

Analisis Efisiensi Sistem SCADA Dalam Monitoring Dan Data Logging Pada Plant Water for Injection (WFI) di Large Volume Parenteral (LVP) PT. Sanbe Farma

Bunga Wahyudiani¹⁾, Azmi Hafizat Muzada²⁾, Asep Najmurokhman^{1*)}

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jend. Sudirman, Cimahi 40531

²Instrument Leader, PT Sanbe Farma, Jl. Industri Cimareme No. 8, Cimareme,
Kec. Padalarang, Kabupaten Bandung Barat

^{*)}Korespondensi : asep.najmurokhman@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) memiliki peran vital dalam industri farmasi, khususnya untuk menjamin kualitas serta kesinambungan produksi pada unit *Water for Injection* (WFI) di *Large Volume Parenteral* (LVP) PT Sanbe Farma. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi dan performa SCADA dalam memonitor serta mencatat parameter *flow rate* dan konduktivitas WFI pada Plant LVP. Metode yang digunakan meliputi pengamatan data *real-time*, analisis tren historis, perhitungan efisiensi, serta evaluasi performa berdasarkan ketersediaan data, reliabilitas pencatatan, interval sampling, deteksi kejadian, dan konsistensi nilai. Hasil analisis menunjukkan tingkat ketersediaan data SCADA mencapai 100% pada semua parameter, dengan rata-rata indeks performa di atas 96%. Hal ini menandakan sistem mampu mendeteksi anomali secara *real-time* sekaligus merekam data tanpa kehilangan interval. Efisiensi monitoring *flow rate* pada Mei 2025 tercatat 85%, namun menurun menjadi 70% di Juni 2025 akibat gangguan proses. Sebaliknya, efisiensi monitoring konduktivitas WFI pada Cold maupun *Hot loop* berada di atas 99%. Analisis statistik memperlihatkan *variability index* 100% dan *peak-to-average ratio* tinggi, yang mengindikasikan akurasi sistem dalam menangkap fluktuasi ekstrem. Secara keseluruhan, SCADA di PT. Sanbe Farma unit 3 bekerja dengan reliabilitas tinggi, menjaga kualitas pemantauan proses, serta mendukung deteksi dini potensi gangguan, sehingga layak dijadikan acuan pemeliharaan dan peningkatan sistem kendali di industri farmasi.

Kata kunci : efisiensi sistem, Large Volume Parenteral, monitoring data, SCADA, Water for Injection

Abstract

The *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) system is essential in pharmaceutical manufacturing, particularly for ensuring product quality and operational continuity in the *Water for Injection* (WFI) process at the *Large Volume Parenteral* (LVP) facility of PT Sanbe Farma. This study evaluates the efficiency and performance of SCADA in monitoring and logging WFI flow rate and conductivity. The assessment involves real-time data observation, historical trend analysis, efficiency measurement, and performance evaluation based on data availability, logging reliability, sampling frequency, event detection, and value consistency. Findings show that SCADA achieved 100% data availability for all monitored parameters, with a performance index consistently above 96%, indicating strong capability for real-time anomaly detection and uninterrupted data recording. Flow-rate monitoring efficiency reached 85% in May 2025 but declined to 70% in June 2025 due to process issues. In contrast, conductivity monitoring in both Cold and Hot loops remained highly efficient, exceeding 99%. Statistical results also revealed a 100% variability index and a high peak-to-average ratio, demonstrating the system's accuracy in capturing dynamic fluctuations. Overall, the SCADA system in PT Sanbe Farma Unit 3 provides reliable monitoring performance and supports early disturbance detection, making it a strong basis for system maintenance and improvement.

Keywords : data monitoring, Large Volume Parenteral, SCADA, system efficiency, Water for Injection

I. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia, baik untuk konsumsi, sanitasi, maupun keperluan industri [1]–[4]. Dalam sektor industri, terutama industri farmasi, air tidak hanya digunakan sebagai bahan pelarut, tetapi juga menjadi komponen penting dalam berbagai proses produksi,

seperti pencucian peralatan, pelarutan bahan aktif, formulasi produk, hingga sebagai bahan baku dalam pembuatan obat injeksi [5], [6]. Oleh karena itu, kualitas air yang digunakan harus memenuhi standar yang sangat ketat, mengingat air yang terkontaminasi dapat berdampak langsung terhadap mutu, keamanan, dan efektivitas produk farmasi yang dihasilkan. Industri farmasi di Indonesia, termasuk PT Sanbe Farma yang berlokasi di Kabupaten Bandung Barat dituntut untuk mematuhi standar nasional maupun internasional dalam proses produksinya, seperti CPOB (Cara Pembuatan Obat yang Baik) dan GMP (*Good Manufacturing Practices*). Salah satu aspek penting dalam standar tersebut adalah pengendalian kualitas air secara menyeluruh, mencakup aspek fisik, kimia, dan mikrobiologis. Sistem pengolahan air di fasilitas *Water Treatment Plant* (WTP) menjadi sangat krusial dan harus diawasi secara ketat untuk memastikan bahwa air yang digunakan memenuhi spesifikasi farmasi, khususnya *Water for Injection* (WFI).

Info Makalah:

Dikirim : 17-12-2025;
Revisi 1 : 19-12-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 25-12-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-81321815649
e-mail : asep.najmurrokhman@lecture.unjani.ac.id

Sistem *Water for Injection* (WFI) merupakan salah satu infrastruktur kritical dalam produksi obat *Large Volume Parenteral* (LVP). Kualitas, kontinuitas, dan *traceability* air WFI menentukan keselamatan produk akhir serta kepatuhan terhadap persyaratan regulatori. Dalam praktik industri farmasi modern, kegagalan pasokan atau kontaminasi WFI dapat menyebabkan penarikan *batch*, gangguan produksi, dan risiko keselamatan pasien, sehingga pemantauan *real-time* dan pencatatan data yang andal menjadi kebutuhan mutlak. Dalam produksi LVP, seperti cairan infus NaCl 0,9% atau Dextrose yang memiliki volume lebih dari 100 mL, kualitas WFI menjadi parameter yang sangat kritis. WFI harus memenuhi spesifikasi farmasi internasional, termasuk batas konduktivitas, suhu, dan parameter lainnya yang ditetapkan oleh *United States Pharmacopeia* (USP) dan *European Pharmacopoeia* (EP) [7], [8]. Untuk menjamin konsistensi kualitas air, penerapan teknologi otomasi, dan sistem kendali modern sangat diperlukan. Salah satu sistem yang umum digunakan dalam pengawasan dan pengendalian proses industri adalah *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) [9].

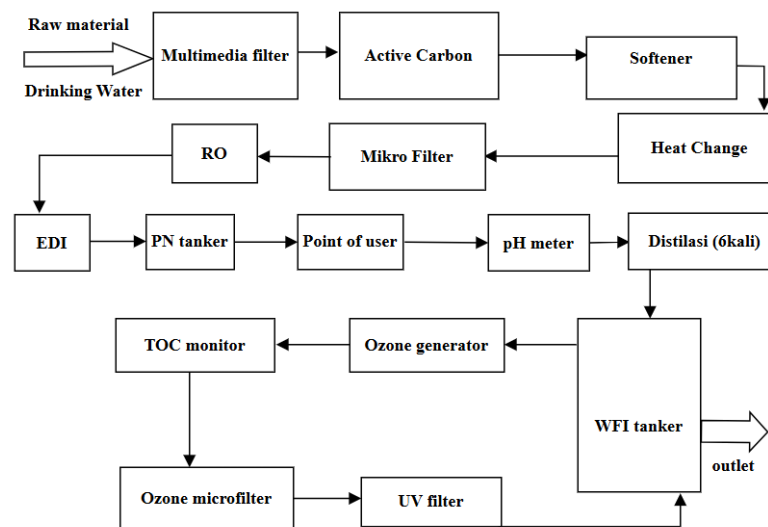
Sistem SCADA memungkinkan pemantauan parameter kualitas air secara *real-time* melalui antarmuka manusia-mesin (HMI/*Human Machine Interface*), pencatatan data historis data *logging*, sistem alarm, serta kendali otomatis berdasarkan masukan dari sensor dan perangkat pengendalian [10], [11]. PT. Sanbe Farma menerapkan sistem SCADA pada unit WFI yang digunakan dalam proses pembuatan produk LVP. Sistem ini mengintegrasikan data dari berbagai instrumen, seperti *flow rate*, suhu dan konduktivitas, untuk dipantau dan direkam secara berkelanjutan. Dengan adanya sistem SCADA, pengawasan terhadap parameter kualitas air menjadi lebih efisien, akurat, dan minim risiko *human error* dan memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat melalui analisis data historis. Penerapan SCADA yang terdesain dengan baik mampu memusatkan pengawasan banyak subsistem (pompa, boiler, distilasi/produksi WFI, sistem distribusi) sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan respons terhadap gangguan [12], [13].

Seiring berkembangnya paradigma Industri 4.0, integrasi SCADA dengan IoT (*Internet-of-Things*), sistem analitik waktu-nyata, dan lapisan *big data* membuka peluang peningkatan efisiensi lebih lanjut [14]. Sistem tidak hanya melakukan pemantauan dan pencatatan, tetapi juga deteksi anomali otomatis, prediksi kegagalan (*predictive maintenance*), optimasi penggunaan energi, serta perbaikan kualitas keputusan operasional. Implementasi teknologi *data-driven* ini telah diangkat dalam literatur farmasi sebagai elemen kunci transformasi digital pabrik terregulasi, walaupun tantangan kepatuhan data, validasi sistem, dan integritas data tetap menjadi isu kritis [15]. Tinjauan sistematis pada pengembangan sistem air dan sistem air cerdas menunjukkan arsitektur berlapis (*perception/transducer layer*, komunikasi/*protocol layer*, serta aplikasi/analitik *layer*) yang menekankan pentingnya interoperabilitas sensor, latensi komunikasi, dan kebijakan alarm yang tepat untuk menjaga kualitas air. Dalam konteks WFI, sensitivitas parameter seperti suhu dan konduktivitas menuntut *sampling* dan pencatatan dengan frekuensi dan resolusi memadai agar analisis tren dan investigasi deviasi dapat dilakukan secara meyakinkan [16].

Namun demikian, beberapa penelitian 2025 juga menyoroiti celah efisiensi pada implementasi SCADA di industri: desain antarmuka operator yang kurang optimal, konfigurasi alarm yang menghasilkan *alarm flood*, keterbatasan kemampuan historian untuk menangani volume data tinggi, serta integrasi yang lemah antara data SCADA dan platform analitik lanjutan. Selain itu, aspek keamanan siber dan validasi sistem otomatis menjadi hambatan yang sering mengurangi manfaat praktis investasi digital, termasuk dalam pabrik WFI di sektor LVP [17].

II. METODE

WFI adalah air dengan tingkat kemurnian sangat tinggi yang digunakan dalam industri farmasi, terutama untuk produksi sediaan injeksi seperti *Large Volume Parenteral (LVP)* dan *Small Volume Parenteral (SVP)*. Menurut standar British Pharmacopoeia (BP) dan European Pharmacopoeia (EP), WFI harus memenuhi sejumlah persyaratan mutu yang ketat untuk menjamin keamanan, sterilitas, dan efikasi produk akhir. Proses pembuatan WFI diperlihatkan dalam Gambar 1.

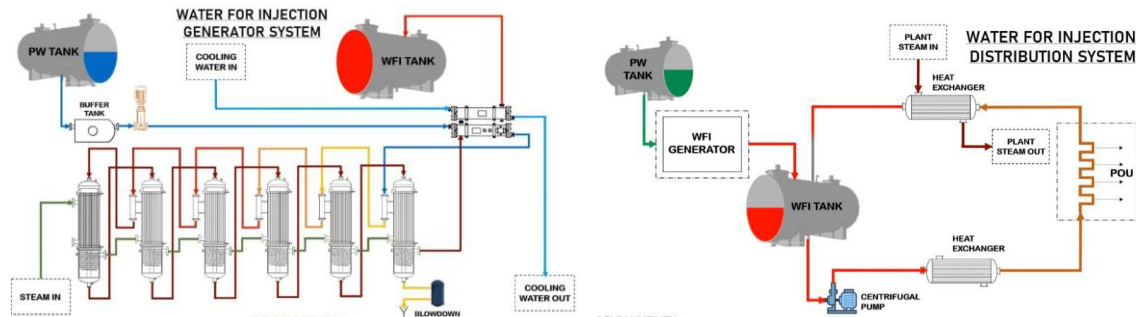


Gambar 1. Tahapan proses pembuatan WFI

Bahan baku yang dialirkan dalam sistem WFI mengandung berbagai senyawa kontaminan. Kontaminan ini berpotensi membentuk biofilm yang dapat merusak sistem maupun produk steril, sehingga diperlukan penggunaan multimedia filter. Tahap berikutnya adalah penghilangan klorin, kloramin, pestisida, dan kontaminan lainnya menggunakan karbon aktif. Selanjutnya, softener berbasis resin yang mampu mengikat ion kalsium (Ca^{2+}) ditambahkan untuk menghilangkan kandungan Ca^{2+} , karena keberadaan ion ini dapat menimbulkan ketidakcocokan (inkompatibilitas). Heat exchanger digunakan untuk menjaga proses sterilisasi dengan memanfaatkan uap panas, baik untuk sterilisasi peralatan maupun produk. Proses dilanjutkan dengan mikrofiltrasi, yang berfungsi menyaring partikel berukuran mikro. Sebagian kontaminan berukuran nano sehingga produk pada tahap ini belum sepenuhnya steril. Tahap selanjutnya adalah *Reverse Osmosis (RO)*, kemudian dilakukan *Electrodeionization (EDI)* atau *ion exchange* untuk menghilangkan ion-ion sisa yang masih terdapat pada air hasil RO. Terakhir, dilakukan pengecekan pH untuk memastikan kesesuaian pH WFI dengan proses penggunaannya. Hal ini penting agar tidak menimbulkan iritasi pada tubuh saat diaplikasikan.

Proses selanjutnya terjadi dalam sistem generator WFI seperti diperlihatkan dalam Gambar 2. Air murni dari PW Tank dipompa menuju *buffer tank* sebelum masuk ke unit evaporator bertingkat. Pada tahap ini, air dipanaskan menggunakan *steam in* sehingga terjadi proses penguapan dan pemisahan kontaminan. Uap yang terbentuk kemudian melewati serangkaian kolom pemisah untuk memastikan hanya uap murni yang digunakan, sementara sisa kotoran atau mineral dibuang melalui *blowdown*. Uap murni selanjutnya dikondensasikan kembali menggunakan *cooling water in* yang mengalir pada penukar panas, sehingga

menghasilkan air injeksi (WFI) dengan kemurnian tinggi. Air hasil kondensasi murni ini kemudian dialirkan dan disimpan di WFI Tank untuk digunakan dalam proses farmasi atau industri, sedangkan air pendingin keluar melalui jalur *cooling water out*. Selanjutnya, air dari *WFI Tank* dipompakan menggunakan *centrifugal pump* menuju jalur distribusi yang dilengkapi dengan *heat exchanger* untuk menjaga suhu dan mencegah kontaminasi mikroba. *Plant steam* digunakan sebagai media pemanas dalam *heat exchanger*, kemudian keluar sebagai *plant steam out* setelah transfer panas. Air WFI yang telah terjaga sterilitas dan suhunya kemudian didistribusikan menuju *POU (Point of Use)* sesuai kebutuhan di fasilitas farmasi, sambil terus bersirkulasi melalui sistem agar kualitas dan kemurniannya tetap terjaga.



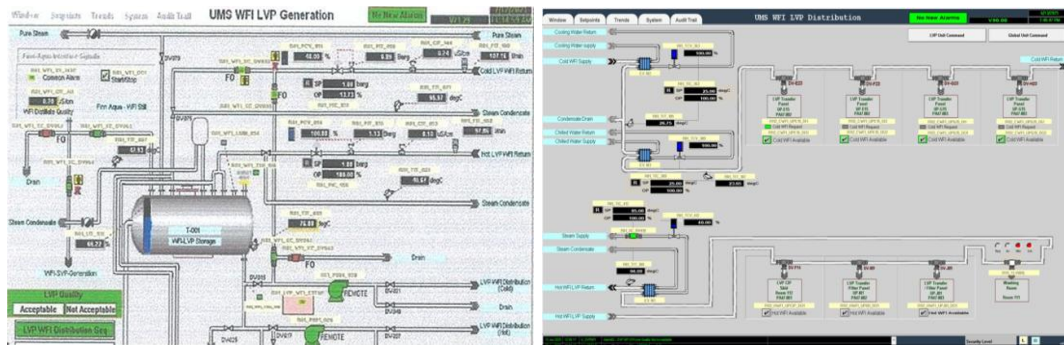
Gambar 2. Sistem Generator WFI dan distribusinya

SCADA merupakan sistem yang dirancang untuk mengakuisisi data dan menggunakannya dalam pengendalian suatu objek atau proses. Sistem ini menggabungkan teknologi telemetri dengan akuisisi data, mencakup proses pengumpulan informasi dari lapangan, pengiriman data ke pusat kontrol, analisis, pengambilan keputusan, serta penyajian data pada tampilan operator. Untuk keperluan tersebut, sebuah *tools Human Machine Interface (HMI)* dibuat untuk menampilkan data proses kepada operator serta memberikan sarana bagi operator untuk melakukan pengendalian sistem. Informasi yang disajikan dalam HMI umumnya berbentuk grafis, baik berupa animasi, grafik, maupun tren, sehingga memudahkan operator dalam memahami data yang ditampilkan dan mendukung kegiatan pemantauan. HMI dapat digunakan sebagai alat kontrol maupun visualisasi status, baik secara manual maupun melalui komputer dengan tampilan *real-time*. Pada umumnya, sistem HMI beroperasi secara *online* dan *real-time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui port I/O dari sistem kendalinya. Beberapa port yang sering digunakan antara lain port COM, USB, RS232, maupun port serial. Tampilan *dashboard* HMI yang digunakan diperlihatkan dalam Gambar 3, sedangkan tampilan HMI untuk sistem generator WFI dan distribusinya diberikan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Tampilan *dashboard* HMI SCADA

Analisis Efisiensi Sistem SCADA Dalam Monitoring Dan Data Logging Pada Plant Water for Injection (WFI) di Large Volume Parenteral (LVP) PT. Sanbe Farma (Bunga Wahyudiani, Azmi Hafizat Muzada, Asep Najmurokhman : Halaman 158 - 166)



Gambar 4. Tampilan dashboard HMI untuk proses generator WFI dan distribusinya

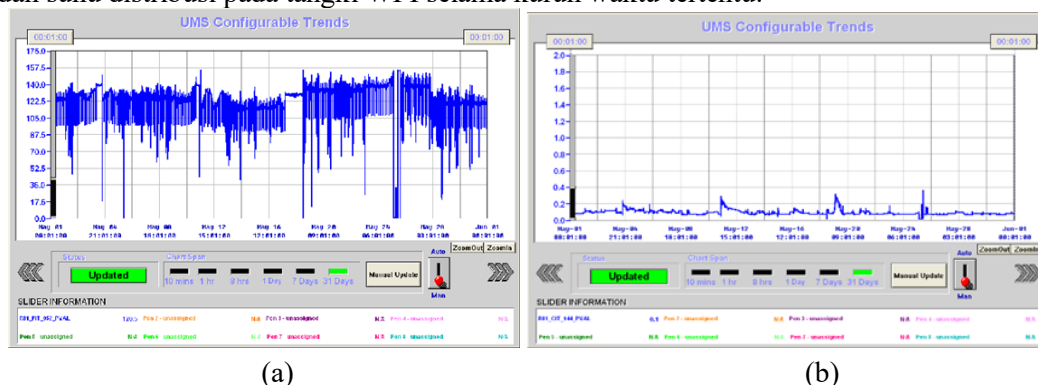
Data diperoleh melalui sistem SCADA yang mencatat parameter proses secara *real-time* dengan interval pencatatan 1 menit (1.440 data per hari). Parameter utama yang diamati adalah *flow rate* pada WFI LVP Tank, konduktivitas WFI *Cold Loop* dan *Hot loop*, serta suhu distribusi dan tangki WFI. Sementara itu, analisis tren historis dilakukan untuk memperoleh informasi terkait dengan kestabilan operasi (apakah parameter sesuai dengan standar proses), fluktuasi atau anomali (*spike*, lonjakan, atau nilai mendekati nol), dan konsistensi jangka panjang dalam periode (Mei–Agustus 2025).

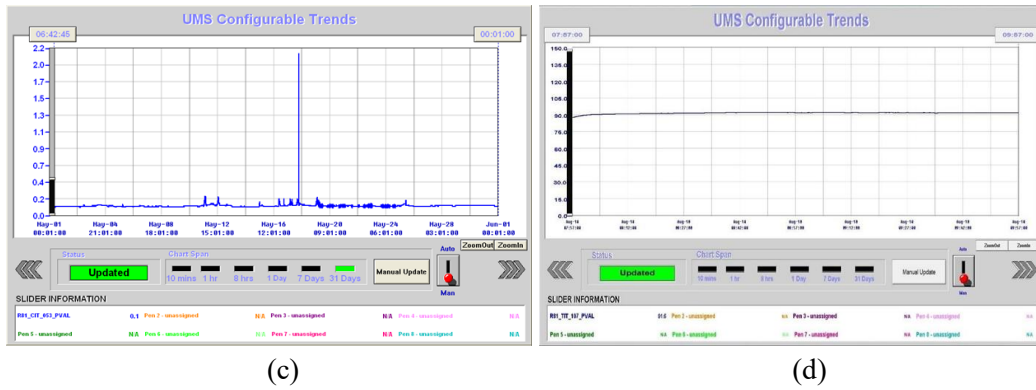
Performa sistem SCADA dievaluasi berdasarkan lima indikator utama yaitu *data availability*, *logging reliability*, *sampling interval*, *event detection*, dan konsistensi nilai. *Data availability* diukur dari tingkat ketersediaan data tanpa kehilangan interval, sedangkan *logging reliability* adalah ukuran konsistensi pencatatan selama periode monitoring. *Sampling interval* merupakan kesesuaian waktu pencatatan tiap 1 menit, sedangkan *event detection* dan konsistensi nilai berturut-turut mengukur kemampuan sistem mendeteksi anomali secara *real-time* dan kestabilan data dalam batas operasional. Untuk mendukung evaluasi performa, dilakukan analisis statistik sederhana terhadap data SCADA, yaitu rentang (*range*) nilai ekstrem, *variability index* (VI) = $(Range / Max) \times 100\%$, dan *Peak-to-Average Ratio* (PAR) = $Max / Average$. Sementara itu, efisiensi sistem dihitung berdasarkan kesesuaian parameter aktual dengan standar operasional, yaitu sebagai berikut:

- Efisiensi *Flow rate* = $(Jumlah\ data\ sesuai\ standar / Total\ data) \times 100\%$
- Efisiensi Suhu Distribusi = $(Suhu\ rata-rata\ aktual / Suhu\ target\ ideal) \times 100\%$
- Efisiensi Konduktivitas = $(Jumlah\ data \leq 1,3\ \mu S/cm / Total\ data) \times 100\%$

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian diperoleh dari pengamatan dan analisis data SCADA pada unit WFI – LVP di PT Sanbe Farma dengan menggunakan data periode Mei – Agustus 2025. Data yang diamati meliputi *flow rate*, konduktivitas WFI *Cold* dan *Hot Loop*, serta suhu distribusi pada tangki WFI. Gambar 5 memperlihatkan tampilan data *real time* dari dashboard HMI SCADA untuk *flow rate*, konduktivitas WFI *Cold* dan *Hot Loop*, dan suhu distribusi pada tangki WFI selama kurun waktu tertentu.





Gambar 5. Data secara *real time flow rate* (a), konduktivitas WFI *Cold* (b) dan *Hot Loop* (c), dan suhu distribusi pada tangki WFI (d) dalam kurun waktu tertentu

Hasil pengamatan memperlihatkan *flow rate* di bulan Mei 2025 berada di kisaran 120-130 L/min dengan efisiensi monitoring 85%. Sistem SCADA berhasil mendeteksi penurunan sesaat dengan cepat tanpa kehilangan data. Indeks performa rata-rata 98,6%. Selanjutnya, pada bulan Juni 2025 terjadi fluktuasi lebih besar dengan *spike* ke 0 L/min akibat gangguan pompa dan proses. Efisiensi menurun menjadi 70%, namun sistem SCADA tetap mencatat semua data dengan indeks performa 96%. Tabel 1 merangkum data performa *flow rate* selama periode Mei-Juni 2025.

Tabel 1. Data Performa *Flow rate*

Bulan	Data Availability	Logging Reliability	Sampling Interval	Event Detection	Konsistensi Nilai	Efisiensi	Indeks Performa
Mei	100%	100%	100%	98%	95%	85%	98,6%
Juni	100%	100%	100%	95%	85%	70%	96,0%

Sementara itu, nilai konduktivitas WFI Cold pada bulan Mei berada di kisaran 0,1–0,3 $\mu\text{S/cm}$ yang berada di bawah ambang batas ($\leq 1,3 \mu\text{S/cm}$), sehingga nilai efisiensi konduktivitasnya 100% dan indeks performa 99,8%. Hasil observasi *Hot Loop* di bulan Mei 2025, mayoritas data di kisaran 0,1–0,3 $\mu\text{S/cm}$, terdapat satu lonjakan kecil namun masih terdeteksi sehingga efisiensinya lebih dari 99%. Observasi data *Cold Loop* di bulan berikutnya menghasilkan nilai konduktivitas rata-rata 0,08 $\mu\text{S/cm}$ dengan nilai maksimum 7 $\mu\text{S/cm}$. Nilai *variability index* dari data tersebut sebesar 100% dan *Peak-to-Average Ratio* (PAR) berjumlah 87,5 menunjukkan sistem mampu menangkap fluktuasi ekstrem, sedangkan efisiensinya bernilai 99,95 %. Sementara itu, *Hot loop* di bulan berikutnya memperlihatkan rata-rata konduktivitasnya 0,12 $\mu\text{S/cm}$ dengan nilai maksimum 1,57 $\mu\text{S/cm}$. Parameter lainnya berturut-turut *variability index*, PAR, dan efisiensinya bernilai 100 %, 13,08, dan 99 %. Tabel 2 memperlihatkan data monitoring konduktivitas WFI.

Tabel 2. Hasil Monitoring Konduktivitas WFI

Loop	Bulan	Rata-rata ($\mu\text{S/cm}$)	Maks ($\mu\text{S/cm}$)	Efisiensi	Variability Index	PAR	Indeks Performa
<i>Cold Loop</i>	Mei	0,1–0,3	<1,3	100%	-	-	99,8%
<i>Hot loop</i>	Mei	0,1–0,3	<1,3	>99%	-	-	99%
<i>Cold Loop</i>	Juni	0,08	7,0	99,95%	100%	87,5	Sangat baik
<i>Hot loop</i>	Juni	0,12	1,57	99%	100%	13,08	Sangat baik

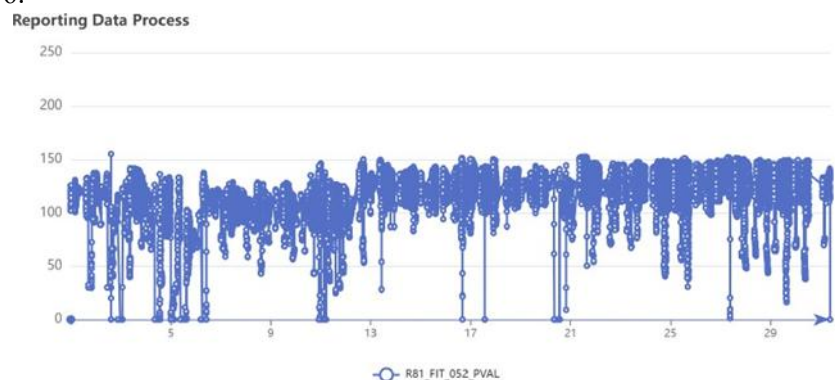
***Analisis Efisiensi Sistem SCADA Dalam Monitoring Dan Data Logging Pada Plant Water for Injection (WFI) di Large Volume Parenteral (LVP) PT. Sanbe Farma
(Bunga Wahyudiani, Azmi Hafizat Muzada, Asep Najmurokhman : Halaman 158 - 166)***

Observasi lainnya dilakukan pada tangki distribusi WFI. Berdasarkan data pada grafik UMS *Configurable Trends* untuk LVP WFI Distribution tanggal 10 Agustus 2025, proses pemanasan (sanitasi) menggunakan WFI HOT menunjukkan data suhu minimum 84,5 °C pada pukul 07:57:00, suhu maksimum 92,0 °C pada pukul 09:23:00, dan persyaratan standar lebih dari 80 °C selama 120 menit. Selama periode 07:57:00 – 09:57:00 (total 120 menit), suhu selalu berada di atas batas minimal (80 °C), sehingga persyaratan sanitasi terpenuhi. Observasi menunjukkan perubahan nilai suhu tanpa fluktuasi ekstrem, yang menandakan kontrol SCADA bekerja optimal dalam mempertahankan kondisi proses. Efisiensi suhu dapat dihitung sebagai rasio antara suhu aktual rata-rata terhadap suhu maksimum ideal, sehingga diperoleh nilai 95,9%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem SCADA mampu menjaga suhu mendekati target dengan deviasi minimal. Sementara itu, *performance* sanitasi dihitung berdasarkan durasi pencapaian suhu standar dibandingkan dengan total waktu proses mengikuti formula:

$$\text{Performance (\%)} = (\text{Durasi di atas } 80^{\circ}\text{C} / \text{Total Durasi Proses}) \times 100\%$$

Karena total durasi proses 120 menit dan sepanjang durasi tersebut suhu selalu berada di atas batas minimal, maka *performance*-nya bernilai 100 %. Hal ini berarti suhu tidak pernah turun di bawah batas minimal.

Pengamatan lainnya dilakukan pada *flow return* WFI LVP Tank. Observasi menunjukkan bahwa aliran balik (*flow return*) memiliki nilai minimum 31,0 L/min pada 09 Juli 2025. Nilai rata-rata aliran adalah 215,87 L/min dan nilai maksimum mencapai 310,0 L/min. Persyaratan minimum aliran yang ditetapkan adalah 95 L/min. Selama periode pemantauan, nilai aliran selalu berada di atas batas minimum yang ditentukan, sehingga proses memenuhi kriteria spesifikasi. Efisiensi aliran dihitung sebagai rasio antara aliran rata-rata terhadap aliran maksimum dan diperoleh nilai 69,64%. Efisiensi aliran sebesar 69,64% menunjukkan bahwa sistem SCADA mampu menjaga aliran dalam kisaran stabil meskipun tidak selalu berada pada kapasitas maksimum. *Snapshot* grafik dari observasi *flow return* WFI LVP Tank diberikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perubahan *flow return* WFI LVP Tank

Berdasarkan data pemantauan SCADA pada periode Juli 2025, suhu rata-rata pada tangki WFI LVP adalah sebesar 79,7°C dengan suhu maksimum 123,84°C dan minimum 0°C. Persyaratan operasional yang ditetapkan adalah suhu lebih dari 70°C. Data ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan suhu rata-rata di atas batas minimum yang dipersyaratkan, sehingga memenuhi kriteria penerimaan untuk proses produksi rutin. Di lain pihak, efisiensi suhu dihitung berdasarkan rasio suhu rata-rata terhadap suhu target minimal dan diperoleh nilai 113,86%. Nilai ini mengindikasikan bahwa sistem beroperasi 13,86% di atas batas minimum yang dipersyaratkan, yang berarti margin keamanan cukup baik untuk menjamin kestabilan proses. Performa SCADA dalam pemantauan suhu tangki WFI LVP dapat dinilai sangat baik karena sistem mampu mendeteksi fluktuasi suhu dan mencatat nilai ekstrem (maksimum dan minimum) secara akurat. Meskipun terdapat pembacaan suhu minimum 0°C yang

kemungkinan disebabkan oleh gangguan sensor atau perawatan, data secara keseluruhan menunjukkan kestabilan yang memadai. Suhu maksimum yang tercatat yaitu 123,84°C menunjukkan bahwa sistem juga mampu menjalankan siklus sanitasi termal bila diperlukan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada sistem SCADA di unit *Water for Injection* (WFI) – *Large Volume Parenteral* (LVP) PT Sanbe Farma, dapat disimpulkan bahwa sistem ini memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi dalam mendukung proses monitoring dan logging data. Tingkat ketersediaan data (*data availability*) mencapai 100% pada seluruh parameter yang diamati, menunjukkan bahwa selama periode pengamatan tidak terjadi kehilangan data, gap pencatatan, maupun *downtime* sistem. Pada parameter *flow rate*, efisiensi monitoring bulan Mei tercatat sebesar 85% dengan indeks performa rata-rata 98,6%, sedangkan pada bulan Juni efisiensi menurun menjadi 70% akibat gangguan mekanis pada pompa dan proses, namun sistem SCADA tetap berfungsi optimal dalam mencatat seluruh anomali dengan indeks performa 96%. Untuk parameter konduktivitas WFI, baik pada Cold Loop maupun *Hot loop*, efisiensi monitoring tercatat di atas 99% dengan konsistensi nilai yang stabil di kisaran 0,1–0,3 $\mu\text{S/cm}$, sesuai standar farmasi internasional (USP dan EP). Analisis statistik menunjukkan nilai *variability index* (VI) mencapai 100% dan *Peak-to-Average Ratio* (PAR) tinggi, yang menandakan sistem mampu menangkap fluktuasi ekstrem secara akurat dan real-time. Pada aspek distribusi dan tangki WFI, SCADA terbukti efektif menjaga parameter suhu dan aliran dalam batas yang dipersyaratkan. Proses sanitasi menggunakan WFI Hot tercatat selalu memenuhi standar suhu minimal 80 °C selama 120 menit dengan efisiensi 95,9% dan performa 100%, menunjukkan sistem kendali bekerja optimal dalam mempertahankan kondisi proses. Demikian pula, pengamatan flow return pada WFI Tank menunjukkan aliran rata-rata 215,87 L/min, jauh di atas standar minimum 95 L/min dengan performa 100%. Pemantauan suhu tangki WFI menunjukkan sistem mampu menjaga suhu rata-rata 79,7 °C di atas standar minimum 70 °C, meskipun terdapat nilai ekstrem akibat anomali sensor, namun secara keseluruhan performa tetap sangat baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani dan PT. Sanbe Farma yang telah memberikan fasilitas dalam melakukan penelitian dan memperoleh data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Kılıç, "The importance of water and conscious use of water," *Int. J. Hydrol.*, vol. 4, no. 5, pp. 239–241, 2020, doi: 10.15406/ijh.2020.04.00250.
- [2] A. Wutich, A. Y. Rosinger, A. Brewis, J. Stoler, and W. Jepson, "Measuring Human Water Needs," *Am. J. Hum. Biol.*, vol. 32, no. 1, pp. 1–17, 2020, doi: 10.1002/ajhb.23350.
- [3] C. J. Perry, R. Allen, P. Droogers, A. Kilic, and R. Q. Grafton, "Water Consumption, Measurements and Sustainable Water Use," Technical Report at The Global Commission on the Economics of Water, the Government of the Netherlands, 2023.
- [4] N. M. Arwin *et al.*, *Air Minum untuk Kehidupan: Kualitas, Regulasi, dan Inovasi*. Yayasan Kita Menulis, 2024.
- [5] S. Ringa, "Sustainable water management in the pharmaceutical industry," <https://www.a3p.org/en/sustainable-water-management-in-the-pharmaceutical-industry/>. (diakses tanggal 30 Agustus 2025).
- [6] E. Strade, D. Kalnina, and J. Kulezycka, "Water efficiency and safe re-use of different grades of water - Topical issues for the pharmaceutical industry," *Water Resour. Ind.*, vol. 24, no. May, p. 100132, 2020, doi: 10.1016/j.wri.2020.100132.
- [7] "Sistem Distilasi WFI: Standar Emas untuk Kemurnian Air Farmasi," *Shandong Eagle Pharma Machinery Co., Ltd (WEMAC)*, 2025. <https://www.wemacpharma.com/id/WFI-Distillation-Systems-The-Gold-Standard-for-Pharmaceutical-Water-Purity> (diakses tanggal 9 September 2025).
- [8] "Water for Injection (WFI): Providing High Quality Pharmaceutical Water to Meet Industry Needs and Global Regulations," *Xylem*, 2025. <https://www.xylem.com/en-id/applications/water-for-injection-wfi/>.

***Analisis Efisiensi Sistem SCADA Dalam Monitoring Dan Data Logging Pada Plant Water for Injection (WFI) di Large Volume Parenteral (LVP) PT. Sanbe Farma
(Bunga Wahyudiani, Azmi Hafizat Muzada, Asep Najmurokhman : Halaman 158 - 166)***

(diakses tanggal 3 September 2025).

- [9] D. F. Akbar, G. F. Tambunan, S. I. B. Siringoringo, R. N. Warnata, A. Irawan, and R. W. A. Rozak, "Implementasi Dan Perkembangan Sistem SCADA Di Industri : Tinjauan Dari Sudut Pandang Pakar," *J. Pengabd. Masy. Pemberdayaan, Inov. dan Perubahan*, vol. 3, no. 3, pp. 122–129, 2023.
- [10] Ruwanto, D. Ridwan, A. A. Masriwilaga, H. Kabir, and D. Komaludin, "Implementasi Sistem Supervisory Control and Data Acquisition untuk Proses Koagulasi pada Instalasi Pengolahan Air Berbasis Programmable Logic Controller dan Human Machine Interface Supervisory Control and Data Acquisition System Implementation for The Coa," *TELEKONTRAN*, vol. 11, no. 1, pp. 74–83, 2023.
- [11] M. R. Abdilah, "Perancangan Sistem SCADA untuk Monitoring Kualitas Air Limbah dan Gas IPAL Komunal," Skripsi Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, 2023.
- [12] A. Z. Manurung, M. Dwiyaniti, and N. Muhammad, "Kinerja Sistem Monitoring SCADA Pada PLANT Sistem Pendingin dan AHU," *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-11*, 2025, vol. 11, no. 1, pp. 590–597.
- [13] A. Mughaid, S. Alzu'bi, A. A. A. Alkhatib, A. AlZioud, A. Al Ghazo, and I. AL-Aiash, "Simulation-based framework for authenticating SCADA systems and cyber threat security in edge-based autonomous environments," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 140, no. April, p. 103078, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2025.103078>.
- [14] A. L. Sidiq, K. Dewi, B. J. Nugroho, and P. S. P. Pranida, "Integrasi Sistem IoT Berbasis Multi-Sensor Untuk Pemantauan Real-Time Kualitas Air Limbah Laboratorium Teknik," *J. Kumparan Fis.*, vol. 7, no. 3, pp. 106–113, 2024.
- [15] R. K. Koppichetti, "Enterprise Data Lakes for Pharmaceutical Manufacturing: Enabling Digital Transformation in a Regulated Industry," *J. Adv. Dev. Res.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–17, 2023.
- [16] D. Quintana, L. C. Felix-herran, J. C. Tudon-martinez, and J. D. J. Lozoya-santos, "On Smart Water System Developments: A Systematic Review," *Water*, vol. 17, p. 2571, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/w17172571>.
- [17] S. Wang, Y. Vidal, and F. Pozo, "Recent advances in wind turbine condition monitoring using SCADA data : A," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 267, p. 111838, 2026, doi: [10.1016/j.ress.2025.111838](https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111838).