

Desain *Monitoring* Sistem pada Tungku Pembakaran dengan Pendekatan Multi-level *Digital Twin*

Galih Purnama Taryana

S1 Teknik Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
galihpurnamataryana@
student.telkomuniversity.ac.id

Murman Dwi Prasetyo

S1 Teknik Industri,
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
murmandwi@telkomuniversity.ac.id

Murni Dwi Astuti

S1 Teknik Industri,
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
murnidwiastuti@
telkomuniversity.ac.id

Ayudita Oktafiani

S1 Teknik Industri,
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ayuditaoktafiani@telkomuniversity.ac.id

Endang Budiasih

S1 Teknik Industri,
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
endangbudiasih@telkomuniversity.ac.id

Wiyono

S1 Teknik Industri,
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
wiyono@
telkomuniversity.ac.id

Abstract—*Industry 4.0 discusses concepts related to intelligent systems. There are many concepts related to intelligent systems, one of which is the digital twin concept . Digital twin concept as a data acquisition tool is used to build digital information for a physical system. The company is a producer of murando glazur tiles. in the roof tile production process at the company, there are defective roof tiles produced by the company, namely white stone defects and cracked roof tiles. Cracked roof tiles are caused by inappropriate temperatures during the firing process. With a temperature monitoring system in the roof tiles furnace, combustion temperatures can be monitored in real time. Monitoring system design using a multi-level approach can describe in detail the architecture of the monitoring system based on the digital twin concept. The website is designed using the Human Centered Design method so can produce a website user interface that is in line with the goals and needs of the user. The monitoring system can provide real-time information on the temperature of the roof tiled anywhere with a design that suits the user's needs.*

Keywords— *intelligent systems, monitoring system, digital twin, multi-level approach*

I. PENDAHULUAN

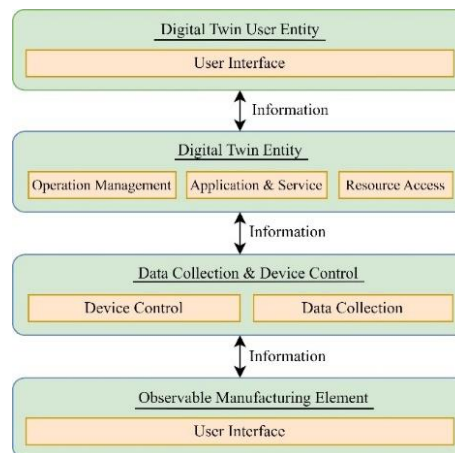
Sebelum era Industri 4.0, aset fisik seperti mesin pada proses produksi dikendalikan secara langsung oleh manusia. Namun demikian, sulitnya untuk mencapai efisiensi yang tinggi menyebabkan munculnya teknologi seperti komputer, internet, dan jaringan wireless [1]. *Monitoring* sistem melalui internet dengan menghubungkan antara dunia maya dan dunia nyata suatu sistem manufaktur merupakan suatu tantangan. Dengan Industri 4.0 yang mana membahas mengenai sistem produksi yang cerdas dapat meningkatkan efisiensi. Banyak konsep terkait dengan sistem produksi yang cerdas salah satunya konsep *digital twin* [2]. *Digital twin* merupakan konsep membangun informasi digital suatu sistem fisik [3]. Konsep *digital twin* digunakan sebagai alat akuisisi data yang dapat mendukung keselarasan antara sistem produksi fisik dengan sistem produksi digital [4]. Dengan konsep *digital twin* data pada proses produksi dapat di evaluasi dengan melakukan *monitoring* yang sesuai dengan kondisi nyata sehingga dapat meningkatkan performansi mesin [2]. Konsep *digital twin* diterapkan untuk melakukan *monitoring* suhu pada tungku pembakaran genteng tanah liat. tungku pembakaran

digunakan sebagai alat pembakaran genteng untuk mengurangi kadar air yang tersisa pada tanah liat. suhu pada proses pembakaran genteng kurang lebih mencapai 900°C [5].

Tempat observasi merupakan perusahaan produsen genteng murando glazur. Genteng merupakan salah satu struktur bangunan yang berada pada bagian atas bangunan berfungsi sebagai pelindung dari sebuah bangunan. Genteng terbuat dari campuran tanah liat dan pasir [17]. Proses produksi genteng diawali dengan proses penggilangan bahan baku mentah, pemotongan bahan baku, pencetakan, penyimpanan, penjemuran, pembakaran pertama, proses inspeksi, proses pengecatan, proses pembakaran kedua, dan proses pengemasan genteng. Klasifikasi genteng terdiri dari genteng bagus, genteng batu putih, dan genteng retak [16]. Pada proses produksi genteng terdapat genteng cacat yang dihasilkan yaitu genteng cacat retak dan genteng cacat batu putih. Genteng cacat retak dan genteng cacat batu putih dihasilkan setelah proses pembakaran. Bahan baku genteng yang tercampur batu putih sebelum proses pembakaran sekecil apa pun akan pecah ketika genteng dibakar pada proses pembakaran sehingga menimbulkan bekas lubang pada genteng. Selain itu, kurangnya *monitoring* temperatur suhu saat pembakaran genteng dapat menyebabkan cacat retak pada genteng [6]. Dengan pembuatan desain *monitoring* sistem tungku pembakaran genteng, suhu pembakaran dapat dimonitor secara *realtime* dimanapun sehingga dapat mengurangi genteng cacat akibat retak.

II. METODE PENELITIAN

Menurut *International Organization for Standardization* (ISO) terdapat referensi kerangka model *digital twin*. Model *digital twin* tersebut terbagi menjadi empat yaitu, *digital twin user entity*, *digital twin entity*, *data collection and device control*, dan *observable manufacturing element*. Empat elemen tersebut digambarkan pada kerangka di bawah ini.

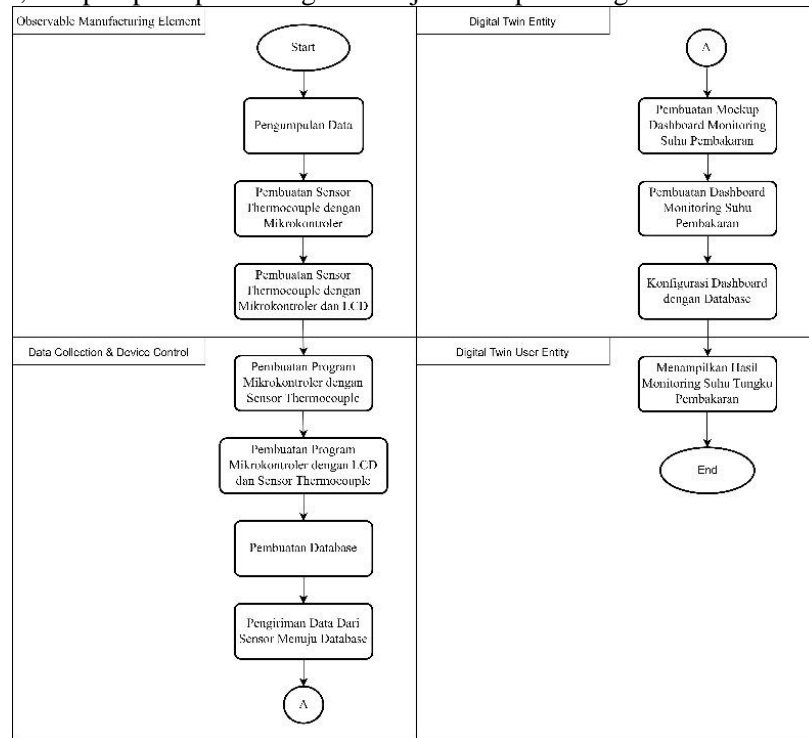


Gambar 1. Kerangka model *digital twin* ISO. Gambar dari [7].

Digital twin user entity yaitu komponen yang akan ditampilkan antara *digital twin* dan sistem manufaktur. *Digital twin entity* yaitu seluruh manajemen operasi, layanan dan aplikasi serta akses sumber daya. *Digital twin entity* merupakan inti dari pembentukan model dan simulasi. *Data collection and device control* yaitu sistem manufaktur yang terkoneksi untuk mengumpulkan data dari peralatan yang ada pada rantai produksi. *Observable manufacturing element* terdiri dari komponen fisik yang ada di perusahaan [7].

Terdapat bagian utama pada kerangka *digital twin* diantaranya *physical entity platform* yang merupakan entitas fisik atau komponen yang ada di dunia nyata. *Virtual entity platform* merupakan kumpulan informasi yang mencerminkan atau representasi dari entitas fisik. *Data management platform* berkaitan dengan data akuisisi dan manajemen pengumpulan data. Dan terakhir yaitu *Service Platform* yaitu aplikasi atau layanan untuk

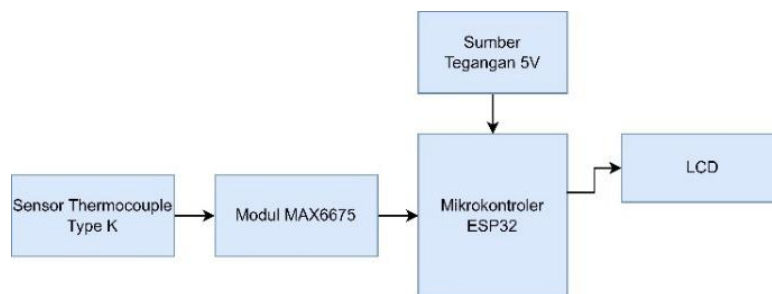
mengoptimasi dan mencapai tujuan dari *digital twin* [8]. Berdasarkan kerangka *digital twin* tersebut, tahapan pada perancangan ini dijelaskan pada diagram berikut.



Gambar 2. Tahapan perancangan

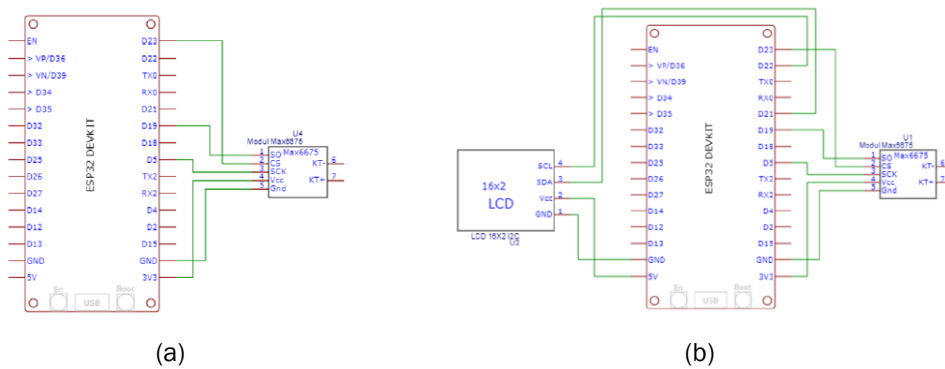
A. Observable Manufacturing Element

Pada bagian ini dilakukan pengumpulan data diantaranya kondisi tungku pembakaran, tata letak tungku pembakaran, peralatan dan fasilitas yang ada pada tungku pembakaran, tahapan proses pembakaran genting, dan penentuan peletakan sensor *thermocouple* pada tungku pembakaran. Selanjutnya pembuatan sensor tungku pembakaran menggunakan sensor *thermocouple type K* yang dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 dengan bantuan modul MAX6675. Mikrokontroler merupakan *mikroprocessor* yang memiliki tambahan *part* yang dapat mengendalikan *device external* [9]. Kemudian mikrokontroler yang telah terhubung dengan *thermocouple type K* dihubungkan dengan LCD untuk menampilkan suhu pembakaran di dekat tungku pembakaran. Berikut merupakan tampilan blok diagram dari perancangan desain *monitoring* tungku pembakaran.



Gambar 3. Blok diagram perancangan

Berdasarkan blok diagram tersebut, melakukan koneksi perkabelan setiap komponen pada blok diagram tersebut. Berikut merupakan koneksi perkabelan dari blok diagram tersebut.



Gambar 4. Koneksi perkabelan: (a) Mikrokontroler dengan modul MAX6675 (a); (b) Mikrokontroler dengan modul MAX6675.

Mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP32 DEV KIT dihubungkan dengan modul MAX6675 melalui SCK, SO, dan CS [10] untuk pengiriman data suhu dan VCC serta GND untuk mengalirkan tegangan menuju modul. Tegangan yang digunakan pada modul ini yaitu tegangan 3V. Sensor *thermocouple* dihubungkan melalui *port* KT- dan KT+. LCD dihubungkan pada mikrokontroler dengan menggunakan koneksi I2C. Koneksi I2C mengirimkan data melalui *port* SDA dan SCL [11]. Tegangan yang digunakan oleh LCD yaitu tegangan 5V.

B. Data collection and device control

Sensor *thermocouple* dan LCD yang telah terhubung dengan mikrokontroler dikendalikan oleh mikrokontroler yang telah diprogram. Program mikrokontroler menggunakan bantuan *software* arduino ide. Tahap awal pemrograman yaitu dengan menginstal *library* yaitu LiquidCristal_I2C, max6675, dan Wire [12] [13]. Selanjutnya pendefinisian *port* yang digunakan pada mikrokontroler, melakukan setup awal LCD, melakukan pembacaan suhu yang dikirim ke serial monitor arduino ide, dan menampilkan suhu pada LCD.

Untuk pengumpulan data pembacaan suhu dilakukan dengan menggunakan database mysql. Data yang dikumpulkan yaitu nomor urut data, data suhu dalam celcius, data suhu dalam fahrenheit, dan waktu pengambilan data. Data tersebut dikumpulkan dalam bentuk tabel. Data dikirim oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan internet. Program untuk pengiriman data suhu ke database diawali dengan *install library* yaitu *WiFi* dan *HTTPClient*. Selanjutnya melakukan konfigurasi *WiFi* dan nama server yang digunakan, melakukan koneksi mikrokontroler dengan internet melalui *WiFi*, melakukan pemeriksaan koneksi mikrokontroler dengan server, mengirimkan data suhu ke *database* dengan menggunakan *HTTP* Post, dan menerima data sensor yang telah dikirim oleh mikrokontroler.

C. Digital twin entity

Tahap ini melakukan pembuatan *dashboard* sebagai aplikasi untuk menampilkan hasil suhu tungku pembakaran. Aplikasi ini dalam berbasiskan website yang menampilkan informasi yang ada pada *database* yaitu nomor urut data, suhu dalam celcius, suhu dalam fahrenheit, dan waktu pengambilan data. pembuatan *dashboard* diawali dengan pembuatan *mockup* website, selanjutnya melakukan pemrograman website menggunakan html, dan menghubungkan website dengan *database* sehingga dapat menampilkan data yang ada pada *database* secara *realtime* dari data yang dikirim oleh mikrokontroler.

D. Digital twin user entity

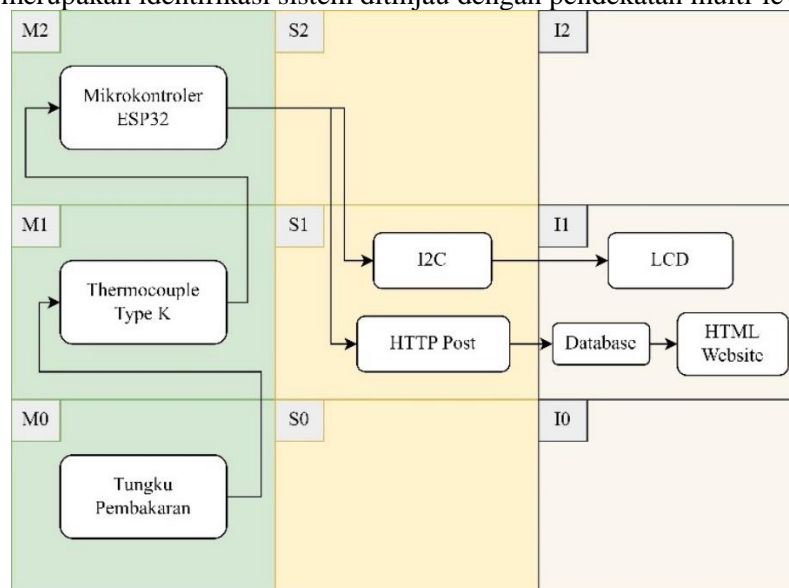
Pada tahap ini informasi yang akan ditampilkan yaitu informasi proses pembakaran yaitu suhu tungku pembakaran dengan menampilkan suhu pada aplikasi yaitu dalam

bentuk website. Desain tampilan website dibuat dengan menggunakan metode *Human Centered Design*. *Human Centered Design* atau HCD merupakan model baru dalam mengembangkan sistem berbasis web. Tujuan dari penggunaan metode HCD yaitu untuk mendapatkan desain yang sesuai dengan tujuannya. Desain *interface* berfokus pada tujuan kegunaan, lingkungan, karakteristik pengguna, alur kerja, dan tugas. Tahapan pembuatan desain *user interface* menggunakan metode *Human Centered Design* diawali dengan memahami konteks pengguna, memahami kebutuhan pengguna, memproduksi solusi desain yang sesuai dengan kebutuhan pengguna, mengevaluasi solusi desain *user interface* [14].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model *digital twin monitoring tungku pembakaran*

Model *digital twin* pada desain *monitoring* sistem tungku pembakaran dengan menggunakan pendekatan multi-level *digital twin*. Pendekatan multi-level merupakan suatu konsep *digital twin* yang berdasarkan standar ISA95. Standar ISA95 terdiri dari *Enterprise Resource Planning* (ERP) dan *Manufacturing Execution System* (MES) yang termasuk level *cyber* atau dunia maya. Level 0 merupakan proses produksi dan level 1 merupakan *manipulation and sensing* atau penginderaan yang termasuk level fisik atau dunia nyata. Dan level 2 yaitu pemantauan dan pengendalian yang merupakan transisi antara dunia nyata dan dunia maya. Pendekatan multi level menggabungkan antara konsep *onion architecture* dan konsep *cyber physical system* berdasarkan standar ISA95 [6]. Konsep *onion architecture* merupakan yang terdiri dari beberapa lapisan seperti bawang. Lapisan terluar terdiri dari *user interface*, pengujian, dan infrastruktur. Infrastruktur yaitu *database*, file, dan *web service* [15]. Gabungan kedua konsep tersebut menghasilkan konsep 9 blok. Konsep 9 blok merupakan terdiri dari model, *signal*, dan *Interface* yang diselaraskan dengan level 0 hingga level 2 yaitu proses produksi, *manipulation and sensing* atau penginderaan, serta pemantauan dan pengendalian [6]. Di bawah ini merupakan identifikasi sistem ditinjau dengan pendekatan multi-level.



Gambar 2. Model *digital twin monitoring tungku pembakaran*

M2 terdiri dari mikrokontroler ESP32 yang digunakan untuk mengendalikan sensor *thermocouple*. *Thermocouple type K* termasuk M1 merupakan sensor yang digunakan untuk membaca suhu pada tungku pembakaran. Tungku pembakaran termasuk M0 dikarenakan merupakan model yang ada dan digunakan langsung di lantai produksi. S2 mengirimkan *signal* pada level sensor. HTTP post digunakan untuk mengirimkan data

sensor menuju *database* dan I2C atau *inter integrated circuit* digunakan untuk mengirimkan data menuju LCD. *Database*, HTML website, dan LCD termasuk ke dalam level I1 dimana data yang ditampilkan merupakan data sensor yang dibaca oleh sensor *thermocouple*.

B. Desain layout *User interface*

Desain *layout* perancangan *user interface* pada tampilan sistem *monitoring* tungku pembakaran menggunakan metode *Human Centered Design*.

1) *Spesifikasi Konteks Pengguna*

Pengguna desain website ini merupakan pemangku kepentingan perusahaan diantaranya pemilik sekaligus penentu kebijakan di perusahaan dan operator tungku pembakaran. Dilakukan wawancara untuk mengetahui permasalahan yang ada di perusahaan dan kebutuhan desain seperti apa yang diharapkan oleh pemangku kepentingan perusahaan. Pada konteks ini, pengguna memiliki permasalahan terkait tidak adanya *monitoring* suhu pembakaran pada tungku pembakaran dan pemangku kepentingan tidak pandai dalam menggunakan aplikasi yang rumit.

2) *Spesifikasi Kebutuhan Pengguna*

Berdasarkan konteks pengguna yang akan menggunakan desain *monitoring* sistem tungku pembakaran untuk melihat suhu pembakaran secara *realtime*. Pengguna membutuhkan desain yang minimalis, mudah digunakan, fokus terhadap informasi dan data sehingga informasi dapat cepat terlihat dan mudah untuk dipahami oleh seluruh pemangku kepentingan dimanapun lokasi pengguna dan menggunakan perangkat elektronik apapun.

3) *Memproduksi Solusi Desain*

Dari kebutuhan yang diharapkan oleh pengguna solusi desain yang dibuat yaitu sebagai berikut.

PT XYZ Production Information System			
Suhu Pembakaran			
id	Celcius	Fahrenheit	Waktu
1	32	90	2023-01-17 16:52:59

[CETAK DATA HASIL SUHU](#)

© 2022 S1 Teknik Industri - Universitas Telkom

Gambar 2. Solusi desain *user interface* website.

Desain tampilan website langsung menampilkan kondisi suhu terkini tungku pembakaran di perusahaan. Desain pada tampilan website dibuat seminimalis mungkin untuk memfokuskan pada data dan informasi. Desain dapat digunakan pada website komputer maupun smartphone dengan hanya memasukkan URL sehingga mempermudah penggunaan.

4) Evaluasi Solusi Desain

Desain website diuji dan dievaluasi langsung oleh pengguna yaitu oleh pemilik perusahaan dan operator tungku pembakaran. Tahapan evaluasi diawali dengan pengguna mencoba memasuki website selanjutnya memberikan pendapat dari website yang telah dilakukan uji coba. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, pengguna merasa puas dengan kemudahan dalam mengakses website dan melihat informasi terkait suhu. Namun terdapat masukan mengenai tampilan pada smartphone pada kondisi potrait tampilan menjadi rapat dan kata pada judul tabel terpisah tetapi informasi tetap dapat terlihat dan dapat dipahami.

IV. KESIMPULAN

Konsep *digital twin* sebagai alat akuisisi data dapat digunakan dalam melakukan *monitoring* suhu pada tungku pembakaran genting. Permasalahan perusahaan mengenai genting cacat diantaranya genting cacat retak dan genting cacat batu putih dapat dikurangi dengan melakukan *monitoring* suhu tungku pembakaran yang dapat dilakukan menggunakan komputer maupun smartphone melalui website. Penggunaan konsep *digital twin* dalam pembuatan model *monitoring* dengan menggunakan pendekatan multi-level *digital twin* menjelaskan arsitektur sistem dengan menggunakan konsep 9 blok sehingga terbagi menjadi level 0 yaitu level produksi, level 1 yaitu *manipulation and sensing* atau penginderaan, dan level 2 yaitu pengendalian dan pemantauan serta terbagi menjadi model, *signal*, dan *interface*.

REFERENCE

- [1] F. Tao, M. Zhang, dan A. Y. C. Nee, *Digital twin driven smart manufacturing*. London [England] ; San Diego, CA: Academic Press, 2019.
- [2] M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseinian-Far, dan H. Jahankhani, Ed., *Digital twin Technologies and Smart Cities*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-18732-3.
- [3] L. F. C. dos S. Durão, E. de S. Zancul, dan K. Schützer, “*Digital twin: a concept in evolution*,” *Product*, vol. 19, no. 1, hlm. e20210001, 2021, doi: 10.4322/pmd.2021.003.
- [4] L. Manca, R. Grugni, dan R. Mirzazadeh, “White Paper - *Digital twin*.” *Engineering*, 2022.
- [5] A. K. Ratri, S. Sriatun, dan A. Darmawan, “Pengaruh Serbuk Kaca dan Variasi Suhu Pembakaran pada Pembuatan Genteng Lempung Sedimentasi Banjir Kanal Timur Kota Semarang terhadap Kuat Tekan serta Daya Serapnya terhadap Air,” *J. Kim. Sains Apl.*, vol. 11, no. 3, hlm. 63–69, Des 2008, doi: 10.14710/jksa.11.3.63-69.
- [6] G. P. Mulia dan J. Rebecca, “Analisis Pengendalian Kualitas Proses Produksi Produk Genteng Palentong Menggunakan Pendekatan Metode Lean Six Sigma Di PG. Mulia Jatiwangi”.
- [7] W. M. Mohammed, R. E. Haber, dan J. L. Martinez Lastra, “Ontology-Driven Guidelines for Architecting *Digital twins* in Factory Automation Applications,” *Machines*, vol. 10, no. 10, hlm. 861, Sep 2022, doi: 10.3390/machines10100861.
- [8] K. Josifovska, E. Yigitbas, dan G. Engels, “Reference Framework for *Digital twins* within Cyber-Physical Systems,” dalam 2019 IEEE/ACM 5th International Workshop on Software Engineering for Smart Cyber-Physical Systems (SEsCPS), Montreal, QC, Canada, Mei 2019, hlm. 25–31. doi: 10.1109/SEsCPS.2019.00012.
- [9] D. Ibrahim, *Microcontroller-based temperature monitoring and control*. Oxford: Newnes, 2002.
- [10] Maxim Integrated Products, “MAX6675 Evaluation Kit,” 19-2345 datasheet, Feb. 2007.

- [11] S. A. Madyaratri, "LCD I2C dengan ESP32 Menggunakan IDE Arduino," 17 February 2020. [Online] Available : . Available: <https://medium.com/@shfamrsya/lcd-i2c-dengan-esp32-menggunakan-ide-arduino-31fd4f2f4e49> (Accessed 14 March 2023).
- [12] Kelvin, " I2C Communication Protocol and How It Works," 14 September 2022. [Online] Available : . Available: <https://www.seeedstudio.com/blog/2022/09/02/i2c-communication-protocol-and-how-it-works/>. [Accessed 14 March 2023].
- [13] R. Santos, "ESP32: K-Type *Thermocouple* with MAX6675 Amplifier." [Online] Available : . Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-k-type-thermocouple-max6675/> (Accessed 14 Maret 2023).
- [14] I. G. P. A. P. Wulantari, N. K. A. Wirdiani, dan P. W. Buana, "Penerapan Metode *Human Centered Design* Dalam Perancangan *User interface* (Studi Kasus: PT.X)," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*, vol. 2, no. 3, 2021.
- [15] J. Palermo, "The Onion Architecture: part 1," 29 Juli 2008. <https://jeffreypalermo.com/2008/07/the-onion-architecture-part-1/> (diakses 14 Maret 2023).
- [16] M. D. Prasetio, M. H. Rifai, dan R. Y. Xavierullah, "Design of Defect Classification on Clay Tiles using Support Vector Machine (SVM)," 2020 6th International Conference on Interactive Digital Media (ICIDM), Bandung, Indonesia. doi: 10.1109/ICIDM51048.2020.9339642.
- [17] M. D. Prasetio, "An Approaching Machine Learning Model: Tile Inspection Case Study," *IJIES*, vol. 4, no. 01, hlm. 12–22, Jan 2020, doi: 10.25124/ijies.v4i01.44.