

Implementasi *Augmented Reality* untuk Pelatihan Operator Mesin Boiler TWA-WTV 300/10

Devout Prakoso Trismianto^a, P. Paryanto^{*a}, Munadi^a

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: paryanto@ft.undip.ac.id

Abstract

The aim of this research is to develop an augmented reality application system as a training or support for boiler engine operators in carrying out their activities. The augmented reality application system uses the head-mounted device Microsoft HoloLens and environmental detection using markerless of the Vuforia target area, as well as the application integrated with the Blynk IoT platform. Based on the results of testing applications using the blackbox method, augmented reality applications can run according to the created scenarios. The results of the system usability scale (SUS) test conducted on 5 respondents, the expert staff obtained a score of 70.5, and 35 respondents of new users obtained a score of 70.8. The results of both groups of respondents can be categorized as grade C. Respondents also argued that the augmented reality application system developed for the operation of the boiler machine is categorized as OK and acceptable.

Kata kunci: *augmented reality; head-mounted display; iot; markerless; system usability scale*

Abstrak

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem aplikasi *augmented reality* sebagai media pelatihan atau dukungan untuk operator mesin boiler dalam melakukan aktivitasnya. Sistem aplikasi *augmented reality* menggunakan perangkat *head-mounted device microsoft hololens* dan pendeteksian lingkungan menggunakan *markerless* dari *area target Vuforia* serta aplikasi terintegrasi dengan *platform IoT Blynk*. Berdasarkan dari hasil pengujian aplikasi dengan menggunakan metode *blackbox*, aplikasi *augmented reality* dapat berjalan sesuai skenario yang dibuat. Dari hasil pengujian *system usability scale (SUS)* yang dilakukan terhadap 5 responden tenaga ahli memperoleh skor 70,5; dan 35 responden pengguna baru memperoleh skor 70,8. Dengan hasil dari kedua kelompok responden tersebut diinterpretasikan dapat dikategorikan *grade C*. Responden juga berpendapat bahwa sistem aplikasi *augmented reality* yang dikembangkan pada pengoperasian mesin boiler dikategorikan *OK* dan dapat diterima (*acceptable*).

Kata kunci: *augmented reality; head-mounted display; iot; markerless; system usability scale*

1. Pendahuluan

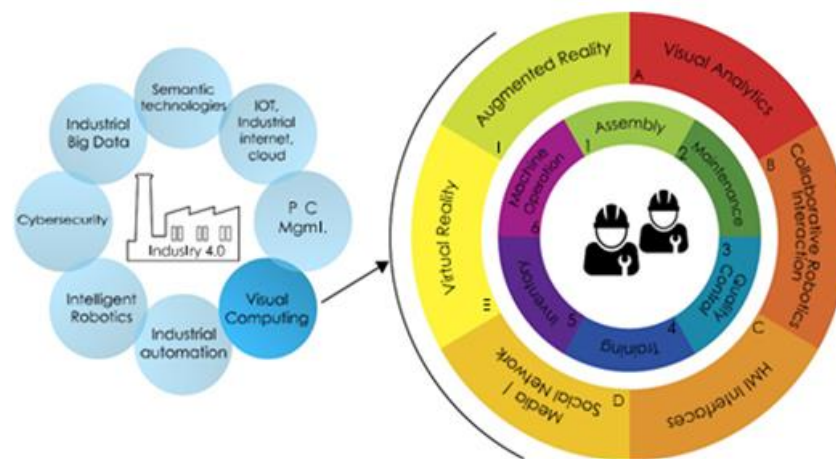
Pesatnya perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan pada aktivitas proses industri. Fenomena ini kemudian digolongkan sebagai revolusi industri keempat atau *Industri 4.0*, yang mengintegrasikan sistem produksi dari dunia fisik ke dunia virtual untuk mencapai produktivitas yang lebih efisien dan fleksibel [1]. *Industri 4.0* menegaskan pentingnya pelatihan industri di dalam “*The Charter for Work and Learning in Industry 4.0*” untuk merancang pekerjaan dan pelatihan yang berkelanjutan [2]. *Augmented Reality* adalah salah satu dari 9 pilar teknologi yang mendukung industri pintar dan dapat digunakan untuk berbagai tujuan. AR mendukung berbagai kebutuhan industri dan merupakan salah satunya teknologi terdepan dalam proses pembelajaran dan pelatihan [3].

Permasalahan keterbatasan manusia akan menghambat kelancaran kegiatan dalam suatu proses di industri. Sebagai contoh kegiatan pengumpulan data dan penyimpangan standar operasional prosedur pada pengoperasian mesin boiler menjadi peluang terjadinya kesalahan yang disebabkan oleh manusia atau yang sering disebut *Human Error Probability* [4]. Oleh karena itu, penerapan AR yang mendukung digitalisasi instruksi manual perlu dilakukan guna menekan tingkat kesalahan operasional serta meningkatkan kedisiplinan pekerja.

Di Indonesia, Kementerian Perindustrian menginisiasi strategi implementasi *Industri 4.0* melalui “*Making Indonesia 4.0*”. Untuk mencapai kesuksesan pelaksanaan *Making Indonesia 4.0*, pengembangan sumber daya manusia sangat berperan penting [5]. Namun, kurangnya sumber daya manusia berpengalaman menjadi kendala dalam industri

bertransformasi. Untuk mengatasi masalah ini, semua pemangku kepentingan perlu melakukan reskilling dan upskilling pekerja agar lebih siap menghadapi meningkatnya pengangguran dan kekurangan keterampilan [6]. Sumber daya manusia yang cenderung terbuka terhadap perubahan akan lebih siap untuk bertransformasi menuju *Industri 4.0*, sedangkan sumber daya manusia yang antipati terhadap perubahan akan lebih sulit untuk menerapkan *Industri 4.0* [7].

Komponen sentral dari *Industri 4.0* adalah *human-centricity*, sebagai pengembangan menuju konsep *Operator 4.0* yang mengacu pada operator masa depan yang cerdas dan terampil [8]. Visual Computing sebagai teknologi pendukung utama untuk konsep *Operator 4.0*. Istilah *Visual Computing* mengacu pada sekumpulan teknologi yang memproses atau menghasilkan konten visual atau informasi visual [9]. Untuk mengutip beberapa teknologi yang sesuai dengan istilah *Visual Computing* yaitu *Virtual Reality*, *Augmented Reality*, *Computer Vision*, dan *Visual Analytics*. Pada Gambar 1 menjelaskan pekerja dikelilingi tugas yang didukung dengan teknologi komputasi visual. Dengan demikian pekerja diberdayakan oleh *Visual Computing* untuk bekerja lebih baik atau membuat keputusan dengan kriteria yang lebih kuat dan langsung untuk operator.



Gambar 1. Teknologi *Visual Computing Operator 4.0*. [1]

Penelitian ini berfokus pada pengembangan aplikasi AR yang diharapkan dapat memudahkan operator untuk memanfaatkan teknologi AR khususnya pada instruksi manual pada pengoperasian mesin boiler, sehingga dapat mengurangi *human error* dan meningkatkan kedisiplinan serta pemahaman dalam pengoperasian mesin boiler. Aplikasi AR yang mudah digunakan akan menjadi faktor kunci keberhasilan dalam penerapan *Industri 4.0*. Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan tentang pengembangan sistem instruksi manual atau SOP digital pada mesin boiler menggunakan teknologi *Head Mounted Display AR* yang bertujuan pada memberikan pengalaman kepada pengguna melalui SOP interaktif dan memvisualisasi data yang ada di mesin boiler.

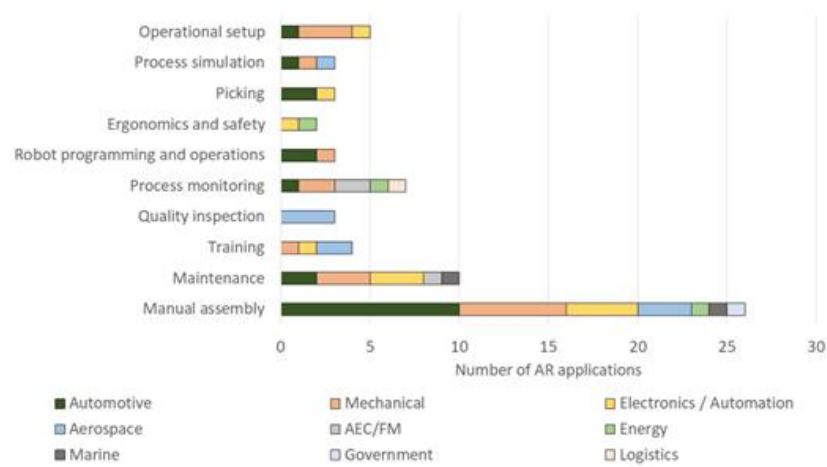
2. Material dan Metode Penelitian

2.1. Tinjauan Pustaka

AR telah digunakan dan mulai beradaptasi dalam beberapa proses industri. Namun, AR belum digunakan secara merata di berbagai tugas dan segmen industri [3]. Misalnya, dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa perakitan manual di industri otomotif atau mekanik merupakan bagian terbesar dari pemanfaatan teknologi AR, sedangkan tugas pengambilan tidak begitu umum didukung oleh teknologi ini dan sebagian besar terjadi di bidang otomotif dan elektronik. Terlepas dari perbedaan tersebut, dapat dikatakan bahwa secara umum tingkat penggunaan AR di industri saat ini lebih tinggi dari perkiraan.

Perusahaan otomotif *BMW* telah menggunakan teknologi AR dalam proses pelatihannya dengan *Hololens*. Pemula dapat menyelesaikan pelatihan dengan objek kehidupan nyata dan objek yang diperluas, mendapatkan instruksi teks, video, dan gambar terperinci serta dipandu seluruh proses oleh perangkat. Hal Ini menghemat waktu bagi tenaga ahli karena tidak perlu mengajar operator baru. [10]. Di sebagian besar industri, departemen pemeliharaan perusahaan dihadapkan pada tantangan tenaga kerja yang terlalu tua, peningkatan variasi produk, dan tekanan untuk meningkatkan produktivitas. Pengembangan sistem panduan AR yang memungkinkan bidang pemeliharaan membiarkan operator baru atau yang belum berpengalaman melakukan tugas-tugas kompleks sedang hingga tinggi [11]. Penggunaan AR dalam pelatihan pekerja dibedakan berdasarkan isi instruksinya. Artinya pekerja baru harus mempelajari segala

sesuatunya dari awal, oleh karena itu diberikan penjelasan tentang setiap instrumen, tindakan, dan aturan keselamatan dalam pelaksanaannya. Instruksi ini ditampilkan dalam *smart glasses* dan dilapiskan di lingkungan kerja nyata [12].



Gambar 2. Aplikasi AR industri per segmen industri dan kategori penerapan. [3]

Industri 4.0 mengacu pada strategi multidimensi untuk digitalisasi perusahaan. Selain pemanfaatan AR dan kecerdasan buatan (AI) untuk mendukung aktivitas manual pekerja melalui teknologi digital dan mencakup pemanfaatan teknologi serta untuk mendigitalkan data proses pada industri [13]. Lebih dari 70% responden menyatakan bahwa perubahan ini akan memperbaiki kondisi kerja, meningkatkan keselamatan di tempat kerja, dan menciptakan budaya yang baru di perusahaan. Sebagian besar pengambil keputusan yang disurvei mengasosiasikan penggunaan teknologi inovatif dalam produksi dengan peningkatan efisiensi (82%). Keuntungan lain yang diharapkan adalah peningkatan kualitas dan tingkat layanan (81%), pengurangan biaya pelatihan (81%), serta peningkatan keamanan seperti keselamatan karyawan, keamanan gedung, dan keamanan informasi (80%).

2.2. Operator 4.0

Industri 4.0 memfasilitasi visi dan pelaksanaan "Smart Factory". *Cyber-Physical System* memantau proses fisik dan membuat salinan virtual dunia fisik ke dalam *smart factory* yang terstruktur secara modular. Komponen sentral *Industri 4.0* adalah *human-centricity*, yang mengacu pada operator masa depan yang cerdas dan terampil [8]. *Human-machine interaction* melahirkan konsep *Operator 4.0* yang mengubah dari kerja sama menjadi kerja yang dibantu mesin. Oleh karena itu, perlu dipahami peran partisipasi manusia dalam komunikasi sistem *realtime*. Tipologi *Operator 4.0* menggambarkan bagaimana teknologi revolusi industri keempat akan membantu pekerjaan operator [14].



Gambar 3. Revolusi tugas *Operator 4.0* [14]

Operator 1.0 didefinisikan sebagai manusia yang melakukan pekerjaan manual dan cekatan dengan beberapa dukungan dari peralatan mekanis dan peralatan mesin yang dioperasikan secara manual. Generasi *Operator 2.0* mewakili entitas manusia yang tugasnya didukung oleh alat, misalnya, oleh *Computer Numerical Control (CNC)* dari peralatan mesin. Pada generasi *Operator 3.0*, manusia dilibatkan dalam kerja kooperatif dengan robot dan peralatan komputer yang disebut juga kolaborasi manusia dengan robot. Generasi *Operator 4.0* mewakili operator masa depan [14].

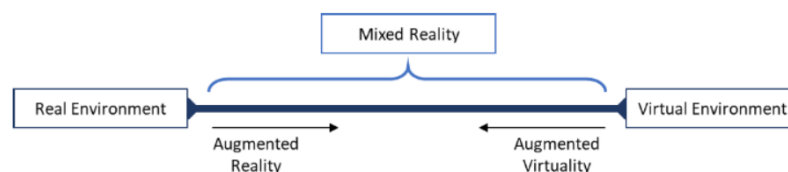
2.3. Augmented Reality

Operator industri terintegrasi ke dalam dunia *cyber-physical* sehingga keterampilan individu operator dapat dimanfaatkan. Di dalam penerapan teknologi [8], pada Gambar 4 melihat 9 pilar teknologi Industri 4.0 yaitu *Big data & Analytic, Internet of things, Cloud Computing, System integration, Simulation, Autonomous Robot, Cyber Security, Augmented Reality, dan Additive Manufacturing*. *Augmented Reality* adalah teknologi yang memperkaya lingkungan dunia nyata operator dengan informasi dan media digital yang dihamparkan secara *realtime* di bidang pandangnya. *Augmented reality* dapat menjadi teknologi kunci untuk meningkatkan transfer informasi dari dunia digital ke dunia fisik operator.



Gambar 4. Nine Pillar Technology Industry 4.0. [8]

Menurut *kontinum realitas-virtualitas (RV)* yang banyak digunakan [15], *AR* diposisikan diantara lingkungan nyata dan lingkungan virtual sebagai dua titik ekstrem dari *kontinum RV*. Semua informasi itu nyata atau virtual. Segala sesuatu di antara kedua ekstrem itu menggabungkan elemen virtual dan nyata dan disebut *Mixed Reality (MR)*. *MR* menggabungkan *AR*, yang menambah dunia nyata dengan menambahkan konten virtual. Penggabungan *augmented virtuality (AV)* yang menambah dunia virtual dengan menambahkan konten dunia nyata. Perbedaan antara *AR* dan *AV* tidak jauh berbeda di sepanjang *kontinum*.



Gambar 5. Reality-Virtuality Continuum. [15]

2.4. AR Markerless

AR Markerless menggabungkan data digital dengan input dari input *realtime* atau lingkungan nyata di ruang fisik. Teknologi ini menggabungkan grafik perangkat lunak, audio, dan video dengan kamera *smartphone*, giroskop, akselerometer, sensor *haptic*, dan layanan *GPS* untuk menampilkan grafik 3D di dunia nyata [16]. *AR Markerless* mendeteksi objek atau titik karakteristik *scene* tanpa pengetahuan sebelumnya tentang lingkungan, seperti dinding atau titik persimpangan. Sistem *markerless* menggunakan layanan lokasi perangkat dan perangkat keras untuk berinteraksi dengan sumber daya *AR* yang tersedia dan menentukan lokasi dan orientasinya.

Pengembangan teknologi *simultaneous localization and mapping (SLAM)* meningkatkan akurasi analisis gambar *AR markerless*. Pelacakan dengan menggunakan *SLAM* untuk memindai lingkungan dan membuat peta tempat menempatkan objek 3D virtual. Bahkan jika objek tidak berada dalam bidang pandang pengguna, objek tersebut tidak bergerak saat pengguna bergerak, dan pengguna tidak perlu memindai gambar baru.



Gambar 6. AR Markerless. [16]

2.5. Head-mounted Display

Perangkat keras yang dapat digunakan, seperti kacamata atau helm. Perangkat ini dikategorikan menjadi dua bentuk: *optical see-through* dan *video see-through* [17]. Dalam sistem *optical see-through*, pengguna melihat realitas secara langsung melalui komponen optik, misalnya, pemandu gelombang holografik dan kerangka kerja berbeda yang memberdayakan tampilan grafis pada realitas saat ini. *Microsoft HoloLens*, *Magic Leap One*, dan *Google Glass* adalah contoh terbaru dari kacamata cerdas *optical see-through* [18]. Dalam sistem *video see-through*, dunia nyata sebelumnya didigitalkan, umumnya oleh kamera yang terpasang di dunia dan informasi digital yang digabungkan sebelum ditampilkan sebagai tampilan buram [19]



Gambar 7. Head-mounted Display Microsoft HoloLens. [18]

Pada HMD *HoloLens* menawarkan banyak kemungkinan untuk menciptakan lingkungan AR. Yang pertama *Gaze* (Tatapan), ini memberi tahu di mana pengguna sebenarnya melihat dunia dan memungkinkan pengguna menentukan niat mereka. Di dunia nyata seseorang biasanya melihat pada objek yang ingin berinteraksi dengan orang tersebut. Pandangan ke dalam *HoloLens* membuat koneksi ini terjadi di AR. *HoloLens* menggunakan posisi dan orientasi kepala pengguna untuk mengetahui ke mana dia melihat. Yang kedua adalah *Gesture*, gerakan tangan memungkinkan pengguna berinteraksi dengan 3D objek, setelah menargetkan objek melalui tatapan. *HoloLens* memberikan kemudahan berinteraksi dengan elemen tanpa aksesoris lain.

Perangkat *Head-Mounted Display (HMD)* memungkinkan pengguna melihat informasi secara *hands-free* sambil melakukan pengoperasian secara bersamaan. Dalam membangun aplikasi AR menggunakan software Unity hanya ada beberapa perangkat HMD yang didukung seperti : *Microsoft HoloLens*, *DAQRI Smart Helmet*, *Magic Leap*, *Google Glasses*. Pada Tabel 1 memperlihatkan perbandingan terhadap perangkat-perangkat HMD yang didukung oleh perangkat lunak *Unity game engine* dalam pengembangannya.

Tabel 1. Komparasi Perangkat *Head-mounted Display (HMD)*.

Perangkat HMD	Berat	Harga	Software	Spesifikasi
DAQRI SmartHelmet	Tidak diketahui	US \$15000	SDK, Unity, Aplikasi DAQRI	Intel Core M7, SSD 64 GB, RAM 8 GB, Intel HD Graphics, 6-DOF IMU, Wifi & Bluetooth, Battery Li-Ion 5800mAH, Kamera Multiple HD, Kamera Thermal
Microsoft Hololens 2	556 gram	US \$3500	Windows Mixed Reality, Unity	Qualcomm Snapdragon 850, Ram 4GB, Storage 64 GB, Andreno 630 GPU, 6-DOF IMU, Ambient Light Sensor, 1440x936 per-eye resolution, 43° Horizontal FoV, Baterai life 2-3 Jam, See-through holographic lenses, microphone, kamera HD 8MP, Wifi & Bluetooth, USB type C, Microphone, Stereo speakers
Google Glass Enterprise 2	51 gram	US \$999	Android 8.1, Unity	Qualcomm Snapdragon XR1, Ram 3GB, Storage 32GB, Andreno 615 GPU, 640x360 per-eye resolution, Unknown Horizontal FoV, 3-DOF IMU, See-Through, Kamera HD 8MP, Battery 800 mAH, Wifi, Bluetooth, Microphone, Stereo Speakers, USB Type C
Magic Leap 2 Enterprise	260 gram	US \$4999	Windows Mixed Reality, Unity	AMD Quadcore Zen2 x86, Storage 256GB, AMD GFx10.2 GPU, 1440x1760 per-eye resolution, 44° Horizontal FoV, See-Through, 6-DOF IMU, Kamera 12.6 MP RGB, Battery life 3.5 Jam, Wifi, Bluetooth, Stereo Speakers, USB Type C.
Epson Moverio BT-40s	96 gram	US \$940	Android	Qualcomm Snapdragon XR1, Storage 64GB, Ram 4GB, Andreno 615 GPU, 1920x1080 per-eye resolution, 34° Diagonal FoV, See-Through, 3-DOF IMU, Kamera HD 5MP, Battery life 6 jam, Wifi, Bluetooth, Integrated speakers, Microphone, USB Type C.

2.6. Software Development Kit (SDK)

Pengembangan aplikasi *AR* terdapat banyak perpustakaan yang sudah disediakan oleh pihak pengembang, masing-masing mengimplementasikan fungsi tertentu yang diperlukan dalam skenario tertentu. Semua ini harus diatur oleh bagian berbeda dari *software development kit (SDK)*, yang bertanggung jawab untuk berinteraksi dengan perangkat keras untuk memperoleh data dari lingkungan guna menampilkan informasi kontekstual kepada pengguna tergantung pada scenario dan lingkungan sekitarnya. *SDK* yang paling relevan dan sering digunakan untuk mengembangkan aplikasi *AR* ditunjukkan pada Tabel 2. *SDK* tersebut dibandingkan berdasarkan beberapa persyaratan yaitu jenis lisensinya (*Open Source*, *Gratis* dan *Versi Komersial*). Platform yang didukung (*Android*, *iOS*, *Linux* atau *Windows*). Karakteristik (Objek, Penanda, Pelacakan, atau kemampuan overlay). Kompatibilitas (*Unity*). Bahasa Pemrograman (*C*, *C++*, *C#*, *Java*)

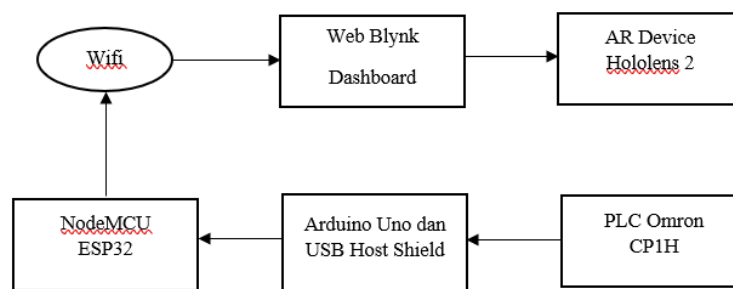
Tabel 2. Komparasi *Software Development Kit (SDK)*

Software Toolkit	Karakteristik	Tipe Lisensi	Platform	Bahasa Pemrograman
AR Toolkit	2d objek, Marker, NFT	Open Source, Komersial SDK	Android, iOS, Linux, macOS, Unity3D	C, C++, C#, Java
ARKit	3D objek, Visual & SLAM	SDK komersial	Xcode 9 dan iOS 11	Obyektif C
Easy AR	3D objek, Visual & SLAM	Open Source, SDK Komersial	Android, iOS, Windows, macOS, Unity3D	C, C++, Obyektif C, Java
Wikitude	3D objek, Visual & SLAM	Open Source, SDK Komersial	Android, iOS, Smart Glasses (EpsonMoverio, ODG , Vuzix), Unity3D	Obyektif C, Java, Java Script
Layar	2D objek	Open Source, SDK Komersial	Android, iOS, Blackberry	HTTP(Restful), JSON
Windows Mixed Reality	3D objek, Visual & SLAM	Open Source, SDK Komersial	Windows MR, Hololens, Magic Leap, Google Glass, Unity3D	C#,C++, Java Script
Vuforia	3D objek, Marker berbasis visual SLAM	Open Source, SDK komersial	Android, iOS, Windows, Unity3D	C++, C#, Obyektif C, Java

2.7. Komunikasi Data Mesin dengan Platform IoT.

IoT adalah struktur yang memberikan suatu objek identitas yang terbatas dengan kemampuan dalam memindahkan data atau informasi melalui jaringan tanpa memerlukan hubungan dua arah antara manusia ke manusia (sumber ke tujuan) atau interaksi manusia ke komputer [20]. *Internet of Things (IoT)* dan *Augmented Reality (AR)* membuktikan bahwa perubahan teknologi menjadi lebih cerdas. Selain itu, *IoT* dan *Augmented Reality* dapat membantu bisnis memanfaatkan seluruh potensi data. Misalnya, *IoT* dapat menghubungkan berbagai sumber data dan *AR* membantu memvisualisasikan data. Selanjutnya, kombinasi *IoT* dan *Augmented Reality* membantu bisnis menyelesaikan berbagai masalah dan memperluas wawasan di berbagai industri. *IoT* berfungsi sebagai penghubung antara infrastruktur fisik dan infrastruktur jarak jauh, sedangkan *Augmented Reality* memfasilitasi interaksi digital secara *real-time* dengan dunia fisik. Teknologi *AR* dan *IoT* ini dapat diterapkan pada kontrol pemeliharaan jarak jauh, visibilitas buruk, lingkungan yang bersuhu tinggi, dan kondisi tidak aman lainnya [21]

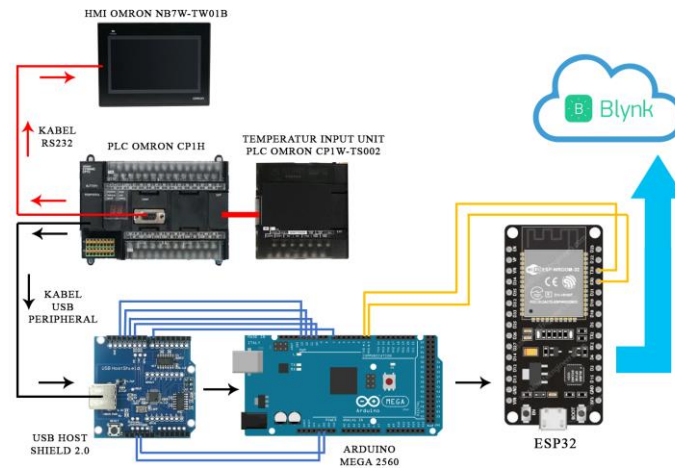
Ada berbagai macam *IoT platform open source* yang sering diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti *Ubidots*, *Antares*, *Thingspeak*, dan *Blynk* [22]. Perkembangan industri saat ini, umumnya memiliki *plant* yang dikontrol menggunakan *PLC (Programmable Logic Controller)*. *PLC* saat ini merupakan *workhorse* pada otomasi industry. Selain dapat diprogram, *PLC* juga mudah dalam penyesuaian diberbagai sistem yang ada pada industri. Dalam proses industri, monitoring terhadap mesin harus dilakukan setiap saat berdasarkan kondisi masukan dan keluaran *PLC* [23]. Berikut skema *AR-IoT* dengan menggunakan *ESP32* sebagai perantara komunikasi antara *PLC* dengan *platform Blynk*.



Gambar 8. Skema komunikasi *AR-IoT* pada Mesin Boiler

2.8. Perancangan Komunikasi Data Mesin Boiler dengan Platform IoT Blynk.

Pada fase ini, sistem komunikasi data AR pada mesin boiler menggunakan *Hololens 2* sebagai *HMI AR* untuk memvisualisasi data yang terintegrasi dengan platform *Blynk*. Data dari *PLC* dikirimkan ke *ESP32* melalui komunikasi *USB Host Shield* dan *Arduino Mega 2560* yang akan mengirimkan data ke platform *Blynk* sehingga pengguna dapat memantau melalui perangkat AR. Pada sistem ini *ESP 32* berfungsi sebagai perantara komunikasi antara platform *Blynk* dan *PLC*. Sehingga, semua data yang berasal dari *PLC* akan disimpan sementara pada *ESP32* sebelum diteruskan menuju perangkat *HMD*.



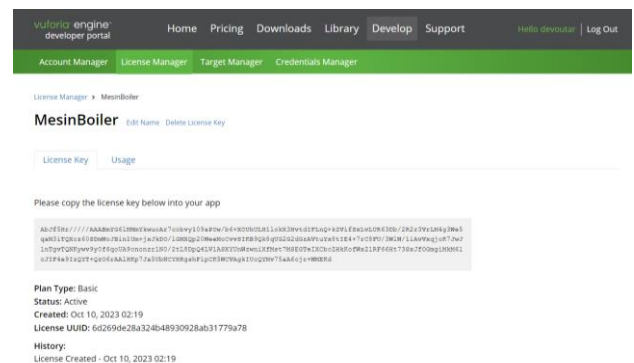
Gambar 9. Skema wiring komunikasi PLC dengan Platform IoT.

2.9. Perancangan Sistem Pelacakan Lingkungan Mesin Boiler

Pada fase ini, sistem pelacakan lingkungan mesin boiler dibuat menggunakan fitur *Area Target* yang terdapat di *Vuforia Engine SDK*. Pemindaian lingkungan mesin boiler dilakukan menggunakan kamera tablet *iPad Pro* yang didukung dengan sensor *LiDAR*. Selanjutnya, file hasil pemindaian dapat disimpan dengan format file *.3DT* dan diimport ke perangkat lunak *Unity game engine* sebagai aset. Hasil dari pemindaian dapat dilihat pada Gambar. Untuk mengidentifikasi dan mengaktifkan fitur *area target* di *Unity game engine* memerlukan *license key* dari *vuforia developer*.



(a)



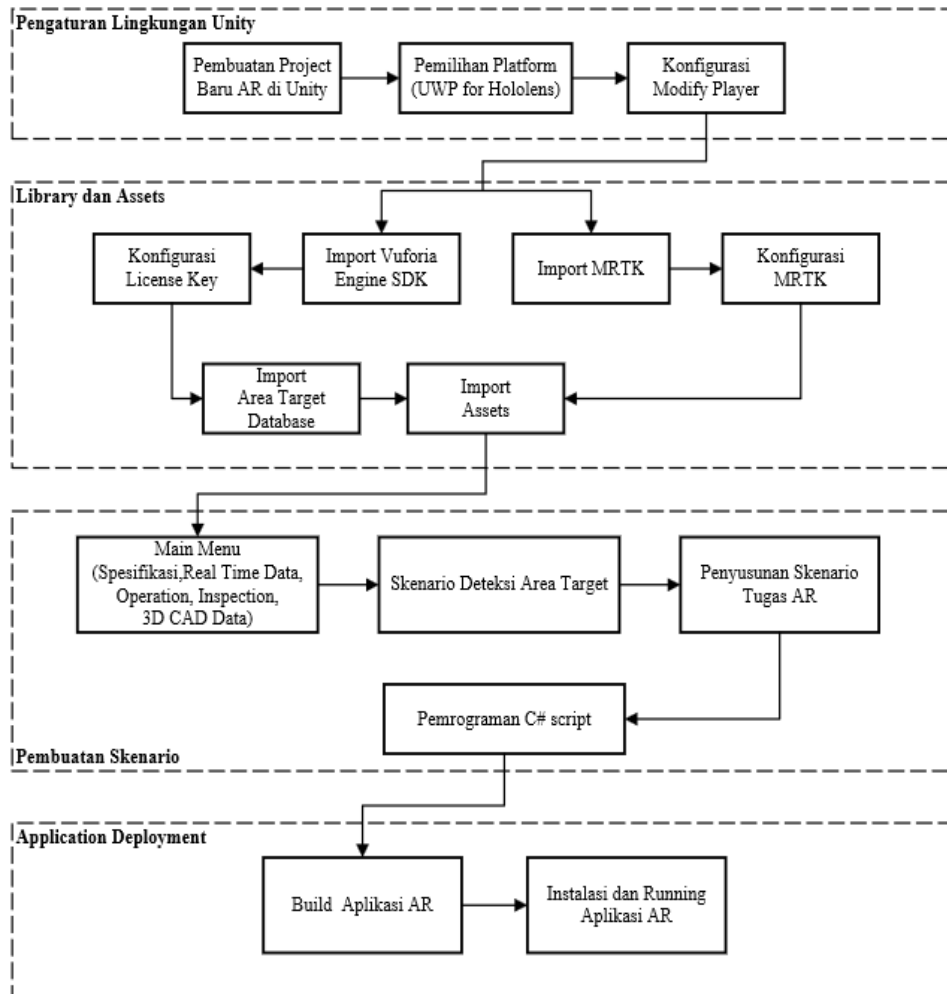
(b)

Gambar 10. Penggunaan Vuforia (a) Hasil Pemindaian Mesin Boiler (b) License manager.

2.10. Perancangan Aplikasi AR Mesin Boiler

Dengan bantuan AR, aplikasi berfokus pada peningkatan pengalaman dan visualisasi dalam instruksi manual pengoperasian mesin boiler yang interaktif. *Unity game engine* menyediakan perpustakaan yang memungkinkan teknologi ini digabungkan dengan aset, animasi, dan model 3D untuk membuat skenario pengoperasian yang akan melibatkan operator lama dan baru melalui pengalaman. Dalam pengembangan aplikasi AR prosedur kerangka kerja yang pertama dilakukan adalah melakukan pengaturan lingkungan pada perangkat lunak *Unity game engine*. Setelah pengaturan selesai, Langkah kedua mengimport Pustaka dan aset yang dibutuhkan untuk pengembangan aplikasi AR Mesin Boiler seperti *Vuforia Engine SDK*, *MRTK* dan lain sebagainya. Langkah yang ketiga adalah pengembangan

aplikasi AR Mesin boiler dari penyusunan skenario menu utama sampai fase pemrograman aplikasi AR dan langkah yang terakhir adalah *build and run* aplikasi AR Mesin Boiler.



Gambar 11. Kerangka Kerja Pengembangan Aplikasi AR Mesin Boiler.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Komunikasi Data

Dari beberapa sampling data dari PLC mesin boiler tersebut lalu dikirimkan ke *Blynk* melalui *ESP32* sebagai perantara agar dapat terbaca pada *dashboard Blynk*. Dalam pengujian ini dilakukan pemantauan secara langsung terhadap data yang ditampilkan oleh HMI mesin dan *Dasboard Blynk* dengan cara melakukan pengamatan secara langsung terhadap waktu saat menampilkan data yang dapat dilihat pada Gambar 12. Pada Tabel 3 merupakan hasil penunjukkan data sampling yang ditampilkan oleh HMI Omron dan platform *Blynk* beserta waktu pembacaan secara realtime:”



Gambar 12. Pemantauan kecocokan tampilan data pada HMI PLC dengan Platform Blynk

Tabel 3. Hasil Data Tampilan pada HMI PLC dan Blynk

No.	Data yang ditampilkan				Waktu Tampilan HMI	Waktu Tampilan Blynk
	Pressure Steam	Oil Flow	Water Flow	Steam Temp.		
1.	0.87	0.00	400.0	54.3	28/11/23 21:37:53	28/11/23 21:37:55
2.	1.15	0.00	400.0	54.4	28/11/23 21:37:55	28/11/23 21:37:57
3.	1.46	0.00	400.0	54.4	28/11/23 21:37:57	28/11/23 21:37:58
4.	1.78	0.00	400.0	54.4	28/11/23 21:38:00	28/11/23 21:38:01
5.	2.09	0.00	400.0	54.4	28/11/23 21:38:02	28/11/23 21:38:03
6.	2.44	0.00	400.0	54.4	28/11/23 21:38:04	28/11/23 21:38:06
7.	2.80	0.00	400.0	54.4	28/11/23 21:38:07	28/11/23 21:38:07
8.	3.09	0.00	400.0	54.4	28/11/23 21:38:10	28/11/23 21:38:11
9.	3.27	0.00	400.0	54.6	28/11/23 21:38:12	28/11/23 21:38:14
10.	3.41	0.00	400.0	54.9	28/11/23 21:38:17	28/11/23 21:38:18
11.	3.40	0.00	400.0	54.9	28/11/23 21:38:19	28/11/23 21:38:21
12.	3.34	0.00	400.0	54.8	28/11/23 21:38:21	28/11/23 21:38:22

Dari Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa tampilan data pada PLC Omron CPIH melalui HMI Omron dan dikirimkan ke platform Blynk dapat terbaca. Beberapa sampling data seperti tampilan data HMI Mesin Boiler 28/11/23 21:38:04 baru terbaca di platform Blynk selama 2 detik. Rentang waktu tersebut merupakan error yang disebabkan oleh jaringan wifi yang tidak stabil sehingga mempengaruhi lamanya pengiriman data ke platform Blynk dan tidak menuntut kemungkinan error terjadi juga disebabkan pada komunikasi data antara PLC dan ESP32.

3.2 Hasil Pengujian Blackbox Pada Aplikasi AR Mesin Boiler.







Pada pengujian ini dilakukan dengan skenario pengujian yang menginisialisasi standar masukan dan keluaran. Hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk tabel. Hasil pengujian dikatakan berhasil apabila masukan yang didapatkan sama dengan hasil keluaran. Tabel 4 menyajikan data hasil pengujian pada pengembangan aplikasi AR Mesin Boiler.

Dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa aplikasi dapat berjalan sesuai rancangan aplikasi AR Mesin Boiler. Keseluruhan fitur maupun fungsi dari setiap menu maupun objek yang ada berfungsi dengan baik dan sesuai dengan tujuan perancangan aplikasi AR. Saat pengujian dilakukan, ditemukan beberapa kekurangan dalam sistem aplikasi AR ini yaitu terjadi error pergeseran posisi objek konten yang disebabkan dari sistem pelacakan area target yang terbatas. Pada Gambar 13 ditandai dengan lingkaran merah dimana terletak pada error tersebut, tetapi hal ini tidak berpengaruh besar dalam menjalankan aplikasi AR.



Gambar 13. Error Pergeseran Posisi 3D Objek.

Tabel 4. Hasil Pengujian Aplikasi AR menggunakan *Blackbox Testing*.

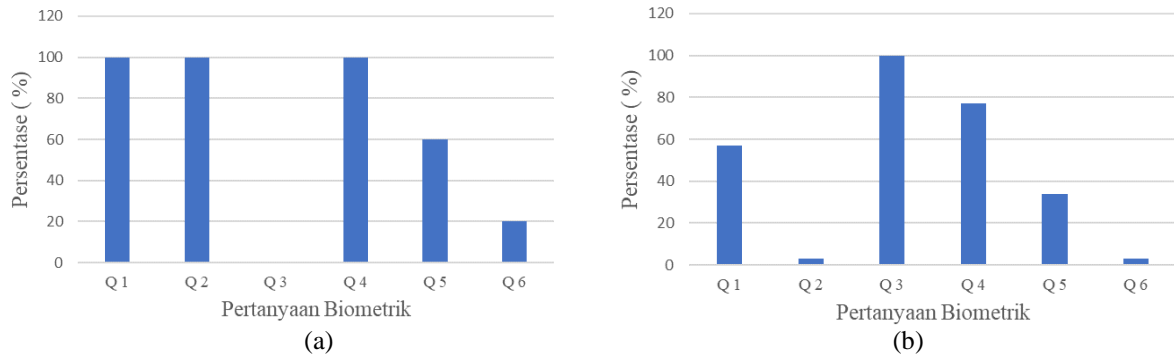
No	Kasus Uji	Skenario dan Hasil Uji			Status Validitas
		Tampilan	Skenario Pengujian	Hasil yang didapatkan	
1.	Pelacakan Area Target		Mendeteksi Area Target untuk menampilkan Main Menu	Area Target Terdeteksi dan Menampilkan Menu Utama	<input checked="" type="checkbox"/> Berhasil <input type="checkbox"/> Tidak Berhasil
2.	Menu Spesification		Aplikasi akan mengaktifkan dan menonaktifkan konten yang berisi tentang data spesifikasi Mesin Boiler, Water Feed Pump dan Oil Burner	Menu Spesifikasi mengaktifkan dan dapat dinonaktifkan konten data spesifikasi Mesin Boiler, Water Feed Pump dan Oil Burner	<input checked="" type="checkbox"/> Berhasil <input type="checkbox"/> Tidak Berhasil
3.	Menu 3D CAD Data		Aplikasi akan mengaktifkan dan menonaktifkan konten pada menu 3D CAD Data yang berisi tentang data 3D objek komponen Mesin Boiler	Menu 3D CAD Data berhasil mengaktifkan dan dapat dinonaktifkan konten yang berisi tentang data 3D objek komponen Mesin Boiler	<input checked="" type="checkbox"/> Berhasil <input type="checkbox"/> Tidak Berhasil
4.	Menu Operation		Aplikasi akan mengaktifkan dan menonaktifkan konten pada menu Operation yang berisi tentang 3D object navigasi dan ceklis Langkah pengoperasian / SOP Mesin Boiler	Menu Operation berhasil mengaktifkan dan dapat menonaktifkan konten yang berisi ceklis Langkah Pengoperasian/ SOP Mesin Boiler beserta 3D objek navigasi.	<input checked="" type="checkbox"/> Berhasil <input type="checkbox"/> Tidak Berhasil
5.	Menu Routine Check		Aplikasi akan mengaktifkan dan menonaktifkan konten pada menu Routine Check yang berisi tentang checklist pemantauan routine kondisi mesin boiler saat beroperasi selama 24 jam.	Menu Routine Check berhasil mengaktifkan dan dapat menonaktifkan konten yang berisi tentang checklist pemantauan routine kondisi mesin boiler saat beroperasi selama 24 jam.	<input checked="" type="checkbox"/> Berhasil <input type="checkbox"/> Tidak Berhasil
6.	Menu Real Time Data		Aplikasi akan mengaktifkan dan menonaktifkan konten pada menu Real Time Data yang berisi tentang visualisasi data yang didapat dari platform Blynk meliputi data <i>pressure</i> , <i>oil flow</i> , <i>water flow</i> , dan <i>steam temperature</i>	Menu Real Time data berhasil mengaktifkan dan dapat menonaktifkan konten yang berisi tentang visualisasi data yang didapat dari platform Blynk meliputi data <i>pressure</i> , <i>oil flow</i> , <i>water flow</i> , dan <i>steam temperature</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Berhasil <input type="checkbox"/> Tidak Berhasil

3.3 Hasil Pengujian Implementasi Aplikasi AR menggunakan *System Usability Scale (SUS)*

Pada pengujian ini responden diminta menandatangani formulir persetujuan dan mengisi kuesioner biometrik. Setelah tahap pertama ini, mereka diperkenalkan dengan percobaan dan tujuan penelitian. Setelah siap, mereka diminta memakai *Microsoft HoloLens*. Responden kemudian diperkenalkan dengan antarmuka AR sehingga mereka dapat menyesuaikan diri dengan nyaman dengan *Microsoft HoloLens*. Pada Gambar 14 melihat responden berada di menu utama aplikasi, mereka diberitahu tentang metode pemilihan yang akan digunakan terlebih dahulu isyarat tangan dengan *Air Tap* dan memulai eksperimen. Semua uji coba dilakukan berdasarkan urutan dari menu utama. Setelah uji coba selesai, responden diberikan kuesioner *System Usability Scale (SUS)* untuk diisi.



Gambar 14. Uji Coba Aplikasi AR kepada Responden

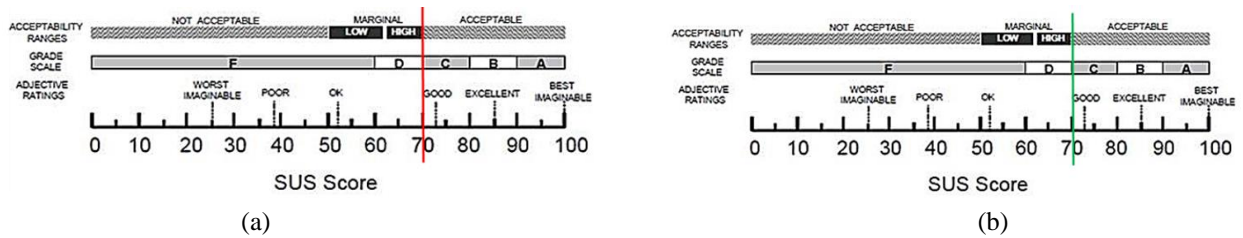


Gambar 13. Grafik Hasil Identifikasi Awal Responden (a) Tenaga Ahli, (b) Pengguna Baru

Berdasarkan hasil dari kuisioner biometrik yang sudah diisi oleh responden dari kelompok tenaga ahli, pada Gambar 13 melihat hasil identifikasi awal bahwa keseluruhan responden tenaga ahli tidak ada kesulitan untuk pengoperasian mesin boiler. Hal tersebut ditunjukkan 60% dari jumlah responden tenaga ahli keseluruhan yang telah mengetahui tentang teknologi AR dan baru 20% responden yang familiar dengan perangkat *HMD Hololens*. Tetapi dengan nilai 100% tentang pengetahuan industry 4.0 dapat disimpulkan bahwa tenaga ahli juga mendukung transformasi digital. Selanjutnya hasil dari responden dari kelompok pengguna baru, bahwa keseluruhan responden pengguna baru merasa kesulitan untuk memahami pengoperasian mesin boiler ditandai dengan nilai 100%. Hal tersebut disebabkan 57% dari jumlah responden keseluruhan sebelumnya telah mengetahui tentang mesin boiler dan baru 3% responden yang pernah mengoperasikan mesin boiler. Dari pengetahuan responden tentang *Industry 4.0* didapati 77% responden telah familiar tentang *Industry 4.0* dan 34% responden familiar dengan teknologi AR, serta baru 3% responden baru mengetahui perangkat *HMD Hololens*.

Tabel 5. Hasil Skor SUS Responden

Skor SUS	Responden Tenaga Ahli				Responden Pengguna Baru			
	Rata-rata	Modus	Max	Min	Rata-rata	Modus	Max	Min
	70.5	75	82.5	57.5	70.8	70	87.5	57.5



Gambar 14. Skala Interpretasi Skor SUS pada Aplikasi AR Mesin Boiler (a) Tenaga Ahli, (b) Pengguna baru.

Berdasarkan hasil perhitungan skor *SUS* pada responden tenaga ahli dapat disimpulkan bahwa skor tertinggi yang diperoleh adalah 82.5 dan skor terendah diperoleh adalah 57.5. Dari hasil tersebut juga diperoleh nilai rata-rata *SUS* pada responden tenaga ahli sebesar 70.5. Sedangkan hasil dari kuisioner yang telah dilakukan kepada 35 responden kelompok pengguna baru dan selanjutnya dihitung skor *SUS* dari responden tersebut memperoleh skor tertinggi 87.5 dan skor terendah 57.5. Selain itu dari perhitungan tersebut diperoleh nilai rata-rata *SUS* sebesar 70,8 dan nilai yang sering muncul adalah 70.

Pada Gambar 14, melihat bahwa skor *SUS* yang diperoleh dari kedua responden jika dikorelasikan dengan skala *grade* berada pada *grade C* dimana range nilainya dari 70 sampai 80 yang menunjukkan skor tersebut diatas rata-rata dan untuk *adjective rating* dapat dikorelasikan berada pada OK yang ditunjukkan dengan range nilainya antara 51.7-71.0. Untuk *acceptability ranges* dengan korelasi dari nilai rata-rata *SUS* Skor yang diperoleh melebihi dari nilai 70.0 yang dikategorikan dapat diterima dan penggunaan aplikasi AR pada pengoperasian mesin boiler dapat digunakan secara umum oleh responden. Hal ini diperkuat ketika dikorelasikan ke skor *SUS* pada responden tenaga ahli, skor diatas 70 yang merupakan skor *SUS* yang paling banyak sering muncul.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian serta analisa terhadap pengembangan aplikasi AR pada mesin boiler, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengujian *black box testing* pada fungsionalitas aplikasi AR Mesin Boiler dinyatakan berhasil dan dapat berjalan sesuai skenario yang diharapkan.
2. Dari pengujian menggunakan metode *System Usability Scale (SUS)* pada penggunaan aplikasi AR pada pengoperasian Mesin Boiler di UNIMAR AMNI Semarang mendapatkan nilai *SUS* rata-rata 70,5 untuk kelompok tenaga ahli dan untuk kelompok pengguna baru mendapatkan nilai *SUS* rata-rata 70,8. Selain itu dalam penerapan aplikasi AR pada mesin boiler tergolong klasifikasi *grade C*. Dengan hasil aplikasi AR yang *acceptable* maka tidak menuntut kemungkinan akan berpengaruh dalam membangun ekosistem operator yang cerdas dimasa depan dan dapat mengurangi kegagalan pada pengoperasian mesin yang disebabkan oleh *human error*.

Daftar Pustaka

- [1] UNIDO, (2017). "Industry 4.0: *Preparing for the 4th Industrial Revolution*" Available online: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/WSIS%202017_final_3_online.pdf
- [2] A. Becker, J. Görnitz, S. Henke, M. Lecke, (2020). "Charter for Work and Learning in Industry 4.0" Available online: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Charter-for-Work-and-Learning.html> (accessed on 19 February 2021).
- [3] de Souza Cardoso, L. F., Mariano, F. C. M. Q., Zorzal, E. R. (2020). "A survey of industrial augmented reality. *Computers & Industrial Engineering*", hal. 139.
- [4] Dhillon, B. S., (2013). "Safety and Human Error in Engineering Systems". Florida: CRC Press.
- [5] Kementrian Perindustrian RI, (2018). "Making Indonesia 4.0". Jakarta, hal. 3-8.
- [6] Kusmin, K. L., Ley, T., Normak, P., (2017). "Towards a data driven competency management platform for Industry 4.0." CEUR Workshop Proceedings. 2017.
- [7] Indrawan, H., Cahyo, N., Simaremare, A., Aisyah, S., Paryanto, Tauviqirrahman, M., (2019). "Readiness Index for Indonesian Power Plant toward Industry 4.0". 2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power & Energy, hal. 1–6.
- [8] Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., Gorecky, D., (2016). *Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies*. hal. 29–31.
- [9] Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., Pinto, E. B., Eisert, P., Dollner, J., & Vallarino, I., (2015). "Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet". IEEE Computer Graphics and Applications, hal. 35(2),
- [10] Werrlich, S., Nitsche, K., & Notni, G. (2017). *Demand Analysis for an Augmented Reality based Assembly Training*. Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, 416–422. <https://doi.org/10.1145/3056540.3076190>
- [11] Kim, J., Lorenz, M., Knopp, S., & Klimant, P. (2020). *Industrial Augmented Reality: Concepts and User Interface Designs for Augmented Reality Maintenance Worker Support Systems*. 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), hal.67–69.
- [12] Dalle Mura, M., Dini, G. (2021). "Augmented Reality in Assembly Systems: State of the Art and Future Perspectives". IFIP Advances in Information and Communication Technology, hal. 3–22.
- [13] Huchzermeie, D., Jung, S, May, F.C., Schmitt, T., (2022). "Industry 4.0 How digital technology is changing companies' production processes". Handelsblatt Research Institute.
- [14] Zolotová, I., Papcun, P., Kajáti, E., Miškuf, M., & Mocnej, J. (2020). "Smart and cognitive solutions for Operator 4.0: Laboratory H-CPPS case studies". *Computers & Industrial Engineering*, 139.
- [15] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. and Kishino, F. (1994). "Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum". *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, SPIE, 2351, 282-292.
- [16] Calicut IPCS, (2018). "Explanation of Augmented Reality (AR) – Application and Classification", <https://ipcsautomation.com/blog-post/explanation-of-augmented-reality-ar-application-classification/> Accessed 6, June 2018
- [17] Azuma, R., (1997). "A Survey of Augmented Reality". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 4, 355–385
- [18] Nishihara, A., & Okamoto, J. (2015). "Object recognition in assembly assisted by augmented reality system". 2015 SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys), hal. 400–407.
- [19] Azuma, R., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., Macintyre, B., (2001). "Recent Advances in Augmented Reality". *IEEE Computer Graphics and Applications* 21, hal. 1–27.

- [20] A. W. Burange and H. D. Misalkar, (2015) “*Review of Internet of Things in development of smart cities with data management & privacy.*” ICACEA 2015, hal. 189–195,
- [21] Harpiawan, G., (2023) “*Integrasi Internet of Things (IoT) dan Augmented Reality (AR) Sebagai Kombinasi yang Menjanjikan*”. Metanesia.Id.
- [22] Sureshkumar, S., Agash, C. P., Ramya, S., Kaviyaraj, R., & Elanchezhian, S. (2021). “*Augmented Reality with Internet of Things*”. 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS), 1426–1430. <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9395941>
- [23] Dunning, G. (2005). “*Introduction to Programmable Logic Controllers (3rd Edition)*”. Thomson/Delmar Learning.
- [24] Permana A.K., Rachmawan, Ade., (2023). “*Studi Komparasi Platform Open-Source Internet of Things*”. Jurnal Teknologi dan Manajemen Vol.21 No.1. Hal. 43-48.