

Implementasi Digital Twin dengan Komunikasi Data Nirkabel pada Liquid Filling Machine

Ayunda Kusuma Wardani¹, Aji Seto Arifianto², Achmad Sirojudin³,
Alfiani Nur Aziza⁴, Anfasa Syahrul Habibie⁵

^{1,2,3,4,5}Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia

Email: ¹ayundakusumawardani12@gmail.com, ²ajiseto@polije.ac.id, ³achmadsirojo7@gmail.com,
⁴alfianinaziza@gmail.com, ⁵anfasa.syhrl@gmail.com

Abstrak. Mesin pengisi larutan telah menjadi kebutuhan untuk berbagai industri, untuk pengemasan minuman, makanan, bahan kimia hingga farmasi. Penggunaan mesin otomatis pengisi larutan tentu untuk menghindari ketidakakuratan jumlah larutan yang diisikan pada kemasan, sehingga dapat menjaga produsen atau konsumen dari kerugian. Dalam artikel ini, penulis melakukan implementasi teknologi digital twin untuk menyempurnakan kinerja mesin pengisi larutan berbiaya rendah dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Teknologi digital twin telah muncul sebagai alat yang menjanjikan untuk optimalisasi proses industri, dengan menghadirkan replika virtual dari sistem fisik untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja. Tujuan utama penelitian ini untuk membangun replika virtual 3D dari liquid filling machine dan komunikasi data secara nirkabel menggunakan REST API sebagai penunjang implementasi digital twin. Pengujian telah dilakukan berkaitan dengan waktu pengiriman data dengan kondisi koneksi internet yang berbeda. Diperoleh rata-rata 1,6 detik untuk mengirim data dan ditampilkan dengan visualisasi 3D sesuai kondisi mesin fisik.

Kata Kunci : Digital Twin, Liquid Filling Machine, REST API.

Abstract. Liquid filling machines have become a necessity for various industries, for packaging drinks, food, chemicals and pharmaceuticals. The use of automatic solution filling machines is of course to avoid inaccuracies in the amount of solution filled in the packaging, so that it can protect producers or consumers from losses. In this article, the author implements digital twin technology to improve the performance of a low-cost solution filling machine by utilizing gravity. Digital twin technology has emerged as a promising tool for industrial process optimization, providing virtual replicas of physical systems to improve efficiency and performance. The main objective of this research is to build a 3D virtual replica of a liquid filling machine and wireless data communication using the REST API to support the digital twin implementation. Tests have been carried out regarding data transmission times with different internet connection conditions. It takes an average of 1.6 seconds to send data and displays it with 3D visualization according to physical machine conditions.

Keyword : Digital Twin, Liquid Filling Machine, REST API.

PENDAHULUAN

Mesin pengisian larutan memainkan peran penting dalam berbagai industri karena menentukan volume dan kualitas produk, termasuk makanan dan minuman[1], farmasi[2], dan kimia[3]. Mesin ini memfasilitasi pengemasan larutan ke dalam wadah dengan presisi dan efisien. Mesin pengisian larutan yang konvensional sering mengandalkan komponen mekanis dan penyesuaian manual, yang dapat menyebabkan ketidakakuratan dan ketidaksempurnaan dalam proses pengisian. Kesalahan pengisian yang berlebih menyebabkan kerugian bagi produsen karena pemborosan terhadap bahan baku, sedangkan isi yang kurang tentu merugikan konsumen.

Penelitian sebelumnya telah mengusulkan desain mesin pengisian larutan yang hemat biaya dengan memanfaatkan gaya gravitasi untuk mendistribusikan cairan yang digunakan untuk pengisian saus pada industri pengalengan ikan. Dengan meminimalkan ketergantungan pada sistem mekanis yang kompleks dan memanfaatkan gaya gravitasi, desain ini mengurangi biaya investasi awal dan kompleksitas operasional. Hal ini menjadikannya pilihan menarik untuk usaha skala kecil hingga



menengah[4]. Publikasi lainnya tentang diseminasi *low-cost liquid filling machine* yang dilengkapi dengan beberapa sensor, *microcontroller* dan *electric valve* telah terbukti mampu mengatasi keterbatasan terhadap kebutuhan alat produksi skala besar[5]. *Liquid Filling Machine* adalah sebuah mesin yang dirancang untuk mengisi bahan makanan cair seperti larutan ke dalam kemasan seperti botol atau kaleng[6]. Mesin ini terdiri dari beberapa komponen seperti tangki penyimpanan bahan, pompa pengisian, *nozzle* pengisian, sistem kontrol, dan bagian-bagian lain yang berfungsi untuk mengoptimalkan proses pengisian. Mesin pengisi larutan dapat digunakan untuk mengisi larutan pada berbagai jenis produk makanan seperti kaleng ikan, larutan tomat, larutan salad, larutan bumbu, dan sebagainya. Mesin pengisi larutan juga memiliki berbagai macam kapasitas produksi yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan perusahaan makanan dan minuman.

Kemampuan perangkat *low-cost liquid filling machine* dapat dioptimalisasi lagi dengan menambahkan sistem pemantauan terhadap kinerja dan kesehatan perangkat fisiknya. Menggabungkan model *digital twin* ke dalam peralatan pengisian larutan merupakan ide dasar dari artikel ini. Perkembangan teknologi *digital twin* telah menjadi pusat perhatian dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem industri. *Digital twin*, sebuah konsep yang memungkinkan pembuatan replika virtual dari sistem fisik yang sesungguhnya, telah membawa dampak signifikan dalam berbagai bidang, mulai dari kedirgantaraan[7], otomotif[8], kesehatan [9], dan manufaktur[10]. Teknologi *digital twin* adalah representasi digital dari suatu entitas fisik atau sistem, yang mencakup semua informasi dan perilaku yang relevan, termasuk aspek fisik, kinerja, dan keadaan operasional[11]. *Digital twin* dapat digunakan untuk memantau, menganalisis, dan memperbaiki kinerja sistem secara *real-time*. Karakteristik *digital twin* meliputi kemampuan mereplikasi sistem secara *real-time*, interaksi dengan sistem fisik, analisis dan prediksi performa sistem di masa depan, dan kemampuan untuk memperbarui dan mengembangkan model secara dinamis[12]. Teknologi *digital twin* dapat memiliki beberapa aplikasi yang signifikan pada industri makanan dan minuman. Salah satu aplikasinya adalah meningkatkan efisiensi produksi dengan memantau kinerja peralatan secara *real-time* dan mengoptimalkan operasi[13]. Dengan menggunakan teknologi *digital twin*, operator dapat memantau mesin dan peralatan mereka secara *real-time* dan mengidentifikasi masalah sebelum menjadi masalah yang lebih besar. Selain itu, teknologi *digital twin* juga dapat mengantisipasi dan mengidentifikasi masalah sebelum produk dikeluarkan dari lini produksi. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk memastikan kualitas produk, meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan.

Salah satu aspek kunci dalam pengembangan *digital twin* adalah kemampuan untuk mengintegrasikan perangkat fisik dengan representasi virtualnya secara tepat. Hal ini memungkinkan pengawasan dan kontrol yang lebih baik terhadap perangkat fisik secara *real-time*, serta memberikan peluang untuk analisis performa perangkat fisik dan prediksi terhadap kemungkinan malfungsi yang akurat. Salah satu metode yang telah digunakan untuk mencapai integrasi ini adalah melalui koneksi nirkabel antara perangkat fisik dan virtual. Penerapan koneksi nirkabel antara perangkat fisik dan virtual dalam pengembangan *digital twin* telah menjadi mungkin melalui penggunaan berbagai teknologi dan protokol komunikasi. Salah satu pendekatan yang populer adalah penggunaan REST API, yang memungkinkan perangkat fisik untuk berkomunikasi dengan representasi virtualnya melalui jalur data yang terstruktur. Data yang dikirim melalui komunikasi nirkabel ini menjadi dasar untuk menampilkan visualisasi tiga dimensi (3D) secara *real-time*. *Application Programming Interface* (API) adalah antarmuka yang diciptakan oleh pengembang sistem agar sebagian atau keseluruhan fungsi sistem dapat diakses secara terprogram[14]. API diciptakan untuk memudahkan komunikasi antara perangkat lunak yang dibuat menggunakan berbagai bahasa pemrograman yang berbeda. API yang mengikuti pola atau menggunakan protokol REST disebut dengan RESTful API. RESTful API adalah suatu jenis arsitektur dari *Application Programming Interface* atau API. Dalam mengakses data, RESTful API menggunakan perintah HTTP request untuk mengambil sumber daya

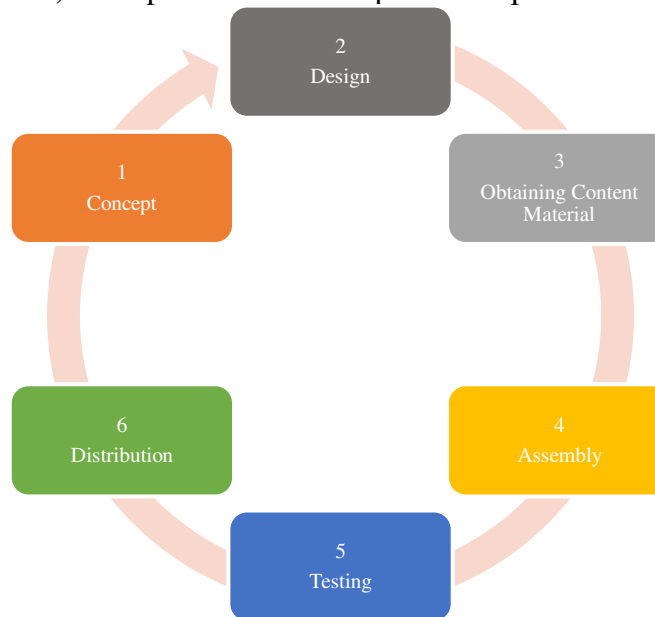


(*resource*) dan format JSON sering digunakan dalam merepresentasikan sumber daya di sistem REST[15].

Oleh karena itu didalam publikasi ini tujuan utama yang dilakukan adalah untuk mengembangkan representasi virtual 3D perangkat fisik *liquid filling machine* dan melihat serta menguji sejauh mana waktu yang dibutuhkan untuk transfer datanya.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengembangan/perancangan mesin virtual pengisi larutan adalah metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Tahapan metode ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Metode MDLC

Metode pengembangan multimedia ini terdiri dari enam tahapan, yaitu *concept*, *design*, *material collecting*, *assembly*, *testing*, dan *distribution* [16].

1. *Concept* (Konsep)

Tahap *concept* (konsep) adalah tahapan awal dalam pengembangan program yang bertujuan untuk menetapkan tujuan serta mengidentifikasi pengguna program (*audience*). Selain itu, tahap ini juga melibatkan penentuan jenis aplikasi (presentasi, interaktif, dan lain-lain) serta tujuan dari aplikasi tersebut (misalnya hiburan, pelatihan, pembelajaran, dan lainnya). Rincian konsep pada penelitian ini terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsep Animasi Virtual

Kategori Konsep	Deskripsi Konsep
Judul	Replika Virtual 3D Mesin Pengisi larutan
Tujuan	Memvisualisasikan proses pengisian larutan secara menyeluruh, lengkap dengan informasi penting seperti ketinggian larutan, suhu, pendeteksi kaleng dan kondisi valve.
Sasaran	Produsen skala kecil-menengah (UMKM), mulai dari pengalengan ikan, pengemasan minuman dll.
Sumber Daya	Menggunakan asset 3D.



2. *Design* (Perancangan)

Perancangan (*design*) adalah tahap dimana spesifikasi lengkap termasuk arsitektur proyek, gaya, tampilan dan kebutuhan material atau bahan untuk program. Spesifikasi dibuat sedetail mungkin agar pada tahap berikutnya yaitu material *collecting* (pengumpulan materi) dan *assembly*, pengambilan keputusan baru tidak diperlukan lagi, cukup ini biasanya menggunakan *storyboard* untuk menggambarkan deskripsi tiap *scene* untuk menggambarkan dengan mencantumkan semua obyek multimedia.

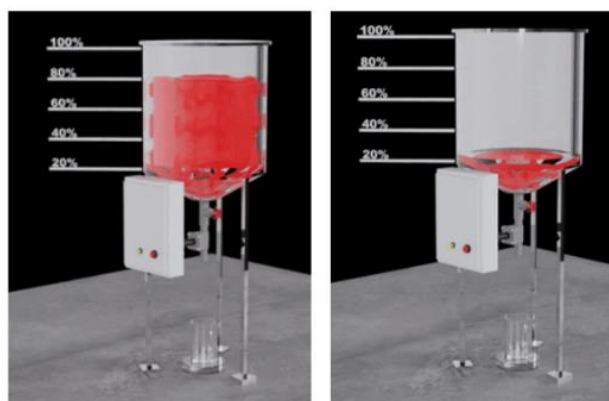
3. *Material Collecting* (Pengumpulan Materi)

Tahap ini yaitu mengumpulkan materi sesuai dengan kebutuhan yang dikerjakan. Materi yang dibutuhkan dapat berupa *clip-art*, *graphic*, animasi, video dan *audio*. Tahap ini dapat dilakukan secara *paralel* dengan tahap *assembly*. Dalam tahap ini, perangkat lunak yang dibutuhkan yaitu Windows 10 64 bit, Blender 4.0, Unity 3D 2020.3.19F. Unity adalah platform pengembangan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menciptakan game yang bisa dijalankan pada berbagai platform seperti Web, Windows, Mac, Android, iOS, Xbox, Playstation 3, dan Wii[17]. Unity dilengkapi dengan berbagai fitur lengkap yang memungkinkan pengembang untuk menciptakan game dalam berbagai genre, baik itu 2D maupun 3D. Diperlukan animasi mesin pengisi larutan yang dapat menampilkan perubahan aliran larutan serta perubahan ketinggian larutan yang terjadi secara akurat selama proses pengisian berlangsung.

4. *Assembly*

Setelah tahap pengumpulan materi yaitu tahap *assembly* dimana semua objek atau bahan multimedia dibuat. Pembuatan aplikasi didasarkan pada tahap *design*. Tahapan ini melibatkan pembuatan berbagai elemen seperti *collider*, *content motion graphic*, konten 3D, dan pembuatan aplikasi. Beberapa contoh animasi dari mesin pengisi larutan yang telah dibuat di Blender dalam beberapa bagian seperti idle, idle-mancur, mancur ngurang dan beberapa persentase ketinggian dapat dilihat pada Gambar 2.

Animasi yang telah dibuat kemudian di export dalam format GIF. Selanjutnya mengimport assets dari animasi yang telah dibuat pada tahapan sebelumnya. Tahap ini dikerjakan menggunakan *software* Unity. Terdapat beberapa animation controller yang dibuat. Dengan animation controller, penulis dapat mengatur berbagai klip animasi yang dimiliki untuk digerakkan. Tahap berikutnya dalam pengembangan adalah menulis kode program untuk implementasi alur logika dari mesin pengisi larutan.



Gambar 2. Animasi 3D mesin pengisi larutan

Selain itu, program juga akan melakukan pemanggilan ke URL API. Animasi yang akan ditampilkan oleh program didasarkan pada nilai yang diperoleh dari API tersebut, yang kemudian akan diubah ke



dalam bentuk persentase. Nilai persentase yang dihasilkan akan digunakan untuk mengatur animasi yang ditampilkan kepada pengguna. Kode program pemanggilan *uniform resource locator* (url) API dapat dilihat pada Gambar 3.

```
public class GetAPI : MonoBehaviour
{
    string baseUrl = "http://localhost/testapi/get_data.php";
    public Text Ultrasonic;
    public Text Infrared;
    public Text Valve;
    public Text Suhu;
    public Animator animator;
    //-----
    public string conversion;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        //GetData();
        InvokeRepeating("GetData", 3.0f, 3.0f);
        Animate("idle-0");
    }

    void GetData() => StartCoroutine(GetData_Coroutine());

    IEnumerator GetData_Coroutine()
    {
        using (UnityWebRequest request = UnityWebRequest.Get(baseUrl))
        {
            yield return request.SendWebRequest();
            if (request.result == UnityWebRequest.Result.ConnectionError)
            {
                //
            }
        }
    }
}
```

Gambar 3. Kode Program Get Api

5. Testing (Pengujian)

Setelah selesai tahap *assembly*, tahap pengujian dilakukan dengan menjalankan proyek untuk mendeteksi kemungkinan kesalahan atau ketidaksesuaian. Tahap ini dikenal sebagai tahap pengujian *alpha* (*alpha test*), dimana pengujian dilakukan oleh pembuat atau tim pengembang proyek itu sendiri. Pada tahap ini, fokus utama pengujian adalah memverifikasi keberhasilan panggilan URL API dan kesesuaian animasi yang ditampilkan dengan nilai yang diperoleh dari database. Pengujian ini akan mengevaluasi apakah integrasi antara sistem dengan API berjalan dengan lancar dan apakah animasi yang dihasilkan sesuai dengan data yang diterima.

6. Distribution

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari metode pengembangan MDLC. Pada tahapan ini aplikasi disimpan dalam suatu media penyimpanan. Tahap ini juga dapat disebut sebagai fase evaluasi setelah selesai memperbaiki bug yang mungkin ditemukan ditahapan sebelumnya. Dalam tahap ini, sistem disimpan didalam unity.

HASIL DAN PEMBAHASAN

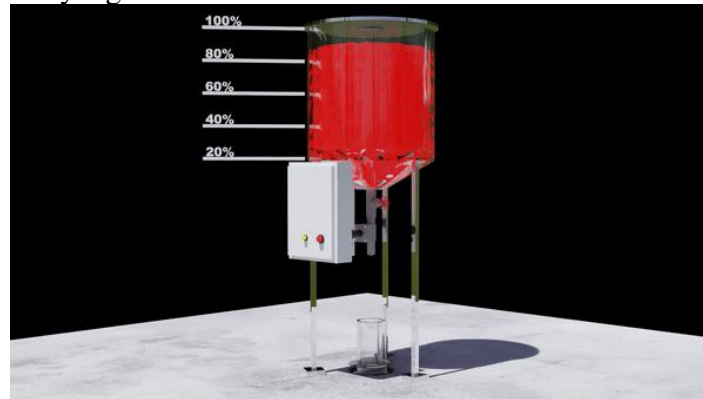
3.1. Liquid Filling Machine

Hasil dari alat fisik *Liquid Filling Machine* menggunakan sistem buka tutup katup atau *valve* secara otomatis. Terdapat sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian larutan [18], sensor Proximity Infrared yang dapat mendeteksi adanya objek atau tidak. Sensor suhu untuk mengukur suhu larutan. Keluarnya larutan dari tabung diatur berdasarkan delay sampai kaleng terisi penuh dengan nilai rata-rata delay 3 detik.



3.2. Model Virtual Liquid Filling Machine

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil dari model virtual mesin pengisi larutan. Dalam model ini, mencakup elemen-elemen penting dari mesin pengisi larutan asli yang direplikasi seperti tabung *liquid*, panel kontrol, kaki penyangga, *valve* atau katup, kaleng dan larutan. Model ini dibuat dalam bentuk transparan pada bagian tabung agar larutan didalamnya dapat dilihat secara jelas sehingga pengguna dapat mengetahui ketinggian larutan didalam tabung tanpa harus membuka tutup tabung dari mesin pengisi larutan yang asli.



Gambar 4. Model Virtual Filling Machine

3.3. Prinsip Kerja Alat dan Model Virtual

1. Mesin pengisi larutan ini telah dirancang dengan sistem otomatis yang memungkinkannya untuk mengisi larutan ke dalam kaleng secara otomatis. Proses pengisian larutan dimulai ketika sebuah kaleng ditempatkan di bawah *valve* atau katup mesin. Ketika sensor infrared mendeteksi adanya kaleng, *valve* secara otomatis terbuka, sehingga larutan mengalir ke dalam kaleng. Pada mesin menggunakan sistem delay. Delay ini memastikan bahwa larutan keluar dari *valve* dengan kecepatan yang tepat, sehingga kaleng terisi dengan sempurna tanpa kebocoran atau kelebihan larutan. Nilai delay ini bisa disesuaikan sesuai dengan kebutuhan penggunaan mesin pengisi larutan tersebut. Nilai dari *valve*, sensor ultrasonik, infrared, dan suhu dikirimkan ke database phpMyAdmin menggunakan API. File API ini dikodekan dalam PHP dan disimpan di dalam folder 'htdocs' di server lokal menggunakan XAMPP. Selanjutnya, database lokal dibuat menggunakan phpMyAdmin untuk menyimpan data dari sensor-sensor tersebut. Data dikirim dengan memanggil URL API menggunakan alamat IP dari laptop yang digunakan sebagai server lokal. Proses pengiriman data ke database, pengaturan untuk membuat larutan keluar secara otomatis dan pengaturan delay dilakukan melalui pengkodean di Arduino IDE. Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis kode program pada sebuah mikrokontroler[19]. Skala nilai dari setiap sensor dapat dilihat pada Tabel 2.

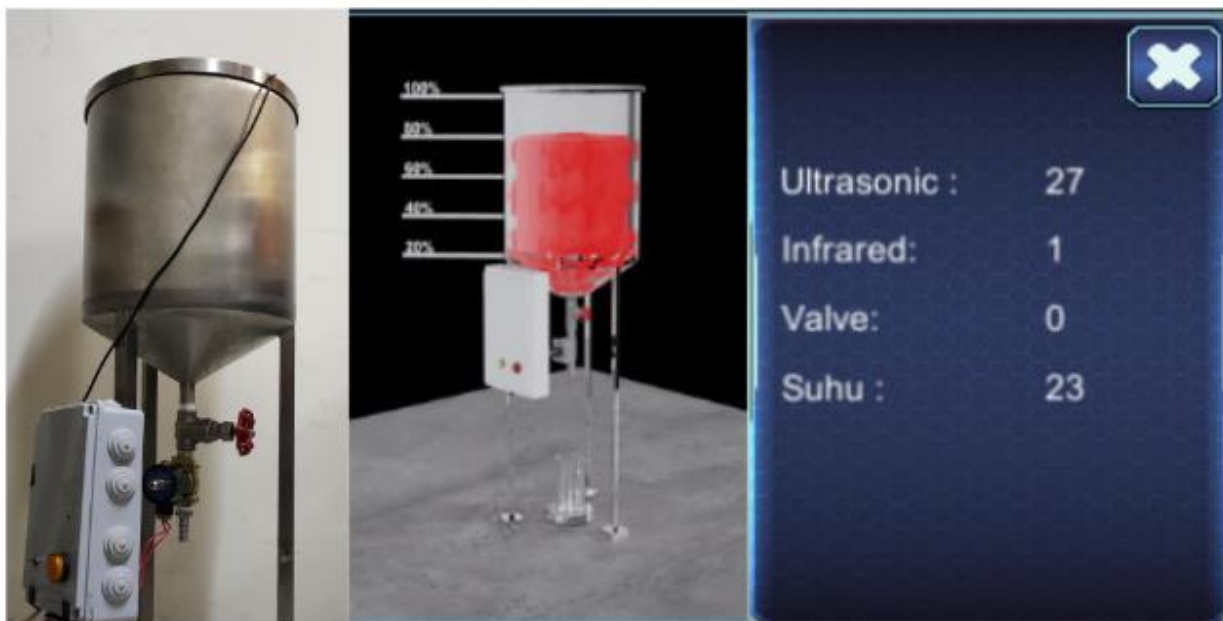
Tabel 2. Skala nilai sensor

Data	Nilai
Ultrasonic	0 = tabung kosong, 34 = tabung terisi penuh
Infrared	0 = tidak ada kaleng, 1 = ada kaleng
Valve	0 = valve terbuka, 1 = valve tertutup
Suhu	minimal = -55°C, maksimal = 125°C

- 1.2. Pemodelan Alat: Didapatkan dari mesin pengisi larutan yang sesungguhnya. Model virtual yang dibuat sedemikian rupa mirip dengan yang asli dengan skala 1:1, menampilkan beberapa komponen seperti tabung, kaki penyangga tabung, *valve* atau katup, kaleng dan kotak papan.



- 1.3. Sinkronisasi Data: Data dari mesin pengisi larutan yang sudah dikirimkan ke database, diambil melalui API pada aplikasi Unity, sehingga akan menampilkan animasi virtual dari mesin pengisi larutan sesuai dengan nilai pada mesin yang sesungguhnya. Pada tampilan di unity, rasio nilai dari sensor ultrasonic diubah ke bentuk persen. Sehingga animasi yang tampil menyesuaikan dari nilai yang dikirim dari mesin sesungguhnya.
- 1.4. Pemantauan dan optimisasi performa mesin: Model *digital twin* dapat digunakan untuk memantau performa mesin pengisi larutan secara *real-time* dan memperbaiki atau mengoptimalkan performa mesin saat dibutuhkan. Model *digital twin* dapat memberikan informasi yang bisa membantu untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas mesin pengisi larutan secara keseluruhan. Hasil dari mesin pengisi larutan yang sudah terkoneksi dengan mesin virtual dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mesin Fisik dan Virtual

3.4. Hasil Pengujian

Setelah berhasil mengatur koneksi antara mesin fisik pengisi larutan dengan mesin virtual, selanjutnya melakukan proses pengujian untuk mengukur waktu yang diperlukan dalam mentransfer data dari mesin fisik hingga tampil di mesin virtual. Pengujian ini dirancang dengan cermat untuk memperoleh pemahaman yang mendalam tentang performa koneksi antara kedua sistem tersebut. Pengujian dilakukan 2 kali dengan variasi waktu dan kecepatan jaringan internet yang berbeda. Pada setiap pengujian, terdiri dari 10 kali percobaan larutan yang dialirkan ke kaleng untuk mendapatkan data yang akurat. Berikut hasil dari pengujian yang telah dilakukan

1. Tanggal Pengujian : 5 Maret 2024
Waktu pengujian: 14.26 WIB
SpeedTest Jaringan Internet: Download (18.81 Mbps), Upload (1.47 Mbps), Ping (55 Ms)
Rata-rata waktu = $16.97/10 = 1.697$ detik.
2. Tanggal Pengujian : 6 Maret 2024
Waktu pengujian: 12.32 WIB
Hasil pengukuran menggunakan SpeedTest Jaringan Internet: Download (1.62 Mbps), Upload (5.35 Mbps), Ping (95 Ms).



Rata-rata waktu = $16.34/10 = 1.634$ detik.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, koneksi untuk mentransfer data dari mesin pengisi larutan otomatis ke mesin virtual terbukti berjalan dengan baik. Kecepatan jaringan internet juga berpengaruh terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data. Dari 2 pengujian yang telah dilakukan dengan kecepatan jaringan internet yang berbeda, hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata waktu transfer data berbeda, namun tidak terlalu jauh, yaitu 1,6 detik. Penelitian ini menunjukkan bahwa koneksi yang digunakan cukup handal untuk transfer data dalam proses pengisian larutan otomatis. Kecepatan jaringan internet idealnya perlu dioptimalkan untuk meminimalkan waktu transfer data dan meningkatkan efisiensi proses.

Adapun saran untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya adalah menggunakan *Firebase* sebagai database online untuk dibandingkan dengan penggunaan API. Hal ini dapat membantu dalam mengevaluasi waktu yang dibutuhkan untuk mentransfer data. Dengan membandingkan kinerja *Firebase* dan API, penelitian dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang keefektifan dan efisiensi masing-masing pendekatan dalam mengelola dan mentransfer data.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi serta Politeknik Negeri Jember atas dukungan dana yang telah diberikan kepada penulis melalui program kreativitas mahasiswa (PKM) 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Umar Syamsuri and R. Amalia, "Rancang dan Bangun Mesin Filling Sari Kedelai dengan Pneumatik," *Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 09, 2022.
- [2] M. Arif, "ANALISIS KAPABILITAS PROSES MESIN FILLING UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS PADA PRODUK SIRUP OBAT BATUK DI INDUSTRI FARMASI," *Jurnal Teknik Industri*, 2022.
- [3] R. Wiratama and R. I. Tritjahjono, "Perancangan Mesin Pengisi Larutan Asam Sulfat (**H₂SO₄**) Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD)," 2021.
- [4] M. Wibowo *et al.*, "Low-Cost Automatic Filling Machine Based on the 8-Bit Microcontroller for the Fish Canning Process," *INSTICC*, Dec. 2023, pp. 450–455. doi: 10.5220/0011812200003575.
- [5] B. Hariono, Y. Wibisono, S. Kautsar, A. S. Arifianto, B. Widiawan, and A. N. Aziza, "Diseminasi Low-Cost Liquid Filling Machine untuk Produksi Skala Terbatas pada TeFa Milk dan Canning Dissemination of Low-Cost Food Grade Filling Machine for Medium Scale Production in TeFa Milk and Canning," 2024.
- [6] I. Arif, M. T. L. Tobing, and Y. Junaidi, "Perancangan Unit Pengisian Pada Mesin Pengisian Botol Otomatis Berbasis PLC," *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 3, no. 2, pp. 37–44, 2022.
- [7] F. Schirrmeister, "System Emulation and Digital Twins in Aerospace Applications."
- [8] D. Piromalis and A. Kantaros, "Digital Twins in the Automotive Industry: The Road toward Physical-Digital Convergence," *Applied System Innovation*, vol. 5, no. 4. MDPI, Aug. 01, 2022. doi: 10.3390/asi5040065.



- [9] P. Armeni, I. Polat, L. M. De Rossi, L. Diaferia, S. Meregalli, and A. Gatti, "Digital Twins in Healthcare: Is It the Beginning of a New Era of Evidence-Based Medicine? A Critical Review," *Journal of Personalized Medicine*, vol. 12, no. 8. MDPI, Aug. 01, 2022. doi: 10.3390/jpm12081255.
- [10] I. Onaji, D. Tiwari, P. Soulatiantork, B. Song, and A. Tiwari, "Digital twin in manufacturing: conceptual framework and case studies," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 35, no. 8. Taylor and Francis Ltd., pp. 831–858, 2022. doi: 10.1080/0951192X.2022.2027014.
- [11] M. Liu, S. Fang, H. Dong, and C. Xu, "Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications," *J Manuf Syst*, vol. 58, pp. 346–361, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
- [12] D. Jones, C. Snider, A. Nassehi, J. Yon, and B. Hicks, "Characterising the Digital Twin: A systematic literature review," *CIRP J Manuf Sci Technol*, vol. 29, pp. 36–52, May 2020, doi: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
- [13] E. Bottani, G. Vignali, and G. P. C. Tancredi, *A digital twin model of a pasteurization system for food beverages: tools and architecture*. 2020.
- [14] N. K. Akmal and M. N. Dasaprawira, "RANCANG BANGUN APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE (API) MENGGUNAKAN GAYA ARSITEKTUR GRAPHQL UNTUK PEMBUATAN SISTEM INFORMASI PENDATAAN ANGGOTA UNIT KEGIATAN MAHASISWA (UKM) STUDI KASUS UKM STARLABS," *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 5, 2022, [Online]. Available: <http://www.jurnal.umk.ac.id/sitech>
- [15] I. A. Kaniya *et al.*, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI RESTFUL API PADA SISTEM INFORMASI MANAJEMEN DOSEN UNIVERSITAS UDAYANA," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 9, no. 3, p. 15, 2022.
- [16] P. Studi Manajemen Informatika Politeknik Palcomtech, J. Basuki Rahmat No, and B. Palembang, "RANCANG BANGUN APLIKASI SUMSEL MUSEUM BERBASIS MOBILE MENGGUNAKAN METODE PENGEMBANGAN MULTIMEDIA DEVELOPMENT LIFE CYCLE (MDLC)," *Jurnal Manajemen Informatika*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [17] R. Musdalifa, F. Kurnia, N. Safaat Harahap, and S. dan Teknologi, "Aplikasi Game 'Mengenal Warna dan Bentuk' untuk Anak Usia Dini Berbasis Android," *JUKI : Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 5, 2023.
- [18] P. Sistem *et al.*, "Perancangan Sistem Radar Pendeteksi Objek Menggunakan Sensor Ultrasonik," *JUKI : Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 4, 2022.
- [19] A. Yani *et al.*, "Otomatisasi Suhu Tubuh Menggunakan Sensor Suhu dan Buzzer Berbasis Arduino Uno," *JUKI : Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 3, 2021.

