

***Operation And Maintenance Of Washing Machines In The Cap Badak Beverage
Production Process At PT. Pabrik Es Pematangsiantar***

**Pengoperasian Dan Perawatan Mesin Washer Pada Proses Produksi Minuman Cap
Badak Di PT. Pabrik Es Pematangsiantar**

**Daniel Willi Silalahi^{1*}, Winfronstein Naibaho², Jhon Supriadi Purba³, Azarya Nimrod Juwono
Siahaan⁴**

Fakultas Teknik dan Sumber Daya Perairan, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar,
Indonesia^{1,2,3,4}

dsilalahi630@gmail.com¹

Disubmit :11 Juni 2026, Diterima : 11 Juni 2026, Terbit: 11 Juni 2026.

ABSTRACT

The washer machine is one of the key machines that plays a vital role in the production process of carbonated beverages, as it cleans and sterilizes bottles prior to the filling process. Optimal performance of the washer machine is essential for maintaining product quality, improving production efficiency, and meeting food industry hygiene and sanitation standards. This study aims to analyze the operating procedures and maintenance methods for the washing machine used in the production of Cap Badak beverages at PT. Pabrik Es Pematangsiantar. The study employs a qualitative descriptive method with a field study approach. Data were collected through direct observation, interviews with machine operators and technicians, and documentation during the Field Work Practice (PKL). The results of the study indicate that the Storck-type washer machine operates using a combination of hot water at 60–80°C and a 3.5% caustic soda solution to clean and sterilize bottles prior to the product filling process. The machine's operational stages include boiler heating, hot steam distribution, bottle soaking, rinsing with pressurized water, and bottle inspection before entering Next step. Machine maintenance is carried out through preventive and corrective maintenance on several key components, such as the main gear lever, caustic dynamo motor, washer nozzle, caustic filter, water filter, water line damper, and gearbox. Routine maintenance activities have proven effective in maintaining machine performance, reducing the risk of damage, and supporting a washing capacity of up to approximately 48,000 bottles per day. Thus, effective operation and maintenance of the washing machine significantly contribute to the smoothness of the production process and the quality of Cap Badak carbonated beverages.

Keywords: *Washing Machine, Machine Maintenance, Preventive Maintenance, Production Process, Carbonated Beverages.*

ABSTRAK

Mesin washer merupakan salah satu mesin utama yang berperan penting dalam proses produksi minuman berkarbonasi karena berfungsi membersihkan dan mensterilkan botol sebelum dilakukan proses pengisian produk. Kinerja mesin washer yang optimal sangat diperlukan untuk menjaga kualitas produk, meningkatkan efisiensi produksi, serta memenuhi standar higiene dan sanitasi industri pangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pengoperasian serta metode perawatan mesin washer yang digunakan pada proses produksi minuman Cap Badak di PT. Pabrik Es Pematangsiantar. Penelitian menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi lapangan. Data diperoleh melalui observasi langsung, wawancara dengan operator dan teknisi mesin, serta dokumentasi selama pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan (PKL). Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin washer tipe Storck bekerja menggunakan kombinasi air panas bersuhu 60–80°C dan larutan caustic soda 3,5% untuk membersihkan dan mensterilkan botol sebelum proses pengisian produk. Tahapan pengoperasian mesin meliputi pemanasan boiler, penyaluran uap panas, proses perendaman botol, pembilasan menggunakan air bertekanan, dan inspeksi botol sebelum memasuki tahap berikutnya. Perawatan mesin

dilakukan melalui preventive maintenance dan corrective maintenance pada beberapa komponen penting, seperti tuas gigi utama, motor dinamo caustic, spuyer washer, filter caustic, filter air, damper saluran air, dan gearbox. Kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin terbukti mampu menjaga performa mesin, mengurangi risiko kerusakan, serta mendukung kapasitas pencucian hingga mencapai sekitar 48.000 botol per hari. Dengan demikian, pengoperasian dan perawatan mesin washer yang efektif berkontribusi secara signifikan terhadap kelancaran proses produksi dan kualitas produk minuman Cap Badak.

Kata Kunci: Mesin Washer, Perawatan Mesin, Preventive Maintenance, Proses Produksi, Minuman Berkarbonasi.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi industri manufaktur telah mendorong perusahaan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas produk melalui pemanfaatan mesin-mesin produksi yang modern. Dalam industri makanan dan minuman, penggunaan mesin produksi tidak hanya berfungsi untuk mempercepat proses kerja, tetapi juga untuk menjamin standar kebersihan, keamanan pangan, dan kualitas produk yang dihasilkan. Keberhasilan proses produksi sangat dipengaruhi oleh kinerja setiap mesin yang digunakan, sehingga pengoperasian dan perawatan mesin menjadi aspek penting yang harus diperhatikan oleh perusahaan (Moble, 2002).

Industri minuman berkarbonasi merupakan salah satu sektor industri yang memiliki tingkat persaingan tinggi dan menuntut konsistensi kualitas produk. Salah satu faktor yang sangat menentukan kualitas minuman berkarbonasi adalah kebersihan kemasan botol sebelum proses pengisian produk. Botol yang tidak bersih dapat menyebabkan kontaminasi mikroorganisme maupun kotoran yang berpotensi menurunkan mutu produk dan membahayakan konsumen. Oleh karena itu, proses pencucian dan sterilisasi botol menjadi tahapan yang sangat penting dalam sistem produksi minuman berkarbonasi (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2023).

Mesin washer merupakan salah satu mesin utama yang digunakan dalam proses pencucian botol pada industri minuman. Mesin ini dirancang untuk membersihkan sisa kotoran, debu, serta mikroorganisme yang menempel pada permukaan botol sebelum dilakukan proses pengisian produk. Penggunaan mesin washer memungkinkan proses pencucian dilakukan secara otomatis dengan kapasitas besar sehingga lebih efisien dibandingkan metode pencucian manual. Selain meningkatkan produktivitas, penggunaan mesin washer juga mendukung penerapan standar higiene dan sanitasi dalam industri pangan (Wireman, 2019).

PT. Pabrik Es Pematangsiantar merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam produksi minuman berkarbonasi Cap Badak yang telah dikenal luas oleh masyarakat Indonesia. Dalam proses produksinya, perusahaan menggunakan mesin washer tipe Storck sebagai sarana utama untuk membersihkan dan mensterilkan botol sebelum memasuki tahap pengisian minuman. Mesin washer tersebut bekerja dengan memanfaatkan kombinasi air panas dan larutan caustic soda untuk menghasilkan tingkat kebersihan yang optimal. Mengingat tingginya intensitas penggunaan mesin dalam proses produksi harian, maka kondisi operasional mesin harus selalu dijaga agar tetap bekerja secara efektif dan efisien.

Kinerja mesin washer sangat dipengaruhi oleh kegiatan perawatan (maintenance) yang dilakukan secara rutin. Perawatan mesin merupakan serangkaian aktivitas yang bertujuan mempertahankan atau mengembalikan kondisi mesin agar dapat beroperasi sesuai fungsi yang diharapkan. Menurut Dhillon (2002), program perawatan yang baik dapat mengurangi risiko kerusakan mendadak, memperpanjang umur pakai mesin, meningkatkan produktivitas, dan menekan biaya operasional perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan umumnya menerapkan dua jenis perawatan, yaitu preventive maintenance dan corrective maintenance.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perawatan mesin yang dilakukan secara berkala mampu meningkatkan keandalan sistem produksi dan mengurangi downtime mesin. Penelitian yang dilakukan oleh Wireman (2019) menunjukkan bahwa implementasi preventive maintenance dapat meningkatkan efisiensi operasional mesin industri hingga lebih dari 20%. Sementara itu, Mobley (2002) menegaskan bahwa pengawasan terhadap komponen-komponen kritis mesin merupakan langkah penting untuk mencegah kerusakan yang dapat mengganggu proses produksi. Namun demikian, kajian mengenai pengoperasian dan perawatan mesin washer pada industri minuman berkarbonasi, khususnya pada PT. Pabrik Es Pematangsiantar, masih relatif terbatas sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pengoperasian mesin washer serta mengidentifikasi metode perawatan yang diterapkan pada PT. Pabrik Es Pematangsiantar. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pentingnya pengoperasian dan perawatan mesin washer dalam mendukung kelancaran proses produksi serta menjadi bahan evaluasi bagi perusahaan dalam meningkatkan efektivitas sistem pemeliharaan mesin.

2. Metode Pelaksanaan

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi lapangan (field study). Metode deskriptif dipilih karena penelitian bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis proses pengoperasian dan perawatan mesin washer yang digunakan dalam proses produksi minuman berkarbonasi Cap Badak di PT. Pabrik Es Pematangsiantar. Pendekatan kualitatif memungkinkan peneliti memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai kondisi aktual mesin, prosedur operasional, serta sistem pemeliharaan yang diterapkan oleh perusahaan. Penelitian dilaksanakan selama kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berlangsung di PT. Pabrik Es Pematangsiantar. Selama kegiatan tersebut, peneliti terlibat secara langsung dalam pengamatan proses produksi sehingga memperoleh data yang bersifat aktual dan kontekstual.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. Pabrik Es Pematangsiantar yang beralamat di Jalan Pematang No. 3, Kecamatan Siantar Barat, Kota Pematangsiantar, Sumatera Utara. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu perusahaan minuman berkarbonasi yang masih aktif beroperasi dan menggunakan mesin washer tipe Storck sebagai bagian penting dalam proses produksi minuman Cap Badak. Pelaksanaan penelitian dilakukan selama masa Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2026 dengan fokus pengamatan pada proses pencucian botol, pengoperasian mesin washer, serta kegiatan perawatan yang dilakukan oleh bagian teknisi dan operator mesin.

3. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder.

1) Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan dan wawancara dengan operator mesin washer, teknisi pemeliharaan mesin, serta pihak terkait yang terlibat dalam proses produksi minuman Cap Badak.

2) Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan, buku manual mesin washer, laporan teknis, literatur terkait sistem perawatan mesin industri, serta berbagai referensi ilmiah yang relevan dengan topik penelitian.

4. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan menggunakan beberapa teknik sebagai berikut:

1) Observasi

Observasi dilakukan secara langsung terhadap aktivitas operasional mesin washer mulai dari proses pemasukan botol, pencucian menggunakan larutan caustic soda, pembilasan, hingga keluarnya botol menuju tahap inspeksi. Selain itu, peneliti juga mengamati kondisi komponen-komponen mesin yang memerlukan perawatan secara berkala.

2) Wawancara

Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur dengan operator dan teknisi mesin washer. Wawancara bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai prosedur pengoperasian mesin, jenis kerusakan yang sering terjadi, metode perawatan yang diterapkan, serta kendala yang dihadapi selama proses produksi.

3) Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan foto-foto mesin washer, komponen-komponen yang mengalami perawatan, serta dokumen pendukung yang berkaitan dengan kegiatan operasional dan pemeliharaan mesin.

5. Instrumen Penelitian

Instrumen utama dalam penelitian ini adalah peneliti sendiri yang berperan sebagai pengumpul dan penganalisis data. Selain itu, digunakan lembar observasi, pedoman wawancara, kamera dokumentasi, serta catatan lapangan sebagai instrumen pendukung untuk membantu proses pengumpulan data.

6. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan model analisis interaktif yang terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu:

1) Reduksi Data (Data Reduction)

Data yang diperoleh dari hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi diseleksi dan difokuskan pada informasi yang berkaitan dengan pengoperasian dan perawatan mesin washer.

2) Penyajian Data (Data Display)

Data yang telah direduksi kemudian disusun dalam bentuk uraian deskriptif, tabel, dan dokumentasi gambar untuk memudahkan proses interpretasi.

3) Penarikan Kesimpulan (Conclusion Drawing)

Tahap terakhir dilakukan dengan menginterpretasikan hasil analisis untuk memperoleh kesimpulan mengenai proses pengoperasian mesin washer serta efektivitas metode perawatan yang diterapkan di PT. Pabrik Es Pematangsiantar.

7. Keabsahan Data

Untuk meningkatkan validitas penelitian, dilakukan triangulasi sumber dan triangulasi teknik. Triangulasi sumber dilakukan dengan membandingkan informasi yang diperoleh dari operator mesin, teknisi, dan dokumen perusahaan. Sementara itu, triangulasi teknik dilakukan dengan membandingkan hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan dapat dipercaya.

3. Hasil Dan Pembahasan

1. Proses Produksi Minuman Cap Badak

PT. Pabrik Es Pematangsiantar merupakan perusahaan yang memproduksi minuman berkarbonasi Cap Badak dengan sistem produksi berkelanjutan (continuous production system). Dalam proses produksinya, kualitas produk sangat dipengaruhi oleh kebersihan botol yang digunakan sebagai kemasan. Oleh karena itu, mesin washer menjadi salah satu mesin utama yang mendukung kelancaran proses produksi. Secara umum proses produksi minuman Cap Badak terdiri atas beberapa tahapan, yaitu penyediaan bahan baku, filtrasi air, pemanasan air menggunakan boiler, pembuatan sirup, pencampuran sirup dan karbon dioksida (CO₂), pencucian botol menggunakan mesin washer, pengisian produk menggunakan mesin filler, penutupan botol menggunakan mesin crowner, pencetakan tanggal kedaluwarsa, dan proses pengemasan produk.

Keberadaan mesin washer pada rangkaian produksi tersebut sangat penting karena menentukan tingkat kebersihan botol sebelum memasuki tahap pengisian minuman. Botol yang tidak dicuci dengan baik berpotensi menurunkan kualitas produk dan mengganggu standar keamanan pangan yang diterapkan perusahaan.

2. Pengoperasian Mesin Washer

Mesin washer yang digunakan oleh PT. Pabrik Es Pematangsiantar merupakan mesin washer tipe Storck dengan kapasitas pencucian mencapai 800 botol dalam satu siklus kerja. Mesin ini bekerja menggunakan kombinasi air panas bersuhu 60–80°C dan larutan caustic soda 3,5% yang berfungsi menghilangkan kotoran, sisa minuman, serta mikroorganisme yang menempel pada permukaan botol.



Gambar 1. Mesin Washer Tipe Storck pada PT. Pabrik Es Pematangsiantar

Berdasarkan hasil observasi, proses pencucian dimulai ketika botol kosong dimasukkan ke dalam conveyor menuju ruang pencucian. Selanjutnya botol direndam dalam larutan caustic soda selama kurang lebih 15 menit untuk melunakkan dan menghilangkan kotoran yang menempel pada dinding botol. Setelah proses perendaman selesai, botol dibilas menggunakan semprotan air bertekanan tinggi sebelum keluar menuju tahap inspeksi visual. Penggunaan air panas dan larutan caustic soda terbukti mampu meningkatkan efektivitas pencucian karena dapat melarutkan residu organik dan mengurangi kontaminasi mikroba. Kondisi ini sejalan dengan prinsip sanitasi industri minuman yang menekankan pentingnya proses pembersihan dan sterilisasi kemasan sebelum pengisian produk.

Berdasarkan hasil pengamatan selama Praktik Kerja Lapangan, tahapan pengoperasian mesin washer meliputi:

1. Pemanasan boiler hingga menghasilkan uap panas.
2. Penyaluran uap panas menuju mesin washer.
3. Pemasukan botol melalui conveyor.

4. Perendaman botol dalam larutan caustic soda.
5. Pembilasan menggunakan air bertekanan.
6. Pengeluaran botol menuju proses inspeksi.

Prosedur tersebut dilakukan secara berulang dan kontinu selama proses produksi berlangsung sehingga kapasitas produksi perusahaan dapat dipertahankan pada tingkat yang optimal.

3. Sistem Perawatan Mesin Washer

Perawatan mesin washer dilakukan secara preventif dan korektif untuk menjaga performa mesin serta meminimalkan terjadinya downtime produksi. Menurut Wireman (2019), preventive maintenance merupakan strategi pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi kegagalan sistem.

1) Perawatan Tuas Gigi Utama



Gambar 2. Tuas Gigi Utama Mesin Washer

Tuas gigi utama berfungsi sebagai komponen penggerak yang mengatur perpindahan botol selama proses pencucian. Berdasarkan hasil pengamatan, kerusakan yang paling sering terjadi adalah keausan dan patahnya gigi akibat beban kerja yang tinggi serta penggunaan mesin secara terus-menerus. Perawatan dilakukan melalui pemeriksaan rutin, pelumasan, dan pengelasan apabila ditemukan kerusakan ringan. Kegiatan ini penting karena kerusakan pada tuas gigi dapat menyebabkan terganggunya aliran botol menuju proses pencucian.

2) Perawatan Motor Dinamo Caustic



Gambar 3. Motor Dinamo Caustic

Motor dinamo berfungsi menghasilkan tekanan yang diperlukan untuk mendistribusikan larutan pencuci ke seluruh bagian mesin. Hasil observasi menunjukkan bahwa kebocoran seal menjadi salah satu permasalahan yang sering ditemukan sehingga menyebabkan penurunan tekanan air. Perawatan dilakukan dengan mengganti seal yang rusak serta melakukan inspeksi bulanan untuk memastikan kinerja motor tetap optimal.

3) Perawatan Spuyer Washer



Gambar 4. Spuyer Washer

Spuyer washer berfungsi menyemburkan air ke bagian dalam botol. Komponen ini sangat rentan mengalami penyumbatan akibat endapan kotoran dan pertumbuhan lumut. Oleh karena itu, pembersihan spuyer dilakukan secara berkala menggunakan brush dan semprotan air bertekanan tinggi. Kondisi spuyer yang bersih akan meningkatkan efektivitas pencucian dan mengurangi risiko botol tidak bersih saat memasuki tahap pengisian.

4) Perawatan Filter Caustic dan Filter Air



Gambar 5. Filter Caustic

Filter caustic berfungsi menyaring larutan pencuci agar tetap bersih dari partikel-partikel kotoran. Perawatan dilakukan dengan membersihkan filter minimal satu kali setiap minggu.



Gambar 6. Filter Air

Filter air berfungsi menyaring kotoran yang terbawa oleh air pembilas. Pemeriksaan dan pembersihan rutin diperlukan agar aliran air tetap lancar dan kualitas pencucian tetap terjaga.

5) Perawatan Damper Saluran Air dan Gearbox



Gambar 7. Damper Saluran Air

Damper berfungsi mengatur distribusi uap panas dalam sistem pencucian. Penumpukan kerak dan kotoran dapat menghambat sirkulasi panas sehingga perlu dibersihkan secara berkala.



Gambar 8. Gearbox Mesin Washer

Gearbox merupakan komponen yang mengatur putaran mesin washer. Berdasarkan hasil pengamatan, pelumasan rutin menggunakan oli menjadi tindakan perawatan utama untuk mencegah keausan, korosi, dan kerusakan mekanis akibat kontaminasi larutan caustic.

4. Dampak Perawatan terhadap Kinerja Produksi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan perawatan preventif dan korektif secara rutin memberikan dampak positif terhadap kinerja mesin washer. Perawatan yang dilakukan mampu mengurangi risiko kerusakan mendadak, meningkatkan umur pakai komponen, serta menjaga stabilitas proses produksi.

Dengan kondisi mesin yang terpelihara dengan baik, PT. Pabrik Es Pematangsiantar mampu mempertahankan kapasitas pencucian hingga sekitar 48.000 botol per hari. Temuan ini sejalan dengan pendapat Mobley (2002) yang menyatakan bahwa program pemeliharaan yang efektif berkontribusi langsung terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi operasional perusahaan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di PT. Pabrik Es Pematangsiantar, dapat disimpulkan bahwa mesin washer tipe Storck memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung proses produksi minuman berkarbonasi Cap Badak. Mesin ini berfungsi membersihkan dan mensterilkan botol sebelum proses pengisian produk dengan memanfaatkan kombinasi air panas bersuhu 60–80°C dan larutan caustic soda 3,5%. Proses pengoperasian mesin dilakukan secara sistematis melalui tahapan pemanasan boiler, perendaman botol, pembilasan menggunakan air bertekanan, hingga proses inspeksi sebelum botol memasuki tahap pengisian minuman.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penerapan sistem perawatan preventif dan korektif pada berbagai komponen mesin washer, seperti tuas gigi utama, motor dinamo caustic, spuyer washer, filter caustic, filter air, damper saluran air, dan gearbox, mampu menjaga performa mesin tetap optimal. Kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala terbukti dapat mengurangi risiko kerusakan, meningkatkan umur pakai komponen, serta menjaga kontinuitas proses produksi perusahaan.

Secara keseluruhan, keberhasilan pengoperasian dan perawatan mesin washer berkontribusi terhadap kelancaran proses produksi dengan kapasitas pencucian mencapai sekitar 48.000 botol per hari. Oleh karena itu, perusahaan perlu mempertahankan program pemeliharaan yang telah diterapkan serta meningkatkan monitoring terhadap komponen-komponen kritis agar produktivitas dan kualitas produk tetap terjaga. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji efektivitas biaya perawatan mesin serta pengaruhnya terhadap efisiensi produksi secara lebih mendalam.

Daftar Pustaka

- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: Literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709–756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (4th ed.)*. Sage Publications.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: A modern approach*. CRC Press.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management (13th ed.)*. Pearson.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2023). *Analisis perkembangan industri makanan dan minuman nasional*. Jakarta: Kementerian Perindustrian RI.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance (2nd ed.)*. Butterworth-Heinemann.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). *Maintenance: An evolutionary perspective*. Springer.

- Rajput, R. K. (2018). *A textbook of manufacturing technology*. Laxmi Publications.
- Siregar, H., & Simatupang, T. M. (2021). Industrial maintenance management and production performance. *Journal of Industrial Engineering*, *12*(2), 95–108.
- Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share*. Elsevier.
- Stevenson, W. J. (2021). *Operations management (14th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Wireman, T. (2019). *Total productive maintenance (8th ed.)*. Industrial Press.
- Yusri, M., & Syahrizal. (2022). Analisis sistem pemeliharaan mesin pada industri minuman. *Jurnal Teknik Industri*, *23*(1), 45–56.
- Zhang, Y., Wang, H., & Liu, X. (2021). Preventive maintenance optimization in manufacturing industries: A review. *Reliability Engineering and System Safety*, *210*, 107512. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107512>