

Implementasi Realitas Berimbuah pada Antarmuka Manusia-Mesin di Industri Proses

Awang Noor Indra Wardana*, Yahya Bachtiar, M Bobby Andriansyah, dan Rifdahlia Salma

*Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika 2, 55281, Yogyakarta, Indonesia*

**Corresponding author. Email: awang.wardana@ugm.ac.id*

Abstract— *Process industries such as oil refineries, petrochemical plants, and power plants require a human-machine interface system to monitor continuously. The operator usually carries out monitoring via a human-machine interface. However, it is difficult to know the condition of process equipment in real-time. The implementation of augmented reality allows engineers to visualize process equipment in real-time when conducting field inspections. The implementation of augmented reality at the human-machine interface to the fluid catalytic cracking process in an oil refinery is discussed in this paper. The design was started by developing a three-dimensional process equipment model using Autodesk Inventor. The result of the three-dimensional model then using Unity 3D software connected to the Vuforia Engine was implemented on a gadget into an augmented reality application. Data communication performance analysis was carried out using inferential statistics methods to test variations in service quality at levels 0, 1, and 2. The result of the Tukey test showed that the communication network latency value in level 2 was significantly higher than levels 0 and 1, which was 0.704 ± 0.108 seconds. These results indicate that augmented reality can be implemented on human-machine interfaces by ensuring the quality of data communication services using Message Queue Telemetry Transport (MQTT) protocol at levels 0 or 1.*

Keywords— *human-machine interface, augmented reality, MQTT, service quality, process industry*

Abstrak— *Industri proses seperti kilang minyak, pabrik petrokimia maupun pembangkit listrik membutuhkan sistem antarmuka manusia-mesin yang dapat melakukan pemantauan secara kontinu. Pemantauan biasanya dilakukan oleh operator melalui antarmuka manusia-mesin. Namun, sulit untuk mengetahui kondisi peralatan proses secara waktu riil. Implementasi realitas berimbuah memungkinkan insinyur untuk dapat melihat visualisasi peralatan proses dalam waktu riil ketika melakukan inspeksi di lapangan. Implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin yang diaplikasikan pada proses *fluid catalytic cracking* pada kilang minyak dibahas pada makalah ini. Perancangan dimulai dengan pengembangan model tiga dimensi peralatan-peralatan proses dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor. Hasil model tiga dimensi tersebut kemudian dengan menggunakan perangkat lunak Unity 3D yang terhubung dengan mesin Vuforia diimplementasikan pada sebuah gawai menjadi aplikasi realitas berimbuah. Analisis performa komunikasi data dilakukan dengan menggunakan metode statistika inferensial untuk menguji variasi kualitas servis pada tingkat 0, 1, dan 2. Hasil uji Tukey yang dilakukan menunjukkan bahwa pada kualitas servis tingkat 2, nilai latensi jaringan komunikasi signifikan lebih tinggi daripada nilai latensi pada kualitas servis tingkat 0 dan 1 yaitu sebesar $0,704 \pm 0,108$ detik. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa realitas berimbuah dapat diimplementasikan pada antarmuka manusia-mesin dengan menjamin kualitas servis komunikasi data menggunakan protokol Message Queue Telemetry Transport (MQTT) pada tingkat 0 atau 1.*

Kata kunci— *antarmuka manusia-mesin, realitas berimbuah, MQTT, kualitas servis, industri proses*

I. PENDAHULUAN

Pabrik di industri proses seperti di kilang minyak, pembangkit listrik maupun pabrik petrokimia dituntut untuk bekerja sesuai dengan batasan-batasan operasi agar proses-proses yang terjadi pada setiap peralatan proses (seperti turbin, reaktor, ketel uap dan lain lain) dapat berjalan optimal [1]. Antarmuka manusia-mesin adalah sistem yang menghubungkan antara manusia (operator atau insinyur) dengan peralatan proses agar keselamatan dan operasional terjaga di setiap kondisi [2]. Pengembangan antarmuka manusia-mesin terus terjadi dengan sangat pesat dikarenakan meningkatnya tuntutan tingkat keselamatan, efektivitas maupun efisiensi. Antarmuka manusia-mesin dilihat dari

perkembangannya telah melewati empat generasi [3]. Pada saat ini, antarmuka manusia-mesin telah mencapai generasi keempat yang mengimplementasikan teknologi realitas [4].

Ide utama dari penerapan teknologi realitas adalah agar antarmuka manusia-mesin menjadi lebih praktis untuk digunakan oleh insinyur tidak harus dilakukan dari ruang kendali utama. Saat ini terdapat tiga jenis teknologi realitas yaitu realitas virtual, realitas berimbuah, dan realitas gabungan [5]. Realitas berimbuah merupakan sebuah alternatif yang dapat menampilkan gabungan antara lingkungan nyata dengan objek maya yang dihasilkan komputer pada waktu riil [6]. Pengembangan kemampuan antarmuka manusia-mesin untuk mengimplementasikan realitas berimbuah sangat diperlukan. Insinyur sangat membutuhkan aplikasi tersebut di lapangan

untuk dapat memonitor kondisi dari peralatan-peralatan proses di pabrik ketika melakukan proses perbaikan dan inspeksi. Pengembangan kemampuan antarmuka manusia-mesin sangat memerlukan komunikasi data secara waktu riil. Kemampuan performa komunikasi dari aplikasi perlu dianalisis dengan membandingkan perbedaan tingkat kualitas servis terhadap nilai parameter latensi yang terjadi [7]. Hasil analisis performa komunikasi dapat digunakan untuk menentukan tingkat kualitas servis yang digunakan. Hal ini bertujuan agar aplikasi realitas berimbuah yang dikembangkan dapat membantu insinyur melakukan perbaikan dan inspeksi di lapangan.

Ada beberapa penelitian terdahulu yang berusaha mengimplementasikan realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin. Penelitian-penelitian tersebut ada yang digunakan sebagai sistem pemantauan dan pengendalian berbasis realitas berimbuah untuk kegunaan dalam operasional peralatan *mechatronics* [8], pengendalian tangan robot industri virtual melalui Microsoft HoloLens [9], pengendalian mesin kopi dan tangan robot virtual melalui gawai [10] maupun pada industri pembuatan kapal [11]. Namun, implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin di penelitian-penelitian terdahulu belum ada yang digunakan untuk kegunaan yang mendukung kinerja seorang insinyur di lapangan ketika melakukan perbaikan dan inspeksi peralatan proses. Penelitian-penelitian sebelumnya juga belum melakukan pengujian performa komunikasi dari implementasi yang dikembangkan.

Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia di industri proses yang dikhususkan untuk penggunaan insinyur dalam proses perbaikan dan inspeksi di lapangan. Penelitian ini menggunakan studi kasus proses *fluid catalytic cracking* yang banyak digunakan di kilang minyak. Aplikasi dikembangkan dengan menggunakan Unity 3D dan protokol komunikasi data mesin ke mesin yang digunakan yaitu protokol komunikasi Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Protokol komunikasi data MQTT digunakan karena menurut penelitian [12] dan [13] merupakan protokol komunikasi mesin ke mesin yang telah terbukti dari waktu ke waktu memiliki kinerja sangat mendukung untuk operasional di pabrik. Implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan tingkat keselamatan, efektivitas, dan efisiensi operasional di industri proses.

II. METODE

A. Alat dan Bahan

Untuk mendukung implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin digunakan sebuah komputer dan gawai. Komputer yang digunakan dengan spesifikasi sistem operasi berbasis Windows 10 yang didukung dengan prosesor Intel(R) Core(TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz, dan RAM 8 GB sedangkan gawai memiliki spesifikasi sistem operasi Android versi 11 yang didukung dengan prosesor Exynos 9610, dan memori akses acak sebesar 4 GB. Implementasi ini juga menggunakan jaringan internet dengan kecepatan 20 Mbps dan 2 Mbps.

Selanjutnya yang dibutuhkan dalam komputer yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi implementasi realitas berimbuah adalah perangkat lunak Unity 3D, perangkat pengembang mesin Vuforia, perangkat lunak Autodesk Inventor, perangkat lunak Visual Studio 2019, perangkat lunak Wireshark serta perangkat lunak R. Pada gawai, yang

dibutuhkan adalah aplikasi PCAPdroid untuk pengambilan data latensi. Perangkat lunak Autodesk Inventor yang biasa digunakan untuk pemodelan padat berbasis fitur parametrik [14], dimanfaatkan untuk pemodelan tiga dimensi pada penelitian ini. Model tiga dimensi peralatan-peralatan proses yang akan digunakan sebagai tampilan realitas berimbuah dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor sebagai representasi peralatan-peralatan proses yang digunakan di pabrik. Perangkat lunak Unity 3D digunakan untuk membuat implementasi dari realitas berimbuah pada gawai berbasis dasar silang [15]. Fitur pengkodean pada Unity 3D menggunakan bahasa pemrograman C# dengan basis mesin Vuforia untuk membuat aplikasi realitas berimbuah [16]. Pada pengembangan aplikasi ini mesin Vuforia digunakan untuk pengimplementasian pada Unity 3D. Pemrograman dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Visual Studio 2019. Komunikasi data menggunakan sistem penyedia daring HiveMQ yang mendukung protokol MQTT. Sistem penyedia daring tersebut bekerja melalui internet pada laman *broker.mqtdashboard.com*. HiveMQ digunakan sebagai agar dapat diakses dengan baik dari pusat pengendalian maupun dari lapangan dengan menghubungkan komputer dan gawai via internet. Perangkat lunak R digunakan untuk melakukan analisis statistik inferensial dengan melakukan analisis varians, uji Tukey, dan untuk mendapatkan tampilan *Box-plot* hasil uji [17], [18].

Bahan pada penelitian ini berupa data sampel acak dalam berkas data berformat *.csv dengan jumlah data sebanyak 390 data. Data tersebut dibagi berdasarkan topik yang akan digunakan untuk pengiriman data yaitu 13 topik dengan setiap topik memiliki 30 data. Data tersebut digunakan untuk mendapatkan waktu saat pengiriman dari komputer dan waktu saat penerimaan dari gawai.

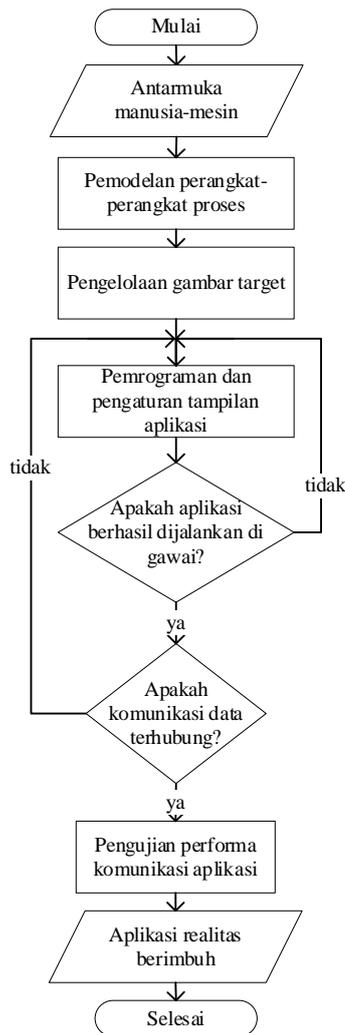
B. Tahapan Implementasi

Implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin dilakukan dalam 4 (empat) tahapan utama sesuai dengan Gambar 1. Tahapan pertama dalam proses implementasi adalah pemodelan perangkat-perangkat proses dengan menggunakan perangkat lunak. Selanjutnya, tahapan kedua adalah pengelolaan gambar *target* dan dilanjutkan tahapan ketiga dengan pemrograman dan pengaturan tampilan aplikasi. Pada tahap selanjutnya untuk menguji performa komunikasi dari aplikasi yang dikembangkan, dilakukan uji statistik inferensial.

Berbeda dengan implementasi realitas berimbuah yang pernah dilakukan pada industri lainnya seperti [8] - [10], pada implementasi ini dilakukan pengujian performa komunikasi data sistem. Hal ini dilakukan karena pada implementasi realitas berimbuah yang dilakukan menggunakan sistem penyedia daring yang memungkinkan untuk mendukung kinerja insinyur di lapangan.

1) Pemodelan Perangkat-Perangkat Proses

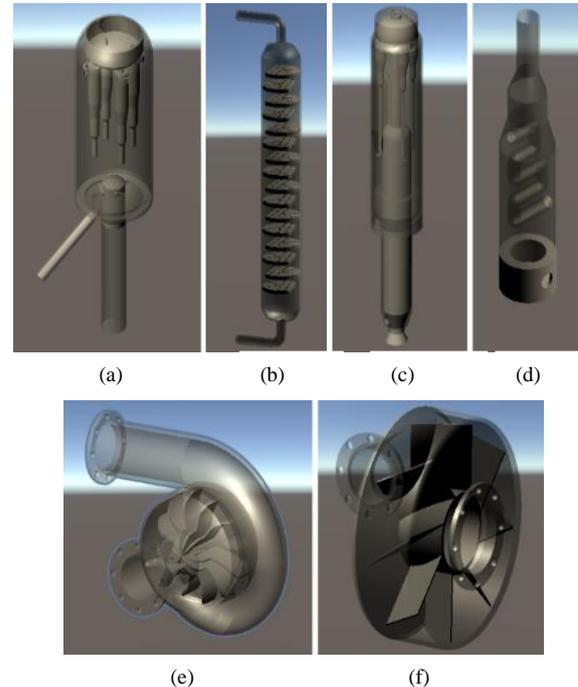
Pada proses implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin, aplikasi pada gawai diinginkan untuk dapat menampilkan model tiga dimensi dari perangkat-perangkat proses industri. Model tiga dimensi digunakan untuk menggambarkan bentuk asli dari perangkat di industri proses yang bertujuan membantu insinyur untuk memahami bentuk visual dari peralatan yang ingin diamati lebih detail ketika melakukan perbaikan dan inspeksi peralatan proses di lapangan. Model tiga dimensi tersebut dibuat menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor.



Gambar 1. Tahapan implementasi realitas berimbu pada antarmuka manusia-mesin

Pemodelan tiga dimensi perangkat-perangkat proses dirancang dengan melakukan peninjauan terhadap gambar asli dari peralatan yang dimodelkan, sehingga dapat menunjukkan informasi bentuk dan perbandingan ukuran perangkat tersebut. Dengan mengambil studi kasus pada proses *fluid catalytic cracking*, peralatan-peralatan proses yang dimodelkan seperti ditunjukkan pada Gambar 2 yaitu peralatan utama proses seperti kolom distilasi, tungku, reaktor dan *regenerator* serta peralatan pendukung proses yaitu kompresor dan kipas. Model *regenerator* (Gambar 2(a)) merepresentasikan peralatan proses yang digunakan untuk mengembalikan aktivitas katalis dan menyediakan panas untuk memecah umpan. Model kolom distilasi (Gambar 2(b)) menggambarkan peralatan proses penerima rangkaian produk reaktor serta pemisah produk berdasarkan jarak titik didih masing-masing fraksi. Pada model tersebut digambarkan adanya tingkatan penampungan untuk beberapa keluaran hasil produk. Model reaktor (Gambar 2(c)) menggambarkan peralatan proses di mana terjadi proses perengkahan dari bahan mentah menjadi produk serta model tungku (Gambar 2(d)) merepresentasikan alat pembakaran umpan sebelum memasuki reaktor. Model kipas (Gambar 2(f)) menggambarkan peralatan pendukung proses untuk mengalirkan oksigen dari udara sehingga pada kipas terdapat motor dan baling-baling. Model kompresor (Gambar 2(e)) merepresentasikan peralatan pendukung proses yang digunakan untuk mengatur perbedaan tekanan kolom distilasi.

Setelah informasi bentuk dan perbandingan ukuran diperoleh, selanjutnya dapat dibuat bentuk tiga dimensinya. Model tiga dimensi selanjutnya dilakukan ekspor pada perangkat lunak Autodesk Inventor untuk disimpan hasilnya dalam format *.obj sehingga dapat digunakan untuk diproses lebih lanjut dengan perangkat lunak Unity 3D.



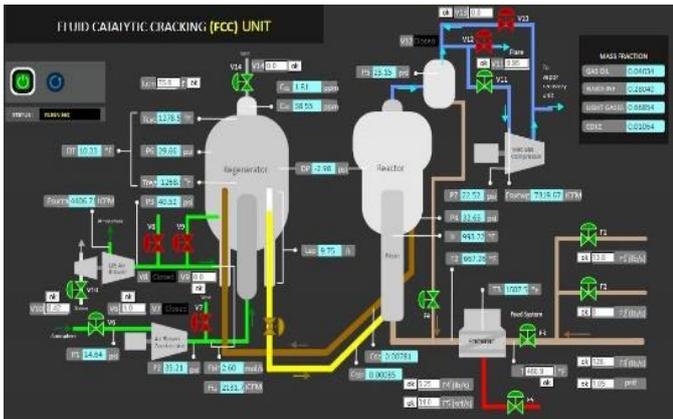
Gambar 2. Model tiga dimensi peralatan-peralatan proses pada proses *fluid catalytic cracking* (a) *regenerator*, (b) kolom distilasi, (c) reaktor, (d) tungku, (e) kompresor, dan (f) kipas

2) Pengelolaan Gambar *Target*

Penerapan realitas berimbu pada antarmuka manusia-mesin membutuhkan penghubung gambar tiga dimensi antara gawai dengan antarmuka manusia-mesin yang berada di pusat pengendali. Perangkat lunak Unity 3D digunakan untuk kepentingan tersebut. Walaupun perangkat lunak Unity 3D banyak digunakan sebagai basis aplikasi mesin permainan [19], namun perangkat lunak tersebut dapat menjadi wadah yang baik dalam penerapan realitas berimbu dengan antarmuka manusia-mesin seperti yang menjadi kebutuhan.

Pada perangkat lunak Unity 3D, mesin Vuforia digunakan untuk menjalankan realitas berimbu. Dengan menggunakan mesin Vuforia, akan dengan mudah menambahkan fungsionalitas visual komputer tingkat lanjut ke aplikasi apa pun dan memungkinkannya untuk mengenali gambar dan objek, serta interaksi dengan ruang di dunia nyata [20]. Untuk menggunakan mesin Vuforia pada perangkat lunak Unity 3D, paket Vuforia-AR perlu untuk ditambahkan. Gambar yang akan digunakan sebagai gambar *target* diunggah dengan tipe gambar tunggal pada bagian pengaturan *target* di laman yang sama. Gambar yang digunakan sebagai gambar *target* ditunjukkan oleh Gambar 3 merupakan antarmuka manusia-mesin untuk proses *fluid catalytic cracking*. Gambar *target* tersebut diunduh untuk kemudian ditambahkan pada perangkat lunak Unity 3D.

Model tiga dimensi peralatan-peralatan proses yang telah dibuat tahapan pertama, kemudian ditautkan pada gambar *target* yang telah ditambahkan tersebut. Peletakan model tiga dimensi diatur dengan cara menggeser model peralatan proses tersebut menggunakan tetikus ke tempat yang diinginkan.



Gambar 3. Gambar *target* yang berupa antarmuka manusia-mesin pada proses *fluid catalytic cracking* [21]

3) Pemrograman dan Pengaturan Tampilan Aplikasi

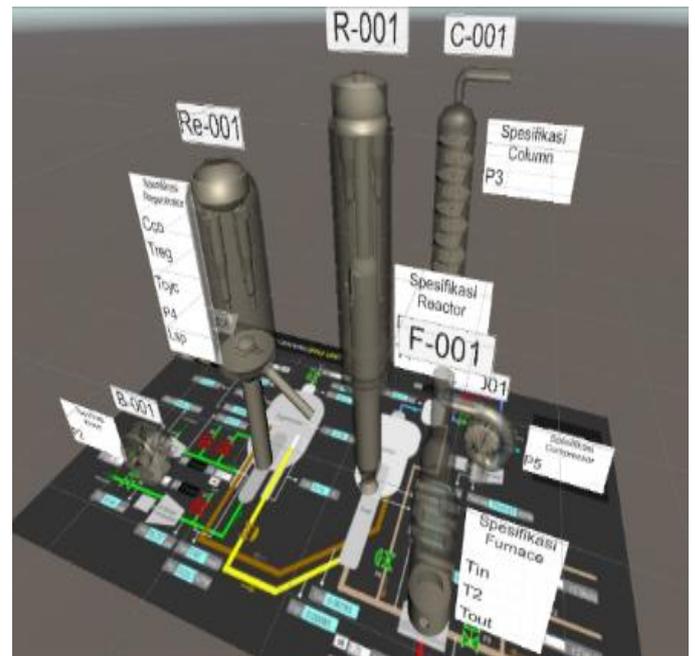
Pembuatan aplikasi realitas berimbuah pada perangkat lunak Unity 3D dilakukan dengan bahasa pemrograman tingkat tinggi C#. Pemrograman ini diperlukan dikarenakan perangkat lunak Unity 3D hanya memiliki sedikit fungsi bawaan [22]. Pemrograman dimaksudkan untuk mengatur fitur yang terdapat pada aplikasi sekaligus memprogram sistem komunikasi data menggunakan protokol Message Queue Telemetry Transport (MQTT).

Pemrograman untuk sistem komunikasi data bertujuan agar aplikasi dapat menerima variabel-variabel proses menggunakan protokol komunikasi MQTT melalui fasilitas aplikasi daring HiveMQ pada laman <http://broker.mqttdashboard.com/>. Hal ini dimungkinkan dengan cara melanggan pada topik-topik yang telah ditentukan. Setelah aplikasi dapat menerima data menggunakan protokol MQTT, selanjutnya data ditampilkan melalui teks yang ditempatkan di dekat model tiga dimensi yang diatur dengan menggunakan bahasa pemrograman C#.

Tampilan implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin yang dilakukan dengan perangkat lunak Unity 3D dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar dua dimensi dari antarmuka manusia-mesin yang terdapat pada Gambar 3 digunakan sebagai penanda agar model tiga dimensi dapat ditampilkan sebagai objek virtual. Informasi sebanyak 13 data yang dikirimkan melalui protokol MQTT ditampilkan dalam bentuk teks yang merepresentasikan variabel-variabel proses pada setiap peralatan.

4) Pengujian Performa Komunikasi Aplikasi

Tahapan pengujian performa komunikasi menjadi salah satu tolok ukur keberhasilan dari implementasi aplikasi realitas berimbuah yang telah dirancang. Pengujian ini bertujuan mengetahui performa komunikasi data pada aplikasi dengan cara membandingkan perbedaan tingkat kualitas servis terhadap parameter latensi pada kondisi internet pada kecepatan jaringan nirkabel sebesar 20 Mbps dengan pengguna 4 (empat) gawai serta pada kecepatan jaringan nirkabel sebesar 2 Mbps dengan pengguna 10 gawai. Untuk mengetahui performa suatu sistem komunikasi data, parameter latensi yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk pengantaran data dari pengirim ke penerima diukur untuk kemudian dianalisis. Parameter latensi diukur dengan melakukan pengukuran terhadap waktu saat mengirim data variabel proses dengan menggunakan komputer dan waktu saat diterima oleh gawai.

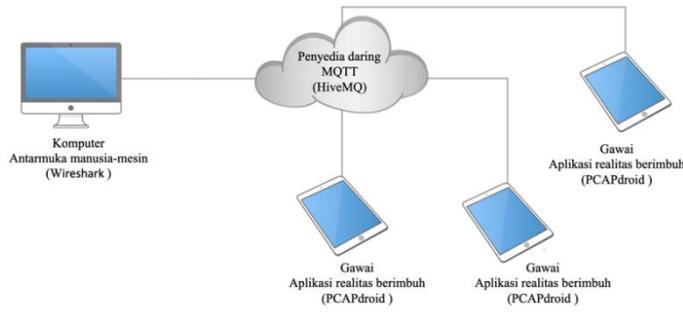


Gambar 4. Tampilan implementasi berimbuah pada antarmuka manusia-mesin proses *fluid catalytic cracking*

Pemrograman komunikasi data melalui komputer dilakukan menggunakan bahasa Python yang telah ditanamkan *paho.mqtt.client* karena komunikasi data yang digunakan pada implementasi realitas berimbuah ini menggunakan protokol MQTT. Pengukuran waktu pengiriman pada komputer dengan perangkat lunak Wireshark sedangkan pengukuran waktu terima pada gawai dengan aplikasi PCAPdroid seperti yang digambarkan pada Gambar 5.

Pengukuran latensi dilakukan pada setiap variasi kualitas servis. Kualitas servis tingkat 0 terjadi ketika pesan dikirim satu kali tanpa memeriksa pesan tersebut sampai atau tidak, kualitas servis tingkat 1 terjadi ketika pesan dikirim sekurang-kurangnya satu kali, dan kualitas servis tingkat 2 terjadi ketika pesan dikirim dan akan diterima tepat satu kali.

Pengukuran pada masing-masing tingkat kualitas servis dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan. Pada setiap percobaan, 13 topik dikirimkan dengan ketentuan yaitu setiap topik memiliki 30 data serta waktu tunda 2 detik. Dengan melakukan percobaan tersebut maka akan didapatkan total data dari rata-rata latensi sebanyak 30 data. Percobaan dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pada kondisi internet yang berbeda sehingga akan didapatkan data sebanyak 2×30 data latensi. Pengujian statistik inferensial dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak R. Dari 2×30 data yang telah didapatkan, kemudian dilakukan analisis varians untuk mengetahui pengaruh perbedaan tingkat kualitas servis terhadap parameter latensi. Jika hasil menunjukkan adanya signifikansi perbedaan variansi maka pengujian analisis varians, dilanjutkan dengan uji Tukey. Uji Tukey dipilih karena dapat digunakan untuk menentukan tingkat kualitas servis yang paling berpengaruh signifikan secara statistik terhadap latensi yang terjadi. Uji Tukey digunakan untuk membandingkan seluruh pasangan rata-rata latensi untuk setiap tingkat kualitas servis setelah analisis varians dilakukan. Pada uji Tukey yang digunakan pada pengujian ini, nilai ambang batas yang digunakan untuk menentukan signifikansi adalah sebesar 0,05.



Gambar 5. Skema implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi hasil implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin dibangun dengan menggunakan perangkat lunak Unity 3D kemudian dipasang pada gawai yang akan digunakan. Aplikasi dijalankan untuk percobaan penerimaan data yang berupa variabel-variabel proses dari topik dan penyedia yang telah ditentukan. Topik yang digunakan berjumlah 13 topik pada penyedia daring HiveMQ di titik koneksi 1883. Hasil tampilan implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin proses *fluid catalytic cracking* pada gawai ditunjukkan pada Gambar 6. Variabel-variabel proses sudah dapat ditampilkan secara waktu riil dan model tiga dimensi dapat diletakkan sesuai dengan gambar *target* antarmuka manusia-mesin untuk proses *fluid catalytic cracking*.

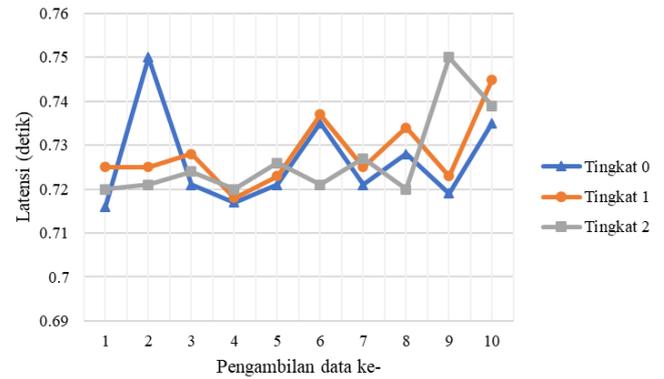
Selanjutnya sebagai tolok ukur keberhasilan dari implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin, komunikasi data antara komputer, penyedia daring HiveMQ dan gawai dilakukan pengujian. Sebelum dilakukan pengujian sinkronisasi waktu dilakukan antara komputer dan gawai terlebih dahulu agar keduanya mempunyai acuan waktu yang sama. Pengiriman data selanjutnya dilakukan menggunakan aplikasi yang telah diprogram dengan menggunakan bahasa pemrograman Phyton untuk mengirimkan data yang memiliki format *.csv. Program diatur agar dapat secara otomatis mengirim setiap 13 data dengan waktu tunda sebesar 2 detik untuk pengiriman data selanjutnya.

Latensi yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk pengantaran data dari pengirim ke penerima, menjadi parameter utama yang mencerminkan performa pada suatu

sistem komunikasi data. Pengukuran latensi yang pertama dilakukan pada jaringan nirkabel dengan kecepatan 20 Mbps yang terhubung pada 4 (empat) gawai pengguna. Pengambilan data dipantau dengan menggunakan perangkat lunak Wireshark pada komputer serta aplikasi PCAPdroid pada gawai. Data yang didapatkan pada perangkat lunak Wireshark dan PCAPdroid kemudian diubah dalam format *.csv. Nilai latensi diperoleh dari pengurangan waktu yang gawai mengirimkan data dengan waktu komputer mengirimkan data (Tabel I). Data latensi yang diperoleh sesuai dengan Gambar 7 menunjukkan bahwa tingkat kualitas servis komunikasi data tidak terlihat mempengaruhi nilai latensi. Hal tersebut menyebabkan analisis varians dibutuhkan untuk mengetahui tingkat signifikasinya.

TABEL I. DATA LATENSI UNTUK KUALITAS SERVIS 0, 1, DAN 2 PADA KECEPATAN 20 MBPS

Pengambilan Data ke-	Tingkat 0 (detik)	Tingkat 1 (detik)	Tingkat 2 (detik)
1	0,716	0,725	0,720
2	0,750	0,725	0,721
3	0,721	0,728	0,724
4	0,717	0,718	0,720
5	0,721	0,723	0,726
6	0,735	0,737	0,721
7	0,721	0,725	0,727
8	0,728	0,734	0,720
9	0,719	0,723	0,750
10	0,735	0,745	0,739



Gambar 7. Data latensi pada kecepatan jaringan 20 Mbps untuk tiap pengambilan data pada tingkat latensi yang berbeda



Gambar 6. Hasil tampilan implementasi berimbuah pada antarmuka manusia-mesin proses *fluid catalytic cracking* pada gawai

TABEL II. HASIL ANALISIS VARIANS UNTUK LATENSI DENGAN FAKTOR TINGKAT KUALITAS SERVIS 0, 1, DAN 2 PADA KECEPATAN 20 MBPS

Parameter	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Nilai f	Nilai p
Latensi	2	0,0000217	0,0000108	0,116	0,891
Residu	27	0,00253	0,0000937		

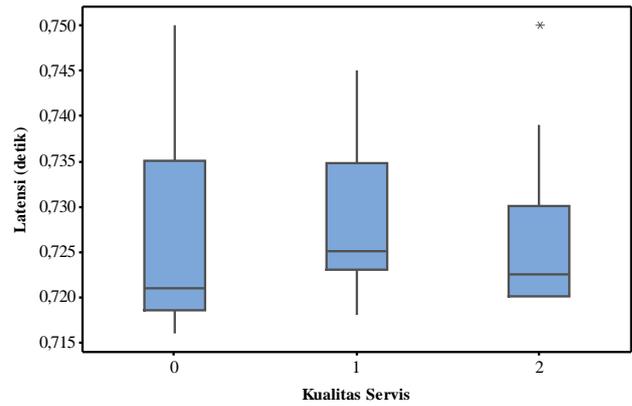
Berdasarkan hasil analisis varians pada Tabel II, terlihat bahwa nilai p lebih besar dari nilai tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hal tersebut dapat disimpulkan variansi tingkat kualitas servis komunikasi data tidak mempengaruhi nilai parameter latensi pada jaringan nirkabel dengan kecepatan 20 Mbps.

Tampilan *Box-plot* pada Gambar 8 juga menunjukkan bahwa tidak ada beda nilai latensi yang terlihat dari ketiga tingkat kualitas servis komunikasi data pada jaringan nirkabel. Nilai rerata latensi dari ketiga tingkat kualitas servis komunikasi data pada jaringan nirkabel tersebut sebesar $0,726 \pm 0,011$ detik, $0,728 \pm 0,013$ detik, dan $0,727 \pm 0,009$ detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk pada kecepatan jaringan nirkabel 20 Mbps dengan pengguna 4 (empat) gawai, performa komunikasi data untuk implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin dapat berjalan dengan baik pada tingkat kualitas servis 0, 1 maupun 2.

Pengukuran latensi yang kedua dilakukan pada kondisi jaringan dengan kondisi kecepatan jaringan nirkabel sebesar 2 Mbps dan dengan pengguna mencapai 10 gawai. Pengujian tersebut mendapatkan hasil data latensi yang diukur dari waktu kirim antara komputer yang terpasang antarmuka manusia-mesin dengan gawai yang terpasang aplikasi hasil implementasi realitas berimbuah lewat penyedia daring HiveMQ (Tabel III). Data latensi yang diperoleh sesuai dengan Gambar 9 menunjukkan adanya perbedaan nilai latensi antara kualitas servis komunikasi data tingkat 0 dan 1 dengan kualitas servis komunikasi data tingkat 2. Metode statistik inferensial yang dibutuhkan untuk menganalisis data yang didapatkan adalah analisis varians untuk mengetahui signifikansi perbedaan antar tingkat kualitas servis serta uji Tukey untuk menentukan tingkat kualitas servis yang menghasilkan performa komunikasi data yang lebih baik.

Analisis varians pada data latensi pada Tabel III menghasilkan hasil pada Tabel IV. Nilai p pada Tabel IV lebih kecil dibandingkan nilai tingkat signifikansi yang diinginkan yaitu 0,05, sehingga dapat disimpulkan terdapat pengaruh dari variansi tingkat kualitas servis komunikasi data terhadap nilai parameter latensi. Hasil analisis varians tersebut belum dapat menunjukkan parameter tingkat kualitas servis komunikasi data yang dapat menghasilkan data latensi yang optimal. Tampilan *Box-plot* data latensi terhadap tingkat kualitas servis pada kecepatan 2 Mbps pada Gambar 10 menunjukkan adanya perbedaan yang cukup mencolok pada kualitas servis tingkat 2. Selanjutnya, uji Tukey diperlukan untuk dapat menentukan tingkat kualitas servis komunikasi data terbaik yang dapat digunakan dalam implementasi realitas berimbuah pada antarmuka manusia-mesin.

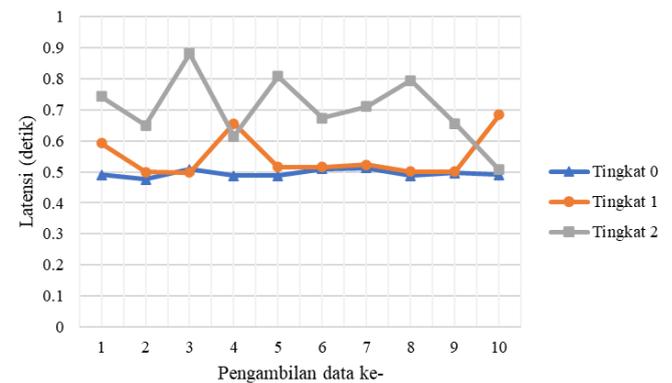
Uji Tukey yang dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95% (tingkat signifikansi 0,05). Hasil uji Tukey pada Tabel V menunjukkan bahwa untuk antara kualitas servis tingkat 1 dengan kualitas servis tingkat 0 tidak memiliki perbedaan yang signifikan karena nilai p yang diperoleh lebih besar dari tingkat signifikansi yang ditentukan (0,05). Tabel V juga menunjukkan antara kualitas servis tingkat 0 dan 1 dengan kualitas servis tingkat 2 memiliki perbedaan pada tingkat kepercayaan 95%.



Gambar 8. Tampilan *Box-plot* latensi terhadap tingkat kualitas servis pada kecepatan 20 Mbps

TABEL III. DATA LATENSI UNTUK KUALITAS SERVIS 0, 1, DAN 2 PADA KECEPATAN 2 MBPS

Pengambilan Data ke-	Tingkat 0 (detik)	Tingkat 1 (detik)	Tingkat 2 (detik)
1	0,491	0,592	0,743
2	0,476	0,499	0,650
3	0,508	0,498	0,881
4	0,487	0,655	0,615
5	0,487	0,515	0,808
6	0,509	0,515	0,674
7	0,512	0,523	0,710
8	0,488	0,501	0,794
9	0,496	0,501	0,655
10	0,490	0,683	0,506



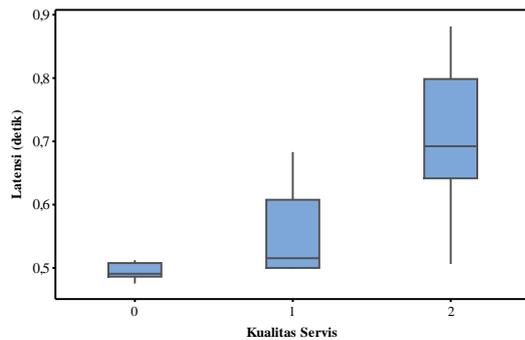
Gambar 9. Data latensi pada kecepatan jaringan 2 Mbps untuk tiap pengambilan data pada tingkat latensi yang berbeda

TABEL IV. HASIL ANALISIS VARIANS UNTUK LATENSI DENGAN FAKTOR TINGKAT KUALITAS SERVIS 0, 1, DAN 2 PADA KECEPATAN 2 MBPS

Parameter	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Nilai f	Nilai p
Latensi	2	0,236	0,11801	21,23	2,89e-06
Residu	27	0,1501	0,00556		

TABEL V. HASIL UJI TUKEY DENGAN TINGKAT KEPERCAYAAN 95% LATENSI DENGAN FAKTOR TINGKAT KUALITAS SERVIS 0, 1, DAN 2 PADA KECEPATAN 2 MBPS

Tingkat Kualitas Servis	Beda	Bawah	Atas	Nilai p
1-0	0,0538	-0,028876	0,136476	0,2573723
2-0	0,2092	0,126524	0,291876	0,000003
2-1	0,1554	0,072724	0,238076	0,0002178



Gambar 10. Tampilan *Box-plot* data latensi terhadap tingkat kualitas servis komunikasi data pada kecepatan 2 Mbps

Rata-rata nilai latensi pada tiap tingkat kualitas servis pada Tabel VI yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan dalam menerima data sedangkan standar deviasinya menggambarkan variasi keterlambatan untuk masing-masing tingkat kualitas servis. Perbandingan nilai rata-rata dan standar deviasi menunjukkan kualitas servis tingkat 2 memiliki nilai latensi jaringan komunikasi yang signifikan berbeda yaitu sebesar $0,704 \pm 0,108$ detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk pada kecepatan jaringan nirkabel 2 Mbps dengan pengguna 10 gawai, implementasi realitas berlimbuh pada antarmuka manusia-mesin dapat berjalan dengan lebih baik dengan menggunakan protokol MQTT pada kualitas servis komunikasi data tingkat 0 atau 1 jika dibandingkan komunikasi data dengan kualitas servis tingkat 2.

TABEL VI. HASIL RATA-RATA DAN STANDAR DEVIASI LATENSI DENGAN FAKTOR TINGKAT KUALITAS SERVIS 0, 1, DAN 2 PADA KECEPATAN 2 MBPS

Tingkat Kualitas Servis	N	Rata-rata	Standar Deviasi	Group
0	10	0,494	0,011	b
1	10	0,548	0,070	b
2	10	0,704	0,108	a

IV. PENUTUP

Pengembangan aplikasi realitas berlimbuh pada antarmuka manusia-mesin telah dilakukan dengan memvisualisasikan perangkat-perangkat pada proses *fluid catalytic cracking* serta mengomunikasikan data-data variabel proses. Pengujian terkait performa komunikasi data telah dilakukan dengan membandingkan latensi pada tingkat kualitas servis 0, 1, dan 2 dengan analisis varians dan uji Tukey. Hasil pengujian mengindikasikan bahwa implementasi realitas berlimbuh pada antarmuka manusia-mesin dapat direalisasikan dengan menggunakan protokol MQTT untuk kualitas servis pada tingkat 0 atau 1. Hal tersebut menunjukkan implementasi realitas berlimbuh pada antarmuka manusia-mesin yang dilakukan dapat digunakan untuk mendukung kinerja insinyur dalam melakukan perbaikan dan inspeksi peralatan proses yang dilakukan di lapangan. Untuk dapat lebih mendukung kinerja insinyur terkait dengan perbaikan dan inspeksi secara menyeluruh, aplikasi realitas berlimbuh dapat dikembangkan lebih lanjut untuk dapat memvisualisasikan dan mengomunikasikan data tidak hanya terkait dengan peralatan proses namun juga terkait dengan detail keadaan dan kondisi instrumentasi di industri proses seperti sensor dan katup kontrol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan

bantuan hibah dana penelitian sesuai dengan Keputusan Dekan Fakultas Teknik No.14543/UN1.FTK/SK/HK/2021.

REFERENSI

- [1] E. Marchukov, I. Egorov, G. Popov, O. Baturin, E. Goriachkin, Y. Novikova and D. Kolmakova., "Improving of the working process of axial compressors of gas turbine engines by using an optimization method," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 232, p. 012041, Aug. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/232/1/012041.
- [2] A. Ardanza, A. Moreno, Á. Segura, M. de la Cruz, and D. Aguinaga, "Sustainable and flexible industrial human-machine interfaces to support adaptable applications in the Industry 4.0 paradigm," *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 12, pp. 4045–4059, Jun. 2019, doi: 10.1080/00207543.2019.1572932.
- [3] P. Papcun, E. Kajati, and J. Koziorek, "Human-machine interface in concept of industry 4.0," in *2018 World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines (DISA)*, Kosice, Aug. 2018, pp. 289–296, doi: 10.1109/DISA.2018.8490603.
- [4] X. Ma, F. Tao, M. Zhang, T. Wang, and Y. Zuo, "Digital twin enhanced human-machine interaction in product lifecycle," *Procedia CIRP*, vol. 83, pp. 789–793, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.04.330.
- [5] E. Kurilovas, "Evaluation of quality and personalisation of VR/AR/MR learning systems," *Behaviour & Information Technology*, vol. 35, no. 11, pp. 998–1007, Nov. 2016, doi: 10.1080/0144929X.2016.1212929.
- [6] B. Sani, "Creating Augmented Reality USDZ Files to Visualize 3D Objects on Student Phones in the Classroom," *J. Chem. Educ.*, vol. 97, no. 1, pp. 253–257, Jan. 2020, doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00577.
- [7] J. Kaur and K. Kaur, "Internet of Things: A Review on Technologies, Architecture, Challenges, Applications, Future Trends," *IJCNIS*, vol. 9, no. 4, pp. 57–70, Apr. 2017, doi: 10.5815/ijcnis.2017.04.07.
- [8] E. Stark, E. Kučera, O. Haffner, P. Drahoš, and R. Leskóvský, "Using Augmented Reality and Internet of Things for Control and Monitoring of Mechatronic Devices," *Electronics*, vol. 9, no. 8, p. 1272, Aug. 2020, doi: 10.3390/electronics9081272.
- [9] J. Guhl, S. Tung, and J. Kruger, "Concept and architecture for programming industrial robots using augmented reality with mobile devices like microsoft HoloLens," in *2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Limassol, Sep. 2017, pp. 1–4., doi: 10.1109/ETFA.2017.8247749.
- [10] A. Hariharan, B. Maharudrappa, and A. Felic, "Augmented Reality Experiences for the Operator 4.0," in *Mensch & Computer 2020*, Sep. 2020, doi: 10.18420/muc2020-up-0422.
- [11] P. Fraga-Lamas, T. M. Fernández-Caramés, Ó. Blanco-Novoa, and M. A. Vilar-Montesinos, "A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard," vol. 6, p. 18, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2808326.
- [12] E. Al-Masri, K.R. Kalyanam, J. Batts, J. Kim, S. Singh, T. Vo and C. Yan, "Investigating Messaging Protocols for the Internet of Things (IoT)," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 94880–94911, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993363.
- [13] J. Dizdarević, F. Carpio, A. Jukan, and X. Masip-Bruin, "A Survey of Communication Protocols for Internet of Things and Related Challenges of Fog and Cloud Computing Integration," *ACM Comput. Surv.*, vol. 51, no. 6, pp. 1–29, Feb. 2019, doi: 10.1145/3292674.
- [14] P. Tirpak, P. Michalik, and J. Macej, "Computer-Aided Manufacturing of a Shaft for Wood Chipper using Autodesk Inventor 2020," *SAR Journal*, pp. 47–51, Jun. 2021, doi: 10.18421/SAR42-01.
- [15] L. Huang and B. Gui, "Research on the Application of Products based on Unity3D," in *the 2015 International Symposium on Computers & Informatics*, Beijing, China, 2015, doi: 10.2991/isci-15.2015.160.
- [16] C. Li and B. Tang, "Research on The Application of AR Technology Based on Unity3D in Education," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1168, p. 032045, Feb. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1168/3/032045.
- [17] N. C. Brownstein, A. Adolffson, and M. Ackerman, "Descriptive statistics and visualization of data from the R datasets package with implications for clusterability," *Data in Brief*, vol. 25, p. 104004, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.dib.2019.104004.
- [18] J. Gelfond, M. Goros, B. Hernandez, and A. Bokov, "A System for an Accountable Data Analysis Process in R," *The R Journal*, vol. 10, no. 1, p. 6, 2018, doi: 10.32614/RJ-2018-001.
- [19] I. Buyuksalih, S. Bayburt, G. Buyuksalih, A. P. Baskaraca, H. Karim, and A. A. Rahman, "3D Modelling and Visualization Based on The Unity Game Engine – Advantages and Challenges," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. IV-4/W4, pp. 161–166, Nov. 2017, doi: 10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-161-2017.
- [20] M. Sarosa, A. Chalim, S. Suhari, Z. Sari, and H. B. Hakim, "Developing augmented reality based application for character education using unity

- with Vuforia SDK,” *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1375, p. 012035, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1375/1/012035.
- [21] W. Fatkhurrohman, A. N. I. Wardana, and E. Wijayanti, “Development of Fluid Catalytic Cracking Distributed Simulator Based on IEC 61499,” *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, vol. 7, no. 1, p. 25, Jun. 2020, doi: 10.26555/chemica.v7i1.15610.
- [22] J. H. Bae, “Development of Smart Game Based on Multi-Platform Game Engine,” *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 345–350, Mar. 2016, doi: 10.14257/ijmue.2016.11.3.32.