

Perancangan Aplikasi Terintegrasi Perangkat Internet of Things (IoT) untuk Pencetakan Label Otomatis

Santo Wijaya^{1*}, Hamdani Aris Sudrajat², Rizki Arya³

¹Program Studi Teknik Komputer, Politeknik Meta Industri Cikarang, Indonesia

^{2,3}Program Studi Teknik Industri, Politeknik Meta Industri Cikarang, Indonesia

Email: ¹santo.wijaya@politeknikmeta.ac.id, ²hamdani@politeknikmeta.ac.id, ³arya@politeknikmeta.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Naskah masuk, 6 November 2021

Direvisi, 7 November 2021

Diiterima, 8 November 2021

ABSTRAK

Abstract-Manufacturing companies, especially automotive components, face various challenges, such as changes in customer demand that are increasingly specific, especially in terms of the use of Industry 4.0 technology. There are not many studies that discuss the holistic method approach of implementing Industry 4.0 technology to increase the effectiveness of Lean Manufacturing which is the production method that is generally used. The obstacle is the amount of investment and management doubts. PTTCH confronts Customers with requests for tracking capabilities, data guarantees, and automation of label printing for each part produced. As a solution to these problems, this study discusses the design of an integrated application for IoT devices for automatic label printing. The System Development Life Cycle (SDLC) method was used to ensure the success of the research. Researchers use open-source .NET applications to interface IoT devices with label printers, and store them in a database. The IoT device connects the torque sensor to forward the sensor signal as a trigger for the label print. The results of designing an IoT device integrated application for automatic label printing have been successfully implemented at PTTCH after going through the User Acceptance Test (UAT) stage, where production labels can be printed automatically based on torque sensor signals via IoT devices, and printed manually through the application if abnormal conditions occur on the IoT device.

Kata Kunci:

SDLC,

Aplikasi Terintegrasi,

IoT,

Lean Manufaktur,

Industri 4.0

Abstrak-Perusahaan manufaktur terutama komponen otomotif menghadapi tantangan yang beragam, seperti perubahan permintaan pelanggan yang semakin spesifik terutama dalam hal penggunaan teknologi Industri 4.0. Tidak banyak penelitian yang membahas pendekatan metode holistik implementasi teknologi Industri 4.0 untuk peningkatan efektivitas dari Lean Manufaktur yang menjadi metode produksi yang umumnya digunakan. Hal yang menjadi penghambat adalah besarnya investasi dan keraguan manajemen. PTTCH menghadapi Pelanggan dengan permintaan kemampuan melakukan pelacakan, garansi data, dan otomasi dalam pencetakan label untuk setiap hasil produksi part. Sebagai solusi dari permasalahan tersebut, penelitian ini membahas tentang perancangan aplikasi terintegrasi perangkat IoT untuk pencetakan label otomatis. Metode *System Development Life Cycle* (SDLC) digunakan untuk menjamin keberhasilan penelitian. Peneliti menggunakan aplikasi *open-source* .NET untuk *interface* perangkat IoT dengan printer label, dan penyimpanan ke dalam database. Perangkat IoT menghubungkan sensor torsi untuk meneruskan sinyal sensor sebagai *trigger* print label. Hasil perancangan aplikasi terintegrasi perangkat IoT untuk pencetakan label otomatis berhasil diimplementasikan di PTTCH setelah melalui tahap *User Acceptance Test* (UAT), dimana label produksi dapat dicetak otomatis berdasarkan sinyal sensor torsi melalui perangkat IoT, dan dicetak secara manual melalui aplikasi jika terjadi

kondisi abnormal pada perangkat IoT.

Copyright © 2021 LPPM - STMIK IKMI Cirebon
This is an open access article under the CC-BY license

Penulis Korespondensi:

Santo Wijaya

Program Studi Teknik Komputer,
Politeknik Meta Industri Cikarang
Jl. Inti 1 Blok C1 No 7 Lippo Cikarang, Kabupaten Bekasi, Indonesia
Email: santo.wijaya@politeknikmeta.ac.id

1. Pendahuluan

Saat ini, perusahaan manufaktur terutama produsen komponen otomotif menghadapi tantangan beragam dari sisi kompetisi dengan manufaktur lain, globalisasi, dan ekonomi di tengah kondisi pandemi [1], [2]. Untuk bertahan di tengah kondisi ini, perlunya peningkatan metode Lean Manufaktur yang efektif dan efisien dalam pengelolaan proses produksi dan rantai pasokan. Beberapa penelitian membahas tentang integrasi Industri 4.0 ke dalam Lean Manufaktur membentuk Digital Lean Manufaktur [3], [4], tetapi tidak banyak penelitian yang membahas tentang metode holistik konsep teknologi Industri 4.0 yang menjelaskan potensi untuk peningkatan efektivitas Lean Manufaktur [5]. Penerapan Industri 4.0 di industri juga masih terbatas khususnya untuk skala *Small Medium Enterprise* (SME) karena besarnya investasi dan keraguan dari manajemen [6].

Di tengah tantangan ini, perusahaan manufaktur lokal Indonesia tetap berusaha mengimplementasikan teknik dan metode yang efektif dan efisien untuk integrasi Lean Manufaktur dengan teknologi Industri 4.0 dengan penyesuaian terhadap biaya dan waktu. Beberapa metode Lean Manufaktur, diantaranya PDCA (*Plan, Do, Check, Action*), Pokayoke, dan e-kanban sistem terintegrasi dengan sistem informasi yang dikembangkan berbasis platform aplikasi *open-source* untuk memecahkan permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan [7]–[9].

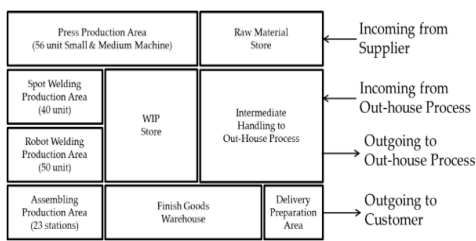
Perkembangan teknologi saat ini, terutama perangkat IoT (*Internet of Things*) membuat harga semakin terjangkau dan konektivitas yang semakin mudah [10]. IoT memungkinkan interaksi mesin dengan mesin (M2M) seperti peralatan sensor dan aktuator, atau komputer dengan protokol komunikasi tertentu [11] untuk meningkatkan level otomasi dan membantu operator dalam bekerja [12] terutama di proses Assembling. Proses Assembling merupakan proses produksi yang menggabungkan dua atau lebih komponen tanpa perubahan substansial dari komponennya [13].

Obyek penelitian kali ini masih dengan mitra industri yang sama seperti di penelitian terdahulu [7]–[9], yaitu PTTCH. Penelitian terdahulu dapat memberikan solusi terhadap permasalahan yang terjadi dengan penerapan Lean Manufaktur yang terintegrasi teknologi Industri 4.0. Kali ini, PTTCH menerima pesanan komponen dari Pelanggan yang mengharuskan penempelan label ke komponen tersebut untuk kebutuhan pelacakan oleh Pelanggan tersebut. Penempelan label terjadi pada proses produksi terakhir, yaitu Assembling. Selain itu, Pelanggan juga menuntut garansi bahwa proses pencetakan label tersimpan di dalam database untuk penyimpanan jangka waktu 10 tahun. Pelanggan juga meminta untuk sistem pencetakan label secara otomatis setelah proses assembling selesai. Untuk memenuhi permintaan tersebut, penelitian ini membahas tentang perancangan aplikasi terintegrasi perangkat IoT untuk pencetakan label otomatis.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Systems Development Life Cycle* (SDLC). SDLC adalah *framework* yang mendefinisikan tugas yang dilakukan pada setiap langkah dalam proses pengembangan sistem. SDLC terdiri dari siklus dengan rencana rinci yang menjelaskan bagaimana proses *planning, analysis, design, implementation*, dan *maintenance* [14] dilakukan. Beberapa penelitian terdahulu terkait desain dan perancangan sistem informasi, *framework*, maupun IoT menggunakan metode SDLC diantaranya [11], [15]–[17].

Terdapat tiga permintaan yang menjadi sasaran dalam tujuan penelitian ini, yaitu: 1. Penempelan label produksi pada *part* hasil produksi Assembling untuk kebutuhan pelacakan; 2. Penyimpanan riwayat produksi di database selama 10 tahun; dan 3. Sistem pencetakan label secara otomatis. Pada tahapan *planning*, peneliti bersama PTTCH mengidentifikasi dan memprioritaskan sekuensial proses di operasional produksi



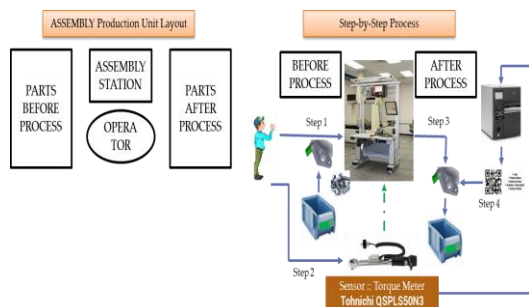
Gambar 1. Layout Proses Produksi PTCH

Assembling yang menghasilkan *cycle time* atau waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu *part* yang optimal serta dapat memenuhi permintaan Pelanggan.

Pada tahapan *analysis* dilakukan perancangan sistem baru terkait proses produksi dari sekuensial proses yang ditetapkan, dan integrasi dengan sistem yang sudah ada terutama untuk sistem IT, komunikasi data, dan otorisasi-nya. Kemudian pada tahapan *design*, peneliti merancang 2 sistem secara paralel, yaitu: sistem IoT terkait konektivitas hardware dengan sensor dan sistem aplikasi print label, dan sistem software aplikasi untuk proses print label dan penyimpanan database.

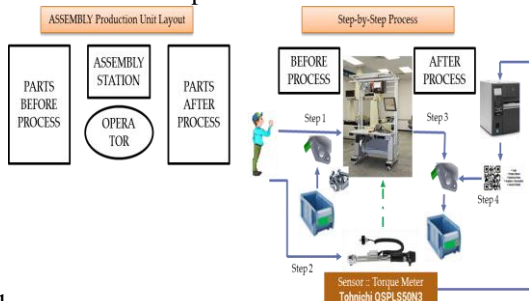
Tahapan *implementation* dilakukan dengan instalasi perangkat IoT di stasiun Assembling yang ditentukan, dan instalasi software aplikasi serta testing konektivitas sehingga print label otomatis dapat dilakukan setelah sistem menerima sinyal masukan dari sensor. Tahapan *maintenance* merupakan tahapan akhir berupa serah terima melalui *User Acceptance Test* ke PTCH dan memastikan sistem sudah berjalan sesuai dengan permintaan.

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 2 Layout Proses dan Sekuensial Produksi Assembling pada Obyek Penelitian

Layout proses produksi di PTCH dapat dilihat pada Gambar

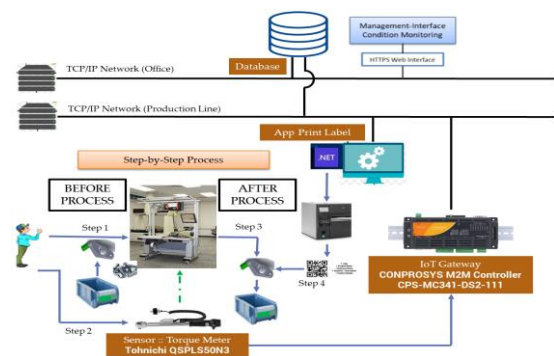


1

. Proses produksi yang dilakukan secara *in-house* adalah Stamping, Welding, dan Assembling. Proses Assembling memiliki 23 stasiun perakitan, dan umumnya masih dilakukan manual oleh

operator produksi. Yang menjadi obyek penelitian ini adalah proses Assembling pedal mobil dengan layout dan sekuensial proses yang diinginkan oleh PTCH dan sesuai permintaan Pelanggan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari hasil *planning* bersama PTCH, maka untuk operasional produksi terdapat total 4 sekuensial proses yang harus dimasukkan ke dalam desain, yaitu

1. Sebelum proses, operator mengambil komponen dan pedal di area “*Parts before Process*”.
2. Saat proses, operator melakukan perakitan menjadi satu komponen pedal dengan mengencangkan baut dengan syarat torsi yang sudah ditentukan.
3. Sesudah proses, operator mengeluarkan pedal dari stasiun assembling, di saat ini, printer melakukan proses cetak label produksi.
4. Operator menempelkan label produksi pada pedal, kemudian dimasukkan ke standar box di area “*Parts after Process*”.



Gambar 3 Analisa Integrasi Sistem Arsitektur dengan Sistem yang Sudah Berjalan

Analisa secara sistem arsitektur dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** Sistem jaringan TCP/IP yang sudah berjalan di PTCH seperti yang sudah dibahas pada penelitian sebelumnya untuk pemasangan sistem pokayoke dengan IoT [7], sehingga untuk sistem aplikasi terintegrasi perangkat IoT pada penelitian ini mengikuti jaringan yang sudah ada. Analisa secara komunikasi data dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sensor torsi (Tohnichi QSPLS50N3) mengeluarkan sinyal *Digital Input* (DI) ketika baut dikencangkan sesuai dengan torsi yang sudah ditentukan.
2. Sinyal DI diterima oleh IoT gateway (Conprosys CPS-MC341-DS2-111) untuk kemudian diteruskan ke jaringan TCP/IP sebagai paket data dengan protokol MODBUS.
3. Aplikasi print label menggunakan *library* MODBUS/TCP dari *easymodbus* [18] untuk koneksi dengan IoT gateway menerima paket data yang dikirimkan.

4. Paket data menjadi *trigger* untuk aplikasi melakukan print label. Ketika sukses print, maka aplikasi menyimpan *log* atau riwayat print ke database di server.

Analisa kebutuhan fungsional level operator untuk software aplikasi print label dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan pada Tabel 2 dibawah ini menampilkan kebutuhan fungsional level leader. Tabel 3 memperlihatkan kebutuhan fungsional untuk Admin IT.

Tabel 1. Kebutuhan Fungsional Level Operator

Kode	Keterangan
SL01	Melakukan <i>login</i> dan <i>logout</i>
SL02	Melihat menu print label
SL03	Melakukan print label secara manual
SL04	Mengaktifkan print label otomatis
SL05	Menonaktifkan print label otomatis
SL06	Melihat menu print ulang label
SL07	Melakukan print ulang label secara manual

Tabel 2. Kebutuhan Fungsional Level Leader

Kode	Keterangan
SL08	Melakukan <i>login</i> dan <i>logout</i>
SL09	Melakukan <i>setting part</i> produksi
SL10	Melihat menu print label
SL11	Melihat menu log/riwayat print label
SL12	Menambah, merubah, menghapus data operator
SL13	Melihat menu dashboard

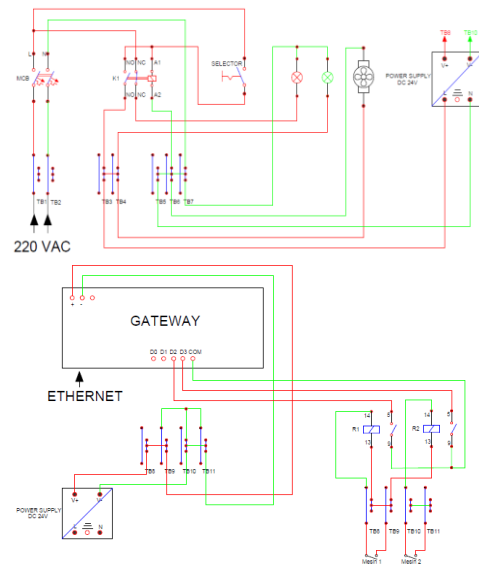
Tabel 3. Kebutuhan Fungsional Admin IT

Kode	Keterangan
SL14	Melakukan <i>setting</i> alamat IP vs mesin produksi vs alamat MODBUS

Analisa kebutuhan non-fungsional yang utama adalah pemilihan IoT *gateway* dengan MODBUS/TCP untuk memastikan kehandalan protokol komunikasi. Protokol MODBUS diperkenalkan oleh Modicon Corp pada tahun 1979 merupakan protokol yang paling umum digunakan di dalam sistem kontrol industri [19]. MODBUS/TCP merupakan protokol MODBUS yang ditumpangkan ke dalam protokol TCP/IP, sehingga memiliki keunggulan seperti *simplicity*, *standard ethernet*, *open*, dan *availability* [20]. Protokol MODBUS/TCP juga termasuk ke dalam *open-source platform* dan *library* untuk konektivitas tersedia di internet [18], [21], [22]. Peneliti menggunakan easymodbus [18], karena menyediakan *library* dan contoh integrasi dengan software .NET untuk aplikasi print label.

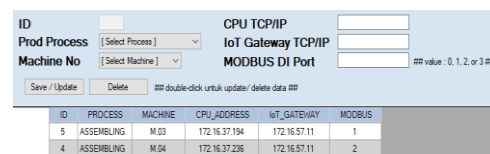
Pada bagian *design*, peneliti merancang sistem sesuai dengan spesifikasi dan hasil analisa kebutuhan sistem yang didapatkan pada tahap *analysis*. Dari sisi *hardware* dan perangkat IoT, Gambar 4 menampilkan *wiring diagram* perangkat IoT pada panel yang berfungsi untuk menghubungkan sensor torsi ke aplikasi print label. Terdapat 2 stasiun Assembling yang akan

terhubung dengan perangkat IoT dan terkoneksi ke input DI3 dan input DI4.



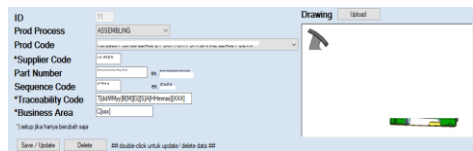
Gambar 4. Wiring Diagram Perangkat IoT

Untuk mengantisipasi penambahan jumlah stasiun Assembling yang akan terkoneksi ke perangkat IoT dan data transaksi melalui MODBUS/TCP, maka peneliti meningkatkan fleksibilitas bagi PTTCH untuk dapat melakukan *setting* nomor mesin vs alamat IP dan alamat MODBUS di dalam aplikasi print label. Gambar 5 memperlihatkan menu setup jaringan mesin (kode SL14) pada aplikasi print label. Dapat terlihat pada contoh pengisian bahwa stasiun Assembling nomor M.03 mempunyai penanda dengan komputer yang mempunyai alamat IP 172.16.37.194 yang terkoneksi dengan perangkat IoT dengan alamat IP 172.16.57.11 dan sensor torsi yang terkoneksi pada alamat MODBUS DI1.



Gambar 5. Rancangan Menu Setting Nomor Mesin vs Alamat IP dan MODBUS

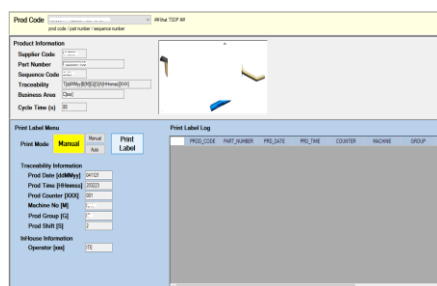
Gambar 6 menampilkan menu *setting part* produksi (kode SL09). Format data seperti yang tertulis di [*traceability code*] akan diisi secara otomatis dengan data aktual pada saat print label. Label akan dilengkapi dengan QR-code yang berisi data [*traceability code*] tersebut. Peneliti menutup beberapa bagian sensitif untuk menjaga kerahasiaan data PTTCH.



Gambar 6. Rancangan Menu Setting Part Produksi

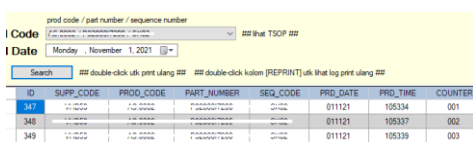
Hasil perancangan menu print label (kode SL02, SL03, SL04, SL05, SL10) seperti yang ditampilkan pada Gambar 7. Tampilan menu print label bagian atas menampilkan informasi terkait *part* yang akan diproduksi supaya tidak salah informasi. Bagian bawah menampilkan informasi terkait informasi [*production date*], [*production time*], [*production counter*], [*machine number*], [*production group*], [*production shift*], dan [*operator name*] yang akan dimasukkan ke dalam [*traceability code*].

Pada bagian print label ini, peneliti membuat dua opsi print label produksi, yaitu print manual dan print otomatis. Untuk print manual, maka operator harus melakukan klik tombol [*Print Label*] untuk cetak label. Sedangkan untuk print otomatis maka koneksi IoT *gateway* akan tersambung, dan cetak label dilakukan otomatis ketika sensor torsi memberikan sinyal input.



Gambar 7. Rancangan Menu Print Label

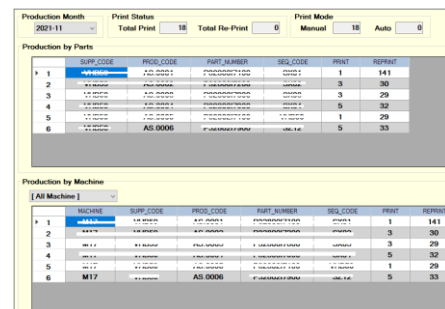
Gambar 8 menampilkan rancangan menu print ulang label (kode SL06, SL07, SL11). Tabel print ulang menampilkan semua riwayat produksi yang dapat dicari berdasarkan [*production code*] dan [*production date*]. Dengan klik dua kali pada baris yang label nya dicetak ulang, maka printer akan mencetak kembali labelnya.



Gambar 8. Rancangan Menu Print Ulang Label

Perancangan menu dashboard (SL13) yang sesuai keinginan tim PTCH ditampilkan pada Gambar 9. Pada dashboard ini dibedakan menjadi 2 rekapitulasi data berdasarkan bulan produksi, yaitu [*production by parts*], dan [*production by machine*]. Menu dashboard ini berfungsi untuk memudahkan *leader* atau *manager* produksi melakukan monitoring dan kontrol.

Di tahap *implementation* dan *maintenance*, tim melakukan fabrikasi panel listrik sesuai *wiring diagram* yang telah dibuat dan dapat dilihat pada Gambar 10. Setelah fabrikasi panel listrik, maka tahap selanjutnya adalah instalasi panel dan juga printer di stasiun Assembling dimana hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Setelah instalasi selesai, maka tim peneliti melakukan testing untuk beberapa parameter penting di dalam sistem aplikasi terintegrasi perangkat IoT untuk print label otomatis seperti yang ditampilkan.



Gambar 9. Rancangan Menu Dashboard

Parameter pengetesan untuk hardware IoT meliputi testing sinyal sensor torsi sampai ke perangkat IoT *gateway*, testing sinyal dari perangkat IoT sampai ke aplikasi print label. Parameter pengetesan untuk software meliputi print label manual, print label otomatis berdasarkan sinyal IoT *gateway*, dan print ulang label. Parameter *User Acceptance Test* (UAT) ada dua, yaitu pencetakan label produksi secara otomatis melalui sinyal sensor torsi yg diteruskan dari perangkat IoT, dan pencetakan label produksi secara manual di aplikasi .NET jika terjadi kondisi abnormal pada perangkat IoT.



Gambar 10. Panel Listrik dan Perangkat IoT



Gambar 11. Instalasi Panel Perangkat IoT

4. Kesimpulan

Perusahaan manufaktur terutama komponen otomotif menghadapi tantangan dimana solusi dengan teknologi merupakan hal yang tidak dapat dihindari lagi. Dalam penelitian ini, terdapat permintaan Pelanggan terhadap kemampuan melakukan pelacakan, garansi data, dan otomasi pencetakan label produksi yang harus dilakukan untuk setiap hasil produksi *part* oleh PTTCH. Peneliti memanfaatkan aplikasi berbasis *open-source platform* yang terintegrasi perangkat IoT untuk menjadi solusi permasalahan yang inovatif dengan teknologi Industri 4.0 yang berbiaya rendah bagi PTTCH.

Untuk penelitian selanjutnya dapat mengembangkan *data analytic* terkait data produksi yang didapatkan seperti perhitungan *Production Performance*, atau dapat dikembangkan ke mesin-mesin produksi lainnya untuk meningkatkan level otomasi yang saat ini masih bergantung dengan operator.

Ucapan Terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada tim LPPM Politeknik Meta Industri Cikarang yang telah membantu selama proses pelaksanaan penelitian hibah industri ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. M. Saad, C. Bhowar, R. Bahadori, and Z. Hongwei, "Industry 4.0 Application in Lean Manufacturing- A Systematic Review," in *Advances in Manufacturing Technology XXXIV*, IOS Press, 2021, pp. 341–346.
- [2] M. Sony, "Production & Manufacturing Research Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions," *Prod. Manuf. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 416–432, 2018.
- [3] S. Laaper and B. Kiefer, "Digital Lean Manufacturing." <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-lean-manufacturing.html> (accessed Oct. 17, 2021).
- [4] S.-V. Buer, J. O. Strandhagen, and F. T. S. Chan, "The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, no. 8, pp. 2924–2940, 2018.
- [5] P. Peças, J. Encarnação, M. Gambôa, M. Sampayo, and D. Jorge, "Pdca 4.0: A new conceptual approach for continuous improvement in the industry 4.0 paradigm," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 16, 2021.
- [6] A. Sanders, C. Elangeswaran, and J. Wulfsberg, "Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 3, pp. 811–833, 2016.
- [7] S. Wijaya, S. Hariyadi, F. Debora, and G. Supriadi, "Design and implementation of poka-yoke system in stationary spot-welding production line utilizing internet-of-things platform," *J. ICT Res. Appl.*, vol. 14, no. 1, pp. 34–50, Jul. 2020, doi: 10.5614/itbj.ict.res.appl.2020.14.1.3.
- [8] S. Wijaya, G. Supriadi, F. Debora, and P. Y. D. Arliyanto, "Inhouse Quality Check System Improvement with Kanban System and Analysis Quality Control Circle," *Oper. Excell.*, vol. 13, no. 1, pp. 22–35, 2021, doi: 10.22441/oe.2021.v13.i1.003.
- [9] S. Wijaya, F. Debora, G. Supriadi, and I. Ramadhan, "A Framework of e-Kanban System for Indonesia Automotive Mixed-Model Production Line," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 8, no. 6, pp. 2109–2117, 2019.
- [10] D. D. Koo, J. J. Lee, A. Sebastiani, and J. Kim, "An Internet-of-Things (IoT) System Development and Implementation for Bathroom Safety Enhancement," *Procedia Eng.*, vol. 145, pp. 396–403, Jan. 2016.
- [11] K. U. Ariawan, "Penerapan IoT untuk Sistem Kendali Jarak Jauh Peralatan Listrik Rumah Tangga Berbasis Raspberry PI," *J. Nas. Pendidik. Tek. Inform.*, vol. 9, no. 3, p. 292, 2020.
- [12] Å. Fasth, J. Stahre, and K. Dencker, "Measuring and analysing Levels of Automation in an assembly system," in *The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2008, pp. 169–172.
- [13] "Assembly process - Definition and more | THE-DEFINITION.COM." <https://the-definition.com/term/assembly-process> (accessed Oct. 31, 2021).
- [14] D. L. Rhodes, "The Systems Development Life Cycle (SDLC) as a Standard: Beyond the Documentation," *SAS Glob. Forum 2012 Plan. Support*, no. 194–2012, pp. 1–5, 2012.
- [15] R. Inggi, B. Sugiantoro, and Y. Prayudi, "Penerapan System Development Life Cycle (SDLC) dalam Mengembangkan Framework Audio Forensik," *SemanTIK*, vol. 4, no. 2, pp. 193–200, 2018.
- [16] D. A. Diartono, Y. Suhari, and A. Supriyanto, "Development of Cyber Cluster E-Commerce Model Based on CMS and MSME Product SEO," *IJCCS (Indonesian J. Comput. Cybern. Syst.)*, 2015.
- [17] M. Dani Chairudin, N. B. Ginting, and H. Fajri, "Information System for Selection of Production Line for Plastic Item Injection Machine Number A36 Using Priority Scheduling Method," *INTENSIF*, vol. 4, no. 2, pp. 232–246, 2020.
- [18] "EasymodbusTCP Modbus Library for .NET/Java and Python – Communication library and professional tools for industrial communication." <http://easymodbusTCP.net/en/> (accessed Nov. 01, 2021).
- [19] L. Xuan and L. Yongzhong, "Research and Implementation of Modbus TCP Security Enhancement Protocol," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1213, no. 5, 2019.
- [20] "The Modbus Organization." <https://modbus.org/> (accessed Nov. 01, 2021).
- [21] "libmodbus." <https://libmodbus.org/> (accessed Nov. 01, 2021).
- [22] "MODBUS Protocol Library." https://www.adontec.com/pmodbus_e.htm (accessed Nov. 01, 2021).