

DESAIN SISTEM HUMAN MACHINE INTERFACE – PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL PADA OTOMASI MINI PLANT PENGENDALI SUHU DAN LEVEL

HUMAN MACHINE INTERFACE – PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL SYSTEM DESIGN IN MINI PLANT AUTOMATION TEMPERATURE AND LEVEL CONTROL

Viktor Vekky Ronald Repi^{1*}, Dimas Sigit Priyatna¹, Asmawi²

¹ Program Studi Teknik Fisika, Universitas Nasional Jakarta

² Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nasional Jakarta

*Email : vekky_repi@civitas.unas.ac.id

ABSTRAK

Untuk mengotomatisasi parameter fisis pada plant, seperti level dan temperatur, dan meminimalkan campur tangan manusia, maka digunakan sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) yang memantau plant. Sementara SCADA digunakan untuk memonitor sistem, PLC (Programmable Logic Controller) juga digunakan untuk penyimpanan internal instruksi untuk fungsi implementasi seperti logika, pengurutan, pewaktuan, pencacahan dan aritmatika melalui modul *input/output*. Pada artikel ini, kami membuat sistem pengontrolan suhu dan level pada *mini plant* dengan menggunakan program SCADA yang diintegrasikan dengan perangkat lunak CX-One. Metode yang digunakan adalah membuat program SCADA dan HMI (*Human Machine Interface*) yang kemudian dihubungkan dengan *mini plant* yang menggunakan PLC OMRON CP1E L20DR-A. Penelitian diawali dengan membuat *ladder* diagram, menguji *ladder* diagram, dan mentransfer *ladder* diagram ke PLC secara langsung. Kemudian alamat-alamat yang digunakan pada *ladder* diagram digunakan untuk pengalamatan objek-objek yang ada di HMI. Selanjutnya pengujian dilakukan terhadap program SCADA dan HMI. Hasilnya pada pengendalian level air 1 – 12 cm diperlukan waktu selama 4,96 – 61 detik. Pengendalian suhu air 30 °C - 70 °C diperlukan waktu 30 – 191,41 detik. Program SCADA ini terbukti dapat mengendalikan sistem *mini plant* yang diintegrasikan dengan PLC OMRON CP1E L20DR-A.

Kata Kunci: SCADA, HMI, CX-One, PLC, *mini plant*, level, temperatur

ABSTRACT

To automate the physical parameters of the plant, such as level and temperature, and minimize human intervention, a SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system is used which integrates the plant. While SCADA is used for monitoring the system, PLC (Programmable Logic Controller) is also used for internal instruction storage for the implementation of functions such as logic, sequencing, timing, counting, and arithmetic via input/output modules. This study aims to create a temperature and level control system in a mini plant using the SCADA program that is integrated with the CX-One software. The method used is to create a SCADA and HMI program which is then connected to a mini plant that uses PLC OMRON CP1E L20DR-A. The study begins by making ladder diagrams, testing ladder diagrams, and transferring ladder diagrams to the PLC directly. Then the addresses used in ladder diagrams are used for addressing objects in the HMI. Furthermore, tests were carried out on the SCADA and HMI programs. The result is that controlling the water level of 1-12 cm takes 4.96 - 61 seconds. Water temperature control 30 °C - 70 °C takes 30 - 191.41 seconds. The SCADA program is proven to be able to control the mini plant system which is integrated with the PLC OMRON CP1E L20DR-A.

Key Words: *SCADA, HMI, CX-One, PLC, level, temperature*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan terbaru dalam teknologi seperti sistem kontrol otomatis menghasilkan kinerja yang lebih maju dan efisien dan sering kali meningkatkan tingkat produksi. Secara konvensional, industri mengandalkan sumber daya manusia untuk mengendalikan, memantau, dan memeriksa berbagai komponen pabrik. Namun, menggantinya dengan sistem komputer sangat mengurangi tingkat kesalahan dan, yang terpenting, mengembangkan tingkat respons. Pengumpulan data dari sensor lapangan, aktuator, dan pengontrol lainnya lebih lancar dan lebih cepat (Rashad et al., 2022).

Sistem kontrol adalah interkoneksi komponen-komponen yang membentuk konfigurasi sistem yang akan memberikan respon sistem yang diinginkan. Karena meningkatnya kompleksitas sistem yang dikendalikan dan kepentingan untuk mencapai kinerja optimal, pentingnya rekayasa sistem kontrol telah berkembang dalam dekade terakhir.

Pengontrol proporsional integral derivatif (pengontrol PID) adalah mekanisme umpan balik kontrol loop kontrol generik yang banyak digunakan dalam sistem kontrol industri. Pengontrol PID mencoba untuk memperbaiki kesalahan antara variabel

proses yang diukur dan setpoint yang diinginkan dengan menghitung dan kemudian mengeluarkan tindakan korektif yang dapat menyesuaikan prosesnya. Meskipun, pengontrol berbasis PID telah berhasil diterapkan dalam teknik kontrol modern dalam dekade terakhir, makalah ini membahas kelayakan penggunaan teknik kontrol lanjutan dari pengontrol logika yang dapat diprogram.

Dalam permesinan, pengemasan, penanganan material, perakitan otomatis, atau aplikasi industri lainnya yang tak terhitung jumlahnya, PLC lebih efisien dengan mempertimbangkan uang dan waktu daripada kontrol lainnya. Efektivitas sistem kontrol yang diusulkan untuk kontrol level cairan tangki air cukup ditunjukkan oleh kesalahan yang sangat rendah dalam pengujian respons diskrit (Haque et al., 2014).

Saat ini banyak industri yang menggunakan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), khususnya pada dunia industri. Sistem SCADA adalah sistem kontrol dan pemantauan berbasis komputer. Karena sistem ini sangat penting untuk proses industri, sehingga sering dijalankan pada perangkat keras yang sangat andal dan berdedikasi (Church et al., 2017).

Otomasi industri pada bidang transportasi, pembangkit dan

penyimpanan energi misalnya, PLC, SCADA dengan menyajikan HMI yang berbeda dari perspektif peralatan otomasi domain aplikasi yang berbeda telah dilakukan (Mei et al., 2017), (Enjalbert et al., 2021), (Priyadharson et al., 2015).

Penggunaan Human Machine Interface (HMI) untuk mengawasi dan mengontrol unit-unit beban yang ada di plant serta dapat mengakusisi data yang terdapat pada plant telah banyak digunakan.

Penggunaan perangkat lunak PLC dan SCADA untuk mempelajari fenomena level air dan operasi kontrol tangki untuk pabrik semi-otomatis. Sensor memainkan peran penting dalam mengidentifikasi posisi ketinggian air di dalam tangki. Seluruh proses dapat diamati dan dikendalikan secara real time dengan sistem SCADA, dan pompa akan hidup secara otomatis setelah mendapatkan instruksi dari sensor jika level air rendah (Chakraborty et al., 2020).

Penerapan SCADA pada penelitian ini dimaksudkan untuk memonitor dan mengontrol mini plant pengendali suhu dan level air. Pada mini plant terdapat sistem pengendalian *relay* atau ON/OFF yang dikendalikan oleh PLC OMRON CP1E.

Objektivitas pada artikel ini adalah melakukan pengembangan kontrol

lanjutan berbasis perangkat lunak-perangkat keras yang kuat di mana linearisasi data input-output diperoleh. Pada *mini plant* yang telah dibuat, memiliki kekurangan yaitu belum dapat dikendalikan jarak jauh dan juga tidak memiliki interface, sehingga perlunya pengendalian secara tidak langsung serta membuat interface supaya parameter fisis yang ada dapat dipantau dengan mudah. Untuk itu perlu adanya monitoring yang sekaligus mengendalikan mini plant tersebut menggunakan HMI dengan harapan mempermudah pengguna dalam melakukan pengontrolan dan monitoring serta memperoleh data secara faktual.

2. TEORI DASAR

2.1 *Programmable Logic Control (PLC)*

PLC adalah peralatan elektronik yang beroperasi secara digital menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan instruksi internal dengan menerapkan fungsi spesifik seperti pengurutan logika, pengaturan waktu, penghitungan dan aritmatika melalui modul *input / output* digital atau analog digunakan untuk mengendalikan sistem (Meher et al., 2019), (Priyadharson et al., 2015). PLC Omron CP1E memiliki memori seperti internal relay, spesial relay, data memori dan komponen lainnya. Pengalamatan pada PLC Omron

menggunakan bilangan heksadesimal, perhitungan di mulai dari 0 sampai F. Pada umumnya PLC Omron untuk alokasi alamat yang berhubungan langsung pada terminal input modul menggunakan awalan 0, sedangkan untuk alokasi alamat yang berhubungan langsung pada terminal *output* modul menggunakan awalan angka 100 (Nurhidayat et al., 2018). Komponen dasar dalam sistem PLC adalah bagian penginderaan, modul input, pengendali, programmer, modul output, dan perangkat-perangkat keras lapangan. Kebanyakan PLC memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan perangkat lain. PLC dan komputer yang menjalankan perangkat lunak pemrograman atau mengumpulkan data tentang proses pembuatan, terminal yang memungkinkan operator memasukkan perintah ke dalam PLC, atau I/O yang terletak di lokasi yang jauh dari PLC. PLC akan berkomunikasi dengan perangkat lain melalui antarmuka jaringan (Swati et al., 2014).

PLC CP1E adalah jenis PLC yang dibuat oleh OMRON yang dirancang untuk aplikasi mudah. CP1E termasuk Unit CPU jenis-E (model dasar) untuk operasi pengendalian standar menggunakan dasar, gerakan, aritmatika, dan instruksi perbandingan. Untuk pemrogramannya menggunakan

perangkat lunak yang disebut CX-Programmer.

2.2 *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*

SCADA adalah singkatan dari *Supervisory Control and Data Acquisition*. Sistem SCADA digunakan untuk memantau dan mengendalikan peralatan dalam industri seperti telekomunikasi, air dan pengendalian limbah, energi, penyulingan minyak dan gas dan transportasi. Sistem ini mencakup transfer data antara SCADA komputer pusat dan sejumlah *Remote Terminal Unit (RTU)* dan / atau PLC, pusat dan terminal operator (Hurlatu et al., 2016).

Komponen utama SCADA dibagi ke dalam tiga bagian yakni, *Control Loop*, terdiri dari sensor, PLC, dan aktuator seperti katup, *breaker* dan *switch*. *Interface Device (HMI)*, sistem antarmuka di mana operator menggunakan *interface device* untuk mengatur set *point*, algoritma kendali dan menentukan parameter-parameter pada controller. *Interface device* juga menampilkan informasi berupa data status dan historisnya. *Remote Diagnostic and Maintenance Utilities*, digunakan untuk mencegah menganalisa, dan *recovery* dari kesalahan yang terjadi

selama proses berlangsung (Prayudha et al., 2015).

3. METODE PENELITIAN

Sistem pengontrolan suhu dan level bermula dari tangki penampung yang berisi air kemudian dialirkan oleh pompa masuk ke tangki proses. Di dalam tangki proses tersebut ketika air mencapai set point (12 cm) maka akan mematikan pompa sekaligus menyalakan (ON) heater. Ketika suhu air sudah mencapai 70° C maka heater akan mati (OFF) sekaligus Selenoid Valve (SV) akan terbuka (Patel et al., 2014).

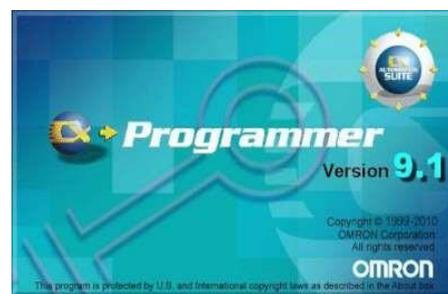
PLC CP1E adalah jenis PLC yang dibuat oleh OMRON yang dirancang untuk aplikasi mudah. Sedangkan SCADA digunakan untuk memantau dan mengendalikan peralatan dalam industri seperti (PLC) (Hurlatu et al., 2016).

CX-Programmer adalah perangkat lunak pemrograman untuk PLC merk OMRON. Perangkat lunak ini beroperasi di bawah OS Windows. Penggunaan CX-Designer untuk pembuatan HMI. Dalam perancangan ladder diagram ini terlebih dahulu ditentukan kebutuhan I/O pada CXProgrammer. Alamat nomor I/O ini penting dilakukan untuk memudahkan dalam pembuatan serta pencocokan alamat HMI, agar CX-Designer dan CX

Programmer bisa terintegrasi dengan baik (Firmansyah et al., 2018).



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. (a) PLC CP1E (koleksi penulis); (b) Tampilan Cx-Programmer (OMRON, 2023); (c) Tampilan Cx-Designer (Aboelhassan et al., 2020)

Penelitian diawali dengan membuat ladder diagram, menguji ladder diagram, dan mentransfer ladder diagram ke PLC secara langsung. Kemudian alamat-alamat yang digunakan pada ladder diagram

digunakan untuk pengalamatan objekobjek yang ada di HMI.

3.1 Eksplorasi Tools

Eksplorasi tools bertujuan menelusuri, membuat, dan mensimulasikan plant yang dibuat pada perangkat lunak. Pada penelitian ini menggunakan 2 perangkat lunak CX-Programmer untuk membuat program ke PLC dan CX-Designer untuk membuat HMI.

3.2 Pembuatan Program

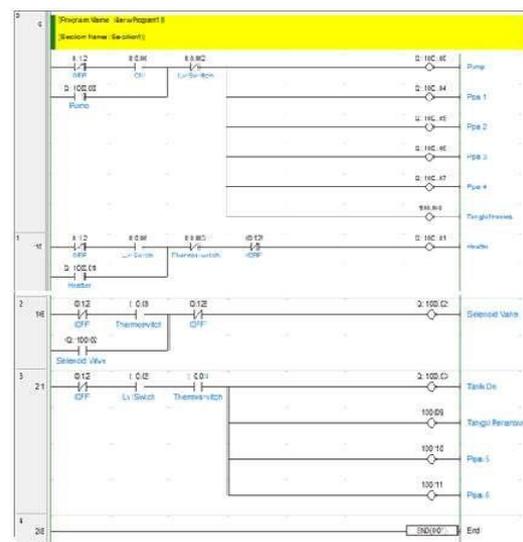
Pembuatan program dilakukan di CX-Programmer, dasar pemrograman pada CX-Programmer adalah *ladder* diagram. Adapun dari masing-masing ladder diagram memiliki fungsi/perintah yang berbeda-beda.

Pembuatan program pada CXProgrammer dimulai dengan pemilihan jenis PLC, dilanjutkan dengan pengalamatan, menyusun ladder, menjalankan program dan di transferkan ke PLC. Tipe PLC yang digunakan adalah CP1E, lalu klik OK. PLC jenis OMRON tipe CP1E adalah PLC yang digunakan dalam penelitian kali ini.

Tabel 1. Pengalamatan pada program CX-Programmer

Alamat	Komen	Keterangan
000	ON	Memulai
0.02	Lv Switch	Indikator Lv
0.12	OFF	Mematikan Keseluruhan
0.03	Thermo Switch	Indikator Suhu
100.00	Pompa	Mengalirkan Air
100.04	Pipa 1	Pipa
100.05	Pipa 2	Pipa
100.06	Pipa 3	Pipa
100.07	Pipa 4	Pipa
100.01	Heater	Pemanas Air
100.02	Solenoid Valve	Mengalirkan Air
100.03	Tangki Proses	Proses
100.09	Tangki Penampung	Penampung
100.10	Pipa 5	Pipa
100.11	Pipa 6	Pipa

Pengalamatan dilakukan untuk memberikan keterangan pada masing-masing logika. Penyusunan *ladder* dilakukan dengan memilih logika-logika yang diinginkan ke dalam rung.



Gambar 2. Ladder diagram yang dibuat pada sistem mini plant.

Gambar 2 adalah tampilan hasil dari penyusunan *ladder* diagram yang pada penelitian ini yang telah disesuaikan dengan logika sistem yang dibangun. Ketika dinyalakan (ON) maka air dari tangki penampung akan dialirkan oleh pompa (100.00) ke dalam tangki proses. Di dalam tangki proses air perlahan naik ketinggiannya hingga Level Switch (LV) (0.02) yang berada pada ketinggian 12 cm aktif, kemudian mematikan pompa (100.00) sekaligus menyalakan Heater (100.01). Heater akan memanaskan air di dalam tangki proses hingga suhu air mencapai 70° celcius yang mana akan menyalakan Thermo Switch (TS) (0.03) sekaligus mematikan Heater dan membuka Selenoid Valve (SV) (100.02) yang akan membuang air dari dalam tangki proses. OFF (012) untuk mematikan keseluruhan sistem.

Setelah program dibuat, maka selanjutnya lakukan *Work Online Simulator* untuk menjalankan program tersebut. Setelah diuji secara simulasi, program yang dibuat ditransfer ke PLC dengan mengaktifkan ikon *Work Online*. Untuk membuktikan benar tidaknya program yang dibuat ditransfer ke PLC, akan muncul gambar di atas.

3.3 Pengujian Program SCADA

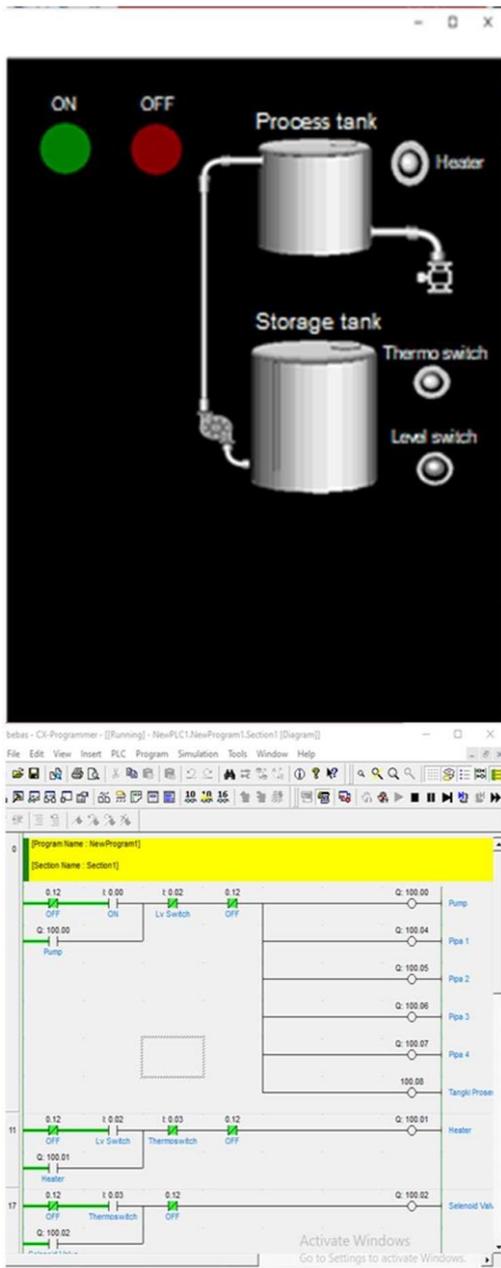
Pengujian sistem dilakukan dengan menghubungkan program dan *mini plant*. Dengan cara menjalankan mini plant lewat program. Bisa langsung dilihat dengan membandingkan indikator I/O pada PLC, Program, dan *mini plant*.

3.4 Pembuatan HMI

Pembuatan HMI dilakukan di perangkat lunak CX-Designer dengan menyesuaikan antara program yang dibuat di CX-Programmer dengan HMI. Pembuatan HMI dilakukan di CXDesigner dengan menggabungkan beberapa blok sesuai dengan yang kita inginkan, dimulai dengan memilih obyek atau gambar, dilanjutkan dengan menyusun obyek dan pengalamatan.

Menu utama terdapat banyak perintah-perintah untuk membuat HMI. Untuk mengambil blok-blok yang akan digunakan, kita perlu melalui *functional object*. Di dalam *functional object* inilah kita tinggal memilih beberapa objek yang diperlukan.

Functional object menyediakan fungsi-fungsi objek yang bisa digunakan untuk tampilan di dalam HMI itu sendiri dengan cara menyeret ikonnya ke dalam lembar kerja *CX-Designer*.



Gambar 3. Tampilan visual pengujian sistem Uji HMI dengan status OFF

Gambar 3 adalah tampilan awal sistem yang diperoleh dari rancangan ladder diagram ketika dilakukan pengujian. Objek yang telah dipilih maka selanjutnya disusun sedemikian rupa hingga memvisualisasikan proses dari sistem yang digunakan.

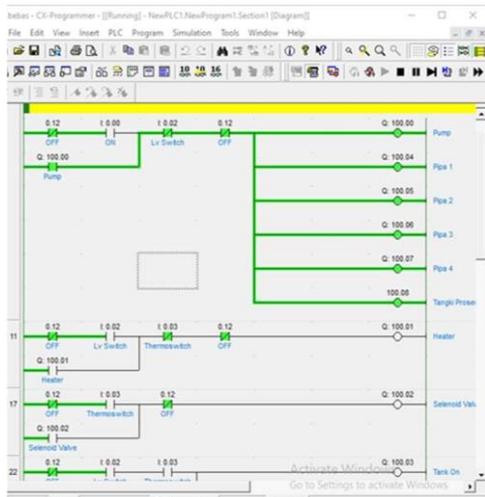
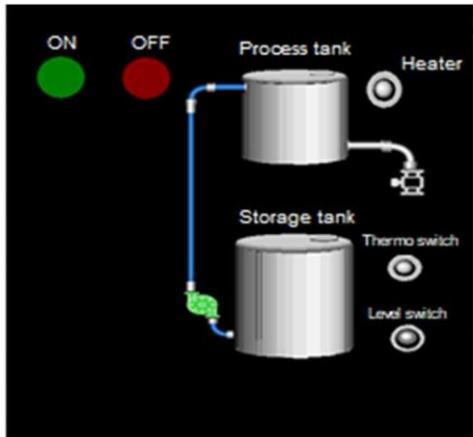
Proses pengalamanan dilakukan dengan mengubah pengaturan SERIAL A ke dalam alamat yang digunakan untuk program yang dibuat di CX-Programmer. Setelah semua step dilakukan maka selanjutnya HMI bisa langsung diuji.

3.5 Pengujian HMI

Pengujian dilakukan dengan membandingkan tampilan HMI dengan program yang telah dibuat. Setelah melakukan test selanjutnya akan muncul tampilan HMI.

Gambar 4 adalah tampilan hasil rancangan ladder diagram ketika posisi dengan status ON. Dilihat dari tampilan pada gambar 4, ketika tombol ON (000) dinyalakan maka pompa (100.00) akan menyala dan air dari tangki penampung dialirkan ke tangki proses.

Ketika air di tangki penampung terisi hingga ketinggian 12 cm, maka LS (002) akan aktif sekaligus mematikan pompa (100.00) dan menyalakan heater (100.01).



Gambar 4. Tampilan visual pengujian sistem HMI dengan status ON

Setelah *heater* memanaskan air hingga suhu air 70° Celcius, maka TS (0.03) akan aktif dan SV (100.02) akan aktif sehingga air akan keluar.

Ketika semua proses selesai maka sistem bisa dimatikan dengan menekan tombol OFF (012).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

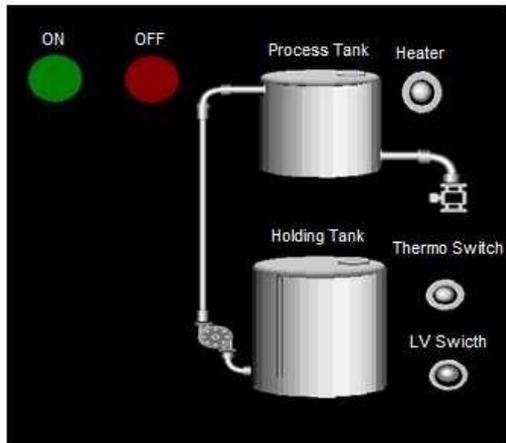
Dari diagram mini plant pada gambar 5, proses bermula dari tangki penampung (1) yang berisi air kemudian dialirkan oleh pompa (2) untuk masuk ke tangki proses (3). Di dalam tangki proses

tersebut air akan bertambah levelnya hingga tercapai 12 cm pada LV (4). Setelah itu secara otomatis pompa akan OFF dan Heater (6) ON. Ketika suhu air mencapai 70 °C, maka secara otomatis Heater akan OFF dan SV (7) ON. Adapun untuk wiring I/O dari PLC ke tangki terdapat di dalam Box Wiring (9) dan untuk wiring PLC ke sumber arus AC ada di dalam Box PLC (8).



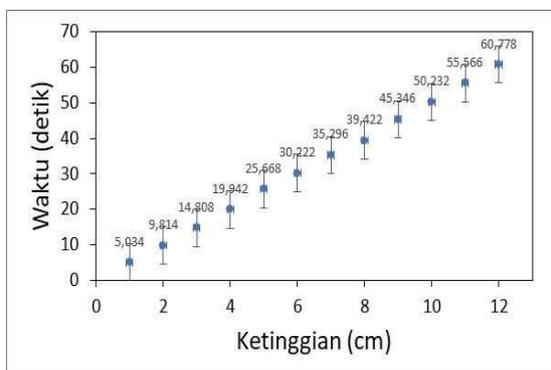
Gambar 5. Mini plant pengendalian temperatur dan level yang digunakan pada penelitian ini (koleksi penulis)

Keterangan gambar: (1) Tangki penampung; (2) Pompa; (3) Tangki proses; (4) Level Switch; (5) Thermo Switch; (6) Heater; (7) Selenoid Valve; (8) Box PLC; (9) Box Wiring.

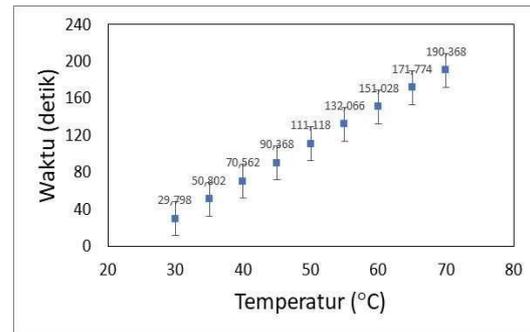


Gambar 6. Tampilan HMI keseluruhan proses

Tampilan HMI pada Gambar 6, terdapat kondisi ON (000), OFF (0.12), tangki proses heater (100.01), TS (0.03), levelswitch (0.02), dan tangki penampung (100.09). Jika tombol ON diaktifkan maka pompa akan aktif mengalirkan air dari tangki penampung menuju tangki proses. Selanjutnya ketika level air mencapai 12 cm maka LV akan aktif sekaligus pompa mati dan heater aktif. Ketika suhu air mencapai 70°C maka TS akan aktif sekaligus heater off dan SV aktif. Tombol OFF digunakan untuk mematikan seluruh proses.



Gambar 7. Hasil pengukuran waktu terhadap ketinggian



Gambar. Hasil pengukuran waktu terhadap temperatur

Gambar 7 adalah data level atau ketinggian yang didapatkan sebanyak 5 kali pengukuran dan nilainya fluktuatif dimulai dari ketinggian 1 cm hingga ketinggian 12 cm. Sedangkan pada referensi yang ada, perubahan level terlihat lebih lambat dengan membutuhkan waktu 720 detik hingga 12 cm sedangkan data yang diambil hanya membutuhkan waktu hanya kisaran 60 detik perubahan yang terlihat bisa disebabkan oleh kondisi alat-alat ataupun kondisi lingkungan sekitar dan juga disebabkan perbedaan hari pada saat pengambilan data. Waktu tercepat 4,77 detik pada pengambilan data ke-4 dengan rata-rata pengukuran adalah $5,01 \pm 0,2$ detik. Sedangkan waktu terlama adalah 61 detik dengan rata-rata pengukuran 60,7.

Gambar 8 menunjukkan data temperatur terhadap waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu yang ditentukan bervariasi. Data diambil sebanyak 5 kali dari suhu awal air 26,4 °C. Pengukuran dimulai saat

suhu air telah mencapai 30 °C. Pengukuran dilakukan hingga suhu mencapai 70 °C dengan periode selang 10 °C. Pada suhu 30 °C, waktu tercepat adalah 29,11 detik dengan rata-rata pengukuran $29,8 \pm 0,8$ detik. Sedangkan pada 70 °C, waktu tercepat adalah 189,67 detik dengan rata-rata pengukuran adalah $190,4 \pm 0,8$ detik. Perubahan suhu ini disebabkan oleh kondisi peralatan dan lingkungan di sekitar mini plant dan juga perbedaan hari saat pengambilan data (Aboelhassan et al., 2020).

Program SCADA yang dibuat menggunakan perangkat lunak CX-One dapat berfungsi mengendalikan *mini plant* dengan komunikasi kabel USB. Dari data-data parameter suhu dan level yang didapatkan mempunyai nilai berbeda-beda, dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan baik suhu, tekanan, dan kelembaban dengan waktu tercepat pada data ke-4 dengan nilai 4,77 detik dan waktu terlama pada data ke-2 dan ke-3 dengan nilai 61 detik. Adapun berdasarkan dengan data existing yang ada bernilai berbeda dengan yang didapatkan, bisa dikarenakan kondisi peralatan yang pada saat itu masih dalam kondisi baik dan perbedaan sensor serta pompa. Perbedaan data juga disebabkan karena pengambilan data dilakukan selama 2 hari. Hari pertama percobaan ke 1, 2, dan 3 sedangkan hari kedua

percobaan ke 4 dan 5. Untuk komunikasinya terbukti bisa menghubungkan program dengan HMI yang keduanya sama-sama dilakukan di CX-One.

5. KESIMPULAN

Program SCADA yang dibuat di CX-One berhasil mengendalikan dan memonitoring mini plant yang ada. Respon yang didapat terbukti lebih cepat dari respon sistem yang ada. Dengan data level waktu tercepat yaitu 4,77 detik dengan rata-rata $5,0 \pm 0,2$ detik pada ketinggian 1cm, sedangkan waktu terlama 61 detik dengan rata-rata $60,7 \pm 0,3$ detik pada ketinggian 12 cm. Sedangkan data waktu pengukuran pada suhu 30 °C adalah 28,8 dengan rata-rata $29,8 \pm 0,8$ detik. Pada suhu 70 °C, waktu tercepat adalah 189,6 detik dengan rata-rata pengukuran $190,4 \pm 0,8$ detik.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada Universitas Nasional Jakarta telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini melalui skema penelitian stimulus internal.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Aboelhasan, A., Abdelgeliel, M., Zakzouk, E. E., & Galea, M. (2020). Design and Implementation of Model Predictive Control Based PID Controller for Industrial Applications. *Energies*, 13(24), 6594. <https://doi.org/10.3390/en13246594>
- Chakraborty, K., Choudhury, M. G., Das, S., & Paul, S. (2020). Development of PLC-SCADA based control strategy for water storage in a tank for a semi-automated plant. *Journal of Instrumentation*, 15(04), T04007–T04007. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/04/T04007>
- Church, P., Mueller, H., Ryan, C., Gogouvitis, S. V., Goscinski, A., & Tari, Z. (2017). Migration of a SCADA system to IaaS clouds – a case study. *Journal of Cloud Computing*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13677-017-0080-5>
- Enjalbert, S., Gandini, L. M., Pereda Baños, A., Ricci, S., & Vanderhaegen, F. (2021). Human–Machine Interface in Transport Systems: An Industrial Overview for More Extended Rail Applications. *Machines*, 9(2), 36. <https://doi.org/10.3390/machines9020036>
- Firmansyah, R., Baskoro, F., & Rynaldo, B. R. (2018). Perancangan dan Simulasi Sistem Lampu Lalu Lintas 4 Arah dengan Menggunakan Programmable logic Controller Omron CP1E dengan Tampilan Cx-Designer. *Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 01(02), 13–18.
- Haque, S. H. H., Hassan, H. M. I., & Hossain, S. M. A. (2014). Comparison of Control System Using PLC & PID. *ASEE 2014 Zone I Conference*.
- Hurlatu, L. N., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2016). Analisa Perancangan Sistem Scada Di Sistem Kelistrikan Minahasa. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 5(2), 37–42.
- Meher, P. T., Pharande, A. S., SWagh, S., Pauer, J. H., Karad, P. R., & Professor, A. (2019). Automatic Water Level Controller by using PLC and SCADA. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 9(5), 21822–21824. <http://ijesc.org/>
- Mei, L., Zhang, L., & Wang, L. (2017). Intelligent Traffic Light Based on PLC Control. *IOP Conference*

- Series: Earth and Environmental Science*, 94(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/94/1/012073>
- Nurhidayat, E., Indra Septiana, A., Nursyah Putra, A., Syaripudin, A., & Irawan Saputra, D. (2018). Desain Sistem Kontrol Traffic Light Adaptif pada Empat Persimpangan Berbasis PLC Omron CP1E. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.5614/joki.2018.10.1.1>
- OMRON. (2023). <https://industrial.omron.se/sv/products/cx-programmer>. <https://industrial.omron.se/sv/products/cx-programmer>
- Patel, J., Patel, A., & Singh, R. (2014). Development of PLC based Process Loop Control for Bottle Washer Machine. *Procedia Technology*, 14, 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.08.047>
- Prayudha, R. B., Murty, M. A., Porman, I., & Mt, P. (2015). *Design and Implementation of SCADA (Supervisory and Data Acquisition) on Boiler Drum System using OMRON PLC*. 2(2), 1989–1994. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/252/235>
- Priyadharson, A. S. M., Ganesan, R., & Surarapu, P. K. (2015). PLC – HMI Automation Based Cascaded Fuzzy PID for Efficient Energy Management and Storage in Real Time Performance of a Hydro Electric Pumped Storage Power Plant. *Procedia Technology*, 21, 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.10.022>
- Rashad, O., Attallah, O., & Morsi, I. (2022). A smart PLC-SCADA framework for monitoring petroleum products terminals in industry 4.0 via machine learning. *Measurement and Control*, 55(7–8), 830–848. <https://doi.org/10.1177/00202940221103305>
- Swati, C., Hemanth, J., & Annappa, A. (2014). Smart Street Lighting System based on sensors using PLC and SCADA. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 5(July), 44–50.