

Optimalisasi Konsumsi Energi Kompresor Melalui Otomatisasi Valve Pneumatik Pada Lini Pengeringan Galon 19L

Ricky Sinaga*, Melisa Mulyadi

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

Article Info

Article history:

Received
July 7, 2025

Accepted
July 17, 2025

Keywords: *energy efficiency, pneumatic system, compressor optimization, industrial automation, AMDK*

Abstract

This engineering practice project is designed to improve energy efficiency by modernizing the drying process in the 19-liter gallon packaging line within a Bottled Drinking Water (AMDK) facility. Traditionally, the drying system operated by continuously releasing compressed air at high pressure, regardless of whether a product was present, leading to substantial energy waste. To mitigate this inefficiency, a low-cost automation system was deployed, integrating inductive proximity sensors with pneumatic solenoid valves. These components enable airflow to be activated only when a gallon is detected at the drying station, thereby eliminating unnecessary energy discharge. Quantitative evaluations reveal that this system effectively reduces compressor operating hours and lowers daily energy consumption. The monthly cost savings amount to IDR 3,070,553, equivalent to annual savings of approximately IDR 36,846,640. The system requires minimal capital investment, with a calculated payback period of less than 24 hours. In addition to its financial benefits, the solution promotes operational reliability, reduces compressor wear, and aligns with sustainable industrial practices. Its simplicity and affordability make it highly replicable for similar pneumatic systems across various manufacturing settings.

Info Artikel

Histori Artikel:

Diserahkan:
7 Juli 2025

Diterim:
17 Juli 2025

Kata Kunci: efisiensi energi, sistem pneumatik, optimasi kompresor, otomasi industri, AMDK

Abstrak

Proyek praktik keinsinyuran ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dengan memodernisasi proses pengeringan pada lini pengemasan galon 19 liter di fasilitas Air Minum Dalam Kemasan (AMDK). Sebelumnya, sistem pengering beroperasi dengan menyemprotkan udara terkompresi bertekanan tinggi secara terus-menerus, tanpa mempertimbangkan keberadaan produk, sehingga menyebabkan pemborosan energi yang signifikan. Untuk mengatasi masalah ini, diterapkan sistem otomatisasi berbiaya rendah yang mengintegrasikan sensor *proximity* induktif dengan katup solenoid pneumatik. Komponen ini memungkinkan aliran udara hanya aktif saat galon terdeteksi berada di stasiun pengeringan, sehingga menghilangkan pembuangan energi yang tidak perlu. Evaluasi kuantitatif menunjukkan bahwa sistem ini secara efektif mengurangi jam kerja kompresor dan menurunkan konsumsi energi harian. Penghematan biaya bulanan mencapai Rp 3.070.553, atau sekitar Rp 36.846.640 per tahun. Sistem ini membutuhkan investasi yang sangat rendah, dengan periode pengembalian (*payback period*) kurang dari 24 jam. Selain manfaat finansial, solusi ini juga meningkatkan keandalan operasional, mengurangi keausan kompresor, dan mendukung praktik industri berkelanjutan. Kesederhanaan dan keterjangkauannya membuat sistem ini sangat layak direplikasi pada sistem pneumatik sejenis di berbagai lingkungan manufaktur.

*Corresponding author. Ricky Sinaga
Email address: rickysinaga2810@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Efisiensi energi merupakan salah satu fondasi utama dalam pengembangan sistem produksi yang berkelanjutan, terutama pada sektor manufaktur modern yang dituntut adaptif terhadap tekanan energi dan lingkungan global. Di antara berbagai sistem yang berkontribusi terhadap konsumsi daya industri, sistem udara terkompresi menempati posisi signifikan, menyumbang sekitar 10–30% dari total konsumsi energi listrik pabrik (Wang & Zhao, 2020). Namun, lebih dari separuh energi tersebut berpotensi terbuang karena desain sistem yang tidak responsif dan penggunaan yang konstan tanpa kontrol otomatis (Singh & Patel, 2020; Thomas & Nguyen, 2020).

Salah satu contoh nyata dari pemborosan tersebut dapat ditemukan di industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK), khususnya pada tahapan pengeringan galon 19 liter sebelum proses pencetakan kode produksi menggunakan mesin *inkjet*. Berdasarkan observasi langsung di lapangan, proses pengeringan ini dilakukan dengan menyemprotkan udara bertekanan tinggi secara terus-menerus ke *nozzle* pengering tanpa mempertimbangkan keberadaan galon. Kondisi tersebut menyebabkan pemborosan energi yang besar, mempercepat keausan kompresor, dan meningkatkan biaya operasional (Hermawan & Supriyanto, 2021; Zhang *et al.*, 2023).

Untuk mengatasi hal tersebut, beberapa studi telah mengusulkan solusi berbasis sensor, terutama penggunaan sensor *proximity* yang dipasangkan dengan katup solenoid pneumatik. Sistem ini dikategorikan sebagai *low-cost automation*, yaitu pendekatan otomasi dengan biaya implementasi rendah namun tetap berdampak besar terhadap efisiensi energi (Susanto, 2021; Choi & Kim, 2021). Penelitian oleh Rani & Hidayat (2024) dan Nasution & Harahap (2022) menunjukkan bahwa sistem pneumatik berbasis logika sederhana tanpa keterlibatan PLC atau IoT mampu memberikan penghematan energi hingga 40%.

Praktik keinsinyuran ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan sistem kontrol otomatisasi pengering galon berbasis sensor keberadaan dan katup pneumatik, yang dikendalikan oleh logika *timer-relay*. Desain ini dirancang agar semprotan udara hanya aktif ketika galon terdeteksi pada posisi pengeringan. Pendekatan ini tidak hanya mengutamakan efisiensi teknis dan finansial, tetapi juga membawa nilai praktis karena dapat dibangun dengan teknologi yang tersedia secara lokal dan biaya yang sangat rendah.

Dari aspek kebaruan, studi ini mengajukan sistem otomasi sederhana berbasis *relay timer* sebagai alternatif ekonomis dan aplikatif terhadap pengoperasian konvensional tanpa kontrol logika. Inovasi ini terletak pada penerapannya yang spesifik untuk proses pengeringan galon di lini AMDK serta pada logika kontrol berbasis *relay-timer* yang menggantikan metode semprotan konstan. Studi ini membedakan dirinya dari pendekatan sebelumnya seperti oleh Yanto & Vannie (2019) yang menggunakan sistem berbasis PLC berbiaya tinggi, maupun Rani & Hidayat (2024) serta Nasution & Harahap (2022) yang tidak mengevaluasi dampak ekonomi secara kuantitatif di konteks industri aktual. Dengan hasil penghematan signifikan dan periode pengembalian investasi kurang dari satu hari, pendekatan ini memberikan kontribusi nyata dan aplikatif dalam penerapan prinsip *green manufacturing* di sektor industri berbasis volume tinggi (Tanaka *et al.*, 2020; Lee & Bae, 2019; Park & Woo, 2024).

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan praktik keinsinyuran ini dilaksanakan di salah satu fasilitas produksi industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang berlokasi di wilayah Jabodetabek, Indonesia. Fasilitas ini memiliki lini pengemasan galon 19 liter yang beroperasi secara semi-otomatis

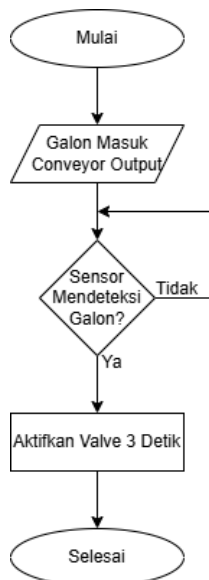
dengan kapasitas produksi rata-rata 18.000 galon per hari. Fokus kegiatan terletak pada tahapan akhir proses pengemasan, yaitu pengeringan galon sebelum pencetakan kode produksi menggunakan mesin inkjet. Seluruh tahapan pelaksanaan dirancang secara sistematis dan dokumentatif agar dapat direplikasi pada lini produksi serupa di industri lain.

2.1 Identifikasi Masalah

Observasi lapangan dilakukan selama tiga hari operasional penuh untuk memahami kondisi aktual sistem pengering eksisting. Tim teknik mencatat bahwa sistem saat ini menggunakan udara terkompresi dari kompresor sentral bertekanan ± 7 bar yang disalurkan ke *nozzle* pengering dan disemprotkan terus-menerus, tanpa mempertimbangkan keberadaan galon di jalur konveyor. Pengukuran melalui panel daya menunjukkan konsumsi listrik harian sebesar $\pm 258,57$ kWh/hari. Selain menyebabkan pemborosan energi, kondisi ini juga mempercepat keausan kompresor dan meningkatkan intensitas kebutuhan perawatan (Compressed Air Best Practices, 2022). Ketidakhadiran logika kontrol juga menyebabkan operator tidak dapat mengintervensi semprotan secara adaptif. Oleh karena itu, tim memutuskan untuk mengembangkan solusi otomasi berbasis sensor keberadaan galon guna mengaktifkan semprotan udara hanya saat diperlukan.

2.2 Desain Sistem Otomatisasi

Solusi yang dikembangkan mengadopsi pendekatan *low-cost automation* dengan memanfaatkan sensor *proximity* induktif tahan air (IP67, 24VDC, respon ≤ 2 ms) dan *solenoid valve* pneumatik. Sensor dipasang pada sisi konveyor sebelum titik semprotan, sementara *solenoid valve* dipasang secara *in-line* pada jalur suplai udara menuju *nozzle*. Kontrol sistem dirancang menggunakan modul relay timer yang mengaktifkan *valve* selama 3 detik setelah sensor mendeteksi galon. Penyesuaian waktu disesuaikan dengan kecepatan conveyor untuk menghindari semprotan yang terlalu panjang atau terlalu pendek. Penyesuaian waktu dilakukan berdasarkan kecepatan conveyor, untuk mencegah semprotan terlalu lama atau terlalu singkat. Diagram kontrol digambarkan dalam *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1.

Diagram alir sistem kontrol otomatisasi pengering galon

Konsep ini dipilih karena sifatnya yang sederhana, andal, dan sesuai untuk konfigurasi lini linear tanpa kebutuhan tambahan seperti *PLC* atau mikrokontroler.

2.3 Instalasi dan Integrasi Sistem

Instalasi dimulai dengan pembuatanudukan (*bracket*) sensor dan penempatan *holder* untuk *solenoid valve*. Kabel sensor ditarik ke dalam panel kontrol eksisting, disambungkan ke *power supply* 24VDC, dan dilindungi menggunakan MCB 2A. Seluruh sambungan diuji secara mekanis untuk memastikan ketahanan terhadap getaran dan kestabilan operasional. Pengujian fungsi sistem dilakukan sebanyak tiga siklus penuh lintasan konveyor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja sesuai desain: saat galon melewati sensor, *valve* aktif selama ± 3 detik, kemudian menutup sebelum galon berikutnya tiba. Tidak ditemukan *delay* atau gangguan sinyal.

2.4 Monitoring dan Pengumpulan Data

Pemantauan dilakukan selama 7 hari kerja penuh, untuk memperoleh data performa sistem yang stabil. Data yang dikumpulkan meliputi:

1. Durasi *ON/OFF valve* per *shift*
2. Frekuensi aktivasi sensor
3. Konsumsi energi listrik dari panel daya
4. Lama kerja kompresor (*running hours*)

Alat ukur yang digunakan terdiri dari clamp meter digital, histori energi pada panel daya, dan timer digital tambahan. Data direkap harian oleh teknisi lapangan dalam lembar evaluasi.

2.5 Analisis Data dan Evaluasi Efisiensi

Analisis dilakukan dengan pendekatan komparatif kuantitatif antara kondisi sebelum dan sesudah implementasi sistem otomatisasi. Hasilnya menunjukkan penurunan signifikan durasi kerja kompresor dari 24 jam menjadi rata-rata ± 5 jam per hari. Dampak langsungnya berupa penurunan konsumsi listrik dari Rp 3.878.594 per bulan menjadi Rp 808.040 per bulan, menghasilkan efisiensi sebesar Rp 3.070.553 per bulan atau sekitar Rp 36.846.640 per tahun. Investasi sistem hanya sebesar Rp 491.500 dengan periode pengembalian (*payback period*) kurang dari satu hari.

Metodologi evaluasi ini mengadaptasi pendekatan yang digunakan oleh Yanto & Vannie (2019), dengan memperluas cakupan indikator melalui parameter waktu kerja aktual dan biaya operasional, sehingga hasilnya lebih aplikatif dan relevan secara industri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Implementasi

Setelah sistem otomatisasi diimplementasikan dan diuji selama satu minggu masa operasional, diperoleh hasil bahwa sistem bekerja secara stabil dan akurat. Sensor *proximity* berhasil mendeteksi keberadaan galon dengan presisi, dan aktivasi *solenoid valve* berlangsung sesuai desain yaitu selama ± 3 detik per siklus deteksi. Tidak ditemukan gangguan mekanis, *delay*, atau kegagalan sinyal selama masa uji coba, yang membuktikan bahwa integrasi antar-komponen berlangsung optimal.

Selain kestabilan teknis, sistem menunjukkan efektivitas signifikan dalam menurunkan waktu kerja kompresor. Kompresor yang sebelumnya beroperasi selama 24 jam penuh per hari, kini hanya aktif rata-rata 5 jam/hari, sesuai kebutuhan aktual pasokan udara. Ini tidak hanya menghemat energi, tetapi juga mengurangi keausan komponen, menurunkan beban pendinginan, serta memperpanjang interval perawatan berkala.

3.2 Data Perbandingan Konsumsi Energi

Tabel 1 merangkum data perbandingan konsumsi energi sebelum dan sesudah sistem otomatisasi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem ini mampu menurunkan konsumsi listrik hingga 79,16%, dengan efisiensi biaya yang signifikan dan payback period sangat singkat.

Tabel 1.

Data Perbandingan Konsumsi Energi

Parameter	Sebelum Otomatisasi	Setelah Otomatisasi
Daya Kompresor (kW)	37	37
Rata-rata <i>Load</i> (%)	26	26
Durasi akhir valve (jam/hari)	24	20
Konsumsi Listrik (kWh/hari)	258,57	53,87
Biaya Listrik per Bulan (Rp)	3.878.594	808.040
Penghematan Bulanan (Rp)	-	3.070.553
Estimasi Penghematan Tahunan (Rp)	-	36.846.640
<i>Payback Period</i>	-	1 hari

3.3 Dampak Tambahan Terhadap Operasional

Selain penghematan energi, sistem juga menghasilkan dampak positif terhadap aspek operasional lainnya:

1. Pengurangan beban kompresor: dengan berkurangnya waktu aktif valve, tekanan sistem menjadi lebih stabil, dan frekuensi siklus kompresor menurun.
2. Peningkatan keandalan sistem: sensor proximity memiliki umur pakai yang panjang dan bekerja dalam kondisi lingkungan lembap tanpa penurunan akurasi.
3. Pemeliharaan lebih ringan: kerja kompresor yang lebih ringan berdampak langsung pada berkurangnya kebutuhan perawatan dan downtime.
4. Replikabilitas tinggi: sistem dapat diterapkan dengan cepat dan biaya rendah di titik pneumatik lain dalam fasilitas produksi.

3.4 Pembahasan dan Interpretasi

Hasil ini memperkuat temuan dari Rachman & Kusumawati (2021) dan Widodo (2018), bahwa sistem berbasis sensor sederhana dapat memberikan efisiensi tinggi tanpa memerlukan teknologi kompleks. Pencapaian payback period kurang dari satu hari menunjukkan bahwa solusi ini sangat *feasible*, baik dari sisi teknis maupun ekonomi. Dari sudut pandang keinsinyuran, pendekatan ini merepresentasikan penerapan prinsip *value engineering*, yaitu menghasilkan manfaat maksimal dengan biaya minimal. Proyek ini juga mengadopsi prinsip *data-driven engineering*, di mana keputusan desain dan evaluasi sistem didasarkan pada pengamatan dan analisis kuantitatif langsung dari lapangan.

Dengan karakteristik modular, sistem ini juga mendukung transformasi menuju *lean manufacturing* dan *green industry*. Hal ini sejalan dengan arahan efisiensi energi industri global yang direkomendasikan oleh *International Energy Agency* (IEA, 2020) dan *Compressed Air Best Practices* (2022), serta menjawab tantangan energi pada industri berbasis volume tinggi seperti AMDK. Studi ini berhasil membuktikan bahwa otomasi berbiaya rendah berbasis logika *relay* bukan hanya layak secara teknis, tetapi juga kompetitif dari sisi finansial dan mudah diadopsi secara luas.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Praktik keinsinyuran yang dilakukan pada sistem pengeringan galon di lini produksi AMDK berhasil membuktikan bahwa efisiensi energi dapat dicapai secara signifikan melalui pendekatan otomatisasi sederhana. Dengan mengintegrasikan sensor keberadaan galon dan *solenoid valve* pneumatik, sistem ini mampu menurunkan durasi aktif aliran udara dari 24 jam menjadi hanya sekitar 3 detik per galon. Dampaknya sangat nyata terhadap penghematan energi, dengan penurunan konsumsi listrik sebesar 79% dan efisiensi biaya listrik lebih dari Rp 3 juta per bulan.

Implementasi ini juga meningkatkan keandalan operasional, memperpanjang umur pakai kompresor, serta mengurangi kebutuhan pemeliharaan. Periode pengembalian investasi yang sangat singkat (kurang dari satu hari) menunjukkan bahwa proyek ini sangat layak secara teknis dan ekonomis. Selain menjadi solusi lokal yang efektif, sistem ini juga dapat direplikasi dengan mudah di titik-titik pneumatik lainnya. Berbeda dari pendekatan otomasi sebelumnya yang mengandalkan *Programmable Logic Controller (PLC)* dan sistem kendali kompleks (Yanto dan Vannie, 2019), sistem ini menunjukkan bahwa logika kontrol berbasis *relay* sederhana pun mampu memberikan efisiensi dan dampak signifikan dengan investasi yang jauh lebih rendah.

4.2 Saran

1. Skalabilitas Sistem: Disarankan agar sistem otomatisasi ini diterapkan pada titik-titik lain dalam fasilitas produksi yang masih menggunakan sistem pneumatik manual dan kontinyu.
2. Integrasi Kontrol Lanjutan: Untuk peningkatan lebih lanjut, sistem dapat dikembangkan menggunakan kontrol berbasis PLC atau IoT agar dapat dimonitor secara daring dan terintegrasi dalam sistem *energi plant*.
3. Audit Energi Berkala: Perlu dilakukan audit energi secara berkala untuk mengidentifikasi potensi efisiensi lain, terutama pada sistem yang bekerja *non-stop* dan bertekanan tinggi.
4. Pelatihan Operator: Operator produksi dan teknisi perlu diberikan pelatihan terkait logika kerja sistem dan *troubleshooting* dasar agar sistem tetap berfungsi optimal dalam jangka panjang.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Choi, Y. & Kim, H. (2021). Low-cost automation strategy for small-scale industrial energy systems. *Journal of Industrial Automation*, 17(3), 142–150.
2. Compressed Air Best Practices. (2022). Optimizing compressed air systems for energy efficiency. [online] Tersedia di: <https://www.airbestpractices.com> [Diakses 15 Jul. 2025].
3. Hermawan, T. & Supriyanto, A. (2021). Studi efisiensi pemakaian udara terkompresi pada sistem pengemasan. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 19(2), 95–102.
4. International Energy Agency (IEA). (2020). *Energy Efficiency 2020: Analysis and outlooks to 2040*. Paris: IEA Publications.
5. Lee, J. & Bae, S. (2019). Sustainable engineering in bottled water industry: Energy perspectives. *Applied Environmental Research*, 41(4), 45–53.
6. Nasution, A. & Harahap, D. (2022). Evaluasi sistem kendali pneumatik berbasis relay untuk efisiensi energi. *Jurnal Teknik Mesin dan Industri*, 8(1), 23–31.
7. Park, K. & Woo, Y. (2024). Deployment of sensor-actuated pneumatic control systems in energy-intensive sectors. *International Journal of Green Manufacturing*, 5(2), 77–84.

8. Rachman, D. & Kusumawati, N. (2021). Evaluasi sistem pengering berbasis sensor pada lini produksi kemasan. *Jurnal Teknologi dan Energi*, 14(2), 101–108.
9. Rani, S. & Hidayat, A. (2024). Efektivitas sensor proximity dalam sistem pengering galon industri. *Jurnal Otomasi dan Sistem Kontrol*, 12(1), 15–22.
10. Singh, V. & Patel, K. (2020). Compressed air energy losses in industrial facilities: Diagnosis and prevention. *Energy Management Journal*, 11(3), 59–68.
11. Susanto, R. (2021). Implementasi sistem kontrol low-cost automation pada sektor manufaktur. *Jurnal Rekayasa Energi*, 13(2), 67–74.
12. Widodo, S. (2018). Efisiensi energi pada sistem pneumatik industri: Studi kasus kompresor. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 9(3), 230–237.
13. Wang, L. & Zhao, M. (2020). Industrial compressed air systems: Energy analysis and optimization techniques. *Energy Reports*, 6, 1849–1860.
14. Yanto, H. & Vannie, L. (2019). Penghematan energi melalui penerapan sistem PLC pada pengendalian kompresor industri. *Jurnal Inovasi Teknik Industri*, 7(2), 112–118.
15. Zhang, X., Li, Q. & Chen, J. (2023). Compressed air inefficiencies and system redesign in high-volume manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 421, 139842.