

Artikel Penelitian (Teknik Mesin)

Optimalisasi Proses Sanitasi Fresh Milk Silo melalui Reduksi Sequence Cleaning in Place (CIP) untuk Mendukung Efisiensi dan Keberlanjutan Industri

Yofan Prayoga, Muhamad Safi'i*, Althesa Androva

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang, Semarang 50232, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 18 Mei 2026
Revisi Akhir: 09 Juni 2026
Diterbitkan Online: 22 Juli 2026

KATA KUNCI

CIP
Efisiensi Air
Fresh Milk
Optimisasi Proses
Silo

KORESPONDENSI (*)

E-mail: muhamadsafi@upgris.ac.id

A B S T R A K

Cleaning in Place (CIP) merupakan sistem sanitasi yang banyak digunakan pada industri pengolahan susu, namun sistem CIP konvensional (*full sequence*) masih membutuhkan konsumsi air, bahan kimia, dan waktu proses yang tinggi. Pada kondisi *cold process* (2–10°C), pembentukan deposit mineral relatif rendah sehingga tahapan *intermediate rinse* dan *acid wash* berpotensi direduksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas metode CIP *caustic only* melalui penyederhanaan sequence dari lima tahap menjadi tiga tahap pada *fresh milk silo*. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membandingkan sistem CIP konvensional dan CIP *caustic only* berdasarkan konsumsi air, waktu proses, penggunaan bahan kimia, serta hasil pengujian sanitasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode CIP *caustic only* mampu menurunkan konsumsi air dari 126 ton menjadi 75 ton per hari (40,48%), mengurangi waktu proses dari 42 menit menjadi 25 menit (40,48%), serta menekan penggunaan bahan kimia dari 828 liter menjadi 540 liter (34,78%). Selain itu, metode ini berpotensi memberikan penghematan biaya operasional hingga Rp3.069.000 per hari tanpa menurunkan efektivitas sanitasi, yang dibuktikan melalui hasil *swab test*, pH, *turbidity*, dan *conductivity* yang masih memenuhi standar kebersihan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode CIP *caustic only* efektif meningkatkan efisiensi penggunaan air, waktu, dan bahan kimia sehingga berpotensi diterapkan sebagai sistem sanitasi yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan pada industri pengolahan susu.

PENDAHULUAN

Industri pengolahan susu merupakan sektor pangan yang sangat bergantung pada sistem sanitasi untuk menjaga kualitas produk, keamanan pangan (*food safety*), serta keberlangsungan proses produksi. Salah satu metode sanitasi yang paling banyak digunakan adalah *Cleaning in Place* (CIP), yaitu sistem pembersihan peralatan tanpa pembongkaran instalasi produksi. Sistem ini diterapkan pada berbagai fasilitas proses seperti pipa, *heat exchanger*, tangki, dan *fresh milk silo* karena mampu memberikan proses pembersihan yang higienis, konsisten, dan efisien [1]. Namun, implementasi CIP konvensional masih memerlukan konsumsi air, energi, bahan kimia, dan waktu operasional yang tinggi sehingga berdampak langsung terhadap biaya produksi dan peningkatan limbah industri. Dalam industri susu, proses CIP dapat menyumbang sekitar 20–30% konsumsi air dan 10–20% total waktu operasional produksi [2]. Tingginya penggunaan utilitas tersebut menjadikan optimasi sistem CIP sebagai kebutuhan penting dalam mendukung efisiensi proses dan keberlanjutan industri.

Sistem CIP konvensional umumnya terdiri dari lima tahapan utama (*full sequence*), yaitu *pre-rinse*, *caustic circulation*, *intermediate rinse*, *acid circulation*, dan *final rinse*. Tahap alkali berfungsi menghilangkan kontaminan organik seperti lemak, protein, dan laktosa, sedangkan tahap asam digunakan untuk membersihkan deposit mineral (*milk stone*) [3]. Pada

sistem produksi bersuhu rendah (*cold process*) di bawah 10 °C, pembentukan deposit mineral relatif rendah sehingga penggunaan larutan asam dan proses pembilasan antara (*intermediate rinse*) menjadi kurang dominan. Kondisi ini membuka peluang untuk melakukan reduksi sequence CIP menjadi sistem *caustic only* dengan tiga tahapan utama, yaitu *pre-rinse*, *caustic wash*, dan *final rinse*. Jin dkk. [5] mengembangkan sistem CIP cerdas untuk meningkatkan efisiensi utilitas industri minuman. Kim dkk. [6] meneliti pemulihan larutan pembersih dari limbah CIP menggunakan teknologi membran, sedangkan Pant dkk. [7] mengembangkan pendekatan CIP berbasis enzim untuk mendukung keberlanjutan industri susu. Brasileiro dkk. [8] juga melaporkan bahwa optimasi proses pembilasan mampu menurunkan konsumsi air dan limbah cair pada sistem CIP. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada optimasi parameter pencucian, teknologi pemulihan limbah, dan modifikasi aliran, sedangkan penelitian mengenai reduksi sequence CIP secara langsung pada *fresh milk silo* kondisi *cold process* masih sangat terbatas. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa optimasi CIP telah dilakukan melalui berbagai pendekatan. Silva dkk. [4] menerapkan metode *pulsed flow* untuk meningkatkan efektivitas pembersihan biofilm pada perpipaan susu

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat *research gap* berupa belum optimalnya penelitian yang mengkaji pengaruh reduksi tahapan CIP terhadap efisiensi konsumsi air, waktu proses, penggunaan bahan kimia, dan biaya operasional secara terintegrasi pada sistem penyimpanan susu bersuhu rendah. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki urgensi tinggi karena tingginya konsumsi air dan bahan kimia pada sistem CIP menjadi salah satu penyebab utama meningkatnya biaya operasional dan beban limbah industri. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan metode *CIP caustic only* melalui reduksi sequence dari lima tahap menjadi tiga tahap pada *fresh milk silo* dengan kondisi *cold process*, tanpa menurunkan efektivitas sanitasi dan standar keamanan pangan. Penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh reduksi sequence terhadap efisiensi penggunaan air, waktu proses, konsumsi bahan kimia, dan biaya operasional secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas metode *CIP caustic only* sebagai alternatif sistem *full sequence* untuk menurunkan konsumsi utilitas dan biaya operasional pada *fresh milk silo*. Manfaat penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri pengolahan susu dalam mengembangkan sistem CIP yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Selain itu, implementasi metode ini diharapkan mampu mendukung penghematan air, energi, bahan kimia, pengurangan limbah cair, serta peningkatan produktivitas dan keberlanjutan industri pangan.

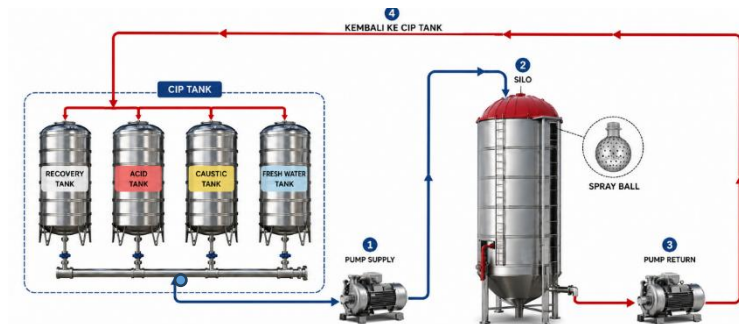
TINJAUAN PUSTAKA

Cleaning in Place (CIP) merupakan metode pembersihan peralatan proses tanpa pembongkaran sistem yang banyak diterapkan pada industri pengolahan susu untuk menjaga kualitas produk, keamanan pangan, dan standar higiene produksi. Sistem ini diaplikasikan pada berbagai fasilitas seperti perpipaan, *heat exchanger*, tangki proses, dan *fresh milk silo* karena mampu melakukan proses sanitasi secara otomatis dan konsisten [9]. Residu yang menempel pada permukaan peralatan umumnya terdiri atas protein, lemak, laktosa, dan sebagian kecil deposit mineral yang apabila tidak dibersihkan secara optimal dapat menjadi media pertumbuhan mikroorganisme [9]. Larutan natrium hidroksida (NaOH) merupakan bahan kimia alkali yang paling umum digunakan dalam sistem CIP karena mampu menghidrolisis protein dan melakukan reaksi saponifikasi terhadap lemak sehingga kontaminan organik dapat terlarut dan mudah terlepas dari permukaan *stainless steel* [9]. Efektivitas proses pembersihan dipengaruhi oleh empat parameter utama, yaitu konsentrasi bahan kimia, temperatur, waktu kontak, dan aksi mekanik berupa turbulensi aliran. Penelitian Silva *et al.* menunjukkan bahwa peningkatan turbulensi aliran mampu meningkatkan pelepasan biofilm dan residu pada perpipaan susu tanpa penambahan bahan kimia secara signifikan [13]. Selain itu, temperatur operasi 70–80°C membantu mempercepat laju reaksi kimia dan menurunkan viskositas lemak sehingga proses pelarutan residu berlangsung lebih efektif [9]. Pada sistem *fresh milk silo* dengan kondisi *cold process* pada rentang suhu 2–10°C, pembentukan deposit mineral (*milk stone*) relatif lebih rendah dibandingkan proses bersuhu tinggi sehingga kebutuhan tahapan *acid wash* menjadi lebih kecil dan pembersihan masih dapat dilakukan secara efektif menggunakan larutan alkali [9]. Kondisi tersebut membuka peluang penerapan metode CIP *caustic only* dengan menyederhanakan tahapan proses menjadi *pre-rinse*, *caustic wash*, dan *final rinse*. Pendekatan ini sejalan dengan perkembangan optimasi sistem CIP modern yang diarahkan untuk mengurangi konsumsi air, bahan kimia, energi, dan limbah tanpa menurunkan efektivitas sanitasi [10]–[12].

METODOLOGI

Model Fisik

Model fisik sistem CIP ditunjukkan oleh Gambar 1. Menunjukkan proses *Cleaning in Place* pada *silo tank* yang bekerja menggunakan sistem *closed-loop*. Model fisik dicermati guna untuk menggambarkan bentuk pipa pada alur CIP sehingga dapat diketahui titik dan parameter yang dianalisis pada penelitian.



Gambar 1. Model Fisik dan *Flow* Proses CIP

Tabel 1. Spesifikasi Proses CIP

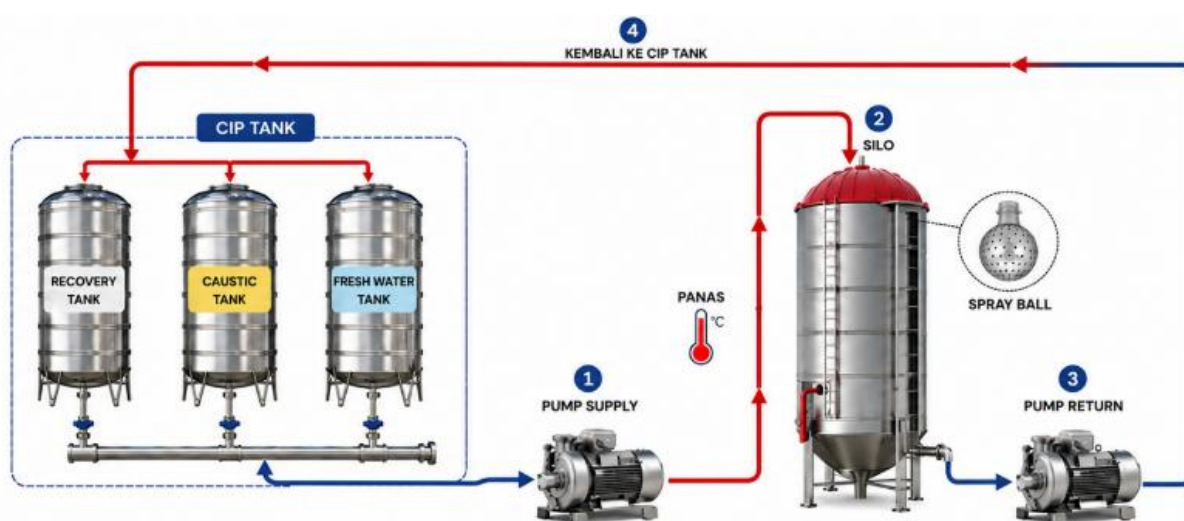
Komponen	Parameter	Spesifikasi
Pump Sentrifugal	Tipe	Centrifugal Stainless Steel Pump
	Flow Rate	30.000 L/h (30 m ³ /h)
	Head Total	25 – 35 m
	Daya Motor	7,5 – 11 kW
	Material	SS316 Food Grade
	Kecepatan	2900 rpm
	Inlet / Outlet	3 inch (DN80)
Fresh Milk Silo	Kapasitas	100 Ton / 100.000 Liter
	Material	Stainless Steel 304
	Diameter	3.200 mm
	Tinggi Total	12.000 mm
	Suhu Operasi	2 – 10 °C
Pipa & Fitting	Spray Ball	Top Spray Ball SS316
	Material	SS304 Food Grade
	Valve	Butterfly Valve
Instrumentasi	Flow Meter	Magnetic Flow Meter
	Temperature Sensor	RTD PT100
	Pressure Gauge	4 – 6 Bar

Skema Eksperimen

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah *proses water* dengan suhu normal dan *chemical* yang digunakan adalah alkali (NaOH) dan *acid* (HCl).

Tabel 2. Spesifikasi Air dan Chemical

Tahap Proses CIP	Media Chemical	Konsentrasi	Suhu Operasi	Waktu Sirkulasi	Fungsi Utama
Pre-Rinse	Air recovery	-	25–40 °C	5 menit	Menghilangkan sisa susu dan kotoran kasar pada permukaan peralatan
Alkali Wash	NaOH	1,2 %	70–80 °C	15 menit	Membersihkan lemak, protein, dan kotoran organik
Intermediate Rinse	Air recovery	-	25–40 °C	5 menit	Membilas sisa larutan alkali dan menurunkan pH sebelum proses asam
Acid Wash	HCl	0,8 %	60–70 °C	12 menit	Menghilangkan kerak mineral, batu susu, dan endapan anorganik
Final Rinse	Fresh Water	-	25–40 °C	5 menit	Membilas sisa larutan asam hingga pH netral dan sistem siap digunakan

Gambar 2. Alur *Cleaning in Place (CIP) Caustic Only*.

Set Up eskperiment pada CIP *Caustic Only* dijelaskan oleh Gambar 2 dengan menyederhanakan tahapan proses CIP konvensional dari lima tahap menjadi tiga tahap utama, yaitu *pre-rinse*, *caustic wash*, dan *final rinse*. Pada metode ini, tahapan *intermediate rinse* dan *acid wash* dieliminasi untuk mengurangi penggunaan air, bahan kimia, energi pemanasan, serta waktu proses pembersihan. Sistem sirkulasi CIP tetap bekerja secara tertutup (*closed loop system*) dimana larutan pembersih dialirkan dari CIP tank menuju silo melalui *pump supply*, kemudian disirkulasikan menggunakan *spray ball*, dan selanjutnya dikembalikan ke CIP tank melalui *pump return*. Untuk memastikan *efektivitas* pembersihan meskipun *sequence* dikurangi, dilakukan monitoring parameter proses secara kontinu meliputi *flow rate*, konduktivitas (*conductivity*), dan temperatur. *Parameter flow rate* digunakan untuk memastikan turbulensi aliran telah mencukupi sehingga proses pembersihan mekanis pada permukaan silo dapat berlangsung optimal. *Monitoring* konduktivitas dilakukan untuk mengetahui konsentrasi larutan *caustic* selama sirkulasi berlangsung dan mendeteksi kemungkinan kontaminasi atau pengenceran larutan. Sementara itu, temperatur dijaga pada rentang tertentu untuk meningkatkan kemampuan larutan alkali dalam melarutkan lemak, protein, dan residu organik susu. Evaluasi keberhasilan proses CIP dilakukan melalui pengambilan sampel air pada tahap *final rinse* untuk pengujian pH. Pengujian ini bertujuan memastikan tidak terdapat residu bahan kimia pembersih yang tertinggal di dalam sistem dan kondisi akhir telah mendekati netral sehingga aman untuk proses produksi berikutnya. Selain itu, dilakukan *swab test* pada permukaan bagian dalam silo setelah proses CIP selesai untuk mengevaluasi tingkat kebersihan mikrobiologis dan sisa kontaminan pada permukaan peralatan. Hasil *monitoring* parameter proses serta pengujian pH dan *swab test* digunakan sebagai indikator

bahwa metode CIP *Caustic Only* masih mampu memberikan performa pembersihan yang efektif meskipun *sequence* proses telah direduksi.

Reduksi Data Eksperimen

Parameter yang di analisis dalam penelitian ini meliputi efektifitas penggunaan chemical, pengurangan waktu, dan penggunaan air. Reduksi pada penggunaan air dihitung berdasarkan pada total konsumsi air pada sistem *full sequence* dan sistem *caustic only*. Perbandingan data tersebut digunakan untuk mengetahui Tingkat penghematan air yang dihasilkan akibat pengurangan tahap proses.

Persamaan Reduksi Penggunaan Air

Efisiensi pengurangan konsumsi air dihitung dengan membandingkan total penggunaan air pada metode *full sequence* terhadap metode CIP *caustic only*.

$$\eta_{air} = \frac{V_{FS}-V_{CO}}{V_{FS}} \times 100\% \quad (1)$$

Persamaan Reduksi Waktu Proses

Efisiensi reduksi waktu dihitung dari selisih total durasi proses antara metode *full sequence* dan *caustic only*.

$$\eta_{waktu} = \frac{t_{FS}-t_{CO}}{t_{FS}} \times 100\% \quad (2)$$

Persamaan Reduksi Penggunaan Chemical

Efisiensi pengurangan penggunaan chemical dihitung berdasarkan total volume bahan kimia yang digunakan.

$$\eta_{chem} = \frac{C_{FS}-C_{CO}}{C_{FS}} \times 100\% \quad (3)$$

Persamaan Penghematan Biaya Operasional

Karena Anda akan menambahkan analisis ekonomi, sebaiknya disertakan satu rumus lagi.

Penghematan biaya air

$$S_{air} = (V_{FS} - V_{CO}) \times H_{air} \quad (4)$$

Penghematan biaya chemical

$$S_{chem} = (C_{FS} - C_{CO}) \times H_{chem} \quad (5)$$

Total Penghematan Operasional

$$S_{total} = S_{air} + S_{chem} \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Reduksi Waktu Terhadap Proses CIP

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 3, proses *Cleaning in Place* (CIP) dengan metode *full sequence* memerlukan total waktu sirkulasi selama 42 menit yang terdiri dari tahapan *pre-rinse* 5 menit, *alkali wash* 15 menit, *intermediate rinse* 5 menit, *acid wash* 12 menit, dan *final rinse* 5 menit. Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *caustic only*, total waktu proses berhasil direduksi menjadi 25 menit karena eliminasi tahapan *intermediate rinse* dan *acid wash*, sehingga diperoleh penghematan waktu sebesar 17 menit dalam satu kali siklus CIP. Pengurangan waktu tersebut menunjukkan bahwa tahapan pembilasan antara dan pencucian asam memiliki kontribusi besar terhadap lamanya proses CIP. Pada sistem *cold process* dengan suhu produk di bawah 10 °C, pembentukan kerak mineral dan endapan anorganik relatif

rendah sehingga proses *acid wash* tidak perlu dilakukan pada setiap siklus pencucian karena residu masih dapat dibersihkan secara efektif menggunakan larutan alkali NaOH konsentrasi 1,0–2,0% pada suhu 70–80 °C. Selain mampu mempertahankan efektivitas pembersihan, reduksi sequence CIP juga memberikan dampak terhadap peningkatan efisiensi operasional karena waktu *downtime* peralatan menjadi lebih singkat sehingga silo dapat lebih cepat digunakan kembali untuk proses produksi. Pengurangan tahapan proses juga menurunkan kebutuhan energi pemanasan, konsumsi listrik pompa sirkulasi, serta penggunaan utilitas lainnya sehingga biaya operasional menjadi lebih efisien. Dengan demikian, metode *CIP caustic only* terbukti mampu meningkatkan efisiensi waktu proses tanpa menurunkan standar sanitasi pada sistem *fresh milk silo*.

Tabel 3. Reduksi Waktu CIP

Tahap Proses CIP	Media / Chemical	Konsentrasi	Suhu Operasi	Waktu Sirkulasi	
Pre-Rinse (Bilas Awal)	Air	-	25–40 °C	5	menit
Alkali Wash (Cuci Alkali)	NaOH	1,0–2,0 %	70–80 °C	15	menit
Intermediate Rinse (Bilas Antara)	Air	-	25–40 °C	5	menit
Acid Wash (Cuci Asam)	HCl	0,5–1,0 %	60–70 °C	12	menit
Final Rinse (Fresh Water)	Fresh Water / Air Bersih	-	25–40 °C	5	menit
TOTAL FULL SEQUENT				42	menit
TOTAL CAUSTIC ONLY				25	menit

Pengaruh Reduksi Air

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4. Diketahui bahwa total penggunaan air pada proses *Cleaning in Place* (CIP) dengan metode *full sequence* mencapai 126 Ton dalam satu hari operasi. Konsumsi air terbesar terjadi pada proses *alkali wash* sebesar 45 Ton dan *acid wash* sebesar 36 ton, sedangkan tahapan *pre-rinse*, *intermediate rinse*, dan *final rinse* masing-masing menggunakan 15 Ton air. Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *caustic only*, konsumsi air berhasil direduksi menjadi 75 Ton karena eliminasi tahapan *intermediate rinse* dan *acid wash*. Dengan demikian, total penghematan penggunaan air yang diperoleh mencapai 51 Ton dalam satu hari proses CIP. Pengurangan konsumsi air tersebut menunjukkan bahwa tahapan pembilasan antara dan pencucian asam memberikan kontribusi cukup besar terhadap tingginya penggunaan utilitas pada sistem CIP konvensional. Pada sistem *fresh milk silo* dengan metode *cold process*, pembentukan deposit mineral relatif rendah sehingga penggunaan *acid wash* tidak perlu dilakukan pada setiap siklus pencucian dan proses pembersihan masih dapat dilakukan secara efektif menggunakan larutan alkali. Reduksi sequence CIP juga berdampak pada penurunan volume limbah cair yang dihasilkan sehingga beban pengolahan limbah menjadi lebih rendah dan lebih ramah lingkungan. Selain itu, pengurangan penggunaan air secara langsung turut menekan konsumsi energi pemanasan, biaya utilitas, dan biaya operasional perusahaan secara keseluruhan. Oleh karena itu, penerapan metode *CIP caustic only* terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air tanpa mengurangi efektivitas sanitasi pada proses pembersihan *fresh milk silo*.

Tabel 4. Pengaruh Reduksi Air

Tahap Proses CIP	Media / Chemical	Konsentrasi	Suhu Operasi	Konsumsi Air/Hari	
Pre-Rinse (Bilas Awal)	Air	-	25–40 °C	15	Ton
Alkali Wash (Cuci Alkali)	NaOH	1,20%	70–80 °C	45	Ton
Intermediate Rinse (Bilas Antara)	Air	-	25–40 °C	15	Ton
Acid Wash (Cuci Asam)	HCl	0,80%	60–70 °C	36	Ton
Final Rinse (Fresh Water)	Fresh Water / Air Bersih	-	25–40 °C	15	Ton
TOTAL FULL SEQUENT				126	Ton
TOTAL CAUSTIC ONLY				75	Ton

Pengaruh Reduksi Chemical

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode CIP *Caustic Only* mampu memberikan penghematan penggunaan *chemical* dibandingkan metode *full Sequence*. Pada CIP *full Sequence*, total penggunaan *chemical* mencapai 828 Liter yang terdiri dari 540 Liter NaOH dan 288 Liter HCl, sedangkan pada metode *Caustic Only* penggunaan *chemical* hanya sebesar 540 Liter NaOH tanpa tambahan *acid*. Hal ini menunjukkan adanya pengurangan konsumsi *chemical* sebesar 288 Liter atau sekitar 34,78%, sehingga metode *Caustic Only* dinilai lebih efisien dalam menekan penggunaan *chemical* dan biaya operasional. Selain lebih sederhana dan lebih cepat dalam proses pelaksanaan, metode ini tetap mampu mendukung proses pembersihan peralatan secara efektif untuk kondisi operasional tertentu.

Tabel 5. Pengaruh reduksi *chemical*

Tahap Proses CIP	Media / Chemical	Konsentrasi	Suhu Operasi	Konsumsi Chemical	
Pre-Rinse (Bilas Awal)	Air	-	25–40 °C	0	Liter
Alkali Wash (Cuci Alkali)	NaOH	1.2%	70–80 °C	540	Liter
Intermediate Rinse (Bilas Antara)	Air	-	25–40 °C	0	Liter
Acid Wash (Cuci Asam)	HCl	0.8%	60–70 °C	288	Liter
Final Rinse (Fresh Water)	Fresh Water / Air Bersih	-	25–40 °C	0	Liter
TOTAL FULL SEQUENT				828	Liter
TOTAL CAUSTIC ONLY				540	Liter

Pengaruh Reduksi Sequence CIP terhadap Efisiensi Biaya Operasional

Selain memberikan penghematan konsumsi air, waktu proses, dan penggunaan bahan kimia, penerapan metode CIP *caustic only* juga berpotensi menurunkan biaya operasional perusahaan secara signifikan. Berdasarkan hasil penelitian, konsumsi air pada metode *full sequence* sebesar 126 ton/hari berhasil direduksi menjadi 75 ton/hari, sehingga diperoleh penghematan sebesar 51 ton air per hari atau sekitar 40,48%. Apabila tarif penggunaan air industri diasumsikan sebesar Rp15.000 per m³ (1 ton ≈ 1 m³), maka potensi penghematan biaya air dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Penghematan Biaya Air} = 51 \times \text{Rp}15.000 = \text{Rp}765.000/\text{hari}$$

Dengan asumsi proses produksi berlangsung selama 300 hari kerja per tahun, maka estimasi penghematan biaya penggunaan air mencapai:

$$\text{Rp}765.000 \times 300 = \text{Rp}229.500.000/\text{tahun}$$

Selain penghematan air, metode CIP *caustic only* juga menghilangkan penggunaan larutan asam (HCl) sebesar 288 liter per hari. Jika harga rata-rata HCl food grade diasumsikan Rp8.000 per liter, maka diperoleh potensi penghematan:

$$288 \times \text{Rp}8.000 = \text{Rp}2.304.000/\text{hari}$$

atau sekitar:

$$\text{Rp}2.304.000 \times 300 = \text{Rp}691.200.000/\text{tahun}$$

Dengan demikian, total potensi penghematan langsung dari penggunaan air dan bahan kimia diperkirakan mencapai:

Tabel 6. Efisiensi Biaya Operasional

Komponen	Penghematan/Hari	Penghematan/Tahun
Air	Rp765.000	Rp229.500.000
HCl	Rp2.304.000	Rp691.200.000
Total	Rp3.069.000	Rp920.700.000

Nilai tersebut belum memperhitungkan penghematan energi pemanasan, konsumsi listrik pompa sirkulasi, biaya pengolahan limbah cair, serta peningkatan produktivitas akibat berkurangnya waktu downtime peralatan sebesar 17 menit

pada setiap siklus CIP. Oleh karena itu, implementasi metode CIP *caustic only* tidak hanya memberikan keuntungan dari aspek teknis dan lingkungan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang cukup besar bagi industri pengolahan susu.

Pengaruh CIP Caustic Only Terhadap Equipment

Berdasarkan hasil validasi menggunakan metode *visual test* dan *swab test*, proses CIP *Caustic Only* menunjukkan bahwa permukaan bagian dalam silo tetap bersih dan memenuhi standar sanitasi yang telah ditetapkan. Hasil visual pada Gambar 3 memperlihatkan tidak adanya sisa produk, kerak susu, maupun lapisan lemak yang menempel pada dinding dan agitator silo setelah proses pembersihan dilakukan. Fenomena ini terjadi karena larutan kaustik (NaOH) mampu melarutkan kontaminan organik seperti protein dan lemak susu secara efektif, sedangkan aliran sirkulasi dengan suhu dan tekanan tertentu menghasilkan turbulensi yang membantu melepaskan kotoran dari permukaan *stainless steel*. Meskipun tahapan pencucian asam (*acid cleaning*) dihilangkan, kondisi peralatan tetap terlihat bersih dan mengkilap karena selama proses produksi tidak ditemukan penumpukan mineral atau *milk stone* yang signifikan, sehingga CIP *Caustic Only* masih mampu mempertahankan kebersihan peralatan secara optimal serta lebih efisien dalam penggunaan bahan kimia, air, energi, dan waktu proses.



Gambar 3. Visual Check Silo.

Tabel 7. Hasil Swab Tes

Object	No	Date	Micro (<100 CFU/ml)	PH (7.0-8.0)	Turbidity (0-2.30 NTU)	Conductivity (<500 uS/cm)
Raw Milk Silo	1	12-Aug	<100	7.68	0.28	78.6
		03-Sep	<10	6.83	0.04	93.5
		24-Sep	<10	8.16	0.01	97.5
	2	16-Aug	<100	8.51	0.44	91.1
		03-Sep	<10	7.78	0.06	98.3
		25-Sep	<10	8.51	0.03	81.4
Thermized Milk Silo	1	16-Aug	<100	8.51	0.16	99.0
		18-Sep	<10	8.53	0.35	94.7
		25-Sep	<10	8.28	0.02	91.6
	2	13-Sep	<10	8.72	0.02	95.1
		28-Sep	<10	8.81	0.12	95.7
	3	03-Sep	<100	7.08	0.04	96.5
		25-Sep	<10	8.97	0.43	102.6

Meskipun hasil penelitian menunjukkan bahwa metode CIP *caustic only* mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, waktu proses, dan bahan kimia tanpa menurunkan efektivitas sanitasi, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian hanya dilakukan pada *fresh milk silo* dengan kondisi *cold process* pada rentang suhu 2–10°C, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan untuk peralatan industri susu lain yang beroperasi pada suhu tinggi, seperti *plate heat exchanger* atau *pasteurizer*, yang memiliki potensi pembentukan *milk stone* lebih besar. Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi dampak jangka panjang terhadap pembentukan deposit mineral maupun potensi korosi material akibat eliminasi tahapan *acid wash*. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengkaji penerapan metode CIP *caustic only* pada berbagai jenis peralatan dan kondisi operasi yang berbeda.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode CIP *caustic only* pada *fresh milk silo* kondisi *cold process* memiliki potensi implementasi yang baik di industri pengolahan susu. Reduksi tahapan proses dari lima tahap menjadi tiga tahap mampu menurunkan konsumsi air, waktu proses, dan penggunaan bahan kimia tanpa mengurangi efektivitas

sanitasi peralatan. Selain memberikan dampak terhadap efisiensi penggunaan utilitas, metode ini juga berpotensi mengurangi volume limbah cair serta meningkatkan produktivitas melalui pengurangan waktu *downtime* peralatan. Oleh karena itu, metode CIP *caustic only* dapat dipertimbangkan sebagai alternatif strategi optimasi sistem sanitasi untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi operasional industri pengolahan susu.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa optimasi sistem CIP melalui reduksi *sequence* memiliki dampak ekonomi yang nyata terhadap efisiensi operasional industri. Temuan ini sejalan dengan konsep *sustainable manufacturing*, yaitu upaya meningkatkan produktivitas dengan meminimalkan konsumsi sumber daya dan limbah proses tanpa mengurangi kualitas produk maupun standar keamanan pangan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, metode *Cleaning in Place* (CIP) *caustic only* pada *fresh milk silo* kondisi *cold process* terbukti mampu menjawab permasalahan tingginya konsumsi air, waktu proses, penggunaan bahan kimia, dan biaya operasional pada sistem CIP konvensional (*full sequence*). Reduksi tahapan CIP dari lima tahap menjadi tiga tahap, yaitu *pre-rinse*, *caustic wash*, dan *final rinse*, berhasil meningkatkan efisiensi proses tanpa menurunkan efektivitas sanitasi dan standar keamanan pangan. Hasil penelitian menunjukkan adanya penghematan konsumsi air sebesar 40.48%, pengurangan waktu proses sebesar 40.48%, serta *eliminasi* penggunaan larutan asam sebanyak 34.78%. Selain itu, hasil visual test dan swab test menunjukkan bahwa kondisi permukaan silo tetap bersih, bebas residu, dan memenuhi standar kebersihan yang ditetapkan. Dengan demikian, metode CIP *caustic only* dapat menjadi alternatif sistem sanitasi yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan serta berpotensi diterapkan pada industri pengolahan susu untuk mendukung produktivitas dan keberlanjutan proses produksi. Berdasarkan hasil penelitian, perusahaan disarankan untuk menerapkan metode CIP *caustic only* secara bertahap pada proses *fresh milk silo* dengan kondisi *cold process* karena terbukti mampu menurunkan konsumsi air, waktu proses, penggunaan bahan kimia, dan biaya operasional tanpa mengurangi efektivitas sanitasi. Selain itu, perusahaan perlu tetap melakukan monitoring rutin terhadap parameter kebersihan seperti pH, *conductivity*, dan *swab test* untuk memastikan standar keamanan pangan tetap terjaga. Evaluasi berkala terhadap potensi pembentukan deposit mineral juga diperlukan agar penggunaan *acid wash* dapat dilakukan secara periodik sesuai kebutuhan operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moerman, F., Rizoulières, P., & Majoor, F. A. (2014). *Cleaning in place (CIP) in food processing*. In H. L. M. Lelieveld, J. Holah, & D. Napper (Eds.), *Hygiene in Food Processing: Principles and Practice* (2nd ed., pp. 305–383). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098634.3.305>
Link: [ScienceDirect – Cleaning in place \(CIP\) in food processing](#)
- [2] Fan, M., Friis, A., & Heldman, D. R. (2025). *Is cleaning in place (CIP) ready for the future? – A critical assessment*. *Food and Bioproducts Processing*, 152, 1–15. (Pernyataan mengenai konsumsi air 20–30% dan waktu operasional 10–20% pada industri dairy). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.09.022>
Link: [Food and Bioproducts Processing - CIP Critical Assessment](#)
- [3] Bylund, G. (2015). *Cleaning of dairy equipment*. In *Dairy Processing Handbook* (pp. 441–456). Tetra Pak Processing Systems AB.
Link: [Tetra Pak Dairy Processing Handbook](#)
- [4] Silva LD, Aguiar MM, Paiva AD, Bernardes PC, Gedraite R, Naves EAA. *Optimization of clean-in-place (CIP) procedure of pipelines contaminated with Bacillus cereus by applying pulsed flow*. *Food Control*. 2023;147:109565. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713522007587>
- [5] Jin G, Jiang Z, Sun Y, Liu Z, Liu S, Wu F. *Intelligent clean-in-place (CIP) system in beverage (healthy water) cleaner production*. *Food Control*. 2025;168:110877. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713524005942>
- [6] Kim WJ, Huellemeier H, Heldman DR. *Recovery of cleaning agents from clean-in-place (CIP) wastewater using nanofiltration (NF) and forward osmosis (FO)*. *J Water Process Eng*. 2023;53:103617. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714423000923>
- [7] Pant, A., Singh, P., & Kumari, M. (2020). *Enzyme-based cleaning-in-place strategies for sustainable dairy*. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v5i1.1749>

- processing. International Dairy Journal*, 105, 104676.
 jurnal:International Dairy Journal link: <https://www.sciencedirect.com/journal/international-dairy-journal?utm>
- [8] Brasileiro RG, Silva LD, Sislian R, Gedraite R. *Rinse model implementation of alkaline detergent in clean-in-place process with gradual flow reduction for economy of water and effluent reduction. J Food Process Eng.* 2023;46(7):e14343. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpe.14343>
- [9] Bylund, G. (2021). *Dairy Processing Handbook: Cleaning of Dairy Equipment*. Lund: Tetra Pak Processing Systems.
- [10] Fan, M., Friis, A., & Heldman, D. R. (2025). Is cleaning in place (CIP) ready for the future? – A critical assessment. *Food and Bioproducts Processing*, 152, 1–15.
- [11] Jin, G., Jiang, Z., Sun, Y., Liu, Z., Liu, S., & Wu, F. (2025). Intelligent clean-in-place (CIP) system in beverage cleaner production. *Food Control*, 168, 110877.
- [12] Kim, W. J., Huellemeier, H., & Heldman, D. R. (2023). Recovery of cleaning agents from clean-in-place (CIP) wastewater using nanofiltration and forward osmosis. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103617.
- [13] Silva, L. D., Aguiar, M. M., Paiva, A. D., Bernardes, P. C., Gedraite, R., & Naves, E. A. A. (2023). Optimization of clean-in-place procedure of pipelines contaminated with *Bacillus cereus* by applying pulsed flow. *Food Control*, 147, 109565.