

PROSPEK *EXTENDED REALITY* DALAM PRAKTIK KEDOKTERAN FORENSIK

EXTENDED REALITY PROSPECTS IN FORENSIC MEDICINE PRACTICES

Suripto^{1*}, Aria Yudhistira²

¹Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta

*²Departemen Ilmu Kedokteran Forensik dan Studi Medikolegal, RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo,
Jakarta*

ABSTRAK

Perkembangan teknologi terus menciptakan alat-alat baru yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Pandemi COVID-19 mendorong pembaruan dan mengubah cara pandang terhadap dunia pendidikan, penelitian serta pelayanan medis dalam dunia kedokteran. *Extended Reality* (XR) merupakan salah satu teknologi yang sedang berkembang, mencakup teknologi *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR) dan *Mixed Reality* (MR). Teknologi XR telah digunakan dalam berbagai bidang dan memberikan pengalaman serta keuntungan seperti dalam dunia *gaming*, militer, edukasi, kedokteran, hingga pelatihan. Peranan teknologi XR dalam dunia kedokteran masih terbilang minim dan hanya ditemukan di beberapa pusat pelayanan dan pendidikan kedokteran. XR telah digunakan sebagai alat bantu belajar mahasiswa kedokteran dalam pembelajaran bidang anatomi dan neuroanatomi, pelatihan dan persiapan sebelum melakukan pembedahan oleh dokter spesialis maupun residen, pelatihan prosedur penanganan trauma pada pediatrik, pelatihan resusitasi pediatrik, hingga terapi pada pasien dengan gangguan psikis seperti depresi, cemas dan fobia. Kajian literatur ini ditujukan untuk memperkenalkan dan memberikan pandangan terhadap penggunaan teknologi XR dalam dunia kedokteran, khususnya praktik kedokteran forensik. Implementasi teknologi XR dalam kedokteran forensik dapat berupa pembelajaran traumatologi dan tanatologi secara lebih komprehensif menggunakan model *virtual*, pembelajaran dan pengulangan kasus kompleks dan langka, memberikan bantuan serta meningkatkan kualitas riset dan penelitian, dan lain-lain. Penggunaan teknologi XR dalam praktik kedokteran forensik dapat membantu melengkapi sistem pendidikan dan penelitian bidang kedokteran forensik, hingga pelayanan kedokteran forensik.

Kata kunci: Augmented Reality, Extended Reality, Mixed Reality, Praktik Forensik, Teknologi, Virtual Reality

ABSTRACT

Advancement of technologies have been creating tools that humans use everyday in their daily life. COVID-19 pandemic has shifted some methodological approach in educating future medical workers, how we perform research studies and how we provide medical services for those in need. Extended Reality (XR) is a growing technology which encompasses Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), and Mixed Reality (MR). XR has been utilized in a multitude of fields and further enhancing experiences and benefits in various fields such as gaming, military, educations, medicine and trainings. XR technology in medicine is still scarce, only have been used by few medical and education center. Currently, XR technology is used for helping medical students to learn anatomy and neuroanatomy, training and preparing surgeons and residents for surgery, emergency trauma procedure in pediatric, pediatric resuscitation training, and therapy for patients with psychiatric problems such as depression, anxiety and phobia. This literature review is intended to introduce and to add additional insights regarding implementation of XR technology in medicine, especially forensic medicine. Examples of implementing XR technology in forensic medicine will be learning traumatology and thanatology comprehensively using virtual models, learning and relearning complex and rare cases, providing support and increasing quality of research and studies, and much more. XR technology usage in forensic medicine will be a great complement in forensic medicine education, forensic medicine studies and research, with prospect for forensic medicine medical services using XR technology.

Keywords: *Augmented Reality, Extended Reality, Forensic Practices, Mixed Reality, Technology, Virtual Reality*

Penulis korespondensi:

dr. Suropto

Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia

Jl. Salemba Raya No.6, RW.5, Kenari, Kec. Senen, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10430

Email: suriptoZh@gmail.com

PENDAHULUAN

Ilmu Kedokteran Forensik dan Medikolegal (IKFM) merupakan salah satu cabang keilmuan kedokteran yang menerapkan ilmu kedokteran guna penegakan keadilan. IKFM telah mengalami perkembangan dari awal keilmuan IKFM hingga saat ini, khususnya dalam ranah teknologi kedokteran. Penggunaan teknologi dalam dunia kedokteran saat ini sudah menjadi hal yang lazim dan menjadi salah satu komponen dalam pelayanan kedokteran akibat perkembangannya yang pesat.

Teknologi dalam dunia kedokteran yang digunakan saat ini diantaranya adalah alat-alat pemeriksaan radiologis, alat pemeriksaan laboratorium hingga alat untuk tindakan pembedahan. Teknologi di dunia secara umum juga terus berkembang dan saat ini perkembangan teknologi yang tergolong masih baru adalah teknologi *Extended Reality* (XR). XR mencakup teknologi *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR) dan *Mixed Reality* (MR). (Zweifach and Triola 2019; Gupton and Kiger 2020) Kebutuhan XR dalam pekerjaan berisiko tinggi seperti kesehatan

meningkat dibandingkan kebutuhan terhadap pelatihan secara fisik. Penggunaan XR mempunyai potensi besar untuk mentransformasi bentuk edukasi bagi mahasiswa kedokteran di bidang anatomi tubuh manusia sampai tindakan invasif. Simulasi XR juga dapat diintegrasikan dengan data biomedis seperti CT-scan atau MRI.(Zweifach and Triola 2019)

VR merupakan teknologi digital yang bersifat menghalangi dunia fisik dari pengguna dan menayangkan dunia maya yang diciptakan oleh aplikasi. Saat ini, teknologi VR dapat “mengganti” indera penglihatan menggunakan teknologi berupa *head-mounted display* (HMD) atau secara awam dikenal sebagai *headset* dan “mengganti” indera pendengaran menggunakan *built-in speaker* atau dapat menggunakan *headphone*. Teknologi untuk mengakses VR saat ini telah diciptakan oleh beberapa perusahaan ternama seperti Facebook dengan Oculus Rift hingga Oculus Quest 2, HTC dengan HTC Vive, Valve dengan Valve Index, dan masih banyak lagi.(Intel n.d.; Gupton and Kiger 2020; Zweifach and Triola 2019) Penggunaan VR saat ini terbanyak berasal dari sektor *gaming* dan perlahan penggunaan VR mulai memasuki sektor lain. Perkembangan terbaru dalam teknologi VR saat ini adalah diciptakannya alat untuk “mengganti” indera perabaan/taktil menggunakan *epidermal VR* oleh Northwestern University.(Morris 2019; Zweifach and Triola 2019) Penggunaan VR juga didukung dengan menggunakan alat *VR omni-directional treadmill*(Robertson 2020; Zweifach and Triola 2019) yang terus berkembang saat ini agar penggunaan VR yang membutuhkan pergerakan dapat dilakukan tanpa berpindah tempat dan membahayakan diri pengguna, serta alat *VR haptic suit*(Hector 2021) yang akan menghantarkan beragam sensasi seperti nyeri hingga sentuhan pada bagian tubuh yang dilapisi oleh alat tersebut.

AR merupakan salah satu teknologi digital yang menampilkan data digital di dalam dunia fisik. Jenis teknologi ini terbagi menjadi 2 jenis yaitu langsung melalui HMD atau proyektor khusus dan secara tidak langsung melalui layar *smartphone* atau *tablet* yang umumnya memerlukan akses kamera dalam penggunaannya. Penggunaan AR mulai memasuki dunia sehari-hari tanpa kita sadari bahwa teknologi tersebut merupakan teknologi AR.(Intel n.d.; Zweifach and Triola 2019) Contoh-contoh penggunaan AR adalah penggunaan *filter* dalam aplikasi Instagram maupun Snapchat, *game* seperti Pokemon GO, implementasi digital dalam tayangan pertandingan olahraga, dan masih banyak lagi.(Gupton and Kiger 2020) Aplikasi AR saat ini umumnya menggunakan teknologi *smartphone* dalam pengaplikasiannya dengan menciptakan aplikasi-aplikasi yang dapat menciptakan teknologi AR.(Marr n.d.)

MR merupakan ekstensi dari AR. Teknologi MR menciptakan data digital di dunia fisik yang dapat interaksi dengan pengguna HMD untuk MR. Saat pemakaian HMD untuk MR, kontrol gerakan dapat dilakukan menggunakan gerakan tangan yang telah teridentifikasi oleh HMD. MR merupakan terminologi yang baru dibandingkan dengan VR dan AR. Implementasi MR saat ini masih jarang dibandingkan dengan VR dan AR, namun penggunaan MR mempunyai prospek yang baik dan MR masih memiliki ruang berkembang yang sangat luas. Teknologi HMD untuk MR saat ini diantaranya diciptakan oleh Microsoft dengan HoloLens, Lenovo dengan Explorer, Samsung dengan Odyssey, Acer dengan Windows Mixed Reality dan masih banyak lagi.(Intel n.d.; Gupton and Kiger 2020; Marr n.d.) Terminologi AR dan MR seringkali disamakan karena terminologi MR baru mulai lazim digunakan beberapa tahun belakangan.

Penggunaan teknologi XR telah diimplementasikan dalam berbagai jenis bidang diantaranya adalah pelatihan, militer, pendidikan, kedokteran dan yang paling berkembang adalah dunia *gaming*. Pemanfaatan teknologi ini mulai dilakukan oleh berbagai pihak untuk mempermudah pekerjaan ataupun meningkatkan keahlian dalam situasi tertentu. Perkembangan XR secara pesat terjadi dalam 10 tahun terakhir dan perkembangan terhadap kumpulan teknologi ini terus berjalan.

Perkembangan IKFM dalam penggunaan teknologi XR saat ini belum banyak diutilisasi meskipun terdapat keuntungan yang dapat diimplementasikan dalam pendidikan, penelitian dan pelayanan dalam bidang IKFM. Kajian literatur ini bertujuan untuk memperkenalkan teknologi XR dan beberapa cara mengimplementasikan teknologi XR dalam kegiatan harian dalam dunia IKFM sehingga mampu men-digitalisasi-kan ekosistem dalam praktik kedokteran forensik.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bersifat kajian literatur. Pencarian terhadap literatur dilakukan menggunakan *database* PubMed dan Google Scholar, serta pencarian secara *hand-searching* menggunakan penggabungan 2 hingga 3 kata kunci dari beberapa kata kunci berikut yaitu “*Extended Reality*”, “*Virtual Reality*”, “*Augmented Reality*”, “*Mixed Reality*”, “*Medicine*”, “*Forensic Medicine*”, “*Education*” dan “*Training*”.

HASIL DAN PEMBAHASAN

VR telah banyak digunakan oleh masyarakat sehari-hari untuk pemenuhan kebutuhan. VR saat ini paling banyak diimplementasikan pada gaming dan mempunyai variasi yang banyak dalam dunia *gaming*. VR saat ini telah diadopsi oleh sektor lain yang melihat potensi berkembangnya teknologi VR dalam sektor tersebut.(Doolani et al. 2020) VR telah terbukti sebagai media pembelajaran terbaik untuk pelatihan sistem keamanan. Beberapa contoh pemanfaatan teknologi VR adalah penggunaannya sebagai alat hiburan, alat pelatihan penanganan bencana, pelatihan penyelamatan penambang,(Pedram et al. 2020) pelatihan untuk pekerja di landasan pacu bandara,(Doolani et al. 2020) pelatihan dan simulasi militer,(Ahir et al. 2020) pelatihan pemikiran kritis dan pemecahan masalah serta pengalaman manajemen kapal dalam simulasi pelatihan marinir,(Doolani et al. 2020) pembelajaran bahasa asing,(Ebert et al. 2016)

Teknologi AR saat ini telah banyak terintegrasi dengan teknologi sehari-hari tanpa kita sadari bahwa teknologi tersebut termasuk AR. Teknologi AR yang banyak digunakan saat ini adalah fitur *filter* di aplikasi media sosial Instagram dan Snapchat, atau pelatihan manufaktur.(Doolani et al. 2020) Pelatihan yang menggunakan teknologi AR ini terbukti menurunkan beban mental ketika melakukan pelatihan tersebut dibandingkan pelatihan secara konvensional.

Integrasi teknologi MR dalam kehidupan sehari-hari mulai berkembang seiring dengan perkembangan dan perluasan akses teknologi ini. Teknologi MR yang baru berkembang beberapa tahun ke belakang ini telah diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya di bidang seni teatrikal,(Case Western Reserve University 2017b) pameran seni,(Case Western Reserve University 2017a) arsitektur,(Workman 2018) pariwisata,(Workman 2018) industri manufaktur(Doolani et al. 2020) dan lainnya.

Pengaplikasian VR dalam dunia kedokteran telah dilakukan oleh berbagai institusi pendidikan. Stanford melakukan simulasi menggunakan VR untuk mendukung pembelajaran mahasiswa kedokteran, residen hingga dokter bedah dengan fokus pembelajaran pada neuroanatomi dan pelatihan prosedur bedah saraf. Pembelajaran ini membuat tindakan pembedahan menjadi lebih aman melalui peningkatan akurasi dokter bedah yang sebelumnya telah melakukan telaah hasil pemeriksaan dari CT-Scan dan MRI pasien yang dikonversikan menjadi VR. Simulasi VR yang dilakukan oleh Stanford tidak terbatas pada pembelajaran saja namun edukasi terhadap pasien terkait penyakit yang dialaminya, yang dilakukan untuk memberikan

gambaran jelas kepada pasien dibandingkan hanya melalui kata-kata atau gambar dua dimensi.(Stanford Medicine n.d.) Mahasiswa juga diajarkan mengenai jantung serta penyakit jantung bawaan secara lebih tervisualisasi. Keluarga pasien juga dilibatkan dalam penggunaan teknologi ini untuk lebih memahami kondisi jantung pada bayi anaknya.(Health n.d.) Penggunaan teknologi pembelajaran ini mendapatkan respon positif dari mahasiswa.(Andrews et al. 2019)

Pembelajaran anatomi umum untuk mahasiswa kedokteran tingkat pertama juga dilakukan menggunakan VR oleh University of California.(Baker 2017) Selain itu, pembelajaran anatomi umum untuk mahasiswa kedokteran, dokter bedah hingga fakultas juga dilakukan oleh University of Illinois College of Medicine.(Renken 2018) Pembelajaran oleh mahasiswa kedokteran di era pandemi COVID-19 juga meningkatkan kemampuan pembelajaran mahasiswa dalam pemeriksaan pasien.(De Ponti et al. 2020)

Pembelajaran menggunakan VR tidak terbatas pada pembelajaran anatomi. Children's Hospital of Los Angeles melakukan edukasi menggunakan VR untuk pembelajaran prosedur trauma pediatri dan pelatihan resusitasi pediatri. Pembelajaran ini ditujukan kepada residen baru dan opsional diberikan kepada mahasiswa kedokteran untuk kasus emergensi pediatri dengan kegawatdaruratan yang kasusnya jarang terjadi. Pelatihan simulasi menggunakan VR ini juga menjadi solusi bagi fasilitas kesehatan yang tidak mempunyai ruangan atau peralatan khusus untuk melakukan pelatihan guna kepentingan peningkatan keilmuan dan keterampilan.(The Oculus Team 2018)

Manfaat lain VR dalam dunia kedokteran adalah sebagai modalitas rehabilitasi pada pasien dengan disabilitas berat menggunakan permainan atau *game* yang juga meningkatkan rasa bahagia pasien sehingga rehabilitasi dapat berjalan dengan lancar(Soomal et al. 2020) dan pelatihan kegawatdaruratan untuk paramedik menggunakan skenario kasus anafilaksis grade III pada pediatri dengan syok dan inflamasi saluran pernapasan.(Lerner et al. 2020)

VR juga diteliti untuk dimanfaatkan pada tata laksana terhadap kasus gangguan kejiwaan, khususnya pada kasus fobia. Penggunaan VR dengan melakukan terapi eksposur kepada pasien tanpa membahayakan pasien menjadi salah satu potensi pengobatan yang dapat diaplikasikan melalui penggunaan teknologi ini.(Botella et al. 2017) Studi-studi dalam kedokteran jiwa juga menerapkan penelitian berbasis VR dengan hasil bahwa penggunaan VR mempunyai potensi untuk membantu terapi pasien dengan kecemasan, depresi, psikosis, adiksi hingga gangguan makan.(Freeman et al. 2017)

Namun, sebuah studi terhadap penggunaan VR pada rehabilitasi menunjukkan bahwa terdapat kesulitan dari tenaga medis maupun pasien dalam menerapkan rehabilitasi menggunakan VR seperti tidak adanya ruang pergerakan yang cukup, waktu yang cukup untuk melakukan rehabilitasi di rumah hingga lupa terhadap cara menggunakan teknologi tersebut. Penggunaan VR juga mengoklusi penglihatan secara total sehingga penggunaan AR maupun MR dalam terapi ini lebih dianjurkan.(Williams et al. 2019)

Penggunaan teknologi AR oleh Echopixel memberikan gambaran tiga dimensi terhadap organ tubuh pasien yang sebelumnya dilakukan pemeriksaan CT-scan dan MRI. Hasil dari CT-scan dan MRI kemudian akan diolah menjadi gambar tiga dimensi yang akan dapat diakses melalui HMD AR pada saat melakukan diagnosis dan perencanaan pra-prosedural. Interpretasi hasil menggunakan teknologi AR lebih cepat dibandingkan dengan interpretasi hasil secara konvensional dengan keakuratan yang mirip dari kedua modalitas tersebut.(Andrews et al. 2019)

RealView Holographic Display merupakan salah satu teknologi AR yang dikembangkan untuk digunakan dalam dunia kedokteran. Studi oleh Bruckheimer E. menggunakan teknologi ini melalui gambar *hologram* dari jantung pasien. Gambar *hologram* tersebut didapat dari hasil pemeriksaan angiografi rotasional tiga dimensi serta ekokardiografi transesofagus. Hasil studi didapatkan bahwa hasil dari pemeriksaan menggunakan AR mempunyai kualitas tinggi dan mempunyai relevansi secara klinis. (Bruckheimer et al. 2016)

Teknologi MR telah digunakan oleh Case Western Reserve University dan Cleveland Clinic dalam menciptakan aplikasi pembelajaran anatomi dengan nama HoloAnatomy menggunakan teknologi HoloLens. Pembelajaran cara ini dilakukan terhadap kurikulum anatomi umum dan efektif dalam mengajar mahasiswa kedokteran. Contoh pengaplikasian MR adalah memberikan informasi penuh terhadap mahasiswa kedokteran terkait tulang, sistem sirkulasi, arteri, vena, hingga otot dan organ-organ yang bergerak mengikuti fisiologi tubuh secara lengkap dan dapat dipelajari setelah perkuliahan selesai karena tidak membutuhkan kadaver sebagai bahan pembelajaran. (Workman 2018)

Penggunaan MR tidak sebatas hanya pada ranah pendidikan. Imperial College Healthcare NHS Trust mengadopsi teknologi MR dalam pelayanan rumah sakit. Kebutuhan *virtual* didorong oleh kondisi pandemi COVID-19 yang menyebabkan keharusan untuk menjaga jarak agar tidak tertular COVID-19. Penggunaan teknologi MR dapat digunakan bersamaan dengan alat pelindung diri sehingga menjadi sebuah penyelesaian masalah besar dalam krisis kesehatan saat ini serta pengurangan penggunaan alat pelindung diri. Pengaplikasian teknologi ini dilakukan dengan cara *visite* pasien secara *virtual* oleh dokter-dokter yang menangani pasien dan hanya 1 dokter yang datang secara fisik untuk memeriksa pasien langsung. Layar MR juga mempunyai teknologi untuk menampilkan hasil pemeriksaan laboratorium sampai radiologi sehingga paparan dokumen terhadap pasien juga berkurang. (Microsoft 2020)

Pengaplikasian lain teknologi MR dilakukan oleh seorang dokter spesialis THT di Hamburg. Teknologi MR ini digunakan sebagai media edukasi terhadap pasien sebelum dilakukan operasi sehingga pasien lebih paham mengenai organ tubuh yang akan dilakukan operasi beserta penjelasan prosedurnya. Pembelajaran terhadap bagian tubuh pasien juga dilakukan oleh dokter untuk menentukan teknik operasi yang akan digunakan. Pada intraoperasi, teknologi MR ini dapat melakukan pemindaian terhadap wajah pasien dan “menggabungkan” wajah pasien dengan hasil MRI dan CT-Scan pasien sehingga visualisasi pasien menjadi lebih jelas. Pengambilan foto intraoperasi juga lebih mudah karena kamera yang terdapat pada HMD MR tersebut. (Microsoft 2019)

Asistensi operasi jarak jauh juga dapat diutilisasi menggunakan teknologi ini. Dokter dari New York melakukan asistensi operasi kepada dokter dari pedalaman di Uganda menggunakan HMD MR. Dokter di New York menggunakan kamera dari komputer yang terhubung dengan dokter di Uganda yang menggunakan teknologi MR sehingga asistensi operasi tersebut dapat terjadi secara langsung. Dokter di New York juga dapat melihat langsung proses operasi, memberikan arahan hingga memberikan coretan gambar di layar sehingga dokter pelaksana operasi dapat melihat langsung apa yang diarahkan dari dokter di New York. Hal ini membuka peluang-peluang untuk melakukan tindakan di pedalaman atau di kota tanpa dokter bedah sehingga penanganan pasien dapat terjadi secara komprehensif dan holistik. (Manning 2021)

Pembelajaran menggunakan VR di bidang pendidikan kedokteran forensik menjadi salah satu potensi besar dalam pembelajaran optimal dan berulang. Tendensi berkurangnya kasus forensik klinik maupun forensik patologi menyebabkan pembelajaran langsung oleh mahasiswa pendidikan

kedokteran maupun residen peserta pendidikan dokter spesialis menjadi terbatas. Penggunaan VR dalam pembelajaran ini dapat membantu pendidikan terutama dalam mempelajari dan mengulangi simulasi kasus sederhana, kasus sulit dan kompleks maupun kasus langka. Pembelajaran dapat berupa pemeriksaan terstruktur forensik terhadap pasien korban kekerasan seksual hingga pembelajaran keterampilan dasar dan khusus terhadap pemeriksaan forensik patologi. Teknologi VR juga dapat mengajarkan tentang pengenalan bahan dan alat yang digunakan dalam praktik kedokteran forensik sehari-hari tanpa harus mempersiapkan bahan dan alat tersebut secara fisik.

Teknologi VR dapat digunakan untuk olah Tempat Kejadian Perkara (TKP) dan digunakan sebagai bahan pembelajaran maupun penguat bukti hukum untuk kasus kejahatan yang terjadi di tempat tersebut. Pembelajaran digunakan oleh mahasiswa forensik dalam melakukan pencarian dan analisis bukti di TKP. (Kader et al. 2020) Penggunaan VR meningkatkan pengetahuan hakim, jaksa dan pengacara terhadap lokasi kejadian yang sebelumnya hanya dapat terlihat secara dua dimensi. Namun demikian, pengaplikasian VR terhadap olah TKP mempunyai beberapa kekurangan seperti ketidakakuratan lebar ruangan dari aplikasi VR maupun keterangan dari saksi mengenai tempat kejadian. (Sieberth et al. 2019)

Penggunaan AR dalam praktik kedokteran forensik saat ini belum banyak diteliti. Penggunaan AR seperti menggunakan *hologram* dari hasil pemeriksaan laboratorium untuk kepentingan pelayanan hingga pemanfaatan *hologram* dalam pendidikan mahasiswa kedokteran merupakan salah satu potensi dari teknologi ini.

Pelayanan kedokteran forensik menggunakan AR akan dapat menggantikan penggunaan foto sebagai barang bukti forensik patologi dalam pengadilan saat ini. Penggunaan video organ dalam otopsi dan mengkonversikan menjadi sebuah model tiga dimensi dapat mempermudah hakim dalam melihat dan memahami situasi organ secara langsung dibandingkan menggunakan foto dua dimensi.

Penggunaan MR dalam pelayanan otopsi telah dicoba dalam penelitian oleh Affolter R. menggunakan HMD dari Microsoft HoloLens. Teknologi MR ini digunakan untuk membantu proses otopsi dengan menampilkan layar hasil pemeriksaan CT-scan pada layar HMD MR sehingga dokter yang melakukan otopsi tidak perlu untuk meninggalkan meja otopsi guna melihat hasil pemeriksaan di komputer yang dapat meningkatkan risiko kontaminasi. (Affolter et al. 2019) Penelitian serupa juga dilakukan oleh Zurich Institute of Forensic Medicine namun dalam studi tersebut dirasakan bahwa penggunaan HMD MR dalam otopsi tidak membantu secara signifikan terhadap proses otopsi tersebut. (Bulliard et al. 2020)

University of Pittsburgh Medical Center telah melakukan percobaan menggunakan teknologi MR dalam departemen patologinya. Percobaan dilakukan pada saat melakukan otopsi dan telepatologi dimana konsultan senior melakukan bimbingan, memberikan arahan dan menunjuk menggunakan panah kepada operator tindakan. HMD MR juga digunakan untuk melihat data-data pemeriksaan lainnya ketika melakukan pengambilan sampel biopsi pada organ pasien. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa teknologi ini mempunyai prospek yang menjanjikan. (Hanna et al. 2018)

Virtual Autopsy atau *Virtopsy* merupakan salah satu modalitas yang dapat digunakan saat ini untuk melakukan otopsi yang tidak dilakukan pembedahan karena alasan tertentu. *Virtopsy* menggunakan hasil pemeriksaan dari CT-scan, MRI, biopsi organ hingga *3D photogrammetry-based optical surface scanning* dalam pengumpulan data dan formulasi data tubuh manusia menjadi data elektronik. Penggunaan *virtopsy* ini dapat digunakan untuk visualisasi jenazah secara cepat dan tanpa kontaminasi lingkungan dari cairan tubuh manusia. Selain itu, *virtopsy* juga

menyimpan data tubuh sebagai rekam medis dengan jenazah yang masih utuh, penggunaan sebagai teknologi identifikasi dalam bencana dengan korban jiwa yang banyak, hingga melakukan rekonstruksi wajah tiga dimensi. Namun penggunaan virtopsy masih belum dapat mengidentifikasi status infeksi, tekstur jaringan hingga perubahan warna. Penggunaan teknologi ini masih kurang informatif dibandingkan otopsi karena hasil pemeriksaan tergantung interpretasi radiologis dan luka kecil dapat terlewatkan. Teknik virtopsy masih tergolong mahal, teknik pemeriksaan yang tergantung pada pemeriksa dan membutuhkan dokter radiologi yang kompeten dalam pemeriksaan tersebut. (Rai et al. 2017)

Masa depan pemeriksaan jenazah pada praktik kedokteran forensik adalah pemeriksaan otopsi menyeluruh menggunakan data pemindaian lengkap pada tubuh atau dapat disebut sebagai otopsi data manusia / *human data autopsy*. Pemeriksaan ini dapat dilakukan seperti melakukan otopsi konvensional namun pada teknologi ini menggunakan data manusia yang telah dilakukan pemindaian lengkap terlebih dahulu menggunakan alat pemindaian canggih yang dapat menampilkan keseluruhan detail lengkap tubuh manusia dalam bentuk data. Perkembangan teknologi yang telah ada saat ini dan yang akan datang menciptakan potensi pengembangan teknologi pemindaian lengkap tubuh manusia khusus forensik patologi.

Otopsi konvensional akan digantikan oleh otopsi data manusia pada kondisi yang tidak memungkinkan untuk dilakukan tindakan tersebut seperti pada kasus-kasus penolakan keluarga. Pemindaian data dapat dilakukan pada semua jenazah yang masuk ataupun keluar dari rumah sakit sehingga dapat menciptakan sebuah repositori data jenazah tubuh manusia. Data-data tersebut dapat dijadikan sebagai bukti, data rekam medik ataupun pembelajaran untuk berbagai spesialisasi terhadap berbagai kondisi penyakit/kelainan pada tubuh manusia yang telah meninggal.

Biaya implementasi, penerimaan fakultas dan klinisi hingga penerimaan mahasiswa menjadi pertimbangan dalam pengaplikasian teknologi ini. Institusi kedokteran menilai teknologi XR dapat meningkatkan pengetahuan mahasiswa namun penggunaannya masih minim padahal langkah pertama dari implementasi teknologi baru dalam institusi adalah penerimaan dari fakultas dan secara multidisiplin. Beberapa institusi enggan untuk berubah dikarenakan biaya, waktu dan risiko dari pengimplementasian teknologi baru ini sementara institusi lain tidak melihat alasan untuk memberhentikan cara pembelajaran konvensional yang telah menunjukkan hasil. Kesulitan yang dapat terjadi juga adalah kebutuhan tambahan dalam pengadaan dan pemeliharaan alat hingga teknisi yang mampu menciptakan modul aplikasi XR. (Zweifach and Triola 2019)

Potensi masalah kesehatan dapat timbul ketika sedang menggunakan teknologi XR ini. Beberapa gejala yang terjadi adalah pusing, (Logeswaran et al. 2021; Andrews et al. 2019) nyeri kepala, (Andrews et al. 2019) mual, (Andrews et al. 2019) stress postural, (Logeswaran et al. 2021) ketegangan mata, (Logeswaran et al. 2021) mata buram. (Andrews et al. 2019) Selain potensi masalah kesehatan yang dapat timbul, penggunaan teknologi ini juga dapat menimbulkan potensi permasalahan hukum hingga permasalahan etis.

Penggunaan teknologi MR dengan HMD dapat mengganggu hasil pembacaan CT-scan maupun MRI karena tampilan dari layar HMD yang transparan sehingga dapat mengganggu tampilan ketika ditempatkan di daerah dengan pencahayaan yang kuat. (Affolter et al. 2019) Daya baterai dari alat HMD ini juga menjadi sebuah kekurangan karena sifatnya yang *wireless* dengan daya tahan baterai hanya sekitar 2-3 jam pemakaian. (Microsoft n.d.; Affolter et al. 2019) Kekurangan lain dari alat MR saat ini adalah sempitnya lapang pandang pengguna sehingga penempatan objek akan mengurangi efisiensi dari HMD MR tersebut. (Andrews et al. 2019)

KESIMPULAN

Potensi perkembangan teknologi dalam praktik kedokteran forensik terus berkembang. Teknologi XR dapat diutilisasi dalam pendidikan, penelitian serta pelayanan kedokteran forensik. Penggunaan teknologi ini telah digunakan oleh umum dalam berbagai sektor dan pada sektor kesehatan di berbagai spesialisasi. Penggunaan teknologi XR mempunyai keuntungan serta kerugian dalam pengimplementasian teknologi ini, namun dunia kedokteran harus membuka peluang dan melihat potensi besar teknologi ini dalam masa depan dunia kedokteran.

DAFTAR PUSTAKA

- Affolter, R., Eggert, S., Sieberth, T., Thali, M. and Ebert, L.C. (2019). Applying augmented reality during a forensic autopsy—Microsoft HoloLens as a DICOM viewer. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 16, pp.5–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212478018300650>.
- Ahir, K., Govani, K., Gajera, R. and Shah, M. (2020). Application on Virtual Reality for Enhanced Education Learning, Military Training and Sports. *Augmented Human Research*, 5(1), p.7. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s41133-019-0025-2>.
- Andrews, C., Southworth, M.K., Silva, J.N.A. and Silva, J.R. (2019). Extended Reality in Medical Practice. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*, 21(4), p.18. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11936-019-0722-7>.
- Baker, M. (2017). *How VR is Revolutionizing the Way Future Doctors are Learning About Our Bodies* / UC San Francisco [online]. Available from: <https://www.ucsf.edu/news/2017/09/408301/how-vr-revolutionizing-way-future-doctors-are-learning-about-our-bodies> [accessed 12 September 2021].
- Botella, C., Fernández-Álvarez, J., Guillén, V., García-Palacios, A. and Baños, R. (2017). Recent Progress in Virtual Reality Exposure Therapy for Phobias: A Systematic Review. *Current Psychiatry Reports*, 19(7), p.42. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11920-017-0788-4>.
- Bruckheimer, E., Rotschild, C., Dagan, T., Amir, G., Kaufman, A., Gelman, S. and Birk, E. (2016). Computer-generated real-time digital holography: first time use in clinical medical imaging. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*, 17(8), pp.845–849. Available from: <https://academic.oup.com/ehjci/advance-article-lookup/doi/10.1093/ehjci/jew087>.
- Bulliard, J., Eggert, S., Ampanozi, G., Affolter, R., Gascho, D., Sieberth, T., Thali, M.J. and Ebert, L.C. (2020). Preliminary testing of an augmented reality headset as a DICOM viewer during autopsy. *Forensic Imaging*, 23, p.200417. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S266622562030066X>.
- Case Western Reserve University. (2017a). *CWRU Boulevard HoloLens App - YouTube* [online]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=f3575f3DOOw&t=96s> [accessed 12 September 2021].
- Case Western Reserve University. (2017b). *Dancing with holograms: CWRU stages dance performance using Microsoft HoloLens - YouTube* [online]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=arqO9vgS000&t=149s> [accessed 12 September 2021].
- Doolani, S., Wessels, C., Kanal, V., Sevastopoulos, C., Jaiswal, A., Nambiappan, H. and Makedon, E. (2020). A Review of Extended Reality (XR) Technologies for Manufacturing Training.

- Technologies*, 8(4), p.77. Available from: <https://www.mdpi.com/2227-7080/8/4/77>.
- Ebert, D., Gupta, S. and Makedon, F. (2016). Ogma: A Virtual Reality Language Acquisition System. In: *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. New York, NY, USA: ACM, pp.1–5. Available from: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2910674.2910681>.
- Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B. and Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), pp.2393–2400. Available from: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S003329171700040X/type/journal_article.
- Gupton, N. and Kiger, P.J. (2020). *What's the Difference Between AR, VR, and MR?* | *The Franklin Institute* [online]. Available from: <https://www.fi.edu/difference-between-ar-vr-and-mr> [accessed 12 September 2021].
- Hanna, M.G., Ahmed, I., Nine, J., Prajapati, S. and Pantanowitz, L. (2018). Augmented Reality Technology Using Microsoft HoloLens in Anatomic Pathology. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 142(5), pp.638–644. Available from: <http://meridian.allenpress.com/aplm/article/142/5/638/194343/Augmented-Reality-Technology-Using-Microsoft>.
- Health, S.C. *The Stanford Virtual Heart - Stanford Children's Health* [online]. Available from: <https://www.stanfordchildrens.org/en/innovation/virtual-reality/stanford-virtual-heart> [accessed 13 September 2021].
- Hector, H. (2021). *A fully immersive VR haptic suit is going on sale, but you won't get one soon* | *TechRadar*. Available from: <https://www.techradar.com/news/a-fully-immersive-vr-haptic-suit-is-going-on-sale-but-you-wont-get-one-soon>.
- Intel. *Virtual Reality vs. Augmented Reality vs. Mixed Reality - Intel*. Available from: <https://www.intel.com/content/www/us/en/tech-tips-and-tricks/virtual-reality-vs-augmented-reality.html>.
- Kader, S.N., Ng, W.B., Tan, S.W.L. and Fung, F.M. (2020). Building an Interactive Immersive Virtual Reality Crime Scene for Future Chemists to Learn Forensic Science Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(9), pp.2651–2656. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.0c00817>.
- Lerner, D., Mohr, S., Schild, J., Göring, M. and Luiz, T. (2020). An Immersive Multi-User Virtual Reality for Emergency Simulation Training: Usability Study. *JMIR Serious Games*, 8(3), p.e18822. Available from: <https://games.jmir.org/2020/3/e18822>.
- Logeswaran, A., Munsch, C., Chong, Y.J., Ralph, N. and McCrossnan, J. (2021). The role of extended reality technology in healthcare education: Towards a learner-centred approach. *Future Healthcare Journal*, 8(1), pp.e79–e84. Available from: <https://www.rcpjournals.org/lookup/doi/10.7861/fhj.2020-0112>.
- Manning, R. (2021). *Easing Collaboration for Remote Surgery with HoloLens 2 – SphereGen* [online]. Available from: <https://www.spheregen.com/easing-collaboration-for-remote-surgery-with-hololens-2/> [accessed 12 September 2021].
- Marr, B. *The Important Difference Between Augmented Reality And Mixed Reality - Bernard Marr* [online]. Available from: <https://bernardmarr.com/the-important-difference-between-augmented-reality-and-mixed-reality/> [accessed 12 September 2021].
- Microsoft. *HoloLens 2—Overview, Features, and Specs | Microsoft HoloLens* [online]. Available

- from: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware> [accessed 12 September 2021].
- Microsoft. (2019). *Microsoft Customer Story-A hospital revolution: 3D assistance in operations* [online]. Available from: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/770890-apoqlar-azure-hololens-cognitive-services-health-en> [accessed 12 September 2021].
- Microsoft. (2020). *Microsoft Customer Story-Imperial College Healthcare NHS Trust uses mixed reality in the fight against COVID-19* [online]. Available from: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/825289-imperial-nhs> [accessed 22 September 2021].
- Morris, A. (2019). 'Epidermal VR' gives technology a human touch - *Northwestern Now* [online]. Available from: <https://news.northwestern.edu/stories/2019/11/epidermal-vr-gives-technology-a-human-touch/> [accessed 12 September 2021].
- Pedram, S., Palmisano, S., Skarbez, R., Perez, P. and Farrelly, M. (2020). Investigating the process of mine rescuers' safety training with immersive virtual reality: A structural equation modelling approach. *Computers & Education*, 153, p.103891. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131520300907>.
- De Ponti, R., Marazzato, J., Maresca, A.M., Rovera, F., Carcano, G. and Ferrario, M.M. (2020). Pre-graduation medical training including virtual reality during COVID-19 pandemic: a report on students' perception. *BMC Medical Education*, 20(1), p.332. Available from: <https://bmcmmededuc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12909-020-02245-8>.
- Rai, S., Misra, D., Tyagi, K., Prabhat, M. and Gangwal, P. (2017). Image Guided Virtual Autopsy: An Adjunct with Radiographic and Computed Tomography Modalities - An Important Tool in Forensic Identification. *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology*, 29(4), p.368. Available from: <http://www.jiaomr.in/text.asp?2017/29/4/368/225470>.
- Renken, L. (2018). *University of Illinois Helps Develop Revolutionary Virtual Reality for Learning* [online]. Available from: <https://www.govtech.com/education/higher-ed/university-of-illinois-helps-develop-revolutionary-virtual-reality-for-learning.html> [accessed 12 September 2021].
- Robertson, A. (2020). *Virtuix announces Omni One home VR treadmill - The Verge*. Available from: <https://www.theverge.com/2020/10/7/21504797/virtuix-omni-one-vr-treadmill-announce-crowdfunding>.
- Sieberth, T., Dobay, A., Affolter, R. and Ebert, L.C. (2019). Applying virtual reality in forensics – a virtual scene walkthrough. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 15(1), pp.41–47. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s12024-018-0058-8>.
- Soomal, H.K., Poyade, M., Rea, P.M. and Paul, L. (2020). Enabling More Accessible MS Rehabilitation Training Using Virtual Reality. In: pp.95–114. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-43961-3_5.
- Stanford Medicine. *Virtual Reality Lab | Neurosurgery | Stanford Medicine* [online]. Available from: <https://med.stanford.edu/neurosurgery/divisions/vr-lab.html> [accessed 12 September 2021].
- The Oculus Team. (2018). *Immersive Education: CHLA and Oculus Expand VR Medical Training Program to New Institutions* [online]. Available from: <https://www.oculus.com/blog/immersive-education-chla-and-oculus-expand-vr-medical-training-program-to-new-institutions/> [accessed 12 September 2021].

- Williams, R.M., Alikhademi, K., Drobina, E., Gilbert, J.E. and Sutor, T. (2019). Augmented Reality for Rehabilitative Therapy: Patient experiences and Practitioner perspectives. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), pp.748–752. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1071181319631140>.
- Workman, S. (2018). *Mixed Reality: A Revolutionary Breakthrough in Teaching and Learning / EDUCAUSE* [online]. Available from: <https://er.educause.edu/articles/2018/7/mixed-reality-a-revolutionary-breakthrough-in-teaching-and-learning> [accessed 12 September 2021].
- Zweifach, S.M. and Triola, M.M. (2019). Extended Reality in Medical Education: Driving Adoption through Provider-Centered Design. *Digital Biomarkers*, 3(1), pp.14–21. Available from: <https://www.karger.com/Article/FullText/498923>.