

**Virtual Reality Classroom Sebagai Media Pembelajaran Daring Lintas
Platform Alternatif Konferensi Video Pada Masa Pandemi**

**Virtual Reality Classroom as Alternative Online Learning Platform To
Video Conference During The Pandemic**

KASMIR SYARIATI

D032191008



**PROGRAM PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

**Virtual Reality Classroom Sebagai Media Pembelajaran Daring Lintas
Platform Alternatif Konferensi Video Pada Masa Pandemi**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

KASMIR SYARIATI
D02191008

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

TESIS

VIRTUAL REALITY CLASSROOM SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN DARING LINTAS PLATFORM ALTERNATIF KONFERENSI VIDEO PADA MASA PANDEMI

Disusun dan diajukan oleh

KASMIR SYARIATI
D032191008

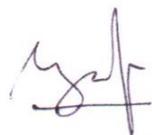
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Februari 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
Nip. 19640427 198910 1 002

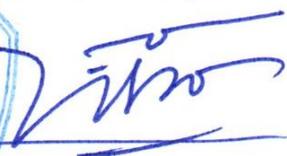
Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Ir. Syafruddin Syarif, M.T.
Nip. 19611125 198802 1 001

Ketua Program Studi S2 Teknik Elektro,


Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, S.T., M.Eng.
Nip. 197405301999031003

Dekan Fakultas Teknik,


Prof. Dr. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.
Nip. 19730926 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Kasmir Syariati
Nomor Pokok : D032191008
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Informatika

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 8 April 2022

menyatakan,

Kasmir Syariati

ABSTRAK

KASMIR SYARIATI. Virtual Reality Classroom Sebagai Media Pembelajaran Daring Lintas Platform Alternatif Konferensi Video Pada Masa Pandemi (dibimbing oleh Zahir Zainuddin dan Syafruddin Syarif).

Pandemi COVID-19 yang memaksa institusi pendidikan untuk melakukan pembelajaran secara daring terbukti menghadapi berbagai kendala, salah satunya adalah kebutuhan bandwidth yang relatif besar dan kelas praktik sulit dilaksanakan melalui konferensi video. Penelitian ini berusaha mengeksplorasi penggunaan virtual reality sebagai metode pembelajaran jarak jauh dengan kebutuhan bandwidth lebih sedikit. Feed video kamera digantikan dengan representasi *avatar* 3D dan jumlah transfer data untuk kendali avatar dioptimasi lewat pengaturan *netcull distance* serta *interpolasi* gerakan animasi. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap; pertama untuk mengukur respon user terhadap penggunaan avatar sebagai pengganti feed kamera. Kedua, interaksi antar user dalam dunia virtual diamati untuk mengetahui tingkat optimasi yang dapat dilakukan. Dan ketiga, user dibagi menjadi beberapa kelompok tingkat interaksi sesuai sebara aktifnya user dalam dunia virtual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan bandwidth dapat ditekan hingga 44kbps per-channel koneksi tanpa user merasa perbedaan signifikan dengan metode konferensi video.

Kata kunci: *virtual reality*, pembelajaran jarak-jauh, *e-learning*, isolasi, metode pembelajaran hybrid

ABSTRACT

Kasmir Syariati. Virtual Reality Classroom As an Alternative Distance Learning Platform to Video Conference During The Pandemic (supervised by Zahir Zainuddin and Syafruddin Syarif).

The COVID-19 pandemic which forced learning Institutions to switch to online learning method were facing various challenges, some of them are the relatively big bandwidth requirement and the difficulties to conduct practical class via video conference. This research explore the application of virtual reality as a distance learning method with reduced bandwidth requirement. The camera feed are replaced with 3D avatar representation and the data usage would be optimized by modifying netcull distance and interpolating the movement animation. This research was conducted in three steps; first, to measure user response to the avatar usage as replacement to camera feed. Second, observing user-to-user interaction to find the optimization level that could be done. Third, grouping the user into their interaction level inside the virtual world. The research shows that the bandwidth requirement could be reduced to 44kbps per-connection channel without the user feeling a significant difference with video conference method.

Keywords: virtual reality, distance learning, e-learning, isolation, hybrid learning method

KATA PENGANTAR

Segala puji selalu dipanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Kuasa yang telah memberikan rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya dalam menyelesaikan tesis, yang berjudul **“Virtual Reality Classroom Sebagai Media Pembelajaran Daring Lintas Platform Alternatif Konferensi Video Pada Masa Pandemi”** Tak lupa pula shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menyinari dunia ini dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Ucapan terima kasih pun penulis haturkan kepada kepada dosen pembimbing tesis yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan berkonsultasi tentang materi dalam tesis ini dan juga kepada seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam hal keilmuan maupun administrasi pada tahap penyusunan tesis ini. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Dengan demikian, penulis tetap mengharapkan kritik dan saran dengan harapan tulisan ini bisa memberikan manfaat kepada seluruh pihak.

Gowa, 13 Februari 2022

Kasmir Syariati

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	5
C. TUJUAN PENELITIAN	5
D. MANFAAT PENELITIAN	6
E. BATASAN MASALAH	6
F. SISTEMATIKA PENULISAN	6
Bab I Pendahuluan	6
Bab II Landasan Teori dan Kerangka Pemikiran	7
Bab III Metodologi Penelitian	7
Bab IV Hasil dan pembahasan	7
Bab V Kesimpulan dan Saran	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. LANDASAN TEORI	9
B. PENELITIAN TERKAIT	13
C. <i>STATE OF THE ART</i>	14
D. KERANGKA PIKIR	17
BAB III METODE PENELITIAN	22
A. TAHAPAN PENELITIAN	22
B. WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	22
1. Waktu	22
2. Lokasi	22
C. JENIS PENELITIAN	23
D. PERANCANGAN SISTEM	23
E. INSTRUMEN PENELITIAN	26
1. <i>Hardware</i> yang digunakan berupa:	26
2. <i>Software</i> yang digunakan berupa:	27
3. Alat Pengukuran :	27
F. JADWAL PENELITIAN	27

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PENGUJIAN	28
A. PERANGKAT KERAS	28
1. HTC Vive	28
2. Oculus Rift S	29
3. Oculus Quest 2	29
4. Router Xiaomi AX3600	31
B. PENGUJIAN DAN HASIL	32
1. Kelompok User Test & pengukuran	32
2. Setup Room Scale Virtual Reality	35
3. Virtual Environment	36
4. Metode Input	37
5. Replikasi dan Remote Procedure Call	41
6. Wireless PC with added delay	44
7. Perbandingan simulated user interaction	46
8. Kebutuhan Bandwidth	46
9. User diluar culling area	48
10. Perbandingan dengan metode sekarang	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
A. KESIMPULAN	58
B. SARAN	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1 .	Kebutuhan bandwidth dan latency streaming vr	3
Tabel 2 .	Rerata penggunaan data group call zoom	10
Tabel 3 .	<i>State of The Art</i> Penelitian	14
Tabel 4 .	Jadwal Penelitian	27
Tabel 5 .	Sebaran Umur Kelompok User Test.....	32
Tabel 6 .	Sebaran Profesi Kelompok User Test.....	32
Tabel 7 .	Delay & latency wireless PCVR	45
Tabel 8 .	Rata-rata kebutuhan bandwidth per-channel sesi kelas	46
Tabel 9 .	Rata-rata kebutuhan bandwidth sesi kelas culling distance 2 meter 10 client terhubung.....	50
Tabel 10 .	Statistik Latency komunikasi aplikasi Zoom.....	52
Tabel 11 .	Delay komunikasi aplikasi zoom	52
Tabel 12 .	Latency komunikasi sistem dengan avatar	53
Tabel 13 .	Delay komunikasi sistem dengan vr avatar	54
Tabel 13 .	Persentase rata-rata packet loss video konferensi.....	54
Tabel 15 .	Persentase rata-rata packet loss vr classroom	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 . BCL Model (Mangiante et al., 2017)	3
Gambar 2 . eXtended Reality Spectrum (Milgram & Kishino, 1994)	4
Gambar 3 . Head Mounted Display Oculus Rift S	12
Gambar 4 . Full-body tracking	18
Gambar 5 . Interpolasi frame animasi	19
Gambar 6 . Kerangka pikir penelitian	21
Gambar 7 . Arsitektur Sistem	23
Gambar 8 . Blok diagram sistem host	23
Gambar 9 . Blok diagram sistem client	24
Gambar 10 .Flowchart tahapan sinkronisasi client - host	24
Gambar 11 . Flowchart pengurangan replikasi dan RPC	25
Gambar 12 . Built-in Statistic Aplikasi Zoom	25
Gambar 13 . Unreal Engine 4 Network Profiler	26
Gambar 14 . <i>Htc Vive PCVR HMD</i>	28
Gambar 15 . <i>Diagram penempatan room scale tracking external sensor</i>	28
Gambar 16 . <i>Oculus Rift S PC VR HMD</i>	29
Gambar 17 . <i>Oculus Devices Inside out tracking</i>	29
Gambar 18 . <i>Oculus Quest 2</i>	30
Gambar 19 . <i>Oculus Quest/Quest 2 Hand Tracking</i>	31
Gambar 20 . <i>Router Xiaomi AX3600</i>	31
Gambar 21 . Arsitektur jaringan lokal	33
Gambar 22 . Arsitektur pengujian menggunakan jaringan internet	34
Gambar 23 . Alur koneksi aplikasi Zoom	34
Gambar 24 . Kalibrasi Floor Level & Guardian Boundary	35
Gambar 25 . Virtual Environment ruangan kelas	36
Gambar 26 . Eksplorasi <i>Virtual Environment</i> oleh user	37
Gambar 27 . <i>Hand Tracking</i>	38
Gambar 28 . Interaksi <i>flat screen</i> dengan keyboard & mouse	39
Gambar 29 . Fatshark Scout FPV Googles	40

Gambar 30 . Pengaturan <i>object/actor replication</i>	42
Gambar 31 . Pengaturan <i>variable replication</i>	42
Gambar 32 . RPC duplication untuk objek slide presentasi	43
Gambar 33 . Alur replikasi server client	44
Gambar 34 . Data diterima dari client oleh server	47
Gambar 35 . Data dikirim dari server ke masing-masing client	47
Gambar 36 . Incoming data packet dari client	47
Gambar 37 . Penggunaan data packet replikasi aktor	48
Gambar 38 . Net cull distance & actor relevancy	49
Gambar 39 . Pengaturan Net cull distance	50
Gambar 44 . Proyeksi kebutuhan download bandwidth	56
Gambar 45 . Konferensi berbasis avatar dengan Gather Town	57

BAB I PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pembelajaran jarak jauh di mana saat pembelajaran yang berlangsung siswa tidak harus berada secara fisik di sekolah seringkali disebut telah merevolusi universitas dan pembelajaran pada korporasi (Kaplan, 2016). Bentuk pembelajaran jarak jauh yang paling umum digunakan oleh universitas diantaranya *Massive Open Online Course* (MOOC), di mana materi disediakan secara terbuka, dan *Small Private Online Course* (SPOC) yang sifatnya lebih privat dan tertutup. Seiring perkembangan teknologi, metode dan istilah baru pun terus bermunculan seperti *distributed learning*, *e-learning*, *m-learning*, dan *virtual classroom*.

Pembelajaran jarak jauh ini tentunya secara langsung dapat memperluas akses terhadap pendidikan. Selain menembus jarak, metode pembelajaran dengan jadwal yang cenderung fleksibel juga memberi keleluasaan waktu bagi mereka yang memiliki komitmen waktu lain, contohnya pada bidang korporasi. Karena pembelajaran dapat dilaksanakan dari tempat yang berbeda, tentunya kebutuhan atas ruangan fisik sebagai ruang belajar juga dapat dikurangi dan dalam jangka panjang mengurangi biaya operasional. Selain itu, sistem pembelajaran jarak jauh membuka peluang untuk 'mendatangkan' tenaga pengajar ahli dari lokasi yang mungkin sulit dijangkau secara fisik.

Tidak dapat dipungkiri bahwa pendidikan, khususnya pada jenjang perguruan tinggi, membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Dan pembelajaran jarak jauh bisa menjadi alternatif untuk meringankan beban biaya tersebut dengan menghilangkan biaya transportasi dan akomodasi, serta pengadaan buku literatur fisik yang diganti dengan buku materi elektronik.

Melirik kondisi geografis Republik Indonesia yang berupa negara kepulauan, dengan pembangunan infrastruktur belum merata, ketimpangan akses pendidikan jelas merupakan salah satu PR dari

negara. Perluasan infrastruktur komunikasi sudah sepatutnya menjadi prioritas yang pada akhirnya akan membuka kesempatan pengembangan pada bidang lain, termasuk akses pendidikan jarak jauh itu sendiri.

Meski dapat membuka banyak peluang, pemanfaatan pembelajaran jarak jauh beberapa tahun terakhir masih tergolong kurang. Akan tetapi, kondisi pandemi global COVID-19 mau tidak mau memaksa sekolah dan kampus untuk merubah paradigma. Fasilitas pendidikan beralih menggunakan pembelajaran jarak jauh dengan berbagai metode, salah satunya dengan memanfaatkan platform konferensi video seperti, Zoom, Google Meet, dan Skype dan platform SPOC seperti Google Classroom atau sistem e-learning dari kampus masing-masing.

Perubahan radikal dan mendadak ini tentunya makin menambah permasalahan yang harus dihadapi. Selain ketimpangan infrastruktur dan kemampuan dasar teknologi, penelitian juga menunjukkan bahwa siswa pembelajaran jarak jauh cenderung lebih sering *drop-out* karena kesulitan pada bahasa, manajemen waktu, dan kemampuan belajar (Xu et al., 2011)

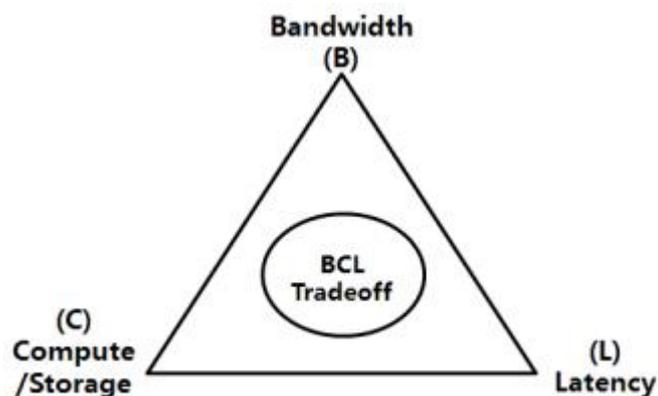
Ditambah lagi dengan keterbatasan media pembelajaran via konferensi video itu sendiri. Pelajaran yang membutuhkan proses praktek atau pengamatan laboratorium tentunya tidak mungkin dilakukan lewat konferensi video tradisional. Belum lagi sistem konferensi video membutuhkan koneksi internet dengan bandwidth dan latency mumpuni. Sedangkan pada beberapa daerah di Indonesia masih kesulitan memenuhi kebutuhan itu. Permasalahan pada latency dan bandwidth ini memberikan efek signifikan pada kualitas video dan audio seperti panggilan terputus, lag, dan audio/video drop (Archibald et al., 2019)

Virtual reality sebagai media pembelajaran immersive memang bukanlah hal baru. Dengan tingkat efektivitas lebih tinggi dibanding dengan pembelajaran konvensional dengan potensi besar memberikan pengalaman baru dan keuntungan kognitif serta afektif (Calver et al., 2020). Virtual reality menyediakan alat yang berfungsi lebih dari sekadar alat

visualisasi biasa dan menjadi pendukung inovasi di era industri 4.0 (Gue et al., 2020).

Meskipun dapat menambah efektifitas simulasi baik itu dalam efek visual (Aebersold et al., 2020) atau kemampuan motorik (Rourke, 2020), namun teknologi pembelajaran virtual reality ini masih terbatas pemanfaatannya pada pembelajaran dengan metode offline. Interaksi dilakukan secara individual sehingga efek yang diterima juga merupakan pengalaman terisolasi. Untuk eksperimentasi atau self assessment, mungkin hal ini sudah lebih dari cukup. Tetapi sebagai media pembelajaran, dibutuhkan bimbingan dari seorang pengajar.

Penggunaan virtual reality juga tidak terlepas dari permasalahan yang dihadapi oleh media konferensi video. Selain itu, karena pada dasarnya perangkat vr membutuhkan diplay dengan refresh rate tinggi untuk menghindari efek vr sickness dan memberikan pengalaman lebih imersif, tentu membutuhkan bandwidth yang mumpuni. Hal ini sejalan dengan BCL model pada media delivery network.



Gambar 1. BCL Model (Mangiante et al., 2017)

Apabila kita menggunakan metode streaming vr sebagai baseline, penggunaan vr sebagai alternatif metode konferensi video justru membutuhkan bandwidth yang lebih besar dengan latency yang hampir mirip dengan metode konversi video konvensional (Mangiante et al., 2017).

Tabel 1. Kebutuhan bandwidth dan latency streaming vr

Resolusi VR	Resolusi Setara	Bandwidth	Latency
1K*1K 2D 30 fps 8 bit 4K	240p	25 Mbps	40 ms
2K*2K 2D 30fps 8 bit 8K	SD	100 Mbps	30 ms
4K*4K 2D 60fps 10 bit 12K	HD	400 Mbps	20 ms
8K*8k 3D 120 fps 12bit 24K	4K	1 Gbps (play) 2.35 Gbps (interactive)	10 ms

Merujuk kembali pada BCL model bahwa penggunaan bandwidth dan latency bisa dioptimasi dengan bergeser ke sisi compute/storage. Hal ini dapat dilakukan dengan membatasi tingkat 'realisme' pada media vr yang memang pada dasarnya bersifat full render occlusion sehingga kita bebas mengatur tingkat 'realisme' yang ingin dicapai.



Gambar 2. eXtended Reality Spectrum (Milgram & Kishino, 1994)

Dengan menggunakan kemampuan pengalaman imersif dari virtual reality, serta sumber daya pada pembelajaran konferensi video, peneliti melihat adanya potensi media pembelajaran yang lebih efektif dan relatif murah dalam jangka panjang. Dengan mengurangi tingkat 'realisme' dan mengubah interaksi menjadi 'avatar based' semaksimal mungkin tanpa

mempengaruhi interaksi interpersonal dan co-presence, kebutuhan bandwidth dapat ditekan sehingga didapatkan media pembelajaran yang lebih baik. Karenanya, pada penelitian ini peneliti membahas tentang **“Virtual Reality Classroom Sebagai Media Pembelajaran Daring Lintas Platform Alternatif Konferensi Video Pada Masa Pandemi”**. Dimana peneliti mencoba untuk mendesain dan membuat *prototype software* pembelajaran daring berbasis virtual reality lintas platform. *Prototype* tersebut akan diuji coba untuk mengukur tingkat efektivitasnya dibanding pembelajaran daring via konferensi video diukur dari tingkat penggunaan bandwidth, latency, dan tingkat interaktivitasnya.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mengurangi kebutuhan bandwidth pada media vr sebagai alat pembelajaran daring?
2. Bagaimana respon siswa dan pengajar terhadap representasi avatar dalam sistem pembelajaran?

C. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini :

1. Menghasilkan sistem pembelajaran daring dengan teknologi VR dengan kebutuhan bandwidth relatif lebih sedikit dari sistem konferensi video
2. Mengetahui respon pengguna VR terhadap penggunaan avatar dalam dunia virtual dan efeknya terhadap proses belajar-mengajar jarak jauh.

D. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian yang hendak dicapai diantaranya:

1. Menghasilkan sistem pembelajaran VR daring dengan penggunaan bandwidth lebih rendah dan dapat diimplementasikan secara luas.
2. Bagi peneliti, pengaplikasian dari sejumlah konsep dan pengetahuan dan berguna untuk menambah pengetahuan dan kemampuan/ *skill* mengenai desain aplikasi virtual reality, 3d modeling, dan pemrograman.
3. Bagi institusi pendidikan Magister Departemen Teknik Elektro konsentrasi Informatika, dapat digunakan sebagai referensi ilmiah dalam penelitian berikutnya terkait dengan proses pembuatan sistem aplikasi virtual reality.

E. BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah penelitian ini :

1. Membuat *prototype* sistem pembelajaran daring virtual reality classroom lintas platform yang dibatasi pada platform PC VR, Traditional Flat Screen.
2. PC VR menggunakan perangkat oculus Rift S dan Oculus Quest 2.
3. Parameter tingkat efektifitas yang menjadi fokus penelitian adalah penggunaan bandwidth, tingkat immersivitas, dan interaktivitas.
4. Kecepatan jaringan yang digunakan pada tahap pengujian adalah 7 Mbps atau setara jaringan 3G dan WiFi 6 untuk kondisi normal.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah :

Bab I Pendahuluan

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang penelitian mengenai Virtual Reality Classroom Sebagai Media Pembelajaran Daring Lintas

Platform Alternatif Konferensi Video Pada Masa Pandemi. Selain itu, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan dipaparkan di dalam bab ini.

Bab II Landasan Teori dan Kerangka Pemikiran

Bab II berisi penjelasan tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, tentang sumber acuan terbaru dari pustaka primer seperti buku, artikel, jurnal, dan tulisan asli lainnya untuk mengetahui penelitian relevan dengan usulan penulis terkait *virtual reality* dan implementasinya sebagai media pembelajaran daring. Dalam bab ini juga diuraikan tentang kerangka pikir yang merupakan penjelasan tentang kerangka berpikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab III ini merupakan penjelasan tentang tahapan penelitian dimulai dari perancangan sistem virtual reality classroom dan pengukuran output keseluruhan sistem yang kemudian dilakukan analisis sesuai rumusan masalah yang ada secara terperinci.

Bab IV Hasil dan pembahasan

Bab IV menjelaskan hasil dan pembahasan penelitian serta implikasi dari penelitian yang dilakukan. Hasil merupakan suatu penjelasan tentang data kuantitatif yang dikumpulkan sesuai dengan metodologi yang telah ditetapkan. Bagian pembahasan mengelaborasi data yang didapatkan secara lebih lanjut serta interpretasinya dalam konteks penelitian ini, baik dalam bentuk deskriptif maupun penarikan inferensinya. Implikasi penelitian merupakan suatu penjelasan tentang tindak lanjut penelitian yang terkait dengan aspek sistem yang dibangun dan diukur maupun aspek penelitian lanjutan yang mungkin dilaksanakan.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab V berisi ringkasan temuan, rangkuman kesimpulan dan saran-saran dari penulis untuk penelitian lanjutan. Bab ini berisi pernyataan secara general atau spesifik yang berisi hal-hal penting yang menjadi temuan penelitian yang bersumber pada hasil data dan pembahasannya. Bagian saran berisi pernyataan dan atau rekomendasi peneliti yang berisi hal-hal penting sebagaimana yang telah disampaikan pada bagian-bagian sebelumnya dalam tesis ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. LANDASAN TEORI

1. Pembelajaran Jarak Jauh Dengan Konferensi Video

Konferensi video salah satu metode komunikasi jarak jauh yang memanfaatkan teknologi untuk menerima dan mengirim sinyal audio-video secara realtime. Teknologi ini pertama kali digunakan untuk publik pada tahun 1970 oleh AT&T lewat layanan *Picture Phone* dengan sistem transmisi analog. Dengan semakin meluasnya jaringan internet di tahun 1990-an, dan makin berkembangnya teknologi kompresi video kala itu, memungkinkan masyarakat umum mengakses teknologi ini dengan lebih mudah dan murah.

Pandemi Covid-19 dan penerapan lockdown serta physical distancing secara luas dalam waktu singkat menuntut penggunaan metode alternatif untuk berkomunikasi sebagai alternatif tatap muka, dan konferensi video adalah salah satu alternatif tersebut.

Perubahan yang radikal akibat efek pandemi Covid-19 inilah yang mendorong institusi pembelajaran untuk menjadi lebih kreatif dalam menyediakan media pembelajaran. Ketika dilihat secara sekilas, tidak ada perbedaan performa pengajar antara pembelajaran jarak jauh dan pembelajaran konvensional (Udokang & Ogundele, 2014). Siswa juga cenderung merasa lebih bebas dalam metode pembelajaran jarak jauh (Arrosagaray et al., 2019). Selain itu pembelajaran jarak jauh memiliki kelebihan dari sisi biaya yang lebih murah hingga tiga kali lipat pada beberapa kasus (Atici & Atik, 2011).

Namun bukan berarti bahwa pada penerapan pembelajaran jarak jauh ini tidak memiliki kendala. Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah penyesuaian metode pengajaran dari konvensional ke pembelajaran jarak jauh serta pola komunikasinya (Markova et al, 2017).

Salah satu keterbatasan ini adalah komunikasi dengan metode konferensi video membatasi jumlah user yang dapat berinteraksi secara bersamaan.

Dari sisi teknologi sendiri, konferensi video memiliki permasalahan jika dihadapkan pada kondisi kurang ideal seperti keterbatasan bandwidth dan latency. Pada kondisi ini, muncul kesulitan saat bergabung dalam sesi, audio/video lag yang signifikan, hingga terputusnya koneksi pada sesi konferensi (Archibald et al., 2019).

2. Kebutuhan Bandwidth Dan Penggunaan Data Pada Konferensi Video

Salah satu aplikasi konferensi video yang saat ini banyak digunakan sebagai media pembelajaran jarak jauh adalah Zoom. Dan dalam kondisi ideal, untuk group video call aplikasi ini membutuhkan bandwidth

- 800kbps/1 Mbps (up/down) untuk high quality video
- 1.5 Mbps/1.5Mbps (up/down) untuk gallery view dan atau 720 HD video
- 2.5Mbps (up/down) untuk menerima 1080p HD video
- 3.0Mbps (up/down) untuk mengirim 1080p HD video

Aplikasi ini menggunakan WebRTC data channel dengan encoding H.264 30 fps. Aplikasi Zoom sendiri menyediakan halaman statistic untuk mengetahui resolusi, penggunaan bandwidth, latency, dan loss selama sesi panggilan berlangsung.

Tabel 2. Rerata penggunaan data group call zoom

Kualitas	Download	Upload	Total
High	450 MB/jam	360 MB/jam	810 MB/jam
720p	675 MB/jam	675 MB/jam	1.35 GB/jam
1080p	1.2 GB/jam	1.2 GB/jam	2.4 GB/jam

Perlu diketahui bahwa semakin banyak peserta yang tergabung dalam group call ini maka penggunaan data dan bandwidth juga akan meningkat.

Mengingat kondisi persebaran jaringan internet yang kurang merata serta harga tarif data yang saat ini berada di kisaran Rp15,- hingga Rp30,- per Mbit atau Rp120,- hingga Rp240,- per MByte, tentunya sebagai metode pembelajaran jangka panjang faktor ini harus diperhitungkan.

3. *Virtual Reality*

Virtual Reality adalah sebuah 'simulated experience' yang bisa jadi sama atau berbeda dengan dunia nyata. Sistem berjalan saat ini menggunakan Virtual Reality Headset (HMD) atau multi-projected environment untuk menghasilkan gambar realistis, suara, dan sensasi lainnya untuk memberikan kesan seolah user benar-benar berada dalam lingkungan virtual tersebut. (Cipresso et al., 2018) Virtual reality ini pada umumnya menghasilkan feedback suara dan visual sebagai media imersif, namun tidak terbatas pada kedua hal itu saja. Virtual reality dapat menggunakan respon indera lainnya seperti bau atau sentuhan lewat teknologi haptic. Yang membuat virtual reality berbeda sebagai media adalah adanya '*sense of immersion*' ini (Bowman & McMahan, 2007).

Rasa imersi ini dimanfaatkan dalam dunia medis sebagai media terapi di antaranya untuk phobia (Parsons & Rizzo, 2008). Selain itu Virtual reality juga dapat digunakan untuk latihan dan simulasi di mana subjek dapat melakukan hal yang sama berulang-kali dan karena tiap kondisi dapat diatur melalui simulasi sehingga observasi dapat dilakukan secara lebih terkontrol (Zhaoliang, 2011)

Sebagai representasi dunia nyata, virtual reality juga dapat digunakan untuk mewakili kondisi di mana aksi sulit dilakukan secara langsung, terlalu mahal, atau kondisi sulit dikendalikan. Hal ini dapat dilakukan dengan visualisasi lingkungan (Van Dam et al, 2000) atau virtual workspace (Grajewski et al., 2013).

4. Head Mounted Display

Perangkat display vr modern dibuat berdasar pada teknologi yang dikembangkan untuk smartphone termasuk gyroscope, motion sensor, layar HD untuk stereoscopic display, dan prosesor.



Gambar 3. Head Mounted Display Oculus Rift S

5. Virtual Reality Classroom

Terdapat dua cara untuk menggunakan virtual reality dalam konteks pembelajaran dalam kelas. Pertama, menggunakan komputer desktop tradisional di mana siswa dapat menjelajah dengan input tradisional seperti mouse dan keyboard. Kedua, setup full immersive dengan menggunakan VR HMD.

Setup full immersive sendiri memiliki keuntungan lebih akibat sifat immersivitasnya. Dengan mensimulasikan kondisi ruangan kelas, kita dapat mendapatkan efek yang sama dengan saat pembelajaran dilakukan di dunia nyata. Misalnya dengan memosisikan siswa lebih dekat dengan guru dalam dunia virtual dapat memberikan efek siswa belajar lebih baik (Blume et al., 2013). Setup ini juga memberi kesempatan untuk memvisualisasikan, mengeksplorasi, memanipulasi, serta berinteraksi dengan objek virtual sehingga dapat menambah kemampuan respon siswa terhadap instruksi dalam ruang belajar (Crumpton & Harden, 1997)

B. PENELITIAN TERKAIT

Beberapa penelitian terkait tentang penggunaan virtual reality sebagai media pembelajaran jarak jauh serta kebutuhan bandwidthnya antara lain:

1. Lesia L. Crumpton & Edward L.Harden tahun 1997 menghipotesiskan bahwa vr dapat digunakan sebagai alat pembelajaran dalam instruksi kelas untuk siswa keteknikan yang terlibat dalam bidang design development, evaluation, & validation. Hasil menunjukkan bahwa vr dapat digunakan untuk melakukan analisis ergonomi secara akurat.
2. Xue-qin Chang, Dao-hua Zhang, dan Xin-xin Jin tahun 2017 membuat desain sistem virtual campus berupa model dasar, struktur sistem, dan skema implementasi untuk membuat konsep sistem yang menghasilkan pembelajaran jarak jauh yang sustainable, kohesif, dan mudah. Sistem didesain untuk mensimulasikan kehidupan kampus seperti di dunia nyata di mana siswa dapat melakukan aktivitas pembelajaran. Environment dibuat dalam bentuk 3D dan dalam proses pembelajaran tiap siswa dapat berkomunikasi secara efektif. Mereka menyimpulkan bahwa Pengaplikasian VR dalam pembelajaran jarak jauh masih dalam tahap awal. Ditambah dengan belum lengkapnya sistem infrastruktur pendukung lainnya seperti penerapan Web 3 yang saat itu masih memiliki standar yang sama. (Xue-qin et al, 2017).
3. Armir Bujari , Claudio E. Palazzi, & Dilan Perale, tahun 2019, menganalisis kebutuhan bandwidth dari skenario immersive application. Dengan memperbandingkan Tile Method dan ad hoc method untuk mengetahui metode yang efektif digunakan dalam mengurangi penggunaan resource jaringan. Dihasilkan sebuah sistem proof-of-concept di mana video input diproses dengan

tilefication; frame di bagi menjadi tiles berukuran N*M yang kemudian beberapa tiles dihilangkan dengan mengacu pada FoV user. Video kemudian di encoding ulang untuk dikirim ke user.

4. Omar Lopez Chaves, Luis-Felipe Rodrigues, dan J. Octavio Gutierrez-Garcia, tahun 2020 melakukan studi kasus perbandingan pembelajaran kesehatan dengan media 2D, 3D, dan Immersive Virtual Reality. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *gamification* dapat membantu meningkatkan kemampuan belajar. Selain itu, penggunaan media *immersive virtual reality* memberi efek lebih besar dibanding gamified 2D dan 3D (Chaves et al., 2020).
5. Yang, Y., Lee, J., Kim, N., & Kim, K. , tahun 2020 mengajukan metode Social-viewport Adaptive Caching Scheme (SACS) di mana untuk menghemat penggunaan storage, konten 360 hanya ditampilkan satu bagian kecil (viewport). Area viewport tampil kemudian diolah dan dibuat menjadi social-viewport map yang merepresentasi area viewport yang paling sering tampil. Dari data ini kemudian bagian-bagian video di encoding dengan rate berbeda untuk mengurangi ukuran storage yang dibutuhkan.

C. STATE OF THE ART

Pada tabel di bawah ini menampilkan perkembangan penelitian terkait dengan pembelajaran jarak jauh dengan virtual reality.

Tabel 3. *State of The Art* Penelitian

Judul, Tahun, & Penerbit	Penulis	Metode	Hasil
<ul style="list-style-type: none"> ● Quantifying Data Rate and Bandwidth Requirements for Immersive 5G experience ● 2016 	Yinan Qi, Mythri Hunukumbure, Maziar Nekovee, Javier Lorca, &	Penulis merumuskan membagi use case jaringan 5G menjadi empat tipe traffic; web browsing, content sharing, virtual reality experience, dan ultra-high definition video. Tiap	Model trafik VR experience dapat dimodelkan mirip dengan trafik content sharing namun dengan data packet lebih besar namun mean inter-arrival time lebih kecil. Analisis bandwidth dan data rate menunjukkan bahwa untuk vr

<ul style="list-style-type: none"> ● IEEE International Conference on Communications Workshops 	Victoria Sgardoni	traffic kemudian ditampilkan pola dan diturunkan dalam fungsi distribusi dari kebutuhan instantaneous data rate dari masing-masing tipe traffic.	experience dibutuhkan mean data rate sebesar 8 Gbps.
<ul style="list-style-type: none"> ● Application of Virtual Reality Technology in Distance Learning ● 2017 ● International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET) 	Xue-qin Chang, Dao-hua Zhang, Xin-xin Jin	<p>Web-based Multi user virtual campus system.</p> <p>Penulis mengajukan model teoritis <i>web-based multi user virtual campus system</i> dengan konsep dasar interaksi pada environment 3D dengan kemampuan komunikasi antar user dibuat semirip mungkin dengan kelas di dunia nyata.</p>	Pengaplikasian VR dalam pembelajaran jarak jauh masih dalam tahap awal. Ditambah dengan belum lengkapnya sistem pendukung lainnya seperti teknologi web 3 yang masih belum memiliki standar yang sama.
<ul style="list-style-type: none"> ● Addressing Bandwidth Demand in Full-immersive Virtual Reality ● 2019 ● Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good 	Armir Bujari , Claudio E. Palazzi, & Dilan Perale	<p>Field of View Delimiting Function (Tile method & ad hoc method)</p> <p><i>Memperbandingkan Tile Method</i> dan ad hoc method di mana sebuah <i>tile</i> mewakili satu bagian dari frame. <i>Tile ini berukuran</i> 192x192 pixel per tile. Total 200 <i>tile</i> per frame. Tiap tile yang di lihat oleh user kemudian di hitung. Metode ad hoc menghitung jumlah pixel yang masuk ke dalam PoV user dengan menggunakan support matrix sebagai representasi proyeksi 2D plane dari video.</p>	Jaringan 5G diperkirakan memiliki kesulitan untuk memenuhi kebutuhan throughput jaringan full-immersive visual experience sebesar 5.2 Gbps. Karenanya penulis mengusulkan beberapa metode komputasi untuk mengurangi keutuhan jaringan ini. Hasil perbandingan dari kedua metode tidak menunjukkan perbedaan signifikan dari persentasi jumlah pixel yang terlihat, meski pada beberapa skenario metode ad hoc memiliki performa lebih buruk dibanding tile method yang dikarenakan oleh metode tile yang menggunakan bentuk lingkaran pada unit tile nya sedangkan metode ad hoc menggunakan persegi.
<ul style="list-style-type: none"> ● Effects of peer assessment within the context 	Shu-Yun Chien, Gwo-Jen	Spherical video-based virtual reality	Ditemukan efek positif dari peer-assessment-based dengan pendekatan SVVR dalam konteks

<p>of spherical video-based virtual reality on EFL students' English-Speaking performance and learning perceptions</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2020 ● Computer & Education 	<p>Hwang, Morris Siu-Yung Jong</p>		<p>kemampuan berbahasa Inggris siswa, motivasi belajar, kemampuan berpikir kritis, serta mengurangi rasa gelisah dalam proses pembelajaran.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Self-regulated mobile game-based English learning in a virtual reality environment ● 2020 ● Computer & Education 	<p>Yu-Li Chen, Ph.D., Chun-Chia HsuPh.D</p>	<p>VR Games.</p> <p>Sistem di desain menggunakan Google VR SDK dan sensor gyro pada perangkat smartphone untuk melihat dan berinteraksi dengan konteks virtual yang disediakan. Peserta lalu diberikan pretest dan posttest untuk mengukur tingkat efektivitas pembelajaran dalam app VR.</p>	<p>Dengan fitur interaksi pada aplikasi virtual reality dan tantangan dari 'game-based design' memungkinkan siswa untuk lebih mudah memasuki 'state of flow' dan meningkatkan motivasi untuk belajar. Meski begitu, strategi pembelajaran dalam mobile VR game-based learning berbeda dengan pembelajaran tradisional dalam kelas, sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut tentang bagaimana strategi pembelajaran metakognitif dapat digunakan dalam pembelajaran VR mobile.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Creating Bioethics Distance Learning Through Virtual Reality ● 2020 ● Trends in Biotechnology 	<p>Antoine L. Harfouche & Farid Nakhle</p>	<p>VR Classroom</p> <p>Penulis mengeksplorasi beberapa platform social VR dan bagaimana penggunaan virtual reality dapat memotivasi siswa, mendorong pembelajaran lebih interaktif, dan membentuk kemampuan berpikir kritis dan kemampuan mengambil keputusan.</p>	<p>Menurut penulis, VR berbeda dengan media lain karena dalam VR, siswa dan guru 'berpartisipasi' dalam dunia virtual bukan sekedar 'menggunakan media saja'. Keunggulan pada tingkat immersivitas ini dapat membantu latihan dan pembelajaran yang sebelumnya tidak dapat dilakukan dengan teknologi tradisional di mana siswa dapat dihadapkan pada simulasi dunia nyata dan memberikan respon secara realistis.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Social-viewport 	<p>Yang, Y.,</p>	<p>Social-viewport adaptive</p>	<p>Metode SACS yang diajukan</p>

<p>Adaptive Caching Scheme With Clustering for virtual Reality Streaming in an Edge Computing Platform</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2020 ● Future Generation Computer Systems 	<p>Lee, J., Kim, N., & Kim, K.</p>	<p>caching scheme (SACS)</p> <p>Proses streaming konten VR dengan view 360 derajat ke platform edge computing di lakukan dengan hanya menampilkan beberapa bagian dari keseluruhan tampilan (hanya viewport). Bagian yang tidak terlihat tetap di decode namun tidak ditampilkan. Area yang paling sering ditampilkan kemudian dibuat menjadi social-viewport map untuk membagi tampilan 360 derajat menjadi beberapa cluster. Tiap cluster kemudian diencoding dengan rate berbeda untuk menghemat penyimpanan cache.</p>	<p>dapat mencapai pengurangan storage hingga 74% dengan 92% hit ratio ke area viewport dengan kualitas encoding paling tinggi.</p>
---	--	--	--

D. KERANGKA PIKIR

Permasalahan yang menjadi fokus penelitian adalah dibutuhkannya sistem pembelajaran daring yang lebih efektif dibanding metode konferensi video yang saat ini dipergunakan. Hal ini sehubungan dengan keterbatasan metode pembelajaran media video konferensi di mana media tersebut tidak dapat mengakomodasi pembelajaran yang bersifat praktek atau *hands-on*. Selain itu, dibutuhkan bandwith lumayan besar dan untuk beberapa area hal ini agak sulit untuk dipenuhi.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya, salah satu solusi yang patut dipertimbangkan adalah dengan menggunakan virtual reality sebagai media ruang belajar. Dengan dunia virtual reality berbasis avatar, yang jika dibandingkan dengan video stream pada konferensi video, penggunaan bandwidth dapat dikurangi.

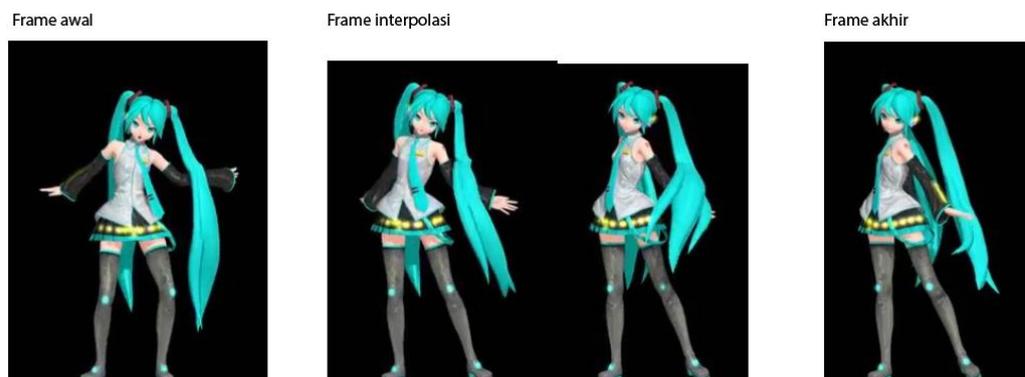
Dengan asumsi bahwa konferensi video menggunakan encoding H.264 20 fps pada resolusi 720p dengan bitrate 2.56Mbps kita dapat memperkirakan size tiap frame sebesar 18KB atau 21.6MB per menit (1200 frame). Frame yang drop akan menghasilkan video yang terputus gerakannya sehingga semua frame ini harus diterima secara utuh untuk menampilkan video secara maksimal.

Pada dunia virtual reality berbasis avatar, pergerakan avatar diatur dengan menggunakan koordinat posisi, bukan dalam bentuk gambar frame. Misalkan dengan menggunakan avatar bipedal (manusia) dengan 20 bone rig, pergerakan dapat diatur dengan mengirim lokasi dan rotasi dari 20 bone ini. Tapi melihat perangkat VR komersil secara umum hanya memiliki 3 buah sensor tracking (kepala, dan kedua tangan) atau paling banyak 5 titik sensor tracking (kepala, kedua tangan, kedua kaki, dan pinggul), data yang dapat dikirim tentu harus dikurangi dan animasi yang dilakukan akan dihitung oleh software pada perangkat client masing-masing. Hal ini mengurangi kebutuhan bandwidth yang digunakan untuk transmisi serta mengurangi beban server host karena perhitungan dan animasi gerakan dilakukan oleh masing-masing client.



Gambar 4. Full-body tracking

Selain jumlah data yang harus dikirim tidak membutuhkan pengiriman frame tanpa henti seperti pada metode video streaming. Dengan melakukan interpolasi di sisi client untuk melakukan animasi posisi, server host hanya perlu mengirimkan koordinat akhir posisi bone masing-masing model. Client melakukan perhitungan interpolasi sendiri untuk mencari koordinat yang berada diantara posisi awal dan posisi akhir. Hal ini berarti bahwa meski transmisi dilakukan dengan UDP yang pada dasarnya tidak menjamin integritas atau urutan packet yang diterima, pergerakan dapat tetap dilakukan secara halus.



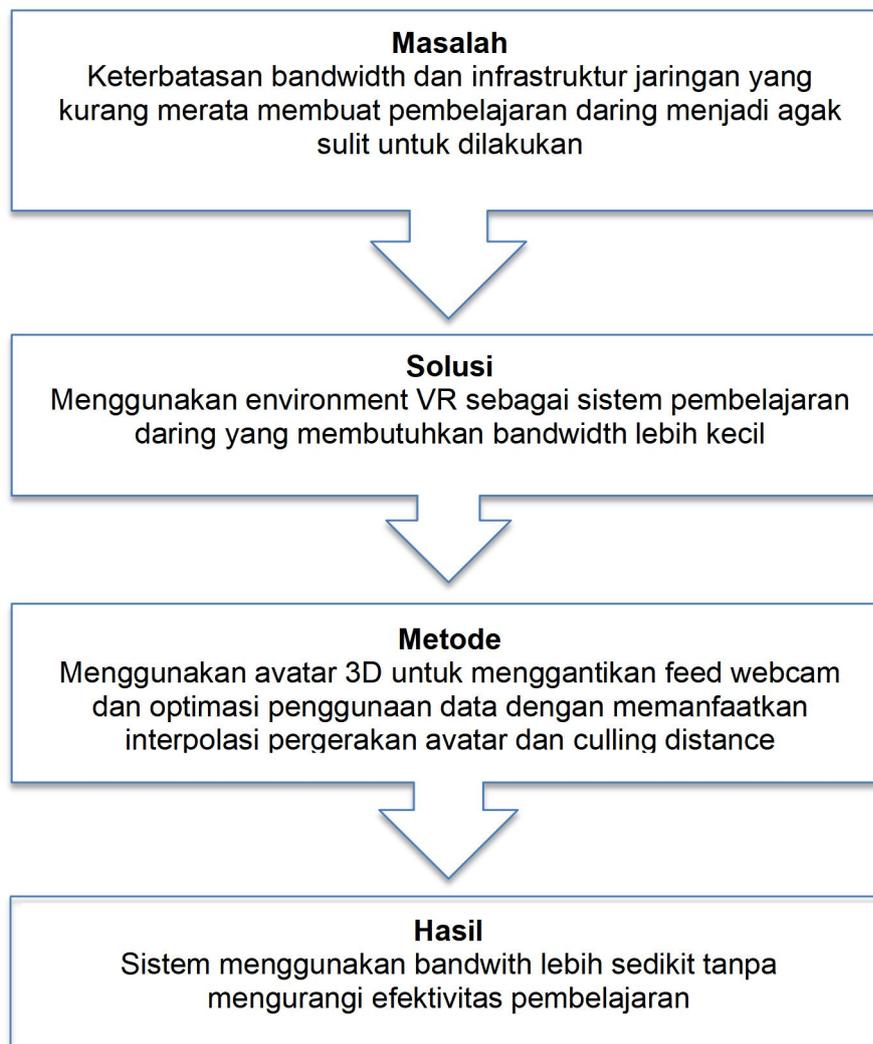
Gambar 5. Interpolasi frame animasi

Jika diasumsikan bahwa tiap frame pada konferensi video sama ukurannya dengan data koordinat lokasi dari tiap sensor bone dapat dipastikan bahwa metode ini mengurangi penggunaan bandwidth dan dapat memberikan pengalaman yang lebih halus meski dalam kondisi jaringan dengan latency tinggi.

Hal lain yang dapat dilakukan untuk menggeser BCL Model adalah dengan menggunakan storage local client. Hal ini dapat dilakukan melalui preload downloadable content. Konten statis seperti berkas presentasi, gambar, video, dll yang dapat dipersiapkan sebelum sesi dimulai. Dengan menggunakan downloadable content, siswa dapat melakukan *preload* asset sebelum pembelajaran dimulai sehingga transmisi saat pembelajaran dapat difokuskan ke audio dan sinkronisasi.

Untuk menjangkau siswa seluas-luasnya, pembuatan sistem virtual reality ini sendiri dibutuhkan dapat berjalan cross-platform. Karenanya dalam proses pembuatan akan digunakan Unreal Engine 4 dan Oculus SDK. Hal ini dilakukan untuk memastikan kompatibilitas antar platform nantinya.

Dengan menggunakan avatar based virtual reality classroom sebagai pengganti video stream serta pengurangan jumlah transmisi data dengan menggunakan interpolasi pada sisi client untuk mengisi data gerakan yang kosong, peneliti memperkirakan penggunaan data dapat dikurangi hingga 50% jika dibandingkan dengan metode konferensi video konvensional. Ditambah dengan kelebihan sistem virtual reality sebagai media interaksi dan kolaborasi sehingga virtual reality classroom dapat digunakan sebagai alternatif konferensi video konvensional sebagai media pembelajaran jarak jauh yang lebih efektif.



Gambar 6. Kerangka pikir penelitian