KAMPUS AKADEMIK PUBLISING
Jurnal Ilmiah Penelitian Mahasiswa (JIPM)
Vol.4, No.6 Desember 2026
e-ISSN: 3025-5465, p-ISSN : 3025-7964, Hal 1556-1565
DOI : https://doi.org/10.61722/jipm.v4i6.3342

Rancang Bangun Sistem Supervisi Scada dan Komunikasi ModbusRtu pada *Trainer Filling* dan *Capping* Berbasis Plc Outseal

Zulwisli[1], Winda Agustiarmi[2], Ryan Fikri[3], Gilang Febrian[4]
[1234]Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Universitas Negeri Padang
Alamat: Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat
Korespondensi penulis: gilangfebrian190203@gmail.com

Abstract. *The development of industrial automation requires a centralized monitoring and control system to improve efficiency and occupational safety. This research aims to design and implement a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system on a prototype of water bottle filling and capping machine. The local control system is implemented using an Outseal Nano V5 Programmable Logic Controller (PLC), while the Human Machine Interface (HMI) in the control room is developed using VTScada software. The method used in this research is Research and Development (R&D) with a descriptive qualitative evaluation approach utilizing black-box testing. Data transmission between the supervisory layer and the field layer is bridged by the Modbus RTU protocol via RS485 serial communication. The test results indicate that the communication architecture runs highly stable at a Baud rate of 19200 bps without any packet loss. The dynamic Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) based HMI successfully visualizes discrete sensor statuses instantaneously and displays fluid volume measurements in real-time from the Holding Register memory. Furthermore, the remote control function is proven to operate precisely, allowing the operator to safely override the machine's operation system remotely.*

Keywords: *SCADA, VTScada, Outseal PLC, Modbus RTU, Human Machine Interface*

Abstrak. Perkembangan otomasi industri menuntut adanya sistem pengawasan dan pengendalian yang terpusat guna meningkatkan efisiensi dan keselamatan kerja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) pada purwarupa mesin pengisi (*filling*) dan penutup (*capping*) botol air. Sistem kendali lokal diimplementasikan menggunakan mikrokontroler *Programmable Logic Controller* (PLC) Outseal Nano V5, sedangkan antarmuka *Human Machine Interface* (HMI) di ruang kendali dibangun menggunakan perangkat lunak VTScada. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan evaluasi deskriptif kualitatif menggunakan *black-box testing*. Transmisi data antara lapisan supervisi dan lapisan lapangan dijembatani oleh protokol Modbus RTU melalui komunikasi serial RS485. Hasil pengujian menunjukkan bahwa arsitektur komunikasi berjalan sangat stabil pada *Baudrate* 19200 bps tanpa adanya kehilangan paket data (*packet loss*). Antarmuka HMI berbasis *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) dinamis berhasil memvisualisasikan status sensor diskrit secara instan dan menampilkan takaran volume fluida secara *real-time* dari memori *Holding Register*. Selain itu, fungsi *remote control* terbukti beroperasi secara presisi, memungkinkan operator untuk mengambil alih sistem operasi mesin secara aman dari jarak jauh.

Kata Kunci: SCADA, VTScada, PLC Outseal, Modbus RTU, *Human Machine Interface*

PENDAHULUAN

Perkembangan era revolusi industri 4.0 menuntut sektor manufaktur untuk bertransformasi menuju sistem produksi yang cerdas, adaptif, dan terintegrasi secara komprehensif. Dalam transformasi ini, otomasi industri memegang peranan yang sangat vital. Sistem kontrol otomatis tidak hanya dituntut untuk menggantikan peran fisik operator manusia, tetapi juga harus mampu memberikan tingkat kepresisian yang tinggi, meminimalisir kesalahan manusia (*human error*), serta menjamin konsistensi kualitas produk dalam siklus produksi yang

Naskah Masuk: 01 November 2026; Revisi: 02 November 2026; Diterima: 03 November2026; Terbit: 11 November 2026

berkelanjutan. Salah satu implementasi otomasi yang paling krusial di sektor industri makanan dan minuman (*Food and Beverage*) adalah sistem ban berjalan (*conveyor*) untuk proses pengemasan cairan, khususnya pada tahapan *filling* (pengisian) dan *capping* (penutupan) botol.

Sebagai inti dari sistem kontrol otomasi tersebut, *Programmable Logic Controller* (PLC) telah menjadi instrumen standar utama yang digunakan di berbagai lini pabrik (Setiawan, 2006). PLC bertindak sebagai "otak" yang bertugas mengeksekusi algoritma atau *Ladder Diagram* untuk merespons sinyal masukan dari berbagai sensor di lapangan, kemudian secara presisi menggerakkan aktuator seperti motor *conveyor*, katup solenoid, dan silinder pneumatik. Pada proses *filling* dan *capping* botol, PLC dituntut untuk mampu mensinkronkan waktu pengisian cairan dengan pergerakan mekanis penutup botol agar tidak terjadi tumpahan (*overfilling*) maupun kemacetan mekanis.

Pada metode pengoperasian sistem manufaktur sebelumnya atau yang masih bersifat konvensional, proses pengawasan dan kendali dilakukan murni secara lokal di lantai pabrik (*shop floor*). Operator hanya mengandalkan inspeksi visual manual, lampu indikator fisik, atau panel tombol mekanik sederhana. Beberapa penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Wicaksono & Sukir, (2021), telah berhasil merancang purwarupa sistem *filling* otomatis berbasis PLC untuk menekan tingkat kesalahan produksi. Namun demikian, sistem pada penelitian tersebut masih beroperasi secara *stand-alone* (berdiri sendiri) menggunakan antarmuka konvensional. Sistem yang berdiri sendiri ini memiliki kelemahan mendasar: mereka buta terhadap visualisasi data makro, tidak memiliki kemampuan pencatatan sejarah operasi (*data logging*), dan tidak dapat melacak parameter produksi (seperti jumlah botol yang berhasil atau gagal) secara terpusat.

Kondisi tersebut mempertegas alasan krusial mengapa perangkat lunak SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) mutlak diperlukan dalam industri modern. Integrasi SCADA menutupi semua kelemahan PLC *stand-alone* dengan menghadirkan *Human Machine Interface* (HMI) yang interaktif dan dinamis. Melalui SCADA, seluruh arsitektur pabrik dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik animasi, nilai sensor dapat dipantau secara *real-time*, dan kendali jarak jauh (*remote control*) dapat dilakukan dari ruang kendali utama (*Control Room*). Lebih lanjut, perangkat lunak SCADA kelas industri seperti VTScada menawarkan keunggulan fitur *database* historis dan sistem alarm yang memungkinkan teknisi untuk melakukan analisis prediktif ketika terjadi anomali pada mesin (Bolton, 2015; Boyer, 2009).

Dalam ranah pendidikan tinggi vokasi, khususnya pada Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, pemahaman praktis terhadap integrasi PLC dan SCADA merupakan kompetensi esensial bagi calon lulusan. Namun, pengadaan modul *trainer* SCADA standar industri sering kali terbentur oleh tingginya biaya lisensi perangkat lunak dan perangkat keras PLC pabrikan (seperti Siemens atau Omron). Sebagai alternatif yang ekonomis namun tetap relevan secara industri, penggunaan PLC Outseal berbasis mikrokontroler Arduino Nano yang dipadukan dengan *software* VTScada menjadi solusi media pembelajaran yang sangat prospektif (Prasetyo et al., 2025).

Meskipun menawarkan efisiensi biaya, implementasi integrasi antara PLC Outseal dan VTScada menghadirkan tantangan dan kelemahan teknis yang signifikan. Mikrokontroler seri ATmega328P pada Arduino Nano memiliki keterbatasan sumber daya komputasi dan saluran komunikasi serial perangkat keras (*hardware serial*). Ketika PLC Outseal dipaksa melayani lalu lintas *polling* komunikasi *Modbus RTU* ke perangkat lunak SCADA secara terus-menerus, bersamaan dengan kewajibannya mengeksekusi logika kontrol perangkat keras yang berjalan cepat, sering kali terjadi konflik beban kerja (*Serial Conflict*). Dampak dari konflik ini adalah

tingginya latensi komunikasi, terjadinya putus koneksi berulang (*timeout*), hingga munculnya data yang tidak valid (*questionable data quality*) pada layar pemantauan HMI di VTScada.

Untuk menanggulangi kendala latensi dan *error* pembacaan data tersebut, diperlukan rekayasa dan optimasi perangkat lunak secara spesifik. Penyesuaian parameter transmisi pada *driver Modbus RTU*, pengaturan interval pemungutan data (*polling rate*), sinkronisasi *Tag Database*, serta optimasi visualisasi di antarmuka VTScada menjadi kunci agar beban komunikasi pada mikrokontroler tetap stabil. Mengingat kompleksitas pembangunan sistem ini secara utuh, pengembangan *trainer* mesin ini direalisasikan melalui dua fokus pengerjaan, di mana perakitan mekanis dan instalasi kelistrikan perangkat keras dikerjakan oleh rekan peneliti, sedangkan penelitian ini difokuskan secara mendalam pada rekayasa antarmuka perangkat lunak dan optimalisasi komunikasi serial SCADA.

.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah rancang bangun (*engineering design*) dengan pendekatan *Research and Development* (R&D) yang bertujuan menghasilkan trainer pengisian (*filling*) dan penyegelan (*capping*) botol yang terintegrasi antara pengendali PLC Outseal dan sistem supervisi SCADA VTScada. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei hingga Oktober 2026 di Laboratorium Terpadu (lab Analog), Departemen Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Perancangan menggunakan perangkat keras berupa dua unit PLC Outseal Board, satu unit komputer sebagai server sekaligus *master*, modul kabel komunikasi serial, dan trainer sistem *filling-capping*, serta perangkat lunak berupa Outseal Studio, VTScada, driver komunikasi serial, dan sistem operasi Windows.

Tahapan perancangan diawali dengan penyusunan diagram blok dan diagram alir sistem SCADA, dilanjutkan dengan identifikasi dan pemetaan variabel PLC Outseal ke alamat register Modbus, konfigurasi komunikasi Modbus RTU pada VTScada (port COM4, *baud rate* 19200 bps, 8 *data bits*, 1 *stop bit*, tanpa paritas, dan *station address* 1), pembuatan *tag database* digital maupun analog, hingga perancangan antarmuka HMI berbasis P&ID dinamis yang memuat fungsi pemantauan dan kendali jarak jauh. Sistem yang telah dirancang kemudian diuji menggunakan metode pengujian fungsionalitas dengan pendekatan *black-box testing* melalui tiga skenario, yaitu integritas komunikasi Modbus RTU, sinkronisasi visualisasi HMI, dan intervensi kendali jarak jauh. Data diperoleh melalui inspeksi dan observasi langsung, dianalisis secara deskriptif kualitatif menggunakan *pass/fail checklist*, dan sistem dinyatakan layak apabila seluruh parameter pengujian terpenuhi dengan sinkronisasi 100% antara HMI VTScada dan kondisi perangkat keras trainer.

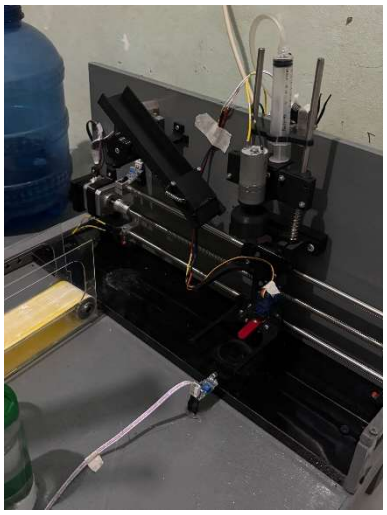
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Implementasi Sistem

Hasil implementasi sistem mencakup realisasi penyatuan seluruh komponen fisik *trainer* dengan arsitektur antarmuka digital pada komputer supervisi. Penyalinan logika kontrol dari *Ladder Diagram* ke dalam *Programmable Logic Controller* (PLC) Outseal Nano V5, perakitan kelistrikan panel (*wiring*), serta konfigurasi basis data *tag* pada perangkat lunak VTScada telah berhasil diselesaikan sehingga sistem siap dioperasikan. Hasil implementasi ini dibagi menjadi dua aspek utama, yaitu implementasi perangkat keras fisik dan implementasi antarmuka *Human Machine Interface* (HMI).

Implementasi Perangkat Keras (*Trainer*) dan Integrasi Kelistrikan

Perangkat keras yang diimplementasikan merupakan kesatuan sistem mekanik, pneumatik, dan instrumen kelistrikan yang dibangun di atas rangka *trainer* modular. Konstruksi ini dirancang untuk mensimulasikan alur kerja industri secara nyata pada proses pengisian (*filling*) dan penutupan (*capping*) botol otomatis.



Gambar 1. Hasil Implementasi Fisik *Trainer Filling* dan *Capping*

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, implementasi fisik tidak hanya mencakup perakitan mekanis, tetapi juga integrasi panel kendali kelistrikan yang terstruktur. Perangkat keras pendukung sistem ini terdiri dari beberapa subsistem utama, yaitu:

1. Subsistem Mekanik dan Pneumatik

Meliputi lintasan rel konveyor yang digerakkan oleh *Motor Conveyor* DC, pompa air (*Water Pump*) beserta katup solenoid pada stasiun *filling*, serta aktuator kombinasi silinder pneumatik dan motor pada stasiun *capping*. Seluruh pergerakan mekanis ini dikalibrasi posisinya menggunakan titik referensi dari sensor posisi *Infrared* (S.4 dan S.6) serta sakelar mekanis (*Limit Switch*).

2. Integrasi Panel Kontrol Kelistrikan

Pusat kendali kelistrikan ditempatkan pada sebuah panel boks tertutup untuk memastikan keamanan (*safety*) operasional. Di dalam panel ini, terintegrasi mikrokontroler PLC Outseal tipe Nano V5 *Opto-Isolated/Invert*. Penggunaan fitur *opto-isolated* pada modul ini sangat krusial untuk mengisolasi sirkuit logika PLC dari lonjakan tegangan balik (*back-EMF*) yang dihasilkan oleh aktuator induktif, sehingga mikrokontroler terhindar dari *noise* kelistrikan maupun risiko *reset* sistem.

3. Distribusi Daya (*Power Distribution*)

Suplai daya utama diimplementasikan menggunakan *Switching Power Supply* 12V DC yang didistribusikan secara paralel ke modul PLC, relai antarmuka (*interface relay*), dan aktuator beban kerja. Distribusi kabel (*wiring*) di dalam panel disusun menggunakan terminal blok dan *cable duct* untuk memudahkan pelacakan jalur (*troubleshooting*).

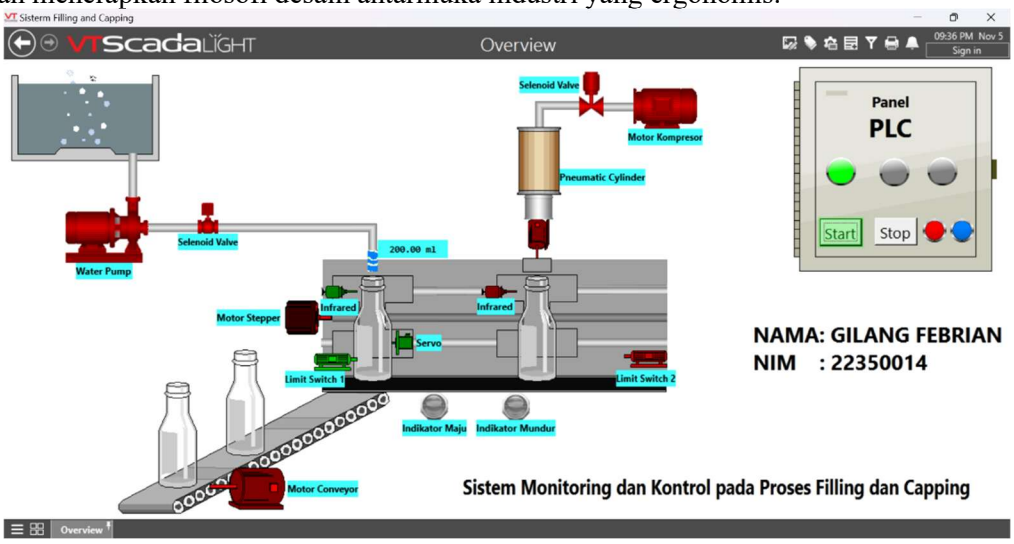
4. Jalur Transmisi Modbus

Untuk menjembatani tingkat kontrol lapangan dengan komputer supervisi, sebuah konverter serial USB *to* RS485/TTL diimplementasikan langsung pada *port* fisik mikrokontroler. Konverter ini terbaca oleh sistem operasi komputer sebagai *Port* COM4, beroperasi pada kecepatan *Baudrate* 19200 bps, dan bertindak sebagai gerbang tunggal transmisi data biner Modbus RTU.

Implementasi Perangkat Lunak Antarmuka HMI pada VTScada

Hasil implementasi perangkat lunak diwujudkan melalui antarmuka grafis *Human Machine Interface* (HMI) yang berjalan pada mode *runtime* di dalam lingkungan VTScada.

Desain HMI ini mengadopsi standar *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) dinamis dengan menerapkan filosofi desain antarmuka industri yang ergonomis.



Gambar 2. Tampilan Hasil Implementasi Antarmuka HMI pada Perangkat Lunak VTScada

Berdasarkan Gambar 2, antarmuka HMI tidak sekadar menampilkan visual statis, melainkan sebuah instrumen pengawasan responsif yang mencakup fitur-fitur berikut:

1. Pemetaan Visual Dinamis dan Filosofi Warna

Seluruh alur proses mulai dari *reservoir*, jalur pemipaan, stasiun *filling*, konveyor, hingga stasiun *capping* dipetakan secara linier (kiri ke kanan). Objek grafis ditautkan (*binding*) dengan *Digital Tag* alamat 10xxx dan 00xxx. Implementasi ini menggunakan prinsip pengkodean warna (*color coding*) yang berpendar saat mendeteksi objek atau aktuator aktif, dan kembali redup saat pasif, guna meningkatkan kewaspadaan situasional (*situational awareness*) operator.

2. Visualisasi Kuantitatif Presisi Tinggi

Untuk pengawasan proses pengukuran cairan, diimplementasikan panel teks numerik (*.** ml) pada visualisasi pipa pengisian yang tertaut dengan *Analog Tag Holding Register* (40003). VTScada berhasil menampilkan nilai akumulasi dari blok fungsi *Scaling* (I.3) pada PLC secara seketika (*real-time*) dengan latensi visual yang sangat rendah.

3. Implementasi Panel Kontrol Paralel

Di sisi kanan layar HMI, telah dibangun sebuah panel kendali virtual ("Panel PLC") yang memuat tombol tekan *Start* dan *Stop*. Tombol virtual ini ditautkan dengan variabel *Binary* PLC (alamat 00130 dan 00131) berizin akses *Read/Write*. Implementasi ini bekerja secara paralel dengan panel fisik di lapangan, memungkinkan operator SCADA untuk mengeksekusi mesin dari jarak jauh (*remote* control *room*) dengan tingkat keandalan yang identik dengan pengoperasian tombol fisik.

Hasil Pengujian Sistem

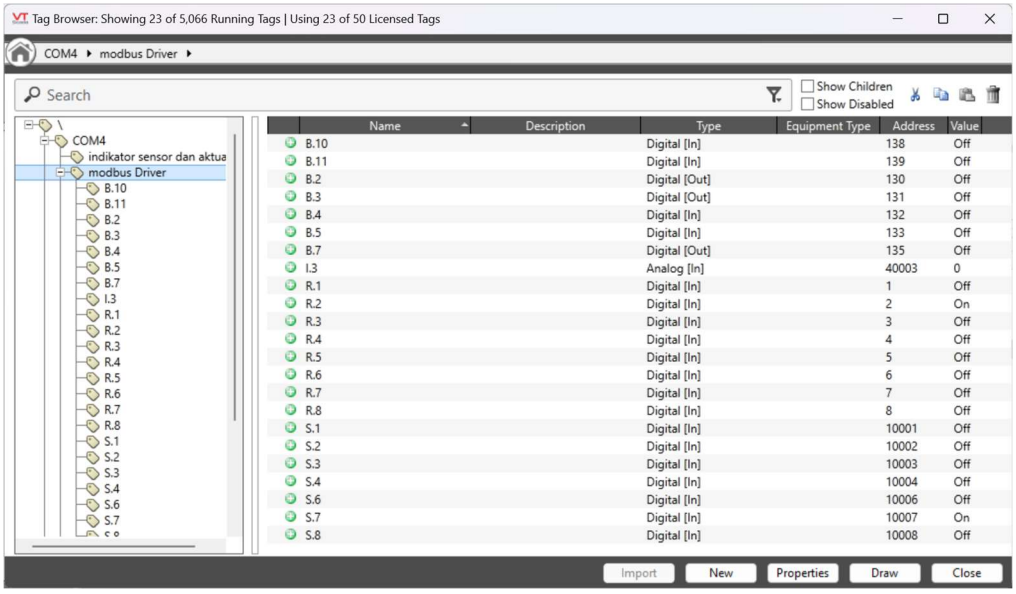
Pengujian sistem dilakukan untuk memvalidasi kelayakan fungsionalitas arsitektur SCADA yang telah diintegrasikan secara komprehensif pada perangkat keras mesin *filling* dan *capping*. Evaluasi keberhasilan didasarkan pada metode *black-box testing* menggunakan instrumen pengamatan langsung (*pass/fail checklist*). Hasil pengujian ini mengacu pada tiga skenario utama yang telah dirumuskan pada Bab III, dengan rincian data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Komunikasi Serial Modbus RTU

Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi stabilitas transmisi data dua arah antara perangkat lunak VTScada (*Master*) dengan mikrokontroler PLC Outseal (*Slave*). Pengujian dilakukan dengan memantau konektivitas pada *Port* COM4 melalui antarmuka *Tag Browser* selama mesin beroperasi secara kontinu. Hasil pengujian komunikasi serial dirangkum pada Tabel 1.

No	Parameter Pengujian	Target Kriteria Penerimaan (*Acceptance Criteria*)	Hasil Pengamatan Visual & Sistem	Status
1	Deteksi *Port* Fisik (COM4)	Konverter terbaca oleh sistem operasi Windows tanpa kendala *driver*	*Port* terhubung sempurna dan diakui oleh *workspace* VTScada	Berhasil
2	Keselarasan *Baud Rate*	Transmisi berjalan lancar pada kecepatan 19200 bps tanpa *packet loss*	*Data polling* berjalan kontinu, tidak ada indikator *communication timeout*	Berhasil
3	Pengenalan *Station Address*	VTScada mampu mengenali PLC Outseal pada *Address* 1	PLC merespons pemanggilan data secara absolut tanpa benturan (*collision*)	Berhasil
4	Stabilitas *Driver* Serial RTU	Saluran Modbus mempertahankan koneksi selama mesin melakukan siklus penuh	*Tag Browser* berstatus aktif secara permanen selama mode *runtime*	Berhasil

Berdasarkan Tabel 11, arsitektur jaringan komunikasi serial yang dibangun terbukti reliabel. Ketiadaan peringatan galat (*error*) atau *timeout* pada VTScada menunjukkan bahwa parameter Modbus RTU (8 *Data Bits*, 1 *Stop Bit*, *No Parity*) telah dikonfigurasi secara presisi dan sinkron dengan pengaturan *hardware* PLC Outseal. Bukti keberhasilan komunikasi ini dapat dilihat secara visual pada tampilan *Tag Browser* VTScada, di mana nilai dari memori PLC terbaca dengan baik tanpa adanya indikator *communication loss*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



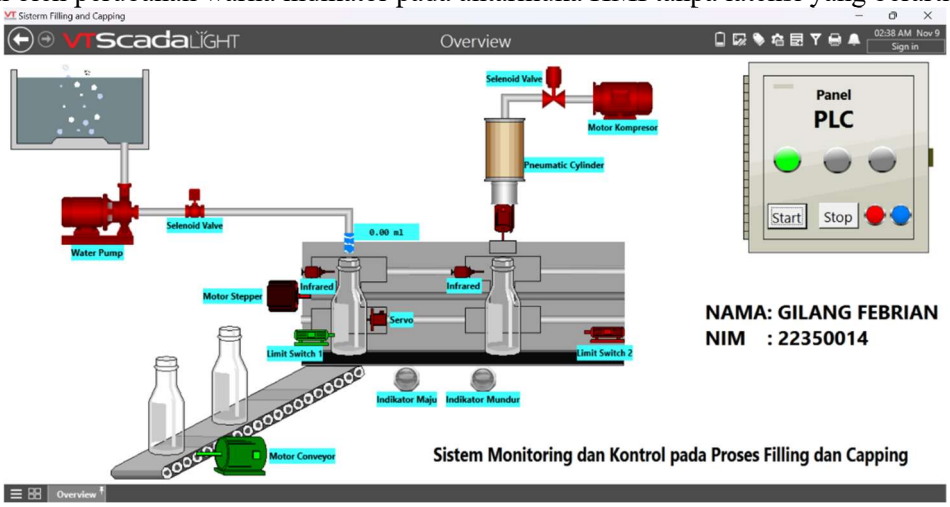
Gambar 3. Bukti Status Komunikasi Modbus RTU yang Aktif pada VTScada

Hasil Pengujian Visualisasi Antarmuka HMI (*Monitoring*)

Pengujian visualisasi difokuskan pada tingkat sinkronisasi pembacaan instrumen lapangan dengan elemen grafis pada layar HMI. Pengujian ini memvalidasi keakuratan *Digital Tag* (*Discrete Input*) dari sensor dan *Analog Tag* (*Holding Register*) dari pembacaan debit cairan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

No	Titik Pengujian (Instrumen Fisik)	Alamat Modbus	Kondisi Aktual di Lapangan	Respon Visualisasi Layar HMI	Status
1	Sensor *Infrared* 1 (Stasiun *Filling*)	10004	Mendeteksi keberadaan botol kosong	Indikator grafis sensor berpendar seketika (perubahan warna)	Berhasil
2	*Water Flow Sensor* (Pengukuran)	40003	Air mengalir dan diukur oleh sensor	Teks numerik (*.** ml) bertambah secara presisi dan kontinu	Berhasil
3	Sensor *Infrared* 2 (Stasiun *Capping*)	10006	Mendeteksi botol yang siap ditutup	Indikator grafis stasiun *capping* menyala	Berhasil
4	*Limit Switch 1 & 2* (Batas Rel)	10007 & 10008	Mekanisme konveyor menyentuh pembatas	Animasi batas (*end-stop*) pada layar aktif	Berhasil

Berdasarkan Tabel 2, antarmuka HMI terbukti memiliki kapabilitas supervisi yang sangat baik. Secara khusus, pemetaan alamat 40003 pada *Holding Register* berhasil menerjemahkan akumulasi blok fungsi *Scaling* dari memori PLC menjadi data volume fluida (mililiter) yang ditampilkan secara *real-time*. Sebagai representasi pengujian, Gambar 4.4 memperlihatkan perbandingan langsung antara kondisi fisik saat sensor/aktuator bekerja, yang secara seketika direspon oleh perubahan warna indikator pada antarmuka HMI tanpa latensi yang berarti.



Gambar 4. Respon Eksekusi Perangkat Keras terhadap Perintah Kendali HMI

Hasil Pengujian Kendali dan Respon Sistem (*Remote Control*)

Pengujian kendali jarak jauh dilakukan untuk mengukur tingkat responsivitas HMI dalam memberikan instruksi eksekusi dua arah (*bi-directional command*). Pengujian dilakukan dengan menekan tombol virtual pada "Panel PLC" di layar HMI untuk mengintervensi atau mengambil alih kendali aktuator. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 3.

No	Perintah Eksekusi HMI	Alamat Memori	Reaksi Aktuator Fisik di Lapangan	Reaksi Aktuator Fisik di Lapangan	Status
1	Tombol *Start System*	00130	Motor *Conveyor* utama menyala	Mesin memulai siklus operasional berkat instruksi	Berhasil

				trigger dari VTScada	
2	Tombol *Stop System*	00131	Seluruh operasional aktuator terputus	Relai memutus arus mesin seketika (fungsi *override* berhasil)	Berhasil
3	Eksekusi Stasiun *Filling*	00004	Pompa Air (*Water Pump*) aktif	Cairan terpompa keluar nosel sesuai perintah HMI	Berhasil
4	Eksekusi Stasiun *Capping*	00005	Silinder pneumatik turun, motor berputar	Proses penyegelan tutup botol tereksekusi dengan sempurna	Berhasil

Berdasarkan Tabel 3, sistem SCADA yang dirancang telah sepenuhnya beroperasi sebagai pusat kendali (*control room*). Setiap sentuhan pada *push button* virtual di layar VTScada langsung menginjeksikan logika ke dalam register memori PLC. Eksekusi perangkat keras terjadi secara seketika (*instantaneous*), membuktikan bahwa sistem kendali jarak jauh berjalan secara presisi. Responsivitas sistem kendali ini dibuktikan pada Gambar 4.5, yang menunjukkan kondisi di mana aktuator fisik (seperti pergerakan motor atau pompa) beroperasi bersamaan dengan instruksi yang dieksekusi oleh operator dari layar HMI.

Pembahasan

Bagian ini menguraikan analisis teknis secara komprehensif terhadap data hasil pengujian fungsionalitas sistem yang telah dipaparkan sebelumnya. Pembahasan difokuskan pada evaluasi keandalan arsitektur komunikasi data, unjuk kerja integrasi sistem otomasi, serta efektivitas penerapan antarmuka supervisi pada lingkungan SCADA.

Analisis Keandalan Arsitektur Komunikasi Modbus RTU

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, arsitektur komunikasi serial antara VTScada dan PLC Outseal terbukti memiliki tingkat keandalan (*reliability*) yang tinggi. Keberhasilan transmisi data tanpa adanya kehilangan paket biner (*packet loss*) atau peringatan *timeout* sangat dipengaruhi oleh keselarasan konfigurasi parameter komunikasi. Pemilihan *Baudrate* 19200 bps terbukti merupakan titik optimal (*sweet spot*) bagi pengontrol kelas mikro (*micro-class controller*) seperti Outseal Nano V5. Meskipun protokol serial RS485 mampu menangani kecepatan yang lebih tinggi, laju 19200 bps sudah lebih dari cukup untuk mengakomodasi kebutuhan *throughput* data (yang hanya berupa *bit* dan *integer* berukuran kecil) guna menyegarkan layar HMI secara *real-time*. Pengaturan kecepatan ini secara proporsional menjaga imunitas kabel serial terhadap gangguan interferensi elektromagnetik (*electromagnetic interference/EMI*) yang umum ditimbulkan oleh lonjakan arus dari motor konveyor maupun pompa di sekitarnya.

Selain parameter kecepatan, keberhasilan komunikasi ini juga ditopang oleh arsitektur perangkat keras dan sifat deterministik dari protokol Modbus itu sendiri. Implementasi modul konverter komunikasi yang bersanding dengan fitur *Opto-Isolated* pada PLC Outseal secara efektif mengisolasi jalur data (*data line*) dari fluktuasi tegangan pada jalur beban aktuator. Dari sisi topologi jaringan, penggunaan *Station Address* tunggal memastikan VTScada bertindak sebagai *Master* mutlak yang melakukan pemanggilan data (*polling*) secara sekuensial. Metode komunikasi deterministik ini mengeliminasi risiko benturan data (*data collision*) yang sering terjadi pada protokol komunikasi multi-arah, sehingga VTScada dapat membaca maupun menulisi register memori PLC dengan latensi transmisi yang sangat konsisten.

Unjuk Kerja Sistem Otomasi dan Presisi Pengukuran

Hasil pengujian kendali pada Tabel 3 membuktikan bahwa integrasi antara instruksi SCADA dan logika sekuensial *Ladder Diagram* di dalam PLC berjalan dengan kohesi yang sempurna. Keberhasilan fungsi *remote control* menunjukkan bahwa arsitektur kendali telah

memenuhi standar hierarki piramida otomasi industri. VTScada pada lapisan supervisi terbukti memiliki otorisasi untuk mengintervensi atau mengambil alih (*override*) operasional panel lokal tanpa mengganggu perlindungan logika dasar (*safety interlock*) yang tertanam di PLC. Sebagai contoh, eksekusi pemompaan cairan maupun pergerakan silinder penyegel penutup botol dari layar HMI akan segera direspon oleh aktuator fisik secara seketika (*instantaneous*), karena penekanan tombol virtual secara langsung menginjeksi nilai bit logika tinggi (1) ke dalam memori *Coil* atau *Binary* yang dipindai (*scanned*) secara kontinu dalam siklus program mikrokontroler (*scan cycle*).

Di sisi lain, parameter presisi sistem berhasil divalidasi melalui pengujian pemantauan volume fluida secara dinamis seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Keberhasilan VTScada dalam menampilkan penambahan takaran cairan secara linear (*.** ml) membuktikan bahwa algoritma konversi data yang diterapkan bekerja dengan akurat. Pulsa frekuensi mentah yang dibaca oleh *water flow sensor* di lapangan berhasil dikonversi oleh blok fungsi *Scaling* di dalam program PLC. Nilai hasil *scaling* tersebut yang tersimpan di dalam memori *Integer* (I.3) berhasil ditransmisikan menuju *Holding Register* (40003) pada VTScada tanpa mengalami pemotongan resolusi bit (*truncation*). Integritas data analog yang terjaga ini memberikan jaminan bahwa takaran cairan di dalam botol yang diproses oleh stasiun *filling* memiliki nilai yang selaras persis dengan data kuantitatif yang dipantau oleh operator di ruang kendali.

Efektivitas Desain Human Machine Interface (HMI)

Secara fungsional, antarmuka HMI yang dibangun pada VTScada telah berhasil mentransformasi representasi mesin fisik yang kaku menjadi sebuah ekosistem digital terpusat yang interaktif. Desain antarmuka ini mengadopsi prinsip *High-Performance HMI*, di mana visualisasi *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) disusun secara kronologis dari proses hulu (tangki *reservoir*) hingga hilir (stasiun *capping*). Susunan linier ini terbukti memudahkan operator dalam melakukan pelacakan proses (*process tracking*) dan meminimalisasi beban kognitif (*cognitive load*) saat menganalisis alur produksi. Pengaplikasian filosofi pengkodean warna (*color-coding*) dinamis pada instrumen *Discrete Input*—seperti warna redup untuk kondisi pasif dan warna berpendar mencolok saat sensor *Infrared* atau *Limit Switch* mendeteksi objek—secara signifikan meningkatkan kewaspadaan situasional (*situational awareness*) operator dalam mengenali transisi kondisi lapangan.

Lebih jauh, penerapan ekosistem HMI ini memberikan kontribusi yang masif terhadap aspek ergonomi dan keselamatan kerja (*occupational safety*). Keberadaan panel kontrol virtual di sisi layar memberikan fasilitas pengendalian komprehensif dari jarak jauh (*remote control room*). Hal ini secara drastis mengurangi keharusan operator untuk melakukan intervensi fisik secara langsung di dekat mesin atau berhadapan dengan panel kelistrikan tegangan tinggi untuk sekadar menginisiasi ataupun menghentikan laju operasional. Secara keseluruhan, rancang bangun sistem supervisi dan akuisisi data terintegrasi ini dinyatakan berhasil, beroperasi dengan waktu respons yang sangat minimal, dan layak diimplementasikan sebagai solusi peningkatan efisiensi pengawasan pada purwarupa sistem otomasi industri.

KESIMPULAN DAN SARAN

Rancang bangun sistem supervisi SCADA berbasis VTScada pada *trainer filling* dan *capping* dengan PLC Outseal Nano V5 berhasil direalisasikan. Komunikasi Modbus RTU melalui COM4 pada baud rate 19200 bps berjalan stabil tanpa *packet loss* maupun *timeout*. HMI berbasis P&ID dinamis mampu menampilkan status sensor diskrit secara seketika dan volume fluida secara *real-time* melalui *Holding Register* 40003. Fungsi kendali jarak jauh Start, Stop, serta eksekusi stasiun *filling* dan *capping* terbukti bekerja presisi pada seluruh skenario pengujian. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan fitur data logging, alarm, dan *trending historis* pada VTScada, menguji kinerja pada baud rate dan jumlah slave lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers* (6th ed.). Oxford: Elsevier Newnes.
Boyer, S. A. (2009). *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition* (4th ed.). North Carolina: International Society of Automation.
Prasetyo, M. R. E., Abidin, Z., & Laksono, A. B. (2025). Rancang Bangun Overhead Crane Berbasis PLC Outseal Menggunakan Control Scada. *Jurnal FORTECH*, 6(2), 80-86.
Setiawan, I. (2006). *Programmable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol*. Yogyakarta: Andi Publisher.
Wicaksono, T., & Sukir. (2021). Pengembangan Automatic Bottle Filling and Capping Machine Sebagai Media Pembelajaran PLC. *Jurnal Pendidikan Teknik Mekatronika*, 11(2).