

Otomatisasi Perhitungan OEE pada Mesin Filling ILAPAK 50g Menggunakan PLC dan HMI

Dhendy Zaki Ridwan^{*a)}, Helmy Mukti Himawan^{a)}, Aditya Kurniawan^{a)}

(Received 21 Agustus 2024 || Revised 22 September 2024 || Accepted 28 Oktober 2024)

Abstract: This study addressed the limitations in calculating Overall Equipment Effectiveness (OEE) manually, which frequently led to inaccuracies and inefficiencies in industrial processes. The purpose of this research was to design an automated OEE calculation system for the ILAPAK 50g filling machine to improve data accuracy and reduce dependency on manual input. A Design Science Research (DSR) methodology was employed, involving stages of system analysis, design, implementation, and evaluation. The system utilized key components, including an Omron CP2E PLC, proximity sensors, relays, and a Human-Machine Interface (HMI) for real-time data acquisition. The findings indicated that the automated system significantly improved data accuracy, achieving reliable, continuous OEE calculations across different machine shifts. The system successfully replaced manual logbook methods, reducing human estimation errors, and displayed OEE data locally on the HMI, making it accessible for operational decisions. Furthermore, the implemented automation reduced overall downtime, enhanced machine availability, and minimized errors associated with manual record-keeping. This research has practical implications for industries aiming to optimize production efficiency. The automated OEE system demonstrated potential for scalability to other machines in manufacturing settings, highlighting its adaptability and utility in modern industrial environments. Future research could explore integration with cloud-based databases to enhance data storage and accessibility, providing a foundation for advanced predictive maintenance and performance monitoring across multiple machines.

Keywords: OEE Automation, Mesin Filling ILAPAK 50g, PLC Omron CP2E, Proximity, HMI, Automatic OEE Calculation.

1. Pendahuluan

Dunia manufaktur merupakan salah satu pilar penting dalam pertumbuhan ekonomi suatu Negara. Perkembangan teknologi industri menciptakan tantangan bagi dunia manufaktur, sehingga mendorong semua perusahaan manufaktur bergerak menuju sistem yang lebih cepat beradaptasi dengan perubahan yang terjadi dalam masyarakat. Secara umum sistem manufaktur ini terbagi menjadi dua yaitu *agile manufacturing system* dan *lean manufacturing system* [1]. Tujuan dari kedua sistem ini adalah untuk menjadikan proses produksi menjadi lebih efektif dan efisien sehingga akan mengurangi biaya produksi. *Total Productive Maintenance* (TPM) merupakan konsep yang dikenalkan pada tahun 1971 untuk mengidentifikasi *six big losses* yang ada pada mesin produksi. *Six big losses* ini dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu *downtime losses*, *speed losses* dan *defect losses* [2]. Dengan cara mengidentifikasi tiga kategori jenis *losses* yang terjadi pada mesin produksi, maka permasalahan yang menyebabkan proses produksi kurang efisien akan terlihat. Setelah mengelompokkan masalah yang terjadi pada mesin produksi, maka dapat diukur dan dijelaskan dengan menggunakan rumus efektifitas yang lebih dikenal dengan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) [3], [4].

OEE merupakan tool kuantitatif untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi *losses* yang dikategorikan dalam *six big losses* untuk meningkatkan produktivitas mesin produksi [5], [6]. Tiga kategori yang sudah dikelompokkan di *six big losses* dalam matriks OEE menjadi *Availability* (A), *Performance* (P), dan *Quality* (Q) [7]. *Availability* (A) dapat didefinisikan sebagai waktu aktual yang digunakan untuk memproduksi barang, kategori dalam *six big losses* berhubungan dengan *downtime losses*. *Performance* (P) adalah aktual produk yang sudah diproduksi dalam satuan waktu, kategorinya berhubungan dengan *speed losses* sedangkan *Quality* (Q) adalah perbandingan antara *product* yang *non defect* dengan *total product* yang sudah dihasilkan, hal ini berhubungan dengan kategori *defect losses* [8], [9]. Gambar 1 merupakan ilustrasi definisi dan formula OEE dari ketiga komponennya.



GAMBAR 1.1 DEFINISI DAN FORMULA PERHITUNGAN OEE

$$\text{Availability (A)} = \frac{\text{Operation Time}}{\text{Available Time}}$$

$$\text{Performance (P)} = \frac{\text{Net Operation Time}}{\text{Operation Time}}$$

$$\text{Quality (Q)} = \frac{\text{Valuable Operation Time}}{\text{Net Operation Time}}$$

$$\text{OEE} = A * P * Q \quad (1)$$

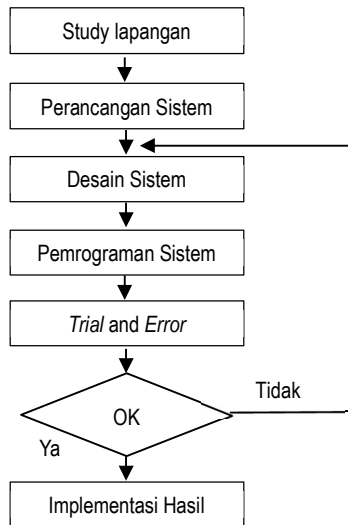
PT. Sasa Inti merupakan pabrik yang memproduksi monosodium glutamate atau disingkat MSG. Salah satu proses penting dalam operasionalnya adalah proses *filling*, yaitu proses memasukkan produk akhir ke dalam wadah yang sudah disiapkan, proses ini terjadi pada mesin Filling ILAPAK 50g. Untuk mengetahui komponen produktivitas mesin filling yaitu *availability*, *performance* dan *quality*, metode perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) diaplikasikan secara menyeluruh. Namun, dalam praktiknya, akuisisi data di mesin ini masih dilakukan secara manual, salah satunya yaitu proses pencatatan *downtime* mesin dilakukan oleh operator dengan *input data downtime* secara manual menggunakan *form* atau *logbook* [10]. Pencatatan manual ini rentan terhadap *human error*, karena waktu yang dicatat

*Korespondensi: dhendy@akabi.ac.id
Akademi Teknik Alat Berat Indonesia

didasarkan pada estimasi operator, bukan data real-time [11][12], [13]. Akibatnya, data yang dikumpulkan seringkali tidak akurat, dan berdampak pada perhitungan nilai OEE mesin Filling ILAPAK 50g dengan tingkat kesalahan yang cukup tinggi. Kesalahan ini tidak hanya memengaruhi perhitungan *availability*, *performance*, dan *quality* sebagai tiga komponen utama OEE, tetapi juga berdampak signifikan terhadap pengambilan keputusan terkait pemeliharaan mesin dan pengelolaan *downtime*. *Downtime* yang tidak ditangani dengan baik dapat menurunkan efisiensi operasional. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini merancang sistem akuisisi data otomatis yang terintegrasi menggunakan PLC Omron CP2E, sensor proximity, relay, dan HMI, sehingga proses pencatatan *downtime* dan parameter OEE lainnya dapat dilakukan secara real-time dan lebih akurat. Teknologi ini merepresentasikan kemajuan dalam otomasi industri dan pengolahan data real-time untuk mengatasi keterbatasan sistem manual [14], [15], [16]. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem perhitungan OEE otomatis pada mesin Filling ILAPAK 50g di PT. Sasa Inti, dengan harapan dapat mengurangi kesalahan pencatatan manual, meningkatkan akurasi data, serta meningkatkan efisiensi operasional pabrik secara keseluruhan.

2. Metode Penelitian

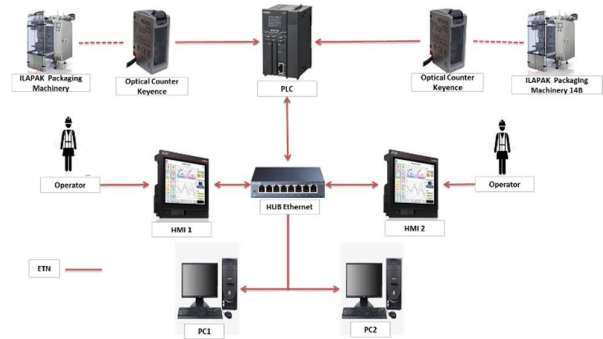
Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah *Design Science Research* yang memiliki beberapa tahapan yaitu: identifikasi masalah dan objek, desain sistem, demonstrasi serta evaluasi [17]. Proses rancang bangun pada penelitian ini bersifat bertahap untuk dapat dikembangkan kembali. Langkah yang digunakan pada penelitian ini mulai dari studi lapangan untuk mempelajari komponen dari perhitungan OEE, perancangan dan desain sistem, pemrograman sistem implementasi untuk demonstrasi *trial dan error* pada mesin *Filling* ILAPAK 50g. Alur penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



GAMBAR 2.1 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan studi lapangan, yaitu mengamati langsung bagaimana mesin Filling ILAPAK 50g bekerja di PT. Sasa Inti, terutama terkait pencatatan *downtime* mesin yang masih dilakukan secara manual, serta informasi teknis perhitungan OEE

pada mesin dan kendala apa saja yang sering terjadi. Setelah itu, masuk ke tahap perancangan sistem yang menggunakan beberapa perangkat utama seperti PLC Omron CP2E, sensor proximity, relay, dan HMI. Selanjutnya, mengumpulkan semua komponen yang dibutuhkan untuk menghitung OEE [18] (*availability*, *performance*, *quality*) dengan tujuan untuk diproses secara otomatis. Berikutnya gambar 3 merupakan desain sistem yang memuat skema koneksi antara mesin, sensor, PLC, dan HMI. Koneksi antara PLC dan HMI menggunakan protokol Ethernet yang memiliki keunggulan jarak komunikasi yang cukup jauh sampai 100 meter dibandingkan USB yang hanya memiliki jarak sekitar 5 meter. Ethernet dipilih karena jarak antara mesin dan *control room* cukup jauh melebihi 5 meter.



GAMBAR 2.2 DESAIN KONEKSI SISTEM

Selanjutnya, program di PLC juga dibuat untuk menghitung parameter OEE secara otomatis tanpa memerlukan form perhitungan yang digunakan sebelumnya. Hal yang dilakukan disini adalah mendata form manual yang digunakan sebelumnya. Menurunkan komponen yang ada di dalam *form* untuk dibuat menjadi suatu logika *input output* pemrograman PLC.

OEE PACKING		MALAM		PAGI		SORE	
		SA	EA	SA	EA	SA	EA
I. AVAILABILITY							
A	Gross Available Time	mnt	450	480		510	
B	Planned Down Time	mnt	0	0		39	
C	Total Available Time (A-B)	mnt	450	480		471	
II. DOWNTIME LOSSES							
D	Down time Losses (1+2+3)	mnt	0	0		107	
1	Breakdown		0	0		0	
2	Setup & Adjustment		0	0		20	
3	Minor Stoppages		0	0		87	
E	Operation Time (C-D)	mnt	450	480		364	
F	% Equipment Availability (E/C)	%	100.0	100.0		77.3	
V. PERFORMANCE RATE							
G	Total Part Produced	hov	700	707		601	
H	Ideal Cycle Time	mnt/box	0.60	0.60		0.60	
I	Performance Rate = (HxG)/E		93.3	88.4		99.1	
VI. QUALITY RATES							
J	Defect Parts	hov	0	0		0	
K	Quality Rates : (G-J)/G		100.0	100.0		100.0	
L	Overall Eq. (machine) Effectiveness (F x I x K)		93.3	88.4		76.6	

GAMBAR 2.3 FORM MANUAL PERHITUNGAN OEE

Hasil perhitungan OEE = A * P * Q berbentuk persentase (%), semakin tinggi persentase maka akan semakin efisien, sebagai acuan persentase OEE kelas dunia memiliki nilai minimal sebesar 85% [19], [20]. Input manual yang dilakukan operator mesin *Filling* ILAPAK 50g, antara lain: *Input planned downtime*, *breakdown/downtime*, *total product*, *defect product*[21]. Selanjutnya data yang di input manual melalui form, akan dipindah ke formula OEE pada gambar 2.3. Matriks keseluruhan OEE dapat

dilihat dalam Tabel 2.1

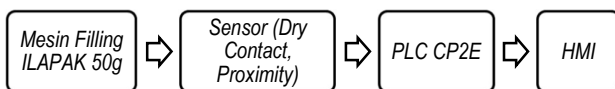
TABEL 2.1 FORMULA DAN KOMPONEN OEE.

OEE Category	Symbol	Component
Availability	A	Gross Time / Total Time
	B	Planned Downtime
	C	Available Time (A – B)
	D	Downtime
	E	Operation Time = (C – D)
	F	Availability = E/C
Performance	G	Total Production (Box)
	H	Ideal cycle Time
	I	Performance Rate = (G * H) / E
Quality Rates	J	Defect Part
	K	Quality Rates =(G – J) / G
	L	OEE (F * I * K)

Berikut penjelasan tentang langkah dalam menghitung OEE seperti pada Tabel 2.1.

- Input Gross time (A)
- Input Planned downtime (B)
- Calculate Available time (C) = Gross time (A) - Planned downtime (B)
- Input All Downtime and minor stop time (D)
- Calculate Operation time (E) = Available time (C)- Downtime (D)
- Availability (F) = Operation time (E) / Available time (C)
- Input total product (G) and Ideal cycle time (H) from theoretical and actual speed
- Performance rate (I) = Total production (G)* Cycle time (H)/ Operation time (E)
- Input Defect part (J)
- Calculate Quality rates (F) = Total production (G)-Defect part (J)/Total production (G)
- Calculate OEE (F * I * K)

Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah sistem akuisisi data secara otomatis untuk membantu perhitungan OEE pada mesin filling ILAPAK 50g, menggunakan bantuan PLC Omron CP2E sebagai pengelola data lokal di mesin [15]. Hasil perhitungan OEE akan ditampilkan melalui HMI (Human Machine Interface) secara lokal yang diletakkan disebelah mesin Filling untuk meningkatkan efisiensinya [19][22]. Desain flowchart sistem secara umum dapat digambarkan pada Gambar 2.4.



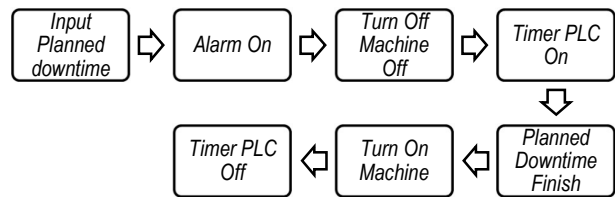
GAMBAR 2.4 FLOWCHART SISTEM

Perancangan sistem selanjutnya adalah membuat daftar Input dan output (I/O) dari matriks OEE sebelumnya. Daftar ini memudahkan dalam proses pemetaan setiap matriks perhitungan OEE dalam aplikasinya. Hasil perancangan I/O sistem OEE mesin Filling ILAPAK 50g pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 2.2

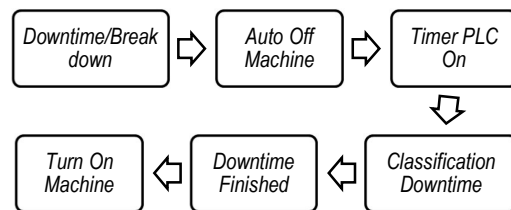
TABEL 2.2 DAFTAR I/O SISTEM

Category	Input	Output
Planned Downtime	Dry Contact + HMI	Data Memory PLC CP2E
Breakdown	Dry Contact	Data Memory PLC CP2E
Total Product	Proximity Sensor	Data Memory PLC CP2E
Defect Product	HMI	Data Memory PLC CP2E

Proses akuisisi data OEE secara otomatis berdasarkan I/O pada Tabel 2.2 Available time = Gross time – Planned Downtime, gross time merupakan waktu disetting secara tetap tiap shift, sedangkan planned downtime merupakan input waktu yang di rencanakan dan di setting untuk mematikan mesin. Planned downtime merupakan waktu yang direncanakan untuk mematikan mesin, apabila waktu sudah sesuai dengan yang di setting maka alarm ON, dry contact dari alarm tidak di setting untuk langsung mematikan mesin, hal ini agar operator mempunyai waktu untuk mengkondisikan mesin sebelum off dengan baik. Jadi dry contact dan HMI digunakan untuk memicu alarm dan timer PLC.



GAMBAR 2.5 PROSES AKUISISI DATA PLANNED DOWNTIME

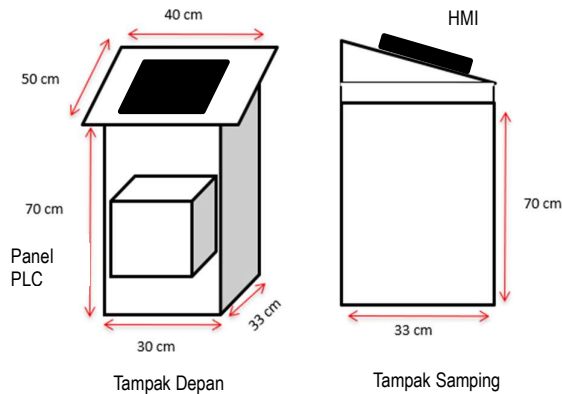


GAMBAR 2.6 PROSES AKUISISI DATA DOWNTIME LOSSES

Downtime merupakan masalah yang muncul secara tiba-tiba ketika proses produksi. Saat downtime terjadi maka internal dry contact akan mematikan mesin secara otomatis. Kemudian operator akan mengklasifikasikan jenis downtime yang terjadi, ketika downtime sudah selesai dan mesin berjalan kembali maka timer PLC akan off, data timer akan disimpan ke data memory PLC untuk diolah ke matriks OEE. Sedangkan untuk Performance berhubungan dengan kecepatan mesin dalam memproduksi barang, input sensor menggunakan proximity kapasitif untuk menghitung total produk. Quality rates perhitungan masih di catat manual di HMI [23] OEE, karena sensor defect produk memiliki harga yang tinggi dan cukup kompleks sehingga pada penelitian ini menggunakan operator untuk memisahkan dan memasukkan jumlah produk defect. Logika tersebut akan dimasukkan ke program PLC menggunakan PLC Omron CP2E [24][25].

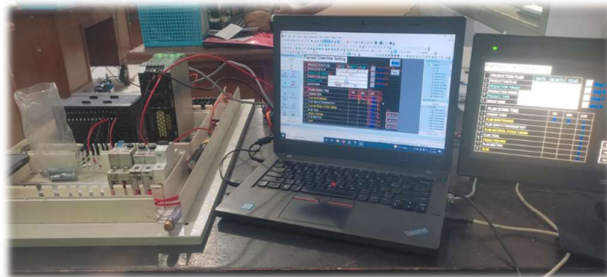
Rancangan berikut merupakan desain panel HMI yang diletakkan di samping mesin Filling ILAPAK 50g, untuk memonitor hasil perhitungan OEE secara lokal. Desain panel HMI ditunjukkan

pada gambar 2.7.



GAMBAR 2.7 DESAIN PANEL HMI

Tampilan HMI dirancang agar mudah digunakan oleh operator untuk melihat hasil perhitungan OEE dan menerima notifikasi tentang downtime. Setelah desain selesai, dilakukan pemrograman sistem untuk memastikan PLC dan HMI bisa bekerja sesuai dengan rencana, termasuk mencatat downtime dan jumlah produk secara akurat dan *real time* [26]. Pada tahap *trial* dan *error*, rancangan sistem diuji dalam simulasi perhitungan menggunakan sinyal *dummy*, hal ini bertujuan agar semua bagian khususnya program PLC bekerja dengan baik. Selain pengujian terhadap perhitungan sistem, dalam tahap *trial* dan *error* juga divalidasi data

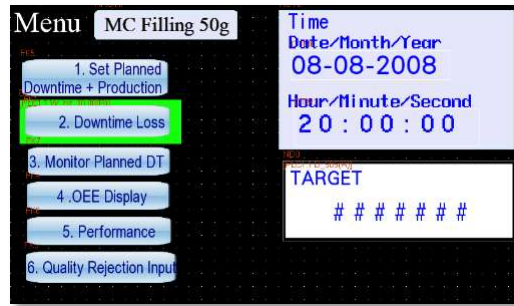


perhitungan dapat ditampilkan di HMI.

GAMBAR 2.8 SIMULASI PERHITUNGAN

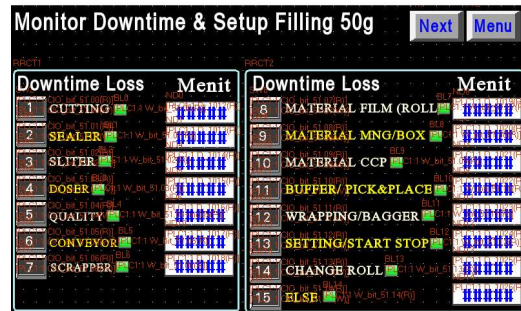
3. Hasil dan Pembahasan

Seluruh perhitungan OEE dilakukan di PLC CP2E dan hasilnya akan ditampilkan melalui HMI NB10W untuk meningkatkan efisiensinya. Setting *port* komunikasi antara PLC dan HMI menggunakan *Ethernet*. Setelah dapat berkomunikasi dilanjutkan dengan desain HMI sesuai dengan yang diinginkan, yang mencakup *availability*, *performance* dan *quality*. Selanjutnya memasukkan *tag address* antara PLC dan HMI untuk memastikan bahwa *data memory*, *timer*, dan *special memory* yang digunakan sudah tepat

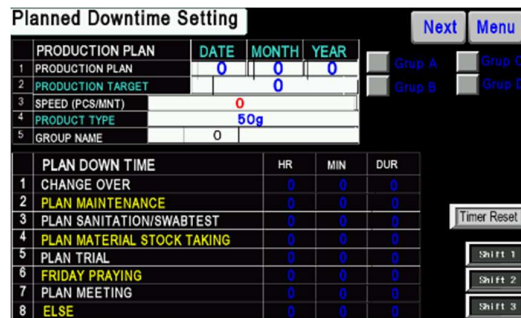


GAMBAR 3.1 MENU AWAL PANEL HMI

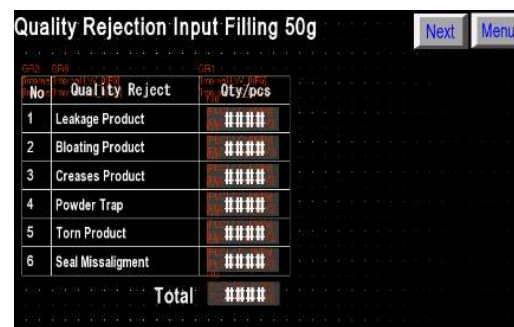
Menu awal HMI merupakan langkah awal operator untuk memasukkan data inisiasi seperti jika ada rencana *meeting* maka waktu mesin mati akan diset pada waktu diadakan *meeting*, data ini dimasukkan dalam *set planned downtime*.



GAMBAR 3.2 DOWNTIME MENU

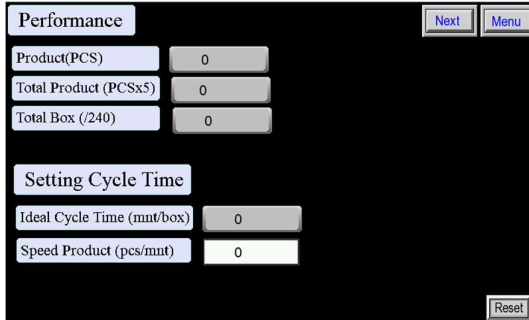


GAMBAR 3.3 PLANNED DOWNTIME MENU



GAMBAR 3.4 QUALITY MENU

Perhitungan produk menggunakan sensor proximity yang *non contact*, menggunakan panjang gelombang tertentu untuk menghitung jumlah produk, peletakan sensor proximity dipasang pada output dari mesin *filling* ILAPAK 50g, sehingga apabila produk output mesin lewat didepan sensor, maka dihitung sebagai produk yang dihasilkan dalam perhitungan OEE



GAMBAR 3.5 PERFORMANCE MENU



GAMBAR 3.6 OEE MONITOR

Setelah desain HMI dan program PLC sudah dibuat, maka keseluruhan desain sistem akan di pasang dan di integrasi satu sama lain. Beberapa komponen diletakkan dalam suatu panel yaitu *power supply 24v*, *PLC CP2E*, *HMI Omron NB10W*, *wiring sensor proximity* dan *relay* sebagai input PLC, *kabel Ethernet* untuk komunikasi antara HMI dan PLC, *Pilot lamp* sebagai indikator serta *circuit breaker* sebagai pengamannya, setelah itu akan didemonstrasikan dan dievaluasi setiap perhitungan OEE yang sudah program. Secara keseluruhan fabrikasi sistem dalam panel ditunjukkan pada Gambar 3.7



GAMBAR 3.7 PEMASANGAN PANEL HMI



GAMBAR 3.8 HASIL PEMASANGAN DALAM PANEL

Hasil sementara otomasi perhitungan OEE menggunakan PLC menunjukkan nilai secara *real time*, perbandingan perhitungan antara otomasi dan secara manual menunjukkan sedikit perbedaan hal ini memungkinkan terjadi karena *input* awal dari *form* adalah estimasi dari operator misalnya untuk waktu *downtime*, tidak benar-benar akurat, karena berdasarkan perkiraan operator. Berikut adalah tabel perbandingan perhitungan menggunakan form dan menggunakan sistem otomasi dalam 1 shift.

TABEL 4.1 PERBANDINGAN MANUAL DAN PLC

Category	Perhitungan Form	Perhitungan PLC
Total Product	607 box	613 box
Breakdown	0 mnt	0 mnt
Defect Product	0 pcs	0 pcs

Dari hasil perhitungan total produk dari mesin, ada sedikit perbedaan, yaitu dalam waktu 1 jam produk yang diproduksi memiliki eror sebesar 0.01 % hal ini dikarenakan karena perhitungan dari sensor proximity kurang akurat karena ada beberapa produk yang dihitung sebanyak 2x serta waktu 1 shift terlalu singkat untuk pengujian karena jadwal produksi yang tidak pada waktunya. Pengujian selanjutnya diharapkan dilakukan untuk 3 shift, dalam waktu 1 minggu untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Untuk kategori lain juga masih belum diuji karena untuk *breakdown* pada shift pengujian tidak terjadi sehingga tidak bisa divalidasi apakah program perhitungan berjalan dengan baik.

4. Kesimpulan

Rancang bangun smart OEE pada mesin *Filling* ILAPAK 50g di PT. Sasa Inti berhasil direalisasikan, proses akuisisi data untuk perhitungan OEE dapat dilakukan secara otomatis, Secara kuantitatif, sistem otomasi ini telah meningkatkan akurasi perhitungan OEE, karena dengan adanya monitoring secara *real time* serta mengurangi keterlibatan operator dalam perhitungan. Program perhitungan berjalan dengan baik, dapat menggantikan *form* manual (*logbook*), demonstrasi perhitungan OEE mesin pada shift 1 sebesar 86%, angka ini tidak dapat dimanipulasi berdasarkan estimasi operator. Sistem otomatis ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi operasional, namun masih terdapat beberapa kelemahan yaitu data OEE masih tersimpan di local server antara HMI dan *data memory* PLC. Jika *data memory* PLC direset, data OEE yang tersimpan akan hilang. Oleh karena itu, langkah selanjutnya yang disarankan adalah mengintegrasikan sistem ini dengan database server untuk menyimpan data secara lebih aman dan permanen.

Referensi

- [1] H. Soltan and S. Mostafa, "Lean and Agile Performance Framework for Manufacturing Enterprises," *Procedia Manuf.*, vol. 2, pp. 476–484, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.PROMFG.2015.07.082.
- [2] M. Suryaprakash, M. Gomathi Prabha, M. Yuvaraja, and R. V. Rishi Revanth, "Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using tpm," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2019, pp. 9348–9353. doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.820.
- [3] A. C. A. Caswito, "Peningkatan Kinerja Mesin Kapal Tunda Dengan Implementasi Total Productive Maintenance (TPM)," *KILAT*, vol. 12, no. 1, pp. 20–29, Apr. 2023, doi: 10.33322/kilat.v12i1.1890.
- [4] R. I. Esmaeel, N. Zakuan, N. M. Jamal, and H. Taherdoost, "Understanding of business performance from the perspective of manufacturing strategies: Fit manufacturing and overall equipment effectiveness," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2018, pp. 998–1006. doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.142.
- [5] Z. Heng, L. Aiping, X. Liyun, and G. Moroni, "Automatic estimate of OEE considering uncertainty," in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2019, pp. 630–635. doi: 10.1016/j.procir.2019.03.167.
- [6] M. A. Azra and K. Dwijayanti, "Total Productive Maintenance Analysis of The Oven Machine Using Overall Equipment Effectiveness Method," *J. Ind. Eng. Halal Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 49–56, 2022, doi: 10.14421/jiehis.3537.
- [7] C. Andersson and M. Bellgran, "On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity," *J. Manuf. Syst.*, vol. 35, pp. 144–154, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.jmsy.2014.12.003.
- [8] L. Van De Ginste, E. H. Aghezzaf, and J. Cottyn, "The role of equipment flexibility in Overall Equipment Effectiveness (OEE)-driven process improvement," in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2022, pp. 289–294. doi: 10.1016/j.procir.2022.04.047.
- [9] D. Alvira, Y. Helianty, and H. Prassetiyo, "USULAN PENINGKATAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) PADA MESIN TAPPING MANUAL DENGAN MEMINIMUMKAN SIX BIG LOSSES *," *J. Online Inst. Teknol. Nas. Juli*, 2015.
- [10] O. Access, "Automation of Sustainable Industrial Machine using PLC," 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1979/1/012049.
- [11] M. A. Pahmi, M. Imtihan, and Wilarso, "Design of simple OEE monitoring dashboard data collection and evaluation tools using visual basic excel," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2706, no. 1, p. 20052, May 2023, doi: 10.1063/5.0120553.
- [12] T. Y. Wang and H. C. Pan, "Improving the OEE and UPH data quality by Automated Data Collection for the semiconductor assembly industry," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 5, pp. 5764–5773, May 2011, doi: 10.1016/J.ESWA.2010.10.056.
- [13] R. Singh, D. B. Shah, A. M. Gohil, and M. H. Shah, "Overall equipment effectiveness (OEE) calculation - Automation through hardware & software development," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2013, pp. 579–584. doi: 10.1016/j.proeng.2013.01.082.
- [14] B. A. Rangga, "RANCANG BANGUN SISTEM AUTOMASI AKUISISI DATA UNTUK PENCATATAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS PADA MESIN SIEBLER CM1/500 BERBASIS IOT DI PT. RST," 2022.
- [15] N. Ismawati, "Perancangan Sistem Otomatisasi Perhitungan Efektifitas Mesin Manufaktur Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) dan Human Machine Interface (HMI)," 2023.
- [16] A. Di and P. T. Phapros, "ANALISIS SISTEM MONITORING MESIN PRODUKSI MENGGUNAKAN HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI) AUTONICS UNTUK MENGHITUNG EFEKTIFITAS MESIN UNIVERSITAS SEMARANG," 2022.
- [17] A. Sidik, M. Wahidin, and A. Elanda, "Perancangan dan Implementasi Sistem Overall Equipment Effectiveness (OEE) in Production Berbasis Web dan Programmable Logic Controller (PLC) menggunakan Sensor Keyence di PT. Penstone Auto Indonesia," *Pros. Semin. Nas. Inov. dan Adopsi Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 216–225, 2022, doi: 10.35969/inotek.v2i1.219.
- [18] Mastang and M. A. Pahmi, "Development of Raspberry Pi applied to Real-Time Monitoring of Overall Equipment Effectiveness (OEE)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1477, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052013.
- [19] M. Rusman, S. M. Parenreng, I. Setiawan, S. Asmal, and I. Wahid, "The Overall Equipment Effectiveness (OEE) analysis in minimizing the Six Big Losses: An effort to green manufacturing in a wood processing company," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 343, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/343/1/012010.
- [20] A. K. Wafa and B. Purwanggono, "Perhitungan OEE (Overall Equipment Effectiveness) pada Mesin Komuri 2 Lithrone S40 dan Heidelberg 4WE dalam Rangka Penerapan Total Productive Maintenance (TPM)," *Ind. Eng. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2017.
- [21] M. Immonen, R. Heikkilä, and T. Makkonen, "Suitability of a three-axis inclinometer to the automated blade control system of excavator," *32nd Int. Symp. Autom. Robot. Constr. Min. Connect. to Futur. Proc.*, p. 12, 2015, doi: 10.22260/isarc2015/0088.
- [22] H. Meddeb, Z. Abdellaoui, O. Ezzine, E. Manar, B. Machine, and H. Machine, "HUMAN MACHINE INTERFACE DESIGN OF INDUSTRIAL AUTOMATED MACHINE USING SIMATIC SCADA SYSTEM," vol. 30, no. 2, pp. 435–450, 2023, doi: 10.23055/ijietap.2023.30.2.8561.
- [23] Cat, "NB-Designer OPERATION MANUAL Programmable Terminals NB3Q-TW NB5Q-TW NB7W-TW NB10W-TW01B NB-series."
- [24] Z. F. Hunusalela, S. Perdana, and R. Usman, "Development of Raspberry Pi applied to Real-Time Monitoring of Overall Equipment Effectiveness (OEE) Development of Raspberry Pi applied to Real-Time Monitoring of Overall Equipment Effectiveness (OEE)", doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052013.