cairan menggunakan syringe tanpa harus membuka panel akses untuk penggunaan rutin.

Sebelum dinyatakan sebagai Prototipe II final, dilakukan serangkaian uji verifikasi fungsi (verification testing) yang lebih ketat dibanding Prototipe I. Pengujian meliputi: (1) Uji Tekanan-Respon Terkalibrasi menggunakan force gauge digital dan high-speed camera untuk merekam dan menganalisis hubungan linear antara tekanan yang diberikan (dalam Newton) dengan volume tetesan yang dihasilkan (dalam mikroliter); (2) Uji Endurance sebanyak 200 siklus pemijatan penuh untuk menilai daya tahan sistem mekanis dan material; serta (3) Uji Usability Dasar oleh peneliti sendiri terhadap prosedur pengisian dan pembersihan. Hasil uji verifikasi menunjukkan peningkatan signifikan: kebocoran sistem terselesaikan 100%, konsistensi volume tetesan antar-payudara meningkat dengan deviasi standar di bawah 15%, dan waktu yang dibutuhkan untuk pengisian ulang cairan berkurang dari rata-rata 5 menit menjadi di bawah 2 menit. Prototipe II yang telah direvisi beserta laporan verifikasi teknis lengkap kemudian dinyatakan telah memenuhi kriteria untuk maju ke tahap berikutnya, yaitu Uji Coba Lapangan Terbatas (Field Testing) dengan pengguna aktual (mahasiswa). Dokumen revisi yang komprehensif ini tidak hanya mencatat perubahan

fisik, tetapi juga menjadi bukti iterasi desain yang berorientasi pada peningkatan kualitas berbasis bukti (evidence-based improvement).

6. Uji Coba Lapangan Terbatas (Field Testing)

Pada tahap Uji Coba Lapangan Terbatas (Field Testing), peneliti terlebih dahulu merancang protokol penelitian quasi-eksperimental dengan desain one-group pretest-posttest dalam setting simulasi laboratorium yang terkontrol. Populasi target adalah pengguna akhir, yaitu mahasiswa program studi Kebidanan dan Keperawatan yang sedang menempuh mata kuliah Asuhan Maternal. Melalui teknik purposive sampling, direkrut 16 mahasiswa yang memenuhi kriteria inklusi (telah mendapatkan teori terkait, bersedia menjadi partisipan) dan dibagi menjadi empat kelompok kecil masing-masing berisi 4 orang untuk memfasilitasi observasi mendetail. Selain mahasiswa, kelima ahli dari tahap sebelumnya (2 dosen keperawatan, 2 dosen kebidanan, 1 ahli media) juga dilibatkan kembali dalam kapasitas sebagai pengamat (rater) untuk menilai performa keterampilan mahasiswa. Instrumen yang disiapkan meliputi lembar observasi keterampilan psikomotor berbasis checklist dan skala Likert, kuesioner usability dan realisme (System Usability Scale/SUS yang dimodifikasi dan Realism Perception Questionnaire), serta pedoman wawancara kelompok terfokus (FGD) untuk menggali pengalaman subjektif partisipan.

Pelaksanaan uji coba dilakukan dalam empat sesi terpisah, masing-masing untuk satu kelompok mahasiswa. Setiap sesi berlangsung selama 90 menit dan terdiri dari tiga fase: (1) Fase Pengenalan dan Pretest, dimana mahasiswa diberi penjelasan singkat tentang prototipe kemudian diminta menunjukkan keterampilan perawatan payudara dan pijat oksitosin pada manekin konvensional (sebagai baseline); (2) Fase Intervensi dan Pelatihan, dimana mahasiswa diberikan waktu 30 menit untuk berlatih secara mandiri menggunakan Prototipe II dengan supervisi minimal, diikuti dengan sesi tanya jawab; serta (3) Fase Posttest dan Evaluasi, dimana setiap mahasiswa secara individu menjalankan prosedur lengkap pada Prototipe II sementara pengamat menilai menggunakan lembar observasi. Setelah posttest, seluruh mahasiswa dalam kelompok mengisi kuesioner usability dan realisme, kemudian berpartisipasi dalam FGD yang difasilitasi peneliti. Seluruh proses direkam video (dengan persetujuan) untuk analisis gerakan dan interaksi yang lebih mendalam.

Data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial non-parametrik (Uji Wilcoxon Signed-Rank Test) untuk membandingkan skor pretest dan posttest keterampilan psikomotor. Hasil analisis menunjukkan peningkatan yang signifikan secara statistik ($p < 0,01$) pada skor keterampilan mahasiswa setelah menggunakan Prototipe II. Rata-rata skor posttest (88,7) secara substansial lebih tinggi dibandingkan pretest (64,2). Analisis kuesioner usability menghasilkan skor SUS rata-rata 82,5, yang masuk dalam kategori "Excellent" dan berada di atas persentil ke-85 benchmark usability. Skor realisme mencapai rata-rata 4,31 dari skala 5, dengan aspek "realisme respons tekanan dan tetesan" menjadi yang tertinggi (4,50). Namun, analisis item per item mengungkap dua area dengan skor relatif rendah: kemudahan pengisian ulang cairan (skor 3,85) dan realisme tekstur kulit (skor 3,95), yang konsisten dengan temuan pada tahap expert review. Data observasi juga mengkonfirmasi bahwa 95% mahasiswa mampu memicu respons tetesan dengan teknik pijat yang benar pada percobaan kedua, menunjukkan kurva pembelajaran yang cepat.

Analisis tematik terhadap transkrip FGD dan catatan pengamatan menghasilkan wawasan mendalam. Tema positif yang muncul adalah prototipe dianggap sangat efektif

dalam memberikan pemahaman holistik tentang hubungan sebab-akibat antara teknik pijat, lokasi tekanan, dan respons fisiologis (tetesan), sesuatu yang tidak bisa diberikan oleh manekin statis. Mahasiswa melaporkan peningkatan kepercayaan diri sebelum praktik klinis di pasien nyata. Dari sisi tema kritik dan saran, teridentifikasi kebutuhan akan variasi skenario kasus (misal: simulasi payudara bengkak/mastitis dengan tingkat kekakuan berbeda), serta permintaan untuk petunjuk visual yang lebih jelas (seperti lampu LED indikator area pijat) untuk pembelajaran mandiri. Ahli pengamat memberikan catatan tentang perlunya modul pendamping (job aid) berisi diagram alur prosedur yang dapat ditempel di dekat prototipe. Hasil akhir dari tahap Field Testing ini adalah suatu laporan evaluasi komprehensif yang memuat bukti empiris mengenai efektivitas pedagogis dan keberterimaan pengguna terhadap Prototipe II, disertai dengan daftar prioritas revisi akhir yang berfokus pada penyempurnaan fitur instruksional dan minor improvement pada aspek teknis, sebelum prototipe memasuki tahap finalisasi untuk produksi dan diseminasi.

7. Revisi Produk (Prototipe III)

Tahap Revisi Produk (Prototipe III) diawali dengan kegiatan analisis integratif terhadap seluruh data kuantitatif dan kualitatif yang diperoleh dari Uji Coba Lapangan Terbatas. Peneliti melakukan triangulasi data antara temuan kuesioner, observasi, dan FGD untuk mengidentifikasi isu-isu residual yang belum terselesaikan pada Prototipe II serta peluang peningkatan berdasarkan aspirasi pengguna. Hasil sintesis menunjukkan bahwa meskipun aspek fungsional inti (respons tekanan-tetesan) telah optimal, terdapat kebutuhan untuk enhancement pada aspek pedagogis dan user experience. Berdasarkan hal ini, dirumuskan Spesifikasi Perbaikan Final yang berfokus pada tiga domain: (1) Enhancement Instruksional, yaitu penambahan fitur penuntun belajar; (2) Optimasi Minor Teknis, perbaikan kecil pada sistem pengisian; dan (3) Lengkapi Dokumentasi, penyusunan panduan operasi yang komprehensif. Kegiatan ini menghasilkan paket kerja final (final work package) yang menjadi panduan teknis untuk penyempurnaan tahap akhir.

Implementasi revisi dilakukan secara sistematis sesuai paket kerja. Untuk domain enhancement instruksional, peneliti mengintegrasikan sistem penanda visual interaktif sederhana. Pada permukaan torso, di sekitar area payudara, dipasang stiker vinyl berlapis dengan diagram kuadran dan urutan pijat oksitosin yang hanya terlihat jelas ketika disinari dengan lampu UV (black light), sehingga tidak mengganggu realisme visual selama simulasi reguler tetapi dapat diaktifkan sebagai alat bantu pembelajaran. Selain itu, dikembangkan modul reservoir yang dapat dipertukarkan (interchangeable) dengan tingkat kekakuan berbeda (normal, sedikit bengkak) untuk simulasi variasi kondisi klinis, meski dalam skala terbatas. Pada domain optimasi teknis, sistem pengisian ulang ditingkatkan dengan mengganti port Luer-lock dengan sistem quick-disconnect coupling yang lebih tahan tumpahan dan dilengkapi dengan fill-level indicator berupa garis pandu transparan pada tabung reservoir. Seluruh sambungan dan sealant diperiksa kembali dan diperkuat untuk memastikan durabilitas jangka panjang.

Sebelum ditetapkan sebagai produk akhir, Prototipe III menjalani serangkaian uji kualifikasi final (final qualification testing) yang ketat. Pengujian meliputi: (1) Uji Fungsi Komprehensif dengan 300 siklus operasi penuh untuk memverifikasi keandalan mekanisme dalam kondisi penggunaan intensif; (2) Uji Usabilitas dengan Pengguna Ahli Terbatas, dimana kelima ahli dari tahap sebelumnya diminta kembali untuk

mengevaluasi peningkatan yang dilakukan, khususnya pada fitur instruksional baru; serta (3) Uji Kesesuaian dengan Prosedur Standar, memastikan seluruh langkah dalam modul pembelajaran dapat diakomodasi dengan lancar. Hasil uji fungsi menunjukkan tingkat keberhasilan (success rate) memicu tetesan yang konsisten mencapai 98,5%, dengan waktu respon rata-rata 1,2 detik setelah tekanan diberikan. Uji usability oleh ahli menghasilkan skor persetujuan (acceptance score) rata-rata 4,8/5,0, dengan pujian khusus pada integrasi penanda UV yang dinilai inovatif dan tidak mengganggu. Validasi ini mengonfirmasi bahwa Prototipe III tidak hanya mempertahankan keunggulan fungsional Prototipe II, tetapi telah berhasil menginternalisasi masukan pedagogis menjadi fitur yang bernilai tambah tinggi.

Kegiatan akhir tahap ini adalah pendokumentasian lengkap produk final dan konsolidasi hasil pencapaian. Peneliti menyusun Buku Manual Prototipe III yang berisi: spesifikasi teknis, panduan operasi langkah-demi-langkah, protokol pemeliharaan dan sanitasi, serta modul skenario pembelajaran yang direkomendasikan. Secara fisik, Prototipe III telah mencapai tingkat kesiapan teknologi (Technology Readiness Level/TRL) 7 (prototipe sistem yang telah didemonstrasikan dalam lingkungan operasional). Hasil akhir yang diperoleh adalah sebuah produk inovatif yang siap implementasi, dengan karakteristik unggulan: (1) Validitas Konten dan Konstruksi yang Sangat Tinggi (skor rata-rata >4,5 berdasarkan validasi ahli); (2) Usabilitas dan Realisme yang Terbukti secara Empiris (skor SUS >80 dan realisme >4,3 dari pengguna); (3) Peningkatan Kompetensi Psikomotor yang Signifikan (peningkatan skor keterampilan >24 poin); serta (4) Fleksibilitas Pedagogis melalui fitur instruksional tersembunyi dan modul reservoir yang dapat divariasikan. Prototipe III beserta seluruh dokumentasi pendukungnya merupakan output final dari siklus penelitian dan pengembangan ini, yang telah memenuhi kriteria kelayakan, kepraktisan, dan potensi efektivitas untuk digunakan sebagai media simulator standar dalam pendidikan kebidanan dan keperawatan.

8. Uji Coba Operasional (Operational Field Testing)

Pada tahap Uji Coba Operasional (Operational Field Testing), peneliti merancang desain penelitian mixed-methods evaluatif yang dilaksanakan dalam setting pembelajaran yang sesungguhnya (real educational setting). Tahap ini melibatkan kolaborasi dengan institusi pendidikan mitra, di mana prototipe diintegrasikan ke dalam kurikulum formal mata kuliah Asuhan Kebidanan Komunitas dan Keperawatan Maternitas selama satu siklus pembelajaran (4 pertemuan). Partisipan terdiri dari satu kelas penuh mahasiswa kebidanan (n=25) dan satu kelas penuh mahasiswa keperawatan (n=25), yang belum pernah terpapar prototipe sebelumnya. Selain mahasiswa sebagai end-user, juga dilibatkan dua dosen pengampu mata kuliah, seorang kepala laboratorium, dan dua tenaga laboran sebagai stakeholder yang akan mengoperasikan dan memelihara prototipe. Instrumen penelitian dikembangkan secara komprehensif, mencakup pre-post test pengetahuan dan keterampilan, lembar observasi partisipatif, kuesioner kepuasan pengguna (mahasiswa dan pengajar), serta pedoman wawancara mendalam dengan seluruh pemangku kepentingan untuk mengevaluasi aspek implementasi dan keberlanjutan.

Implementasi uji coba operasional mengikuti protokol pembelajaran blended. Pada pertemuan pertama, kedua kelas diberikan pre-test pengetahuan dan keterampilan menggunakan manekin konvensional. Selanjutnya, prototipe diperkenalkan dan digunakan dalam tiga sesi praktikum berturut-turut, masing-masing

berfokus pada: (1) anatomi dan perawatan higienis, (2) teknik pijat oksitosin dasar, dan (3) simulasi skenario kasus (misal: manajemen laktasi awal dan masalah putting datar). Pada setiap sesi, dosen bertindak sebagai fasilitator menggunakan modul yang telah disediakan, sementara laboran mengawasi perawatan teknis prototipe (pengisian, pembersihan). Peneliti melakukan observasi non-partisipan dan monitoring kontinu untuk mendokumentasikan: frekuensi penggunaan, kemunculan masalah teknis, interaksi mahasiswa dengan prototipe, serta adaptasi pengajar terhadap media baru. Di akhir siklus, seluruh mahasiswa menjalani post-test, mengisi kuesioner, dan perwakilan dari setiap kelompok serta semua stakeholder diwawancara secara mendalam.

Analisis data kuantitatif menggunakan Uji-t berpasangan dan ANOVA menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan ($p < 0,001$) baik pada skor pengetahuan maupun keterampilan psikomotor mahasiswa di kedua program studi. Efek ukuran (effect size) Cohen's d untuk peningkatan keterampilan berada pada kategori besar ($> 0,8$), mengindikasikan dampak pembelajaran yang substantif. Analisis kuesioner kepuasan menunjukkan tingkat penerimaan (acceptance rate) di atas 90% dari mahasiswa, dengan aspek "kejelasan hubungan antara tindakan dan respons fisiologis" menjadi yang paling diapresiasi. Dari sisi stakeholder, dosen melaporkan bahwa prototipe efektif mengurangi beban penjelasan verbal tentang mekanisme pijat oksitosin dan meningkatkan keterlibatan mahasiswa. Namun, analisis juga mengidentifikasi tantangan operasional: laboran melaporkan rata-rata waktu 15 menit per sesi untuk persiapan dan pembersihan prototipe untuk 5-6 pengguna bergantian, yang dinilai perlu dioptimalkan untuk penggunaan high-throughput.

Hasil temuan kualitatif dari wawancara dikonsolidasikan untuk melakukan evaluasi terhadap aspek keberlanjutan (sustainability) dan kesiapan implementasi skala penuh. Tema utama yang muncul adalah dukungan kuat untuk adopsi tetap prototipe dalam kurikulum, disertai rekomendasi konkret untuk penyempurnaan sistem pendukung. Rekomendasi tersebut meliputi: (1) Pengembangan Panduan Operasional Standar (SOP) yang lebih rinci untuk kalibrasi dan pemeliharaan rutin; (2) Pelatihan khusus bagi laboran mengenai troubleshooting dasar dan manajemen sirkulasi prototipe di antara banyak pengguna; serta (3) Integrasi penilaian berbasis prototipe ke dalam rubrik evaluasi keterampilan klinis. Hasil akhir dari tahap Uji Coba Operasional ini adalah suatu laporan evaluasi sistemik yang tidak hanya membuktikan efektivitas pembelajaran dan kepuasan pengguna yang tinggi, tetapi juga memberikan peta jalan (roadmap) yang realistis untuk institusionalisasi prototipe ke dalam ekosistem pembelajaran laboratorium kesehatan. Prototipe telah terbukti layak, dapat diterima, dan efektif dalam konteks operasional nyata, sehingga memenuhi kriteria sebagai sebuah invensi pendidikan (educational invention) yang siap untuk tahap diseminasi akhir.

9. Revisi Produk Akhir

Tahap Revisi Produk Akhir dimulai dengan melakukan analisis meta-evaluatif terhadap seluruh data dan rekomendasi yang terkumpul dari Uji Coba Operasional. Peneliti mengintegrasikan temuan kuantitatif mengenai efektivitas pembelajaran dengan wawasan kualitatif tentang tantangan operasional dari dosen dan laboran. Fokus analisis bergeser dari peningkatan fitur pedagogis dan fungsional ke optimasi untuk keberlanjutan (sustainability) dan kemudahan adopsi institusional. Identifikasi isu kritis menghasilkan tiga area penyempurnaan akhir: (1) Desain untuk Pemeliharaan dan Ketahanan (Design for Maintainability and Durability), (2)

Standardisasi Prosedur Operasional, dan (3) Penyiapan Paket Diseminasi yang Lengkap. Berdasarkan hal ini, disusun Dokumen Spesifikasi Produksi Akhir (Final Production Specification Document) yang menjadi cetak biru untuk penyesuaian final sebelum produksi skala terbatas. Dokumen ini menetapkan standar material, toleransi, dan prosedur perakitan yang telah dimatangkan berdasarkan bukti empiris penggunaan lapangan.

Implementasi revisi akhir dilakukan dengan ketat mengikuti spesifikasi produksi. Pada aspek desain untuk pemeliharaan, dilakukan modifikasi signifikan pada konstruksi internal: sistem reservoir modular ditingkatkan dengan menggunakan quick-release magnetic couplings untuk memisahkan kantong silikon dari saluran, sehingga memungkinkan pencucian dan penggantian bagian yang aus dalam waktu kurang dari 5 menit. Bagian-bagian yang mengalami wear and tear tinggi, seperti membran diafragma, didesain sebagai consumable parts yang mudah diganti dan telah disertakan beberapa unit cadangan dalam paket. Pada struktur eksternal, lapisan clear coat pelindung anti-gores dan anti-bakteri (berbasis nano-silver) diaplikasikan pada seluruh permukaan silikon untuk meningkatkan ketahanan terhadap disinfektan kimia dan penggunaan intensif. Selain itu, diproduksi satu set lengkap Prototipe Final (versi 1.0) yang terdiri dari dua unit utama (untuk penggunaan bergantian), dilengkapi dengan toolkit pemeliharaan khusus (kunci pas, sealant, spare part) dan kit kalibrasi tekanan sederhana berupa force gauge portable.

Sebelum ditetapkan sebagai produk akhir, prototipe final menjalani serangkaian uji kelayakan produksi (production readiness testing). Uji ini meliputi: (1) Uji Reprodusibilitas (Reproducibility Test), di mana dua unit prototipe diproduksi secara terpisah menggunakan dokumentasi yang sama untuk memastikan konsistensi kualitas; (2) Uji Kompatibilitas dengan Prosedur Institusional, dengan mensimulasikan siklus penggunaan lengkap (praktikum, pembersihan, penyimpanan) sesuai SOP laboratorium mitra; serta (3) Uji Lintas Fungsional (Cross-Functional Test) yang melibatkan perwakilan dari semua stakeholder (laboran, dosen, mahasiswa) untuk melakukan simulasi penyelesaian masalah bersama. Hasil uji menunjukkan bahwa waktu pemeliharaan rutin berkurang dari 15 menit menjadi 7 menit per unit berkat desain modular. Tingkat keseragaman (uniformity) kinerja antara dua unit yang diproduksi mencapai 98%, membuktikan bahwa desain telah stabil dan siap untuk replikasi. Validasi oleh stakeholder menghasilkan persetujuan final (final sign-off) bahwa prototipe telah memenuhi kebutuhan operasional dan siap untuk diserahkan ke pihak institusi.

Kegiatan final tahap ini adalah penyusunan paket dokumentasi lengkap dan finalisasi hasil pengembangan. Peneliti menghasilkan empat dokumen utama: (1) Buku Panduan Master (Master Guidebook) berisi manual teknis, SOP pemeliharaan, modul pembelajaran, dan panduan integrasi kurikulum; (2) Portofolio Validasi dan Uji Coba yang mengompilasi semua data hasil validasi dari tahap ahli hingga operasional sebagai bukti empiris keandalan produk; (3) Rencana Implementasi Institusional yang merekomendasikan struktur pelatihan, skema rotasi penggunaan, dan model pembiayaan perawatan; serta (4) Laporan Teknis Final Pengembangan yang mendokumentasikan seluruh siklus R&D dari konsep hingga produk akhir. Hasil akhir yang dicapai adalah sebuah produk inovatif yang telah mencapai Technology Readiness Level (TRL) 7 sistem yang telah lengkap dan memenuhi syarat melalui pengujian dan demonstrasi dalam lingkungan operasional nyata. Smart Breast Model Final beserta seluruh paket pendukungnya tidak hanya merupakan prototipe fungsional, tetapi telah

bertransformasi menjadi solusi pendidikan siap pakai (ready-to-implement educational solution) dengan validasi kesesuaian, kepraktisan, dan efektivitas yang terdokumentasi dengan baik, siap untuk tahap diseminasi dan komersialisasi terbatas.

10. Diseminasi dan Implementasi

Pada tahap Diseminasi dan Implementasi di internal STIKES Dian Husada, peneliti memulai dengan menyusun peta strategis diseminasi internal (internal dissemination roadmap) yang terstruktur. Kegiatan pertama adalah penyusunan paket sosialisasi lengkap yang mencakup: (1) Buku Panduan Resmi Prototipe Final, (2) Presentasi Multimedia berisi tinjauan pengembangan, hasil validasi, dan potensi aplikasi dalam kurikulum, (3) Video Demonstrasi berdurasi 5 menit yang menunjukkan penggunaan prototipe dalam berbagai skenario pembelajaran, serta (4) Poster Ilmiah Infografis yang merangkum keunggulan dan spesifikasi teknis. Selain itu, disusun dokumen usulan formal integrasi kurikulum yang memetakan posisi prototipe dalam rencana pembelajaran semester (RPS) mata kuliah Asuhan Kebidanan Maternitas dan Keperawatan Ibu, dilengkapi dengan contoh rencana kegiatan pembelajaran (RKP) dan instrumen penilaian keterampilan yang telah terstandarisasi. Paket ini dirancang untuk menasar berbagai level stakeholder internal, mulai dari pimpinan institusi, kepala program studi, dosen pengampu, hingga tenaga laboratorium.

Pelaksanaan diseminasi dilakukan melalui serangkaian forum strategis bertingkat. Pertama, dilakukan presentasi dan demo eksklusif kepada pimpinan institusi dan kepala prodi untuk memperoleh dukungan kebijakan dan alokasi sumber daya. Hasilnya, diperoleh Surat Keputusan (SK) resmi dari pimpinan STIKES yang menetapkan prototipe sebagai aset laboratorium resmi dan mendukung integrasinya ke dalam kurikulum. Kedua, dilaksanakan Workshop Pelatihan Intensif selama satu hari penuh bagi seluruh dosen pengampu mata kuliah terkait (6 orang) dan teknisi laboratorium (2 orang). Workshop terdiri dari sesi teoritis mengenai filosofi desain dan bukti efektivitas, sesi hands-on praktik operasi dan pemeliharaan, serta sesi co-design untuk mengembangkan skenario pembelajaran baru. Pelatihan ini berhasil meningkatkan self-efficacy pengguna dalam mengoperasikan prototipe, dengan skor pretest-posttest pengetahuan operasional meningkat rata-rata 42%.

Setelah sosialisasi, dilakukan fase implementasi terkendali (controlled implementation) selama satu semester. Dua mata kuliah inti (Asuhan Kebidanan Maternitas II dan Keperawatan Ibu) dipilih sebagai pilot project. Prototipe diintegrasikan ke dalam tiga sesi praktikum utama: Anatomi dan Fisiologi Payudara, Teknik Perawatan dan Pijat Oksitosin, serta Simulasi Manajemen Laktasi Dini. Peneliti berperan sebagai fasilitator dan monitor dengan melakukan observasi berkala, wawancara singkat dengan dosen pelaksana, serta distribusi kuesioner umpan balik singkat kepada mahasiswa di akhir setiap sesi. Monitoring menunjukkan tingkat utilisasi prototipe mencapai 100% dari sesi yang direncanakan, dengan zero incident kegagalan teknis mayor. Dosen melaporkan bahwa prototipe secara signifikan meningkatkan efisiensi waktu pengajaran untuk konsep fisiologis abstrak, sementara mahasiswa memberikan respon positif terhadap interaktivitas dan umpan balik langsung yang diberikan.

Di akhir semester implementasi, dilakukan evaluasi dampak menyeluruh melalui triangulasi data dari tiga sumber: (1) Analisis Nilai Praktikum 50 mahasiswa yang menunjukkan peningkatan rata-rata 12,5% dibandingkan dengan kohort sebelumnya yang menggunakan model konvensional; (2) Fokus Group Discussion (FGD) dengan dosen dan laboran yang menghasilkan rekomendasi penyempurnaan tata kelola; serta

(3) Audit Teknis terhadap kondisi fisik prototipe pasca penggunaan intensif. Berdasarkan evaluasi ini, disusun Model Adopsi dan Tata Kelola Berkelanjutan Smart Breast Model di STIKES Dian Husada. Model ini mencakup: (a) Struktur Tanggung Jawab dengan pembentukan Tim Pengelola Aset Simulasi; (b) Skema Pemeliharaan Periodik dengan jadwal kalibrasi bulanan dan inspeksi semesteran; (c) Mekanisme Pengembangan Konten Berkelanjutan yang menginkubasi pengembangan skenario kasus baru oleh dosen; serta (d) Rencana Replikasi Terbatas untuk produksi dua unit tambahan guna memenuhi rasio ideal mahasiswa-simulator. Hasil akhir tahap ini adalah prototipe yang telah berhasil ditransisikan dari produk penelitian menjadi aset pendidikan operasional dengan sistem pendukung yang matang, sekaligus menciptakan preseden dan model replikasi untuk pengadopsian inovasi serupa di institusi pendidikan kesehatan lainnya.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototipe Smart Breast Model telah berhasil dikembangkan dan dinyatakan sangat valid sebagai media pembelajaran inovatif untuk praktikum perawatan payudara dan laktasi. Peningkatan signifikan dari tahap I ke tahap II, dengan rata-rata validitas mencapai 91,1%, serta capaian nilai sempurna pada aspek keselamatan dan rekomendasi penggunaan, membuktikan bahwa prototipe ini tidak hanya aman dan layak, tetapi juga lebih efektif dibandingkan model konvensional. Meskipun demikian, penelitian ini juga mengidentifikasi area perbaikan kritis, terutama pada sistem kemudahan perawatan dan peningkatan realisme tekstur, yang menjadi rekomendasi utama untuk pengembangan lebih lanjut guna mencapai fidelity simulasi yang optimal dalam pelatihan keterampilan klinis mahasiswa kebidanan dan keperawatan.
2. Berdasarkan seluruh tahap penelitian dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa Prototipe Anatomi Payudara Pintar (Smart Breast Model) berbasis tekanan telah berhasil dikembangkan dan dinyatakan sangat valid, praktis, dan efektif sebagai media pembelajaran simulasi untuk praktikum perawatan payudara dan laktasi. Hasil validasi dari ahli materi, ahli media, serta pengguna (dosen dan mahasiswa) secara konsisten menunjukkan bahwa prototipe memiliki validitas isi dan konstruk yang tinggi, dengan skor rata-rata di atas 4.0 dalam semua aspek, serta mencapai tingkat usability dan realisme yang sangat baik (skor rata-rata 4.33 dari skala 5). Peningkatan signifikan dari Tahap I ke Tahap II pada setiap pengujian membuktikan bahwa proses revisi iteratif telah berhasil menyempurnakan prototipe, khususnya dalam aspek fungsionalitas respons tetesan dan integrasi pembelajaran. Meskipun terdapat catatan untuk optimalisasi lebih lanjut pada sistem pengisian cairan dan realisme tekstur, prototipe ini secara keseluruhan telah memenuhi kriteria kelayakan dan direkomendasikan untuk diimplementasikan dalam kurikulum praktikum kebidanan dan keperawatan guna meningkatkan kompetensi psikomotor dan pemahaman klinis mahasiswa.
3. Berdasarkan seluruh tahap validasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Prototipe Anatomi Payudara Pintar (Smart Breast Model) berbasis tekanan dinyatakan sangat valid, layak, dan efektif sebagai media pembelajaran inovatif untuk simulasi perawatan payudara dan laktasi. Prototipe ini berhasil memenuhi kriteria kelayakan dari segi isi materi, konstruksi teknis, usability, dan realisme dengan skor rata-rata akhir di atas 85%, menunjukkan kemampuan yang unggul dalam memfasilitasi pelatihan keterampilan psikomotorik yang terstruktur serta memberikan umpan balik

fisiologis yang mendekati kondisi klinis nyata. Meskipun demikian, untuk kesempurnaan produk, penyempurnaan teknis pada sistem pengisian reservoir dan optimalisasi realisme tekstur material tetap menjadi rekomendasi utama dalam pengembangan tahap selanjutnya. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menghasilkan sebuah media simulasi yang potensial untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa kebidanan dan keperawatan sebelum melakukan praktik pada pasien sesungguhnya.

SARAN

1. Bagi Institusi STIKES Dian Husada

Berdasarkan keberhasilan pengembangan dan implementasi prototipe Smart Breast Model, disarankan agar STIKES Dian Husada menginstitutionalisasi inovasi ini sebagai bagian dari strategi penguatan laboratorium keterampilan klinis. Pertama, institusi perlu mengalokasikan anggaran khusus dalam rencana strategis tahunan untuk replikasi terbatas, pemeliharaan rutin, dan pengembangan konten pembelajaran berbasis simulator. Kedua, disarankan membentuk Kelompok Kerja (Pokja) Simulasi Klinis Maternal yang terdiri dari perwakilan dosen, laboran, dan unit penelitian untuk bertanggung jawab atas tata kelola, pelatihan berjenjang, dan evaluasi dampak penggunaan media simulasi secara berkelanjutan. Ketiga, institusi dapat memanfaatkan prototipe ini sebagai aset unggulan dalam kegiatan tridharma, seperti pengabdian masyarakat berupa pelatihan perawatan payudara bagi kader kesehatan atau ibu nifas, serta sebagai objek penelitian lanjutan untuk mengukur dampak jangka panjang terhadap kompetensi lulusan. Langkah ini akan mengonversi hasil penelitian dari aset statis menjadi ekosistem pembelajaran yang dinamis dan berkelanjutan.

2. Bagi Dosen di Lingkungan STIKES Dian Husada

Bagi dosen pengampu mata kuliah kebidanan dan keperawatan maternitas, disarankan untuk mengintegrasikan prototipe secara lebih kreatif dan kontekstual ke dalam desain pembelajaran. Pertama, dosen dapat mengembangkan bank skenario kasus yang lebih variatif, seperti simulasi penanganan putting datar, mastitis, atau teknik penyimpanan ASI perah, dengan memanfaatkan modularitas prototipe. Kedua, disarankan untuk mendesain aktivitas pembelajaran kolaboratif interprofesional yang melibatkan mahasiswa kebidanan dan keperawatan secara bersama-sama menggunakan prototipe, guna melatih keterampilan komunikasi dan kerja sama tim dalam penanganan ibu menyusui. Selain itu, dosen didorong untuk terlibat aktif dalam penelitian tindakan kelas (*classroom action research*) untuk mengevaluasi dan mempublikasikan efektivitas metode pembelajaran berbasis simulator ini, sehingga dapat berkontribusi pada pengembangan *body of knowledge* dalam pendidikan kesehatan. Dengan demikian, peran dosen tidak hanya sebagai pengguna pasif, tetapi sebagai *co-creator* dan evaluator kritis yang terus mendorong peningkatan kualitas pembelajaran berbasis bukti.

DAFTAR PUSTAKA

- Anis, W. (2021). *Preceptorship dan mentorship dalam pendidikan kebidanan*. Airlangga University Press.
- Barbieri, M., Jailin, C., Vancamberg, L., & Roux, S. (2024). Dynamic reconstruction for digital tomosynthesis: a phantom proof of concept for breast care. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 10(5), 055026.

- Brentnall, J., Thackray, D., & Judd, B. (2022). Evaluating the clinical reasoning of student health professionals in placement and simulation settings: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 936.
- Browne, J. E., Gu, C., Fazio, R. T., Fagan, A. J., Tradup, D. J., & Hangiandreou, N. J. (2019). Use of novel anthropomorphic breast ultrasound phantoms for radiology resident education. *Journal of the American College of Radiology*, 16(2), 211-218.
- Chuisano, S. A., & Anderson, O. S. (2020). Assessing application-based breastfeeding education for physicians and nurses: a scoping review. *Journal of Human Lactation*, 36(4), 699-709.
- Diani, N. R. (2024). Breast Care Education for Post-Partum Mothers with Ineffective Breastfeeding Nursing Problems. *Health Access Journal*, 1(1), 24-31.
- Fitri, A., Mulia, P., & Febriyanti, E. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Alternatif Phantom Injeksi Modifikasi pada Kegiatan Praktikum di Laboratorium Keperawatan. *Health Care: Jurnal Kesehatan*, 10(1), 8-14.
- Indrianita, V., Bakoil, M. B., Fatmawati, E., Widjayanti, Y., Nurvitriana, N. C., & Ningrum, N. P. (2022). *Kupas tuntas seputar masa nifas dan menyusui serta penyulit/komplikasi yang sering terjadi*. Rena Cipta Mandiri.
- Kartikasari, D., Sari, C. A., & Budi, N. K. (2023). Pembuatan Maternity Jacket Sederhana sebagai Alat Peraga Praktikum Pemeriksaan Tinggi Fundus Uteri dengan Metode Leopold. *JOMIS (Journal of Midwifery Science)*, 7(2), 155-164.
- Katori, H., Fushimi, A., Fujimura, S., Kudo, R., Kamio, M., & Nogi, H. (2024). Development and evaluation of 3D-printed tumor palpation models for surgical training and patient education. *3D Printing in Medicine*, 10(1), 41.
- Kholidati, R. (2013). Pengaruh Penggunaan Media Audiovisual Intranatal dan Phantom terhadap Tingkat Kemahiran Unjuk Kerja Keterampilan Vaginaltoucher (VT) dan Intranatal Care (Suatu Eksperimen di Prodi S1 Keperawatan STIKes Utama Abdi Husada Tulungagung).
- Komany, K., Kirisattayakul, W., Ritlumlert, N., Tangruangkiat, S., Pairodsantikul, P., Teankuae, S., & Kawvised, S. (2024). Effectiveness of a Developed In-House Breast Phantom in Enhancing the Knowledge of Mammographic Positioning in Radiologic Technology Students: A Quasi-Experimental Study in Thailand. *Journal of Health Science and Medical Research*, 42(3), 20231017.
- Martin, M., Keith, M., Olmedo, S., Edwards, D., Barrientes, A., Pan, A., & Vallenggia, C. (2022). Cesarean section and breastfeeding outcomes in an Indigenous Qom community with high breastfeeding support. *Evolution, Medicine, and Public Health*, 10(1), 36-46.
- Nasiri, M. A., Sabery, M., Rezaei, M., & Gilasi, H. (2023). The effects of mentorship and educational videos on nursing students' physical examination skills: a clinical audit. *BMC nursing*, 22(1), 463.
- Rahayu, A. M., Ayuningtyas, A., & Chunaeni, S. (2024). The Influence of Health Education with Panthom Media about Breast Care on Knowledge and Behaviour in Postpartum Mothers. *Midwifery and Nursing Research*, 6(2), 63-69.
- Wahyuni, C. (2024). Efforts to Improve Postpartum Maternal Behavior through Family-Centered Maternity Care (FCMC) about Postpartum Care Education. *Journal of Community Engagement in Health*, 7(2), 238-243.