

Efisiensi Energi melalui Teknologi *Chemical Heatless* pada Proses *Cationic Electro Deposition* (CED) Studi Kasus di PT XYZ

Mukti Andika Febrianto*, Dani Rusirawan, Nuha Desi Anggraeni

Prodi Magister Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Bandung

Jl. Phh. Mustofa No. 23 Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*e-mail : mukti.andikafebrianto@gmail.com

Received 3 Maret 2025 | Revised 29 Juni 2025 | Accepted 25 Juli 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan teknologi Chemical Heatless dalam proses Cationic Electro Deposition (CED), dengan fokus utama pada peningkatan efisiensi energi dan pengurangan dampak lingkungan. Teknologi ini menggantikan pemanasan kimia konvensional yang sebelumnya digunakan dalam proses pengecatan baja pada produksi komponen sepeda motor di PT XYZ. Diharapkan, penggunaan teknologi ini dapat mengurangi konsumsi energi, serta mendukung upaya penurunan beban operasional perusahaan. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen untuk membandingkan kinerja sistem CED sebelum dan sesudah penerapan Chemical Heatless. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa teknologi ini berhasil mengurangi konsumsi energi hingga 30%. Selain itu, penerapan teknologi ini juga berdampak positif pada peningkatan kualitas dan efisiensi proses produksi secara keseluruhan. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi Chemical Heatless memiliki potensi sebagai solusi inovatif yang dapat membantu industri manufaktur dalam meningkatkan efisiensi energi serta mengurangi dampak lingkungan, sehingga meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global.

Kata kunci: Chemical Heatless, efisiensi energi, CED, penghematan energi, keberlanjutan industri.

ABSTRACT

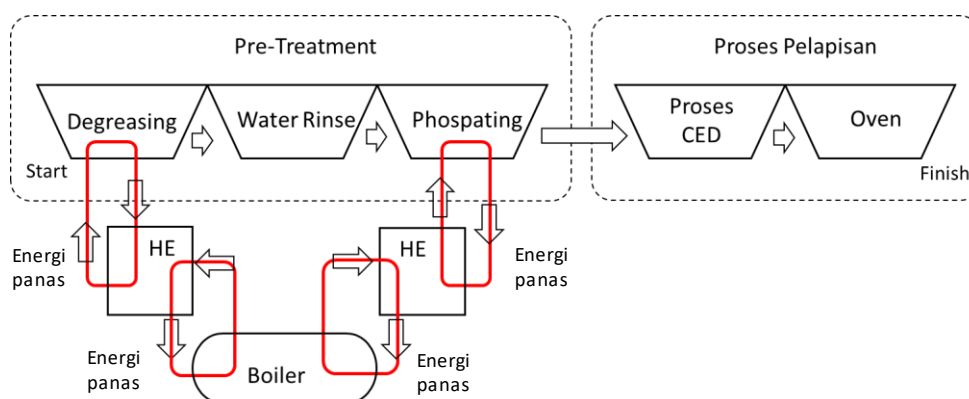
This study aims to evaluate the implementation of Chemical Heatless technology in the Cationic Electro Deposition (CED) process, focusing primarily on improving energy efficiency and reducing environmental impact. This technology replaces the conventional chemical heating method previously used in the steel coating process for motorcycle components production at PT XYZ. It is expected that the use of this technology will reduce energy consumption and CO2 emissions while supporting the company's sustainability efforts. The study employs an experimental approach to compare energy performance before and after the implementation of Chemical Heatless. The results show that this technology successfully reduces energy consumption by 30%. Furthermore, the application of this technology also positively impacts the overall quality and efficiency of the production process. These findings suggest that Chemical Heatless technology holds great potential as an innovative solution to help the manufacturing industry enhance energy efficiency and minimize environmental impact, thus improving the company's competitiveness in the global market.

Keywords: Chemical Heatless, energy efficiency, CED, energy savings, industrial sustainability.

1. Pendahuluan

Dalam upaya global mencapai keberlanjutan lingkungan, perusahaan manufaktur dituntut untuk mengurangi emisi karbon dan mengoptimalkan penggunaan energi. PT XYZ, sebagai produsen komponen otomotif, menghadapi tantangan signifikan dalam hal efisiensi energi, berdasarkan laporan internal perusahaan, 30% total konsumsi energinya digunakan untuk *boiler*. *Boiler* tersebut berperan dalam proses *Cationic Electro Deposition (CED)*, yang memanfaatkan panas untuk tahap *pre-treatment (Degreasing dan Phosphating)* pada proses pelapisan logam. Pemilihan sistem konvensional berbasis panas pada proyek tahun 2014 lalu didasarkan pada ketersediaan teknologi saat itu, dimana *chemical heatless* belum berkembang secara memadai. Penggunaan panas ini dianggap paling efektif untuk proses persiapan sebelum logam dilakukan proses pelapisan. Panas pada proses *pre-treatment CED* membantu menghilangkan kontaminan seperti minyak dan debu dari permukaan logam, sehingga meningkatkan adhesi lapisan cat dan menghasilkan finishing yang lebih tahan lama. Suhu tinggi mempercepat reaksi kimia selama *pre-treatment*, memastikan pembentukan lapisan konversi fosfat yang lebih seragam dan optimal sebelum proses elektrodposisi cat dilakukan. Namun, seiring waktu, pendekatan ini terbukti kurang efisien karena tingginya konsumsi energi.

Salah satu teknologi yang menawarkan solusi untuk mengurangi konsumsi energi dalam proses pelapisan adalah *Chemical Heatless*. Senyawa kimia ini menggantikan kebutuhan panas pada *pre-treatment CED* dengan formula kimia khusus yang efektif membersihkan dan mempersiapkan permukaan logam tanpa energi termal, namun tetap menghasilkan adhesi cat yang kuat dan lapisan yang seragam. Teknologi ini mengurangi kebutuhan pemanasan pada tahap *pre-treatment* yang biasanya memerlukan energi besar [1]. Gambar skematik untuk menunjukkan proses apa saja yang membutuhkan energi panas dan sumber energinya seperti pada Gambar 1.



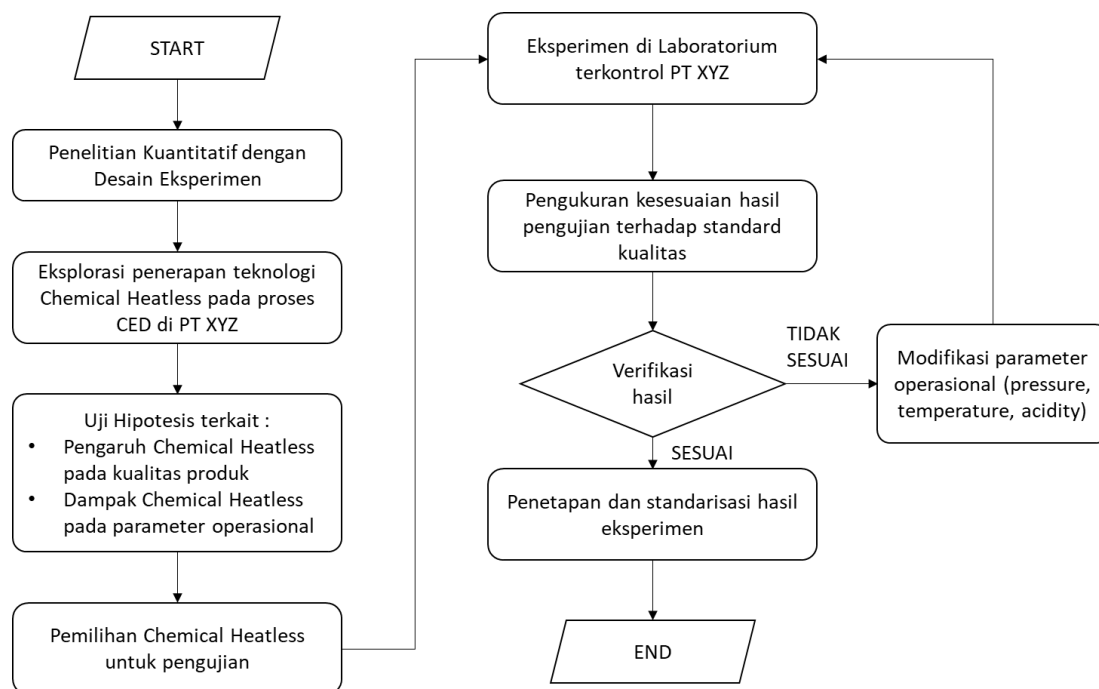
Gambar 1. Skematik proses CED yang membutuhkan panas eksternal

Studi kasus dalam penelitian ini dilakukan di PT XYZ, sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak pada bidang manufaktur sepeda motor. Dengan tingginya volume produksi dan kebutuhan proses yang kompleks, perusahaan ini memiliki peluang besar untuk mengadopsi inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi proses. Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk mengkaji implementasi teknologi *Chemical Heatless* dalam proses *Cationic Electro Deposition (CED)* di PT XYZ, dengan penekanan pada analisis dampaknya terhadap konsumsi energi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat tidak hanya bagi PT XYZ, tetapi juga bagi pelaku industri manufaktur lainnya yang tengah berupaya menyeimbangkan produktivitas dan berupaya meningkatkan efisiensinya.

2. Metodologi

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen untuk mengevaluasi penerapan teknologi *Chemical Heatless* dalam proses *Cationic Electro Deposition (CED)* di PT XYZ. Fokus penelitian mencakup pengujian hipotesis terkait dampak teknologi tersebut terhadap kualitas produk dan parameter operasional, seperti tekanan dan keasaman. Eksperimen dilakukan

di laboratorium terkontrol milik PT XYZ dengan membandingkan hasil *Chemical Heatless* terhadap standar kualitas yang berlaku. Tahapan penelitian meliputi pemilihan material uji, pengujian berulang, verifikasi hasil, serta modifikasi parameter operasional untuk menentukan konfigurasi optimal dengan alur seperti pada Gambar 2.

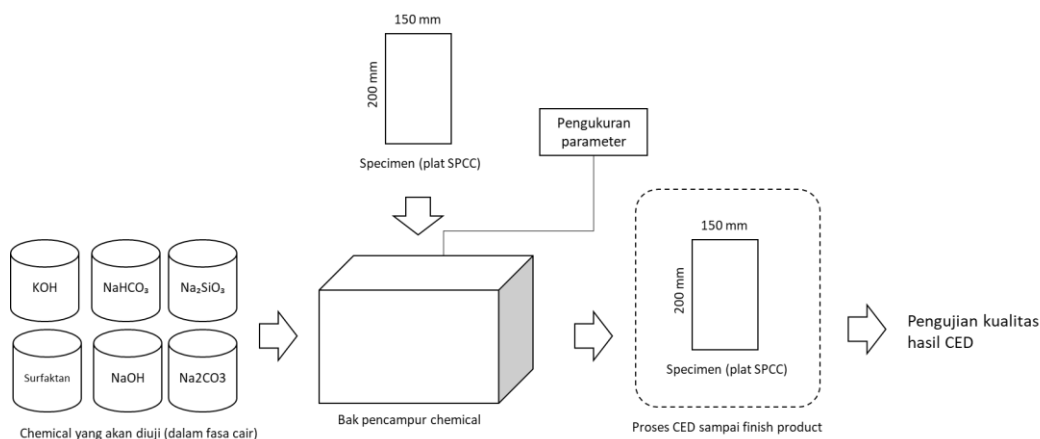


Gambar 2. Flow chart penelitian

Peralatan yang digunakan di laboratorium adalah pH meter digital, buret digital untuk titrasi, specimen uji plat SPCC dengan dimensi 150 mm x 200 mm dan wadah untuk mencampurkan bahan kimia seperti terlihat pada Gambar 3 dan ilustrasi metode penelitian pada Gambar 4. *Chemical* asal proses degreasing mengandung senyawa Trisodium Phosphate (TSP), Tetrasodium Pyrophosphate ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) dan Sodium Metasilicate (Na_2SiO_3) yang efektif untuk *degreasing* dan mengemulsikan lemak, namun membutuhkan panas eksternal untuk mempercepat reaksinya, fenomena ini sejalan dengan penelitian yang sudah dilakukan [2][3]. Menurut penelitian lainnya agar kebutuhan akan panas eksternal ini dapat dihilangkan, diperlukan pengganti senyawa kimia yang dapat bekerja sebagai degreaser pada temperatur ruang [4]. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa senyawa yang termasuk kedalam kategori *Alkaline Cleaning* seperti Sodium Hidroksida (NaOH), Sodium Karbonat (Na_2CO_3), Sodium Silikat (Na_2SiO_3), Sodium Bikarbonat (NaHCO_3), Kalium Hidroksida (KOH) dan Surfaktan, menjadi pilihan alternatif senyawa kimia pengganti karena memiliki sifat untuk mengemulsikan lemak dan pembersihan permukaan yang lebih efektif pada temperatur rendah [5][6][7].



Gambar 3. Alat dan bahan yang digunakan



Gambar 4. Langkah penelitian

Penelitian dilakukan dengan mencampurkan senyawa kimia yang dipilih kedalam wadah pencampuran dengan perbandingan volume yang telah ditentukan, kemudian diukur parameter pH dan dilakukan titrasi untuk menentukan parameter keasamannya. Selanjutnya specimen dimasukkan kedalam wadah sesuai dengan waktu yang dibutuhkan proses CED pada lini produksi. Selanjutnya specimen dipindahkan pada lini produksi CED untuk mengikuti proses sampai tahap terakhir. Setelah selesai melewati semua tahapan pada proses CED specimen dilakukan pengujian, dibandingkan terhadap standar kualitas produk yang dipersyaratkan. Penelitian ini dilakukan secara berulang sebanyak lima kali hingga diperoleh hasil yang sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan. Sampai diperoleh hasil akhir dengan permukaan pelapisan yang homogen, ketebalan 15-25 μ , tidak retak atau mengelupas.

Begitu pula penelitian pada proses *Phosphating*, senyawa kimia Zinc Dihydrogen Phosphate senyawa yang terbentuk dari ion Zn^{2+} dan ion H_2PO_4^- serta Phosphoric Acid (H_3PO_4), kedua senyawa ini sebagai komponen utama dalam larutan *phosphating*. Dengan penambahan aktivator dan akselerator yang tepat, proses *phosphating* dapat berlangsung pada temperature rendah. Akselerator seperti Nitrat, Nitrit, atau Peroksida dapat mempercepat reaksi *phosphating* sehingga tidak diperlukan pemanasan eksternal. Sebuah penelitian mengungkapkan aktivator permukaan juga dapat ditambahkan seperti Fluosilicic Acid (H_2SiF_6) atau senyawa fluorida lainnya membantu membersihkan dan mengaktivasi permukaan logam, sehingga reaksi *phosphating* dapat terjadi lebih cepat pada suhu ruang [7].

Setelah semua variabel penelitian selesai dilakukan dan hasilnya sesuai dengan standar kualitas, maka komposisi *chemical* yang terpilih kemudian ditetapkan sebagai *Chemical Heatless*. Metode ini dipilih agar diperoleh data terukur yang dapat memvalidasi efisiensi teknologi *Chemical*

Heatless untuk menghilangkan pemanasan konvensional, sekaligus memastikan kualitas lapisan tetap memenuhi standar.

3. Hasil dan Pembahasan

Chemical heatless merupakan ide inovatif yang bertujuan menggantikan penggunaan panas eksternal dalam proses kimiawi pada proses *degreasing* dan *phosphating*. Prinsip utama dari metode *heatless* adalah menggantikan atau menambahkan bahan kimia tertentu pada chemical asal sebagai *accelerator* yang mampu mempercepat reaksi kimia tanpa memerlukan panas eksternal [8].

Pada proses *Degreasing* senyawa Trisodium Phosphate (TSP) sangat efektif untuk membersihkan permukaan logam dari minyak, grease, dan kotoran lain karena sifat alkali yang kuat, sehingga mampu memecah lemak dan minyak menjadi sabun yang mudah larut dalam air. TSP juga membantu menghilangkan karat dan kontaminan lain dari permukaan logam sebelum proses selanjutnya seperti *phosphating* atau pelapisan. Sodium Hidroksida merupakan basa kuat yang sangat efektif dalam menghilangkan lemak dan minyak melalui reaksi saponifikasi (penyabunan). Sodium Hidroksida bereaksi dengan lemak dan minyak (trigliserida) membentuk sabun (garam asam lemak) dan gliserol, yang mudah larut dalam air dan dapat dibilas bersih. Sodium Karbonat, Sodium Bikarbonat serta Sodium Silikat adalah basa lemah yang meningkatkan pH larutan, sehingga membantu mengemulsi lemak dan minyak. Proses ini tidak menghasilkan sabun secara langsung seperti Sodium Hidroksida, tetapi membantu memecah ikatan lemak sehingga lebih mudah dibersihkan bersama air. Surfaktan berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan dan mengemulsi minyak sehingga kotoran mudah terlepas dan tidak menempel kembali [9]. Selain itu, surfaktan meningkatkan efektivitas pembersihan alkali atau air dengan mencegah redeposisi kontaminan dan memperbaiki kinerja sistem *degreasing*.

Dalam beberapa penelitian menunjukkan pada proses *Phosphating* senyawa Zinc Dihydrogen Phosphate dan Manganese Dihydrogen Phosphate merupakan sumber utama ion Zinc untuk membentuk lapisan fosfat dan sumber ion Mangan, meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi lapisan [10][11]. Sedangkan Phosphoric Acid (H_3PO_4) berfungsi mengatur pH dan mempercepat pelarutan fosfat, mempercepat reaksi pembentukan lapisan. Namun ketiganya dapat bekerja optimal pada temperature tinggi, sehingga untuk mempercepat reaksi pada temperature rendah maka diperlukan accelerator berupa Fluosilicic Acid. Senyawa ini digunakan untuk membersihkan dan mengaktivasi permukaan logam pada proses *phosphating*. Sesuai dengan penelitian yang telah diungkapkan bahwa, aktivasi ini memastikan terbentuknya pusat reaksi yang efektif pada permukaan logam sehingga lapisan fosfat yang terbentuk lebih seragam, padat, dan menempel kuat [12]. Salah satu penelitian mengungkapkan bahwa tanpa bantuan Fluosilicic Acid pembentukan lapisan fosfat terjadi lebih lama dibandingkan dengan adanya aditif tersebut. Dengan adanya Fluosilicic Acid, proses pembentukan lapisan fosfat dapat berlangsung lebih cepat pada temperature ruang [13]. Penelitian lain menyatakan penambahan Nickel Phosphate ($Ni_3(PO_4)_2$) ke dalam larutan *phosphating* membantu menghasilkan lapisan fosfat yang lebih tahan terhadap korosi dibandingkan lapisan fosfat tunggal seperti Zinc Phosphate saja [14][15].

Pengujian dalam studi kasus ini dilakukan di laboratorium internal PT. XYZ bekerja sama dengan PT. X selaku pemasok chemical, sampai ditemukan komposisi yang paling optimal dan hasil sesuai dengan standar. Untuk mencapai hasil yang optimal selain merubah komposisi kimia juga dilakukan penyesuaian parameter operasional meliputi tekanan kerja dan derajat keasaman yang ditunjukkan dalam jumlah point dari hasil titrasi. Dari hasil pengujian diperoleh perubahan komposisi *chemical heatless* seperti pada Tabel 1.

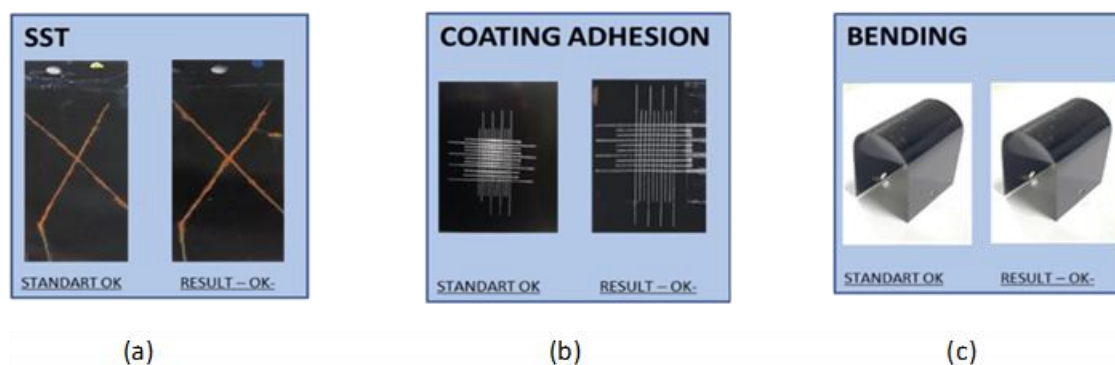
Tabel 1. Perubahan komposisi *chemical*

Tahapan	Chemical Asal	Chemical Heatless
Degreasing	Trisodium Phospat	Trisodium Phospat
	Sodium Metasilicate	<i>Sodium Hidroksida</i>
	Tetrasodium Pyrophosphate	<i>Surfaktan</i>
	Sodium Nitrite	<i>Sodium Karbonat</i>
		<i>Sodium Silikat</i>
		<i>Sodium Bikarbonat</i>
Phosphate	Zinc Dihydrogen Phosphate	Zinc Dihydrogen Phosphate
	Nickel Dihydrogen Phosphate	Phosphoric Acid
	Phosphoric Acid	Manganese Dihydrogen
	Manganese Dihydrogen	<i>Fluosilicic Acid</i>
		<i>Nickel Phosphate</i>
		<i>Manganese Nitrate</i>

Berdasarkan Tabel 2 yang menampilkan hasil pengujian laboratorium terhadap part output proses setelah dilakukan perubahan material *chemical*, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *chemical heatless* mampu menghasilkan produk sesuai standar yang ditetapkan. Pengujian dilakukan sampai mendapatkan hasil yang diinginkan seperti terlihat pada alur penelitian pada siklus verifikasi hasil. Beberapa hasil negatif juga ditemui saat penelitian seperti hasil verifikasi ketahanan korosi yang buruk, cat retak saat bending test dan cat mengelupas. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa *chemical heatless* tidak hanya kompatibel dengan proses produksi, tetapi juga mampu mempertahankan kualitas output. Dengan demikian, perubahan material ini dapat dianggap efektif dalam menjaga standar mutu produk yang dihasilkan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5.a, hasil *Salt Spray Test (SST)* menunjukkan tidak terjadi korosi, Gambar 5.b memperlihatkan hasil uji *cross cut* tidak adanya pengelupasan cat, sedangkan Gambar 5.c menunjukkan hasil uji *bending test* tanpa adanya retakan.

Tabel 2. Hasil pengujian *chemical heatless* terhadap standar kualitas yang ditetapkan yaitu standar tampilan visual, ketebalan dan kekuatan pelapisan

No	Parameter	Standard Kualitas	Metode Uji	Hasil
1	<i>Appearance</i>	Warna homogen, tidak bintik, kotor, buram	Visual	Sesuai standar
2	<i>Bending Resistance</i>	Tidak retak	Bending Test	Tidak retak
3	<i>Film Thickness</i>	15-25 μm	Thickness Meter	18-22 μm
4	<i>Coating Adhesion</i>	100/100 segmen tidak terkelupas	Cross Cut	100/100
5	SST 72 H - X Cut	Tidak karat, tidak terkelupas > 2 mm satu sisi (4mm kedua sisi)	Salt Spray Test	Tidak karat



Gambar 5. Hasil pengujian (a) *Salt Spray Test*, (b) *Coating Adhesion Test*, (c) *Bending Test*

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Chemical Heatless* dapat menggantikan *Chemical* asal dengan tetap memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Dengan penerapan teknologi *Chemical Heatless* dalam proses *Cationic Electro Deposition* (CED) dapat meningkatkan efisiensi energi, terutama melalui eliminasi pemanasan eksternal pada tahap *degreasing* dan *phosphating*. Sehingga dengan dihilangkannya kebutuhan panas, boiler yang selama ini digunakan dapat dimatikan. Pada akhirnya dapat menurunkan konsumsi energi seperti yang telah dinyatakan data internal perusahaan 30% konsumsi energi untuk *boiler* sebagai pemanas eksternal sistem CED. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi dampak teknologi ini terhadap peralatan industri, termasuk potensi degradasi material, perubahan pola perawatan, serta karakteristik limbah yang dihasilkan, mengingat interaksi bahan kimia dan penghilangan proses pemanasan dapat memengaruhi komposisi limbah dan efektivitas sistem pengolahan yang ada. Studi mendalam diperlukan untuk memastikan keberlanjutan lingkungan dan optimalisasi proses manufaktur secara menyeluruh.

5. Daftar Pustaka

- [1] Boudouvis, A. G., Koutsou, A., & Tsoukalas, D. 2019. Electroplating technologies: Environmental considerations and sustainable development. *Journal of Environmental Management*, 246, 616-625
- [2] Johnson, M. K., & Gorsuch, M. P. 2020. Reducing energy consumption in electroplating processes using green technologies. *Industrial Engineering Journal*, 32(1), 75-85.
- [3] Sundararajan, V., et al. 2019. Electrochemical coating technologies for sustainable manufacturing. *Surface and Coatings Technology*, 362, 212-220.
- [4] Tachikawa, T., et al. 2017. New developments in heatless electroplating for energy-efficient processes. *Journal of Electrochemical Society*, 164(4), E144-E150.
- [5] Vasquez, M. R., et al. 2018. Emission reduction strategies in electroplating industries. *Environmental Science and Technology*, 52(5), 2547-2555.
- [6] Yadav, A., et al. 2017. Green electroplating technologies and their potential for reducing environmental impact. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(2), 350-358.
- [7] Wu, S., & Wang, J. 2018. Investigation of heatless chemical degreasing processes for metal surfaces: Mechanism and performance. *Journal of Materials Science & Technology*, 34(7),
- [7] Li, C., & Liu, X. 2016. The development of heatless chemical processes for metal surface treatment. *Surface and Coatings Technology*, 289, 135-142.
- [8] Bennett, R. M., & Zhao, Q. 2017. Advances in chemical surface treatment techniques: A review of heatless processes. *Journal of Industrial Chemistry*, 55(9), 1364-1378.

- [9] Garrido, A. G., & Duran, J. D. 2019. Role of chemical surfactants in heatless degreasing processes for steel. *Journal of Surface Science and Technology*, 39(5), 223-229.
- [10] Zhang, Y., Zhang, Q., & Xu, L. 2015. The influence of metal surface pretreatment on the performance of phosphating coating. *Progress in Organic Coatings*, 78(4), 341–348.
- [11] Shen, Z., & Zhang, S. 2018. Low-temperature phosphating of steel: Chemical interactions and the role of manganese ions. *Surface and Interface Analysis*, 50(6), 624-630.
- [12] Singh, S., & Tiwari, S. 2017. Surface treatment techniques and their influence on the corrosion resistance of phosphated coatings. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 26(12),
- [13] Rostami, S., & Ehsani, N. 2020. New surfactant-based formulations for heatless degreasing: Comparative study and optimization. *International Journal of Advanced Manufacturing*
- [14] Zhou, S., & Liu, T. 2019. Effectiveness of chemical heatless degreasing and its environmental impact on industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1188-1198.
- [15] Chen, Y., & Liu, F. 2017. Green surface treatments for metal finishing: Heatless methods for sustainable production. *Environmental Science & Technology*, 51(18), 11087-11095.