

PERBANDINGAN EFEKTIVITAS SISTEM INTERAKSI VIRTUAL REALITY CLASSROOM DAN KONFERENSI VIDEO KONVENSIONAL DALAM MENGATASI KETERBATASAN BANDWIDTH PADA PEMBELAJARAN DARING

Kasmir Syariati¹⁾, Citra Suardi²⁾, David Sundoro³⁾, Reinaldo Lewis Lordianto⁴⁾

^{1,2,3,4} PSDKU Informatika, Universitas Ciputra

Email: kasmir.syariati@ciputra.ac.id¹⁾, citra.suardi@ciputra.ac.id²⁾, david.sundoro@ciputra.ac.id³⁾, reinaldo.lewis@ciputra.ac.id⁴⁾

Nomor Telp : +62 812 4200 1311¹⁾

Asal Negara: Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini mengeksplorasi pemanfaatan Ruang Kelas Virtual Reality (VR) sebagai alternatif untuk konferensi video dalam pembelajaran online, dengan tujuan mengatasi kendala bandwidth. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis komparatif antara sistem interaksi avatar VR dan sistem video konferensi tradisional. Penelitian berfokus pada pengoptimalan penggunaan bandwidth dalam VR melalui interaksi berbasis avatar. Pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan perilaku interaksi pengguna dan pengukuran penggunaan bandwidth dalam komunikasi antar klien. Data yang terkumpul dianalisis secara kuantitatif untuk memahami perbedaan perilaku pengguna dan implikasinya terhadap pengalaman interaktif serta strategi yang diperlukan untuk memastikan komunikasi yang efisien dalam lingkungan pembelajaran daring. Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata latensi sistem konferensi video sebesar 184 ms (dengan tambahan proses encoding decoding yang mengakibatkan delay hingga 1 detik) dengan rata-rata latensi VR classroom sebesar 133 ms. Sistem avatar VR menunjukkan latensi yang lebih rendah serta memberikan pengalaman belajar yang responsif dan immersif. Selain itu, sistem avatar VR menunjukkan ketangguhan dalam menghadapi keterbatasan jaringan, menjaga kualitas interaksi yang konsisten. Sistem dapat mencapai framerate stabil pada 60 fps dan menghindari desinkronisasi antara audio dan video pada tingkat limitasi bandwidth 100kbps di mana sistem konferensi video gagal mempertahankan feed video dan audio. Namun, perlu dicatat bahwa implementasi sistem avatar VR memerlukan pengaturan dan persyaratan perangkat keras yang lebih kompleks dibandingkan dengan video konferensi.

Kata kunci: *virtual reality, pembelajaran jarak jauh, avatar-based interaction, pembelajaran sinkron, video conference*

ABSTRACT

This research paper investigates the utilization of Virtual Reality (VR) Classroom as an alternative to video conferencing in online learning, aiming to overcome bandwidth constraints. The research method employed is a comparative analysis between the VR avatar interaction system and the traditional video conferencing system. The focus of the study is to optimize bandwidth usage in VR through avatar-based interaction. The measurement showed an average latency of 184 ms for the video conference system (with additional encoding and decoding processes causing delays up to 1 second), while the VR classroom had an average latency of 133 ms. The VR avatar system exhibits lower latency, providing a more responsive and immersive learning experience. The audio and video feeds in the VR avatar system are more stable, reducing disruptions and ensuring a seamless communication environment. Furthermore, the VR avatar system demonstrates robustness in dealing with network limitations, maintaining a consistent quality of interaction. It achieves a higher frame rate at 60 fps and avoids desynchronization between audio and video feeds even at 100kbps bandwidth limitation where video conference system failed to maintain a stable video & audio feed. However, it is important to note that implementing the VR avatar system requires a more complex setup and hardware requirements compared to the video conferencing system.

Keywords: *virtual reality, distance learning, avatar-based interaction, synchronized learning, video conference.*

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran jarak jauh, yang ditandai dengan ketiadaan kehadiran fisik siswa di lokasi pembelajaran, secara signifikan mengubah lanskap pembelajaran baik di institusi akademik maupun lingkungan korporat (Kaplan & Haenlein, 2016). Massive Open Online Courses (MOOCs) secara dominan digunakan dalam lingkungan universitas, dan Small Private Online Courses (SPOCs) lebih umum digunakan dalam konteks korporat.

Munculnya internet memfasilitasi perkembangan dan adopsi berbagai modalitas pembelajaran seperti pembelajaran terdistribusi, e-learning, m-learning (Azwar & Samiu, 2016), dan ruang kelas virtual. Adopsi pembelajaran jarak jauh secara signifikan juga memperluas akses terhadap peluang pendidikan. Dengan menghilangkan batasan geografis dan menawarkan fleksibilitas jadwal yang lebih besar, pendekatan ini memungkinkan individu dengan komitmen waktu atau hambatan fisik yang beragam untuk lebih mudah terlibat dalam pembelajaran.

Pentingnya keberadaan dan implementasi pembelajaran jarak jauh yang efektif semakin terlihat jelas selama pandemi COVID-19. Ketika virus ini memengaruhi hampir setiap negara dengan 116.874.912 kasus terkonfirmasi dan 2.597.381 kematian (WHO, 2021), sebagian besar lembaga pendidikan terpaksa menghentikan pembelajaran tatap muka dan beralih ke format jarak jauh atau online. Meskipun beberapa universitas mungkin telah mengembangkan platform pembelajaran online melalui MOOCs atau SPOCs, situasi ini menghadirkan tantangan yang besar bagi lembaga-lembaga yang tidak memiliki sumber daya tersebut.

Di Indonesia, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, bekerja sama dengan platform pembelajaran online, telah mengutamakan implementasi luas metode pembelajaran secara asinkron (Abidah et al., 2020). Meskipun penelitian terdahulu tidak menemukan adanya perbedaan signifikan terhadap peningkatan pengetahuan antara pendekatan asinkron dan sinkron (Jordan et al., 2013), pembelajaran sinkron interaktif tetap lebih populer. Namun, mengadaptasi materi kelas tatap muka tradisional menjadi pembelajaran jarak jauh secara sinkron terbukti lebih sulit akibat kurangnya infrastruktur TIK dan sumber daya pendidikan yang memadai (Basilaia & Kvavadze, 2020). Batasan lain yang mencolok adalah kesulitan dalam melaksanakan pembelajaran praktik, pekerjaan laboratorium, pelajaran musik, dan kursus seni melalui metodologi pembelajaran jarak jauh saat ini (Sahu, 2020).

Laporan UNICEF menunjukkan bahwa 66% dari 60 juta siswa di 34 provinsi merasa tidak nyaman saat terlibat dalam pembelajaran jarak jauh selama pandemi COVID-19; di antara siswa-siswa ini, 87% menyatakan keinginan untuk kembali ke ruang kelas fisik. Namun, melihat dampak berkelanjutan dari pandemi, mereka memilih untuk menunda

kembalinya mereka sampai kondisi membaik (UNICEF, 2020). Siswa menghadapi kesulitan dalam memahami pelajaran online akibat masalah komunikasi menimbulkan tantangan yang lebih besar dibandingkan dengan yang dialami selama pembelajaran tatap muka (Sadikin & Hakim, 2019). Kesulitan ini semakin diperparah oleh biaya internet yang tinggi dan akses yang tidak merata terhadap infrastruktur TIK di beberapa wilayah (Sadikin & Hamidah, 2020).

Melihat lebih dekat pembelajaran online yang umum digunakan, yaitu sinkron, asinkron, dan hybrid, jelas bahwa setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Model sinkron, yang sering menggunakan chat room atau konferensi video, umumnya lebih disukai oleh siswa. Namun, pendekatan ini dapat sulit diimplementasikan dalam kondisi bandwidth rendah dan dapat menimbulkan kekhawatiran biaya data internet. Di sisi lain, meskipun metode asinkron tampak lebih layak dalam keadaan seperti itu, kurangnya interaksi dapat menyebabkan perasaan isolasi dan frustrasi di antara siswa (Khotimah, 2020). Akibatnya, WhatsApp muncul sebagai salah satu aplikasi paling populer untuk memfasilitasi pembelajaran sinkron (Pramana et al., 2021).

Video konferensi merupakan metode yang disukai dalam pembelajaran jarak jauh secara sinkron, meskipun tetap memiliki kekurangannya sendiri. Zoom, platform video meet yang populer selama pandemi COVID-19, membutuhkan bandwidth sebesar 600kbps (up/down) untuk panggilan video kualitas rendah 1:1 dan 3.8Mbps/3.0Mbps (up/down) untuk video HD 1080p. Panggilan video grup membutuhkan 1.0Mbps/600kbps (up/down) dan 3.8Mbps/3.0Mbps (up/down) untuk video HD 1080p, sedangkan tampilan galeri membutuhkan 2.0Mbps untuk melihat hingga 25 peserta atau 4.0 Mbps untuk melihat hingga 49 peserta dalam panggilan grup. Selain itu, berbagi layar membutuhkan tambahan alokasi antara 50-75kbps dan audio VoIP membutuhkan antara 60-80kbps (Zoom, 2021). Tergantung pada kualitas video, meeting Zoom 1:1 akan menggunakan sekitar 540 MB hingga 1.62 per jam. Sementara itu, selama panggilan grup, digunakan sekitar 810 MB hingga 2.4 GB per jam hanya untuk feed video saja.

Penggunaan bandwidth yang tinggi dapat menjadi tantangan yang signifikan bagi siswa dengan keterbatasan konektivitas internet. Dalam upaya untuk menghemat bandwidth, beberapa siswa mungkin memilih untuk menonaktifkan kamera mereka (Castelly & Sarvary, 2021). Akibatnya, tindakan ini dapat mengurangi keunggulan utama video konferensi sebagai metode pembelajaran sinkron, yaitu memfasilitasi komunikasi langsung dan interaktif antara beberapa peserta.

Virtual Reality (VR), sebuah teknologi yang baru-baru ini muncul, memiliki kemampuan untuk mereplikasi lingkungan dunia nyata dalam ruang tiga

dimensi yang terdigitalisasi. Coburn (2017) mendefinisikan pengalaman VR sebagai pengalaman yang menggantikan satu atau lebih indera fisik dengan pengganti virtual. Mengingat tantangan yang terkait dengan kondisi bandwidth rendah, salah satu kekhawatiran utama dalam pembelajaran jarak jauh secara sinkron adalah memfasilitasi interaksi langsung yang mulus di antara beberapa peserta tanpa menimbulkan perasaan isolasi. Selain itu, sistem tersebut harus memberikan rasa kehadiran (sense of presence) dan memungkinkan interaksi dengan delay minimal bahkan dalam kondisi keterbatasan bandwidth. Oleh karena itu, kami mengusulkan penggunaan interaksi berbasis avatar sebagai alternatif untuk feed video tradisional dan menggabungkan lingkungan virtual reality untuk menyediakan media interaktif.

Xue-qin Chang, Dao-hua Zhang, Xin-xin Jin (2017) memperkenalkan sebuah model untuk sistem kampus virtual multi-user berbasis web (multi-user virtual campus, WMUVC) yang dirancang untuk mensimulasikan dunia tiga dimensi sebagai lingkungan pendidikan. Konsep ini menggabungkan lingkungan tiga dimensi dari virtual reality dengan sumber daya berbasis situs web konvensional, termasuk video chat, email, dan VoIP, yang memungkinkan pengguna untuk dengan mudah mengakses dan menjelajahi materi pengajaran dalam ruang imersif.

Sebuah studi lain yang mengeksplorasi kelayakan virtual reality sebagai platform pembelajaran jarak jauh dilakukan oleh Leanne Coyne, Jody K. Takemoto, Brittany L. Parmentier, Thayer Merritt, dan Rachel A. Shapton (2018). Temuan mereka mengungkapkan bahwa 94,44% partisipan menyatakan lebih memilih untuk menggunakan media VR jika tersedia. Selain itu, penelitian tersebut menyoroti bahwa alat interaktif dalam lingkungan VR terbukti bermanfaat dalam konteks ini. Pada akhirnya, sifat imersif dari VR mendorong keterlibatan yang lebih besar di antara partisipan dan meningkatkan kepercayaan mereka dalam berbagi ide dengan tim mereka.

Yiqun Liu, Xuanxia Fan, Xiaojing Zhou, Meiqin Liu, Jianfeng Wang, dan Tao Liu (2019) mengusulkan lima mode aplikasi untuk memanfaatkan virtual reality sebagai metode pembelajaran jarak jauh dalam pendidikan tinggi. Mode-mode ini mencakup pembelajaran eksplorasi diri, diskusi kelompok jarak jauh, pembelajaran terbuka, dan pembelajaran eksperimen. Para peneliti mengidentifikasi tantangan utama yang terkait dengan implementasi ini adalah biaya dan portabilitas sistem virtual reality serta kesulitan dalam menyesuaikan sumber daya pengajaran yang ada untuk menyesuaikan lingkungan virtual reality.

Dalam paper ini, penulis menyelidiki potensi implementasi lingkungan virtual reality (VR) sebagai kelas virtual dalam kondisi bandwidth rendah. Dengan memanfaatkan interaksi berbasis avatar dan

adaptabilitas metode pembelajaran, kami fokus pada evaluasi kemampuan pembelajaran sinkron dalam VR dibandingkan dengan pendekatan yang umum digunakan saat ini.

Meskipun keunggulan VR dalam hal imersi dan engagement telah ditekankan pada penelitian-penelitian sebelumnya, penulis merasa masih kurang perbandingan langsung antara pembelajaran berbasis VR dengan sistem video konferensi tradisional. Penelitian yang diusulkan akan mengisi kesenjangan ini dengan melakukan analisis perbandingan antara sistem interaksi avatar VR dan video konferensi dalam hal penggunaan bandwidth, laten, stabilitas audio/video, dan pengalaman pembelajaran secara keseluruhan.

Penggunaan virtual reality untuk mensimulasikan kondisi kelas juga dapat mengatasi keterbatasan lainnya dari metode konferensi video yaitu ketidakmampuannya untuk menawarkan "pengalaman praktikum" langsung. Sebaliknya, virtual reality dapat memberikan pengalaman interaktif yang sangat mirip dengan bekerja dengan alat nyata dan melakukan eksperimen.

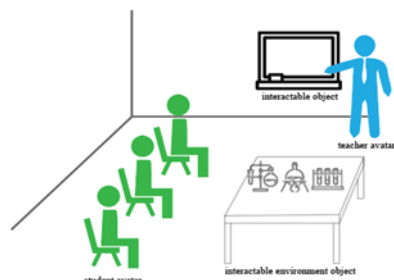
Tujuan utama pembuatan environment kelas virtual adalah untuk mereplikasi kondisi kelas dunia nyata bagi peserta yang berada di tempat terpisah dan memungkinkan mereka untuk lebih aktif terlibat dan berinteraksi dalam kelas (Deshpande & Jenq-Neng Hwang, 2001). Karena sifat environment kelas virtual yang sangat imersif (Bowman & McMahan, 2007), virtual reality dapat secara potensial mendekati efek pembelajaran tatap muka dalam lingkungan fisik (Blume et al., 2019). Lingkungan virtual reality yang menampilkan gerakan 6 Degree of freedom (6DoF) memungkinkan siswa untuk memvisualisasikan, menjelajahi, memanipulasi, dan berinteraksi dengan objek virtual. Tingkat interaktivitas ini meningkatkan kemampuan siswa untuk merespons elemen pembelajaran dalam environment kelas virtual (Crumpton & Harden, 1997).



Gambar 1. Virtual environment ruang kelas

Dalam kelas virtual, setiap siswa dan guru akan diwakili oleh avatar 3 dimensi yang terhubung ke perangkat masing-masing. Karena avatar hanya dimuat sekali saat inisialisasi sistem, pergerakannya dapat dikendalikan hanya oleh koordinatnya dalam ruang 3D virtual. Sebagai perbandingan, konferensi video membutuhkan proses broadcast terus-menerus dari tiap frame video, yang pada akhirnya

membutuhkan penggunaan bandwidth yang lebih besar dari waktu ke waktu.



Gambar 2. Komposisi Virtual Reality Classroom

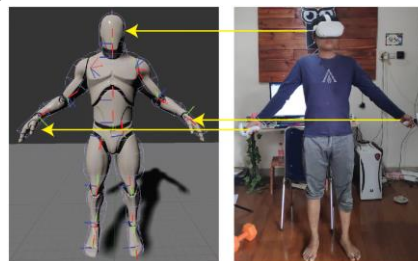
1.1. Avatar Based Interaction

Virtual Reality memanfaatkan interaksi berbasis avatar dengan menggunakan teknologi body tracking untuk menciptakan pengalaman yang lebih imersif dan menarik bagi pengguna. Pendekatan ini memungkinkan peserta berinteraksi dengan virtual environment dan pengguna lainnya dengan cara yang sangat mirip dengan interaksi dunia nyata. Dengan merekam gerakan bagian tubuh individu, seperti anggota tubuh, kepala, dan tangan, sistem menerjemahkan gerakan-gerakan ini menjadi gerakan yang sesuai dari sebuah avatar dalam environment virtual. Akibatnya, hal ini memungkinkan gerakan alami dan isyarat komunikasi non-verbal disampaikan dengan efektif di antara peserta.

Penggunaan interaksi berbasis avatar melalui body tracking dalam virtual reality tidak terbatas pada komunikasi gestural semata; hal ini juga melibatkan manipulasi objek dalam lingkungan virtual. Ketika pengguna melakukan aksi dengan tubuh fisik mereka, sistem menangkap gerakan ini dan mereplikasikannya melalui aksi avatar mereka secara real-time. Interaksi dinamis ini memfasilitasi rasa kehadiran dan kemampuan bertindak dalam pengalaman imersif, memungkinkan individu merasa lebih terhubung dengan lingkungan sekitar dan pengguna lain yang berbagi ruang virtual yang sama. Pada akhirnya, hal ini memperkaya aktivitas kolaboratif, simulasi, atau pengalaman pendidikan yang terjadi dalam lingkungan VR.

Sebagai contoh, dalam environment virtual diadakan avatar manusia bipedal yang dirancang dengan 20 titik pivot. Pergerakan avatar ini dapat dikendalikan dengan mengirimkan lokasi koordinat dan rotasi relatif mereka satu sama lain. Mengingat sebagian besar headset VR konsumen hanya menggunakan tiga titik tracking (kepala dan kedua tangan), jumlah data pergerakan yang perlu di-broadcast menjadi jauh lebih sedikit. Server dapat melewati pemrosesan data ini dan langsung mengirimkannya ke klien. Selanjutnya, setiap klien memproses koordinat dan lokasi yang diterima secara individual, memungkinkan pergerakan avatar yang lancar dan interaksi dalam virtual environment.

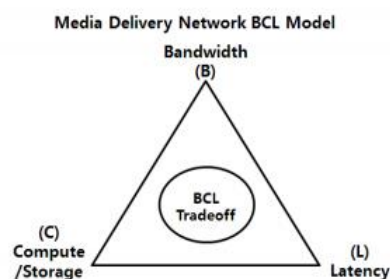
Inverse kinematics juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efektivitas interaksi berbasis avatar menggunakan body tracking, terutama ketika jumlah titik pelacakan yang tersedia amat terbatas. Dengan hanya tiga titik pelacakan pada tubuh (kepala dan kedua tangan), algoritma inverse kinematics dapat mengekstrapolasi posisi dan orientasi bagi bagian tubuh lainnya untuk menghasilkan gerakan yang lebih realistis pada avatar.



Gambar 3. Human to Avatar three point tracking

Pada dasarnya, inverse kinematics bekerja dengan menghitung sudut-sudut sendi berdasarkan batasan-batasan yang telah ditentukan dan posisi akhir yang diinginkan (dalam hal ini, tangan dan kepala). Dengan mempertimbangkan tiga titik tracking ini sebagai titik akhir dalam environment VR, algoritma dapat menentukan postur yang mungkin bagi sendi-sendi lainnya yang tidak terlacak pada avatar. Hal ini menghasilkan animasi yang lebih halus yang lebih menyerupai gerakan manusia secara alami meskipun dengan data input yang terbatas. Dengan demikian, diharapkan pengendalian avatar melalui inverse kinematics meningkatkan imersi pengguna dalam virtual reality dengan memfasilitasi interaksi yang lebih alami antara peserta dan lingkungan sekitarnya.

1.2. Optimasi Bandwidth



Gambar 4. Media Delivery Network BCL Tradeoff Model (Mangiante, et al., 2017)

Magiante et al. (2017) merumuskan Model Media Delivery Network BCL (bandwidth, compute/storage, & latency) yang menunjukkan bahwa pergerakan menuju salah satu sudut ekstrim segitiga tradeoff BCL, khususnya sudut komputasi/penyimpanan, dapat membantu mengurangi penggunaan bandwidth secara real-time. Hal ini dapat dicapai dengan memungkinkan klien

mengunduh konten secara individu dan menjelajahnya dengan kecepatan mereka sendiri.

Apabila pendekatan ini diperbandingkan dengan skenario konferensi video—seperti screen sharing presentasi melalui panggilan Zoom—akan membantu menunjukkan perbedaan potensial dalam penggunaan bandwidth. Zoom membutuhkan 50-150kbps untuk berbagi layar tanpa thumbnail video feed. Angka ini tidak banyak berubah ketika thumbnail video feed disertakan.

Misalkan terdapat file PDF sebanyak 10 halaman tanpa gambar embedded, dengan ukuran 300kb. Dengan cara mendownload dan menampilkannya di dalam lingkungan VR sebelumnya, hanya memerlukan bandwidth awal sebesar 300kb tersebut. Sebaliknya, menggunakan fitur berbagi layar Zoom akan mengakibatkan peningkatan konsumsi bandwidth selama presentasi ditampilkan di layar. Dengan demikian, menggabungkan konten yang sudah diunduh sebelumnya ke dalam environment VR secara signifikan mengurangi permintaan bandwidth selama sesi interaktif.

Secara default, sebuah sistem yang dikembangkan menggunakan Unreal Engine memberlakukan batasan bandwidth sebesar 10kbps dalam konfigurasi UNetDriver. Namun, pengaturan ini dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan spesifik. Dalam uji coba awal, pengiriman data pergerakan melalui multicast RPC kepada sekitar 100 aktor mengkonsumsi sekitar 20 kbps hingga 30 kbps tanpa adanya optimasi. Sebagai perbandingan, Zoom membutuhkan bandwidth sebesar 600 kbps untuk panggilan video dengan resolusi terendah dalam sesi satu lawan satu, sementara resolusi tertingginya membutuhkan hingga 3.8 Mbps.

Dalam environment VR, klien dapat menentukan resolusi tampilan. Karenanya, penggunaan bandwidth tetap relatif stabil dalam berbagai resolusi di sisi klien. Fitur ini memberikan keuntungan dibandingkan metode konferensi video tradisional dengan menawarkan konsumsi bandwidth yang lebih stabil sambil tetap memberikan pengalaman yang mendalam dan interaktif dalam virtual reality.

Tabel 1. Kebutuhan penggunaan data teoritis untuk screen sharing file pdf berukuran kecil (300kb)

Method	20 Minutes	60 Minutes	120 Minutes
Predownload	300 kb	300 kb	300 kb
Zoom (min, no thumbnail)	60 mb	180 mb	360 mb
Zoom (max, no thumbnail)	90 mb	270 mb	540 mb
Zoom (max, with thumbnail)	180 mb	540 mb	1.08 gb

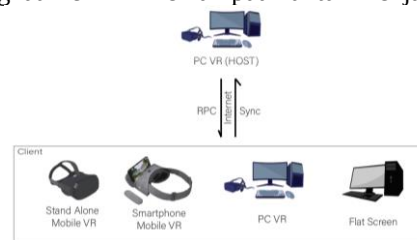
Penggunaan data untuk konten yang telah diunduh sebelumnya (predownload) tetap konstan terlepas dari durasi sesi, karena fokusnya beralih ke aspek komputasi/penyimpanan. Hal ini mengharuskan klien untuk menyimpan dan merender file secara mandiri. Secara teori, ada situasi di mana ukuran file yang dibagikan menjadi terlalu besar untuk penanganan yang efektif oleh klien dibandingkan dengan metode screen sharing. Namun, skenario ini juga memerlukan pertimbangan terhadap batasan waktu dan bandwidth.

Misalnya, berbagi video HD selama 20 menit melalui screen sharing mungkin mengonsumsi lebih sedikit data di Zoom dibandingkan dengan mengunduh seluruh file video. Namun, ketika kita mempertimbangkan kompresi video (batasan 50-150 kbps pada fitur screen sharing Zoom), kualitas feed video yang dihasilkan dapat terpengaruh secara signifikan oleh artefak kompresi. Oleh karena itu, meskipun terdapat kelebihan dan kekurangan antara konten predownload serta penggunaan metode streaming seperti screen sharing dalam environment virtual, penting untuk menemukan keseimbangan yang memastikan pengalaman pengguna yang optimal tanpa membebani batasan bandwidth.

2. METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian melibatkan pembuatan virtual environment dan pengembangan sistem interaksi berbasis virtual reality. Virtual environment ini dirancang untuk digunakan dalam pembelajaran daring dengan mempertimbangkan keterbatasan bandwidth.

Sistem ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu host dan klien. Sistem host dioperasikan oleh 'guru' sedangkan sistem klien dioperasikan oleh para siswa. Kedua sistem ini terhubung melalui jaringan internet. Host dan klien dapat berjalan pada berbagai platform, akan tetapi host lebih difokuskan untuk berjalan pada platform PC VR. Host dan klien menggunakan aplikasi yang sama, yang berarti setiap perangkat memiliki kemampuan untuk menjadi host.



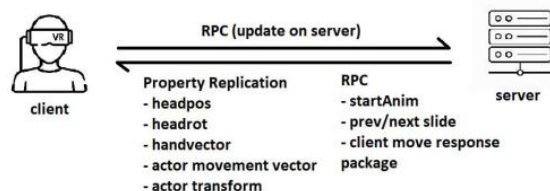
Gambar 5. Arsitektur sistem

Sistem host bertanggung jawab untuk melaksanakan fungsi-fungsi pusat dari keseluruhan sistem. Semua klien terhubung ke host ini untuk tujuan verifikasi dan menerima instruksi melalui RPC (Remote Procedure Call) yang dikirimkan oleh mekanisme hosting. Selain itu, jika terjadi ketidaksesuaian dalam perhitungan lokal yang

dilakukan oleh klien—akibat keterlambatan atau latensi dari jaringan maupun keterlambatan dalam merender—host akan mengambil tindakan korektif yang sesuai..

Di sisi client, perhitungan physics dan interaksi masih dilakukan secara lokal. Namun, respon yang dihasilkan dari tindakan yang diambil akan menunggu RPC dari server. Sinkronisasi terjadi dengan setiap RPC yang diterima oleh klien, dan jika terjadi ketidaksesuaian antara perhitungan lokal dan perhitungan host, hasil dari host yang akan diutamakan.

Optimasi sistem yang diusulkan dilakukan dengan mengurangi jumlah replikasi dan RPC yang dilakukan dari host ke klien. Untuk memastikan bahwa gerakan antara avatar dalam dunia virtual disinkronkan di seluruh klien, data gerakan atau aktor direplikasi menggunakan dua metode utama: replikasi properti dan remote procedure call (RPC). Perbedaan utama antara kedua metode ini terletak pada waktu eksekusinya. Properti secara otomatis direplikasi oleh klien jika terjadi perubahan nilai, sementara RPC hanya direplikasi saat dieksekusi.



Gambar 6. Alur replikasi client-server

Namun, hal ini tentunya akan mempengaruhi tampilan visual, menghasilkan tampilan yang terputus-putus dan berpotensi mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Untuk mengatasi masalah ini, interpolasi animasi digunakan untuk mengisi kekosongan data frame tersebut. Harapannya, pendekatan ini akan mengurangi beban pemrosesan di sisi host sambil memindahkan sebagian beban kerja ke sistem klien.

Dengan mengurangi replikasi dan RPC, waktu respons antara host dan klien secara tak terhindarkan akan menjadi lebih lambat. Untuk mengatasi hal ini, berbagai kombinasi diuji untuk mengidentifikasi keseimbangan optimal antara rasio replikasi dan RPC yang dapat menjaga kesan respons waktu nyata sambil meminimalkan waktu eksekusi komunikasi.

Selanjutnya, subjek penelitian yang terdiri dari pengguna yang lebih muda atau memiliki pengalaman berinteraksi dengan perangkat digital atau game, serta pengguna yang cenderung fokus pada tugas utama, dipilih untuk melibatkan diri dalam eksperimen.

Pada tahap pengumpulan data, pengamatan langsung dilakukan terhadap perilaku interaksi pengguna dalam lingkungan virtual. Pengamatan ini mencakup gerakan aktif, tingkat interaksi dengan objek interaktif di dunia virtual, dan interaksi dengan pengguna lain melalui gerakan tubuh. Selain itu,

dilakukan juga pengamatan terhadap penggunaan bandwidth dalam komunikasi antar klien, terutama pada saluran suara dan saluran replikasi aktor. Data yang dikumpulkan meliputi penggunaan bandwidth dari setiap kelompok pengguna dan rata-rata penggunaan bandwidth per channel dalam sesi kelas virtual.

Data yang terkumpul dianalisis secara kuantitatif. Analisis data mencakup perbandingan antara pengguna aktif dan pengguna pasif dalam hal perilaku interaksi serta penggunaan bandwidth. Hasil analisis digunakan untuk memahami perbedaan perilaku pengguna antara kedua kelompok dan implikasinya terhadap pengalaman interaktif dalam lingkungan virtual. Selain itu, analisis juga melibatkan pemahaman tentang penggunaan bandwidth dalam komunikasi antar klien dan perbandingannya terhadap kebutuhan bandwidth pada sistem konferensi video dalam sesi dengan durasi yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Interaksi User



Gambar 7. Eksplorasi virtual environment oleh user

Pengumpulan data awal menunjukkan ada dua kelompok perilaku pengguna dalam berinteraksi dengan environment virtual yang telah dibuat. Kelompok pertama ditandai dengan gerakan aktif dan tingkat interaksi yang tinggi dengan objek interaktif di dunia virtual atau dengan pengguna lain melalui gerakan tubuh. Kelompok pengguna ini selanjutnya disebut sebagai "pengguna aktif". Kelompok ini terutama terdiri dari pengguna yang lebih muda atau sering berinteraksi dengan perangkat digital atau game.



Gambar 8. User menggunakan perangkat vr

Kelompok pengguna selanjutnya disebut sebagai "pengguna pasif" yang menunjukkan pola gerakan yang lebih fokus pada gerakan kepala/kamera, namun dengan gerakan tubuh yang lebih sedikit. Gerakan yang paling sering diamati,

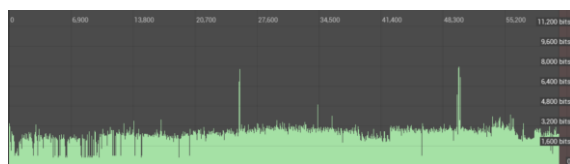
selain gerakan kamera, adalah gerakan tangan saat berbicara, yang sebagian besar dilakukan secara refleks. Pengguna dalam kelompok ini cenderung hanya fokus pada tugas utama yang diberikan kepada mereka, dengan sedikit motivasi untuk menjelajahi dunia virtual, berbeda dengan pengguna aktif yang cenderung mengambil inisiatif untuk menjelajahi ruang virtual.

3.2. Penggunaan Bandwidth

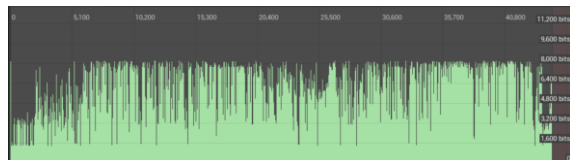
Komunikasi antara klien dalam sistem ini dilakukan melalui host server, karena tidak ada koneksi langsung antara klien. Penggunaan utama bandwidth sistem dibagi menjadi dua kategori: saluran suara, yang digunakan untuk komunikasi suara antar klien, dan saluran replikasi aktor, yang digunakan untuk mereplikasi aksi dan gerakan aktor dalam lingkungan virtual di semua klien yang terhubung. Pemisahan penggunaan bandwidth ini memungkinkan komunikasi yang efisien dan efektif di antara klien tanpa mengorbankan kinerja sistem.

Tabel 2. rata-rata penggunaan bandwidth per channel dalam sesi kelas virtual

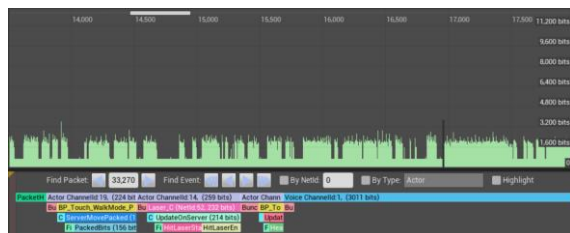
User Group	Incoming	Outgoing
Host	2.2 kb/s	12.9 kb/s
Active User	12.4 kb/s	2.2 kb/s
Passive User	11.9 kb/s	527 b/s



Gambar 9. Data diterima oleh client



Gambar 10. Paket data terkirim dari server

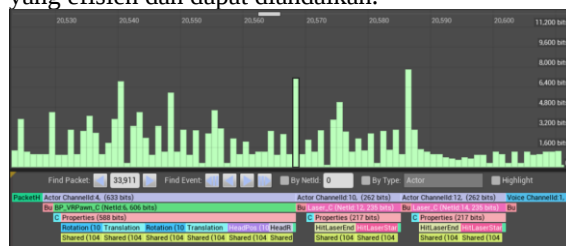


Gambar 11. Paket data incoming ke client

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan data terbesar terjadi pada voice channel, yang menggunakan sekitar 60% dari total bandwidth, dengan penggunaan bandwidth keluar server sebesar 12,9 KB/s per klien yang terhubung. Meskipun rata-rata total data keluar antara klien hampir sama.

Pada replikasi data aktor, penggunaan data hampir selalu sama karena metode replikasi yang

digunakan adalah replikasi properti. Metode replikasi ini secara terus-menerus mengirim pembaruan nilai properti variabel secara ‘unreliable’, sehingga penggunaan data menjadi konsisten. Meskipun replikasi properti memastikan setiap klien menerima informasi aktor yang paling mutakhir, sifatnya yang unreliable dapat menyebabkan hilangnya data dan inkonsistensi antara klien, yang dapat menyebabkan perilaku yang tidak terduga dan mengkompromikan stabilitas sistem. Oleh karena itu, perlu pertimbangan yang cermat dalam pemilihan metode replikasi dan implementasinya untuk memastikan replikasi data yang efisien dan dapat diandalkan.



Gambar 12. Paket data pada replikasi aktor

Jika paket properti gagal diterima oleh klien, data tersebut tidak akan dikirim ulang, karena transmisi paket berikutnya akan mengirim nilai properti terbaru tanpa memperhatikan apakah data telah berubah atau tidak.

Pada kasus pengujian kedua menggunakan koneksi internet, ukuran paket data yang dikirim dan diterima tidak berbeda secara signifikan dari kebutuhan bandwidth saat menggunakan jaringan lokal. Perbedaan utama antara komunikasi melalui jaringan lokal dan melalui internet terletak pada latensi. Dengan koneksi lokal, latensi antara klien dan server berkisar antara 15-40 ms, sedangkan saat berkomunikasi melalui internet, latensi antara klien dan server meningkat menjadi berkisar 120-158 ms. Peningkatan latensi ini dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan, sehingga diperlukan strategi seperti kompresi data dan optimisasi untuk memastikan komunikasi yang efisien dan dapat diandalkan antara klien dan server

3.3. Perbandingan dengan video conference (Zoom)

Bila dibandingkan dengan metode video konferensi yang saat ini digunakan untuk pembelajaran jarak jauh, jelas bahwa pembelajaran realitas virtual membutuhkan bandwidth yang jauh lebih sedikit, baik dengan webcam dihidupkan atau dimatikan. Selain itu, pembelajaran virtual reality memiliki keunggulan sebagai media pembelajaran hybrid, dengan kemampuan untuk beralih dari mode pembelajaran sinkron ke asinkron. Selain itu, VR lebih cocok untuk pembelajaran jarak jauh dalam kelas-kelas berbasis laboratorium atau eksperimen yang sulit dilakukan menggunakan metode konferensi video. Pembelajaran Virtual reality memiliki potensi untuk menjadi alat yang sangat

efektif dalam pendidikan jarak jauh, menawarkan peluang baru untuk pengalaman pembelajaran yang immersif dan menarik.

Meski begitu, metode interaksi avatar dalam environment VR juga memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal penggunaan bandwidth bila dibandingkan langsung dengan metode konferensi video. Metode konferensi video, dalam hal ini menggunakan aplikasi Zoom, memiliki keuntungan bahwa kebutuhan bandwidthnya tidak berubah secara signifikan ketika jumlah pengguna dalam ruangan meningkat. Hal ini karena meskipun server Zoom menerima feed kamera video terpisah dari setiap klien, sistem di server menggabungkan semua feed video ini menjadi satu feed video dengan resolusi 720p, yang kemudian dikirimkan kepada semua klien dalam ruangan tersebut. Dengan demikian, meskipun jumlah feed video yang diterima oleh server meningkat secara signifikan, setiap klien tetap hanya menerima satu feed video saja.

Berbeda dengan sistem interaksi avatar dalam lingkungan VR, setiap properti dan RPC yang dikirim oleh setiap klien perlu direplikasi oleh server ke klien yang terhubung untuk setiap pawn dan aktor yang terkait. Hal ini berarti jumlah data yang perlu dikirimkan dan persyaratan bandwidth unduh dari setiap klien meningkat secara linear sesuai dengan jumlah klien yang mengirimkan data. Akan tetapi, karena jumlah data yang perlu direplikasi relatif lebih kecil, persyaratan bandwidth keseluruhan sistem masih lebih kecil dibandingkan dengan metode konferensi video.

Tabel 3. Perbandingan rata-rata latensi

Metode	Latensi Rata-rata	Latensi maksimal	Latensi minimal
Konferensi Video	184 ms	185 ms	180 ms
VR Classroom	133 ms	158 ms	120 ms

Dalam hal latensi, statistik Zoom menunjukkan latensi antara 180 ms - 185 ms untuk audio dan video. Sementara itu, sistem yang dibuat memiliki latensi antara 120 ms - 158 ms. Namun, dalam sistem konferensi video, proses encoding-decoding tambahan diperlukan sebelum data audio dan video dapat ditampilkan, yang mengakibatkan delay tambahan hingga 1 detik sebelum pengguna dapat menerima audio/video. Dalam beberapa kasus, desinkronisasi antara audio dan video yang ditampilkan atau degradasi kualitas audio dan video yang mengakibatkan gangguan sementara pada feed. Hal ini terjadi ketika bandwidth jaringan yang tersedia terbatas di bawah 500 Kbps, karena sistem Zoom menyesuaikan resolusi video sesuai dengan bandwidth yang tersedia, yang secara umum dibagi menjadi tiga tingkatan: FullHD (setara dengan resolusi 1080p), HD (setara dengan resolusi 720p), dan High Quality (setara dengan resolusi 420p).

Selain itu, sistem Zoom memberikan prioritas penggunaan bandwidth pada bagian yang paling dibutuhkan. Ketika bandwidth yang tersedia tidak mencukupi untuk memenuhi minimum requirement, jumlah frame layar yang diterima akan dikurangi, mengakibatkan gerakan tampilan layar yang tidak responsif dan terputus-putus. Hal yang sama juga terjadi dengan video yang diterima. Meskipun penundaan dan latensi terlihat rendah, video yang diterima memiliki frame rate rendah dan sering kali terjadi freeze. Komunikasi suara diberikan prioritas tertinggi dalam penggunaan bandwidth dan cenderung tetap stabil bahkan ketika kecepatan jaringan terbatas hingga 100 Kbps, di mana audio yang diterima mulai terputus-putus.

Dalam sistem interaksi avatar VR, perceived latency disebabkan oleh jarak dan kondisi jaringan. Meskipun waktu penundaan mungkin tidak terlihat berbeda secara signifikan dari sistem konferensi video, komunikasi menggunakan avatar VR tidak mengalami gangguan, baik dalam gerakan avatar maupun suara yang terputus. Gerakan interaksi yang terjadi baik pada avatar maupun screen share tetap berjalan dengan kecepatan maksimal 60 fps. Meskipun dalam konferensi video dan interaksi avatar memprioritaskan saluran suara, jika paket data vektor untuk gerakan avatar gagal diterima, sistem akan menunggu paket berikutnya dan kemudian melakukan interpolasi untuk mengisi kerangka gerakan yang hilang.

Dalam sistem konferensi video, saat melihat persentase paket yang hilang, sistem tersebut dapat mempertahankan kualitas dengan mengurangi resolusi dan fps video pada screen sharing hingga kecepatan jaringan 1 MBps. Namun, di bawah kecepatan tersebut, jumlah paket yang gagal terkirim meningkat secara drastis. Meskipun mungkin tidak terlihat ada paket yang hilang dalam screen sharing, perlu dicatat bahwa pada kecepatan 500 Kbps, sistem hanya mengirim 5 frame per detik. Pada kecepatan yang lebih rendah, hanya satu frame yang dikirim per detik hingga sistem berhenti mengirimkan frame sama sekali. Dalam sistem yang menggunakan avatar VR, kebutuhan bandwidth untuk gerakan avatar jauh lebih kecil. Oleh karena itu, bahkan saat kecepatan dibatasi menjadi 35Kbps, tidak ada kegagalan yang signifikan dalam pengiriman paket.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perbandingan rata-rata latensi system konferensi video sebesar 184 ms (dengan tambahan proses encoding decoding yang mengakibatkan delay hingga 1 detik) dengan rata-rata latensi VR classroom sebesar 133 ms, serta prioritas voice channel pada system konferensi video yang mengakibatkan kualitas transmisi video harus dikorbankan, dapat disimpulkan bahwa sistem interaksi avatar VR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sistem konferensi video. Sistem avatar VR menawarkan latensi yang lebih rendah, feed yang

lebih stabil, dan kehandalan yang lebih baik dalam menghadapi keterbatasan jaringan. Selain itu, sistem avatar VR mampu mempertahankan interaksi dengan frame rate yang lebih tinggi dan tidak mengalami desinkronisasi. Namun, perlu dicatat bahwa sistem avatar VR membutuhkan setup yang lebih kompleks dan persyaratan perangkat keras yang lebih tinggi dibandingkan sistem konferensi video. Meskipun demikian, sistem avatar VR menunjukkan potensi sebagai alternatif yang layak untuk kolaborasi dan komunikasi jarak jauh dalam situasi di mana interaksi yang stabil dan immersif diperlukan. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mempelajari aplikasi potensialnya secara menyeluruh dan mengatasi tantangan yang mungkin terkait dengan implementasinya. Selain itu, penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi kemungkinan implementasi teknik view culling untuk mengurangi penggunaan bandwidth dari avatar yang terlihat di lingkungan VR. Teknik ini berpotensi meningkatkan kinerja dan mengurangi laten bahkan lebih jauh, terutama dalam skenario dengan jumlah avatar yang besar dalam satu ruang virtual. Penelitian semacam ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem komunikasi yang lebih efisien dan efektif menggunakan teknologi VR.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidah, A., Hidaayatullah, H. N., Simamora, R. M., Fehabutar, D., & Mutakinati, L. (2020). The impact of covid-19 to indonesian education and its relation to the philosophy of "merdeka belajar." *Studies in Philosophy of Science and Education*, 1(1), 38–49. <https://doi.org/10.46627/sipose.v1i1.9>
- Azwar, A., & Samiu, L. D. (2021). Rancang Bangun Aplikasi E-Modul Guna Pemanfaatan Pembelajaran Daring Berbasis Android. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 9(2), 71 - 78. <https://doi.org/10.30869/jtech.v9i2.761>
- Basilaia, G., & Kvavadze, D. (2020). Transition to online education in schools during a sars-cov-2 coronavirus (COVID-19) pandemic in Georgia. *Pedagogical Research*, 5(4). <https://doi.org/10.29333/pr/7937>
- Blume, F., Göllner, R., Moeller, K., Dresler, T., Ehlis, A.-C., & Gawrilow, C. (2019). Do students learn better when seated close to the teacher? A virtual classroom study considering individual levels of inattention and hyperactivity-impulsivity. *Learning and Instruction*, 61, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.10.004>
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: How much immersion is enough? *Computer*, 40(7), 36–43. <https://doi.org/10.1109/mc.2007.257>
- Castelli, F. R., & Sarvary, M. A. (2021). Why students do not turn on their video cameras during online classes and an equitable and inclusive plan to encourage them to do so. *Ecology and Evolution*, 11(8), 3565–3576. <https://doi.org/10.1002/ece3.7123>
- Chang, X., Zhang, D., & Jin, X. (2016). Application of virtual reality technology in distance learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 11(11), 76. <https://doi.org/10.3991/ijet.v11i11.6257>
- Coburn, J. Q., Freeman, I., & Salmon, J. L. (2017). A review of the capabilities of current low-cost virtual reality technology and its potential to enhance the design process. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 17(3). <https://doi.org/10.1115/1.4036921>
- Coyne, L., Takemoto, J. K., Parmentier, B. L., Merritt, T., & Sharpton, R. A. (2018). Exploring virtual reality as a platform for distance team-based learning. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 10(10), 1384–1390. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2018.07.005>
- Crumpton, L. L., & Harden, E. L. (1997). Using virtual reality as a tool to enhance classroom instruction. *Computers & Industrial Engineering*, 33(1–2), 217–220. [https://doi.org/10.1016/s0360-8352\(97\)00078-8](https://doi.org/10.1016/s0360-8352(97)00078-8)
- Deshpande, S. G., & Hwang, J.-N. (2001). A real-time interactive virtual classroom multimedia distance learning system. *IEEE Transactions on Multimedia*, 3(4), 432–444. <https://doi.org/10.1109/6046.966115>
- Jordan, J., Jalali, A., Clarke, S., Dyne, P., Spector, T., & Coates, W. (2013). Asynchronous vs didactic education: It's too early to throw in the towel on tradition. *BMC Medical Education*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/1472-6920-13-105>
- Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2016). Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the Cookie Monster. *Business Horizons*, 59(4), 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.03.008>
- Khotimah, K. (2020). *Exploring online learning experiences during the Covid-19 Pandemic*. Proceedings of the International Joint Conference on Arts and Humanities (IJCAH 2020). <http://dx.doi.org/10.2991/assehr.k.201201.012>
- Liu, Y., Fan, X., Zhou, X., Liu, M., Wang, J., & Liu, T. (2019, May 24). *Application of virtual reality technology in distance higher education*. Proceedings of the 2019 4th International Conference on Distance Education and Learning.

- <http://dx.doi.org/10.1145/3338147.3338174>
 Mangiante, S., Klas, G., Navon, A., GuanHua, Z., Ran, J., & Silva, M. D. (2017, August 11). *VR is on the Edge*. Proceedings of the Workshop on Virtual Reality and Augmented Reality Network. <http://dx.doi.org/10.1145/3097895.3097901>
- Pramana, C., Susanti, R., Violinda, Q., Yoteni, F., Rusdiana, E., Prihanto, Y. J. N., Purwoko, R. Y., Rahmah, N., Yendri, O., Arkhang, F., & Purwahida, R. (2021). Virtual learning during the COVID-19 pandemic, A disruptive technology in higher education in Indonesia. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3777691>
- Sadikin, A., & Hakim, N. (2019). Pengembangan media e-learning interaktif dalam menyongsong revolusi industri 4.0 Pada materi ekosistem untuk siswa SMA. *BIODIK*, 5(2), 131–138. <https://doi.org/10.22437/bio.v5i2.7590>
- Sadikin, A., & Hamidah, A. (2020). Pembelajaran Daring di Tengah Wabah Covid-19. *BIODIK*, 6(2), 214–224. <https://doi.org/10.22437/bio.v6i2.9759>
- Sahu, P. (2020). Closure of universities due to coronavirus disease 2019 (COVID-19): Impact on education and mental health of students and academic staff. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.7541>
- Survei UNICEF: 66 Persen Siswa Mengaku Tak Nyaman Belajar di Rumah. (2020, June 24). *Kompas.Com*. <https://edukasi.kompas.com/read/2020/06/24/090832371/survei-unicef-66-persen-siswa-mengaku-tak-nyaman-belajar-di-rumah>
- WHO coronavirus (COVID-19) dashboard. (n.d.). <https://covid19.who.int/>
- Zoom system requirements: Windows, macOS, Linux. (n.d.). <https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-System-Requirements-for-PC-Mac-and-Linux>