



Effectiveness of Trichloroisocyanuric Acid (TCCA) as a Substitute for Sodium Hypochlorite in Improving the Efficiency of the Cooling System at PT Antam Tbk UBPN Southeast Sulawesi Power Plant

Efektivitas Penggunaan Trichloroisocyanuric Acid (TCCA) sebagai Pengganti Sodium Hypochlorite dalam Meningkatkan Efisiensi Sistem Pendingin PLTU PT. Antam Tbk UBPN Sulawesi Tenggara

Nurhikmah Wahab ^{a,1,*}, Mariaulfa Mustam ^{a,2}, Akram Surya Nugraha ^{a,3}

^a Program Studi Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Teknologi Sulawesi, Jl. Talasalapang No 51, Makassar, 90221, Indonesia

¹ nurhikmahwahab05@gmail.com*; ² mariaulfamustam@gmail.com; ³ akramnugraha.antam@gmail.com

* corresponding author

ARTICLE INFO

Article history

Received : April 25, 2025

Revised : June 4 2025

Accepted : July 25, 2025

Published : August 5, 2025

Kata Kunci: Trichloroisocyanuric acid; Natrium hypochlorite; Pengotor makro; Sisa klorin bebas.

Keywords: Trichloroisocyanuric acid; sodium hypochlorite; macrofouling; free residual chlorine.

ABSTRAK/ABSTRACT (10PT)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan trichloroisocyanuric acid (TCCA) sebagai bahan kimia alternatif pengganti sodium hypochlorite (NaOCl) dalam mengendalikan pertumbuhan macrofouling pada sistem pendingin utama PLTU PT ANTAM Tbk UBPN Sulawesi Tenggara. Macrofouling, seperti pertumbuhan kerang dan biofilm, merupakan permasalahan umum pada sistem pendingin berbasis air laut yang dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas serta meningkatkan risiko kerusakan peralatan. Pengujian dilakukan selama dua periode terpisah dengan masing-masing penggunaan NaOCl dan TCCA, di mana parameter yang diamati meliputi nilai free residual chlorine (FRC) dan konsumsi harian bahan kimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan TCCA menghasilkan nilai FRC yang lebih stabil dalam rentang optimal 0,3–0,5 ppm tanpa fluktuasi ekstrem, sementara NaOCl menunjukkan ketidakstabilan dengan nilai yang sering kali berada di luar batas optimal. Selain itu, TCCA memerlukan dosis lebih rendah dan frekuensi pengisian yang lebih jarang, yang menunjukkan efisiensi operasional yang lebih tinggi dan penurunan risiko paparan bahan kimia terhadap operator. Keunggulan TCCA juga mencakup stabilitas senyawa yang lebih baik, kemudahan dalam penanganan, dan keamanan penyimpanan. Berdasarkan temuan ini, TCCA direkomendasikan sebagai pengganti yang lebih efektif, efisien, dan aman untuk meningkatkan keandalan dan kinerja sistem pendingin PLTU.

This study aims to evaluate the effectiveness of trichloroisocyanuric acid (TCCA) as an alternative chemical to replace sodium hypochlorite (NaOCl) in controlling macrofouling growth in the main cooling system of PT ANTAM Tbk UBPN Southeast Sulawesi's coal-fired power plant. Macrofouling, such as the growth of mussels and biofilm, is a common problem in seawater-based cooling systems that can reduce heat transfer efficiency and increase the risk of equipment damage. The tests were conducted over two separate periods using NaOCl and TCCA,



respectively, with observed parameters including free residual chlorine (FRC) levels and daily chemical consumption. The results showed that TCCA use produced more stable FRC values within the optimal range of 0.3–0.5 ppm without extreme fluctuations, whereas NaOCl displayed instability with values often falling outside the optimal range. Furthermore, TCCA required lower dosages and less frequent replenishment, indicating higher operational efficiency and reduced risk of chemical exposure to operators. TCCA's advantages also include better compound stability, ease of handling, and safer storage. Based on these findings, TCCA is recommended as a more effective, efficient, and safer substitute to enhance the reliability and performance of the cooling system at coal-fired power plants.

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu sumber energi utama di industri, yang prinsip kerjanya mengikuti siklus Rankine dengan memanfaatkan uap bertekanan untuk memutar turbin [1]. Salah satu komponen vital dalam siklus ini adalah sistem pendingin utama yang berfungsi mengembunkan uap bekas dari turbin melalui kondensor. Air laut banyak digunakan sebagai media pendingin karena ketersediaannya yang melimpah dan kapasitas perpindahan panas yang tinggi [2]. Namun, penggunaan air laut membawa tantangan tersendiri, terutama risiko macrofouling yang dapat mengurangi efisiensi perpindahan panas, meningkatkan tekanan kondensor, dan mempercepat kerusakan peralatan [3]. Macrofouling, seperti pertumbuhan kerang laut (barnacle), alga, dan biofilm, sering menjadi masalah serius pada PLTU berbasis pendinginan air laut. Bibit organisme ini dapat lolos dari sistem penyaringan awal dan tumbuh di dalam pipa kondensor, mengakibatkan penyumbatan dan penurunan kinerja kondensor. Untuk mengatasi hal ini, industri umumnya menggunakan bahan kimia biocide seperti sodium hypochlorite (NaOCl) untuk menghambat pertumbuhan organisme laut [4]. NaOCl bekerja dengan menghasilkan free residual chlorine (FRC) berupa asam hipoklorit (HOCl) yang bersifat oksidatif dan efektif membunuh mikroorganisme.

Meskipun efektif, NaOCl memiliki sejumlah kelemahan yang membatasi kinerjanya di lapangan. Senyawa ini memiliki kandungan klorin aktif rendah (10–12%), mudah terdegradasi oleh panas dan sinar ultraviolet, serta memerlukan dosis dan frekuensi injeksi yang relatif tinggi untuk mempertahankan nilai FRC pada rentang optimal [5]. Selain itu, sifatnya yang korosif dan bentuk larutan yang tidak stabil menimbulkan risiko keselamatan bagi operator serta potensi peningkatan biaya operasional jangka panjang [6]. Sebagai alternatif, trichloroisocyanuric acid (TCCA) mulai mendapat perhatian karena memiliki kandungan klorin aktif lebih tinggi ($\pm 90\%$), bentuk padat yang stabil, lebih tahan terhadap degradasi, dan lebih mudah dalam penanganan serta penyimpanan [7]. TCCA melepaskan HOCl secara bertahap ketika dilarutkan, sehingga mampu mempertahankan FRC dalam jangka waktu lebih lama dengan dosis lebih rendah. Beberapa studi industri menunjukkan potensi TCCA dalam menurunkan konsumsi bahan kimia dan mengurangi risiko paparan bahan berbahaya terhadap operator.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan TCCA sebagai pengganti NaOCl dalam pengendalian macrofouling pada sistem pendingin utama PLTU PT ANTAM Tbk UBPB Sulawesi Tenggara. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter nilai FRC, konsumsi bahan kimia, dan potensi peningkatan efisiensi operasional sistem pendingin.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di sistem pendingin utama PLTU PT ANTAM Tbk UBPN Sulawesi Tenggara pada April–Mei 2025. Pengujian FRC menggunakan HACH DR 1900 dengan metode *colorimetric*.

Material

Alat: Spektrofotometer HACH DR 1900, kuvet, powder pillow, aquadest.

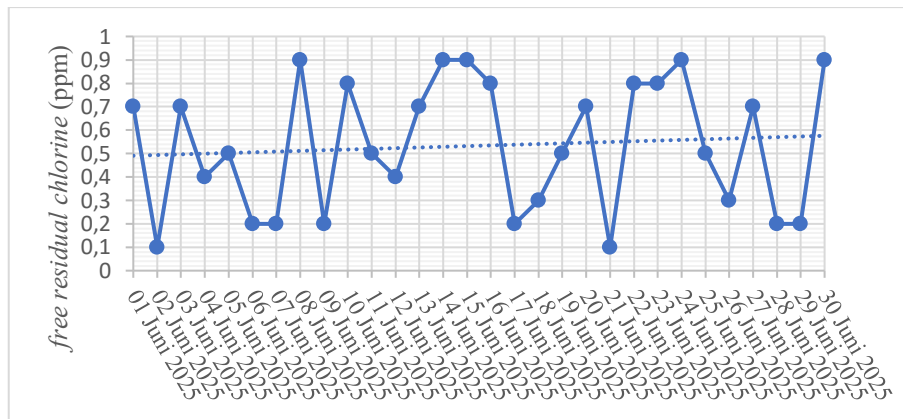
Bahan: Air pendingin laut yang telah diberi perlakuan NaOCl atau TCCA.

Prosedur

1. Ditekan tombol “START” pada program 80 Chlorine F&T PP.
Instrumen HACH DR 1900 dinyalakan dan diatur pada program 80 Chlorine F&T PP yang secara khusus digunakan untuk mengukur kadar klorin bebas dalam air menggunakan *colorimetric*. Pemilihan program ini akan mengatur panjang gelombang dan pengolahan data sesuai parameter yang diperlukan untuk pengujian FRC.
2. Dimasukkan 10 mL aquades ke dalam kuvet sebagai blanko.
Aquadest digunakan sebagai blanko atau larutan perbandingan yang tidak mengandung klorin. Blanko ini penting untuk mengkalibrasi instrumen dan menghilangkan pengaruh warna dasar larutan atau wadah terhadap hasil pembacaan.
3. Dimasukkan kuvet yang berisi aquades ke dalam kuvet holder.
Kuvet yang berisi aquades dimasukkan ke dalam tempat pembacaan (kuvet holder) di instrumen HACH DR 1900. Posisi dan kebersihan kuvet harus dijaga agar tidak mempengaruhi hasil kalibrasi nol.
4. Ditekan tombol “ZERO” hingga tampilan menunjukkan angka 0,00 mg/L.
Tombol “ZERO” ditekan untuk mengatur titik nol pengukuran. Nilai ini menjadi dasar perbandingan untuk membaca sampel yang mengandung klorin. Jika berhasil, layar akan menunjukkan “0,00 mg/L”, artinya alat sudah dikalibrasi dengan benar.
5. Dimasukkan 10 mL sampel ke dalam kuvet.
Sampel air pendingin (yang telah diberi bahan kimia TCCA atau NaOCl) diambil sebanyak 10 mL dan dimasukkan ke dalam kuvet bersih. Sampel ini akan dianalisis untuk mengukur kadar klorin bebasnya.
6. Dimasukkan powder pillow ke dalam kuvet.
Reagen bubuk dari kit (dikenal sebagai powder pillow) dimasukkan ke dalam kuvet yang berisi sampel. Reagen ini akan bereaksi dengan klorin bebas dan menghasilkan warna merah muda jika klorin hadir.
7. Sampel diaduk selama 20 detik agar tercampur. Jika muncul warna merah muda, maka hal tersebut menandakan adanya klorin di dalam sampel.
Proses pengadukan selama 20 detik dilakukan agar reagen larut dan bereaksi merata dengan klorin dalam sampel. Warna merah muda merupakan indikasi positif adanya klorin bebas (free chlorine) dalam air.
8. Dalam waktu 60 detik setelah penambahan reagen, dimasukkan sampel yang telah disiapkan ke dalam kuvet holder.
Setelah 60 detik (waktu reaksi), kuvet dimasukkan ke kuvet holder instrumen. Waktu ini penting untuk memastikan reaksi telah berjalan sempurna dan warna hasil reaksi stabil untuk dibaca.
9. Ditekan tombol “READ” hingga tampilan menunjukkan hasil pembacaan dalam mg/L Cl₂.
Instrumen membaca intensitas warna dalam kuvet dan mengkonversinya menjadi nilai konsentrasi klorin bebas dalam satuan mg/L Cl₂. Nilai inilah yang disebut sebagai Free Residual Chlorine (FRC).

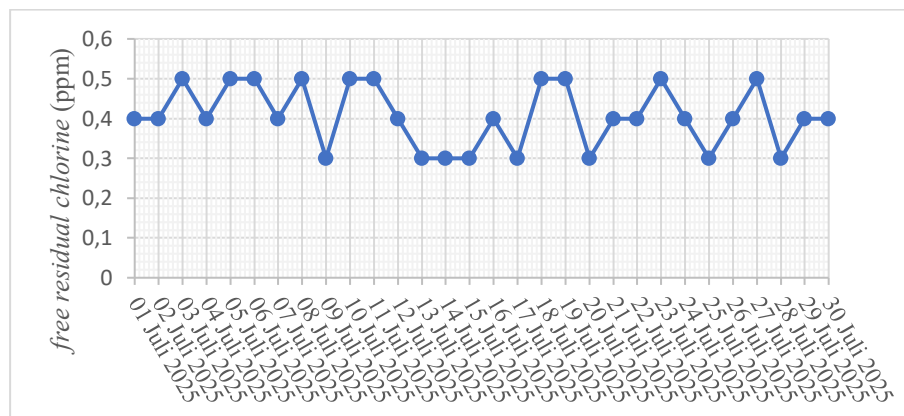
3. Hasil dan Pembahasan

Salah satu parameter penting yang diamati dalam evaluasi efektivitas bahan kimia pengendali macrofouling adalah kadar free residual chlorine (FRC), yaitu sisa klorin bebas yang masih tersedia dalam sistem proses reaksi awal. Nilai FRC yang ideal dalam sistem pendingin air laut umumnya berkisar antara 0,3 – 0,5 ppm karena kadar tersebut cukup untuk menekan pertumbuhan organisme pengganggu namun tetap aman bagi peralatan dan lingkungan.



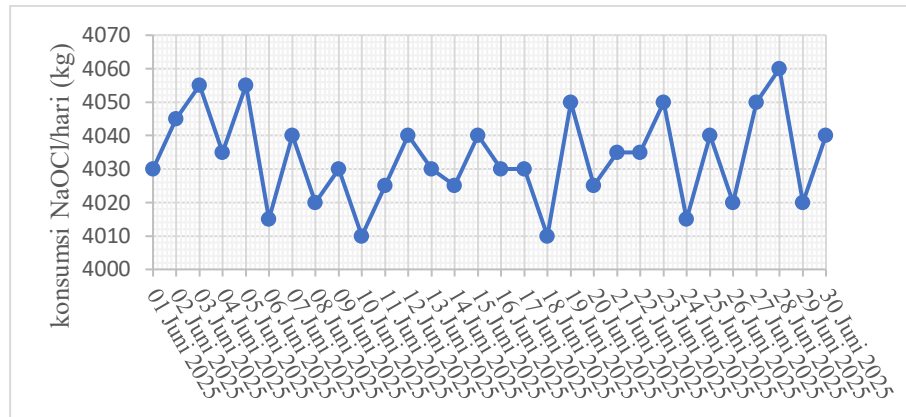
Gambar 1. Grafik FRC dengan chemical NaOCl

Selama penggunaan NaOCl, nilai FRC yang tercatat sangat bervariasi, berkisar antara 0,1 – 0,9 ppm. Fluktuasi yang tajam dari hari ke hari menunjukkan bahwa NaOCl sulit mempertahankan kestabilan kadar klorin aktif dalam sistem. Pada Gambar 1. ditunjukkan bahwa ada beberapa hari nilai FRC turun hingga 0,1 ppm yang berarti sistem berada dalam kondisi rentan terhadap pertumbuhan bioorganisme. Di sisi lain, terdapat pula lonjakan FRC hingga 0,9 ppm yang menunjukkan penggunaan bahan kimia berlebih.



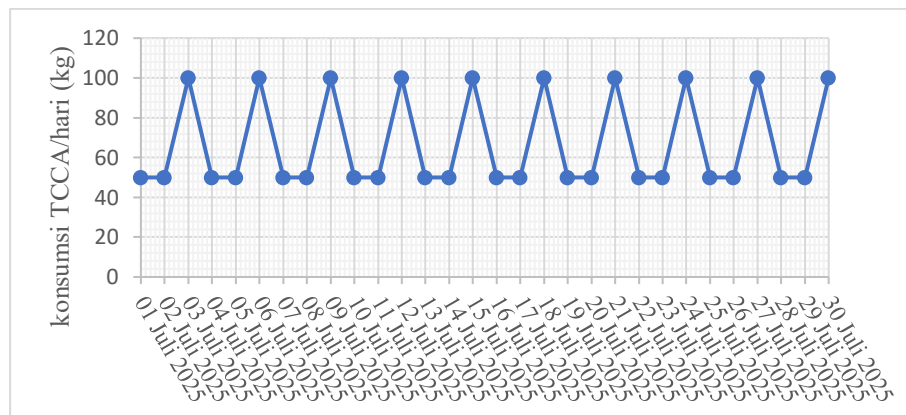
Gambar 2. Grafik FRC dengan chemical TCCA

Pada Gambar 2. dapat dilihat nilai FRC dengan penggunaan TCCA menunjukkan hasil yang lebih stabil dengan rentang 0,3 – 0,5 ppm. Meskipun rata-rata TCCA sedikit lebih rendah dibandingkan NaOCl, namun nilai FRC yang diperoleh selalu dalam batas optimal tanpa lonjakan ekstrem maupun penurunan drastis. Hal ini menunjukkan bahwa klorin aktif dari TCCA dilepaskan secara lebih terkendali dan stabil.



Gambar 3. Grafik konsumsi NaOCl

Konsumsi harian NaOCl menunjukkan fluktuasi yang sangat besar. Naiknya dosis ini diduga kuat sebagai respons terhadap ketidakstabilan nilai FRC yang sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini mengindikasikan kurang efektifnya NaOCl digunakan sebagai agen macrofouling. Nilai konsumsi yang cukup tinggi ini mencerminkan besarnya kebutuhan bahan kimia untuk menjaga sistem pendingin tetap bebas dari pertumbuhan makroorganisme yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi termal dan hambatan aliran pendingin. NaOCl digunakan sebagai oksidator yang efektif untuk menghambat pertumbuhan organisme seperti kerang, lumut, dan biofilm yang dapat melekat pada dinding pipa dan sistem kondensor.



Gambar 4. Grafik konsumsi TCCA

Sebaliknya, konsumsi harian TCCA jauh lebih stabil dengan pola naik turun yang konsisten. Nilai FRC yang lebih stabil selama penggunaan TCCA pada Gambar 2. berkorelasi langsung dengan stabilnya kebutuhan bahan kimia perhari. Hal ini mengindikasikan bahwa TCCA memiliki efisiensi pelepasan klorin yang lebih tinggi dan dapat mempertahankan efektivitasnya.

Kondisi ini sangat penting dalam kaitannya dengan pencegahan macrofouling. Macrofouling terjadi akibat pertumbuhan organisme laut seperti kerang-kerangan, ganggang, dan larva yang menempel pada pipa-pipa atau dinding sistem pendingin. Ketika kadar klorin bebas terlalu rendah, organisme-organisme ini akan tumbuh tanpa kendali, menyebabkan penyumbatan, penurunan efisiensi perpindahan panas, dan peningkatan beban pemeliharaan [8]. Sebaliknya, kadar FRC yang terlalu tinggi dapat bersifat korosif dan merusak material logam.

Dengan melihat hasil ini, dapat disimpulkan bahwa TCCA lebih efektif dalam menjaga kadar klorin bebas pada rentang optimal yang dibutuhkan untuk mencegah macrofouling. Kestabilan nilai FRC selama penggunaan TCCA menandakan kontrol yang lebih baik terhadap pertumbuhan organisme, serta efisiensi penggunaan bahan kimia yang lebih tinggi. Hal ini mendukung potensi

penggantian NaOCl dengan TCCA pada sistem pendingin utama PLTU sebagai solusi yang lebih stabil, aman, dan ekonomis.

4. Kesimpulan

Trichloroisocyanuric acid (TCCA) terbukti lebih efektif dibandingkan sodium hypochlorite (NaOCl) dalam mengendalikan pertumbuhan macrofouling. Hal ini ditunjukkan melalui kestabilan nilai free residual chlorine (FRC) yang dihasilkan oleh TCCA selama periode aplikasi, yang berada dalam rentang protektif 0,3 – 0,5 ppm tanpa fluktuasi signifikan. Sebaliknya, aplikasi NaOCl menunjukkan nilai FRC yang cenderung tidak stabil, dengan penurunan drastis setelah beberapa hari aplikasi. Stabilitas FRC yang dihasilkan TCCA mencerminkan kontrol yang lebih konsisten terhadap organisme pengganggu, sehingga potensi pertumbuhan macrofouling dapat ditekan lebih efektif.

Penggunaan TCCA memberikan keuntungan signifikan dalam aspek efisiensi operasional sistem pendingin. Berdasarkan data konsumsi harian, TCCA memerlukan dosis yang lebih rendah dibandingkan NaOCl untuk mencapai nilai FRC yang sama. Selain itu, frekuensi penambahan bahan kimia juga lebih jarang karena sifat pelepasan klorin dari TCCA yang lebih lambat (slow-release), sehingga mengurangi beban kerja operator dan potensi kesalahan pengukuran atau overfeeding. Efisiensi ini secara langsung berdampak pada penghematan bahan kimia dan peningkatan keandalan sistem, serta menurunkan risiko korosi akibat fluktuasi dosis klorin berlebih.

5. Ucapan Terima Kasih

Terimakasih untuk Dosen Prodi Kimia dan LPPM Universitas Teknologi Sulawesi untuk selalu support dalam kegiatan Tridharma dan selalu memberikan masukan hingga penelitian ini selesai, tak lupa juga kepada PT ANTAM Tbk UBPB Sulawesi Tenggara atas izin dan dukungan selama penelitian.

6. Referensi

- [1] Atoni & K. H. Mahmud, "Pengaruh Variasi Temperatur Air Pendingin Kondensor Terhadap Tekanan Pada Beban Tetap," *Jurnal Integrasi Sistem Industri Umj*, Vol. 2 No. 1, 2015. [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jisi/article/view/914>.
- [2] Bhuana, J. C., Muh, I., & Maulana, A. Analisis Efektivitas Kondensor Di PLTU PT. Semen Tonasa Btg Unit I 2 × 25 MW. *Poligrad*, vol. 2, no. 1, p. 20-23, 2021.
- [3] Desi, R. S. Faktor-faktor yang berhubungan dengan keberadaan sisa klorin pada jaringan distribusi air minum IPA Cileng PDAM Lawu Tirta Magetan, 2018.
- [4] Gaspa, S., Fadda, A., Monni, G., & Marras, C. Chlorination Using Trichloroisocyanuric Acid: Stability, Reactivity and Disinfection Applications. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101321. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101321>, 2020.
- [5] Guritno, A. D., & Lisapaly, I. F. U.. Respons PT Aneka Tambang Tbk atas Disrupsi Eksternal Melalui Inovasi Teknologi dan Fleksibilitas Varian Produk. *Kasus-Kasus Manajemen Perusahaan Indonesia 6: Leadership And Innovation In Disruptive Era*, vol. 6, no. 23, 2021.
- [6] Hastoro, M. F. R. Gap Analysis Prosedur Pengendalian Keadaan Darurat Lokal Badak LNG Dengan Regulasi Dan Best Practice Perusahaan Lain (*Doctoral dissertation, UNIVERSITAS AIRLANGGA*), 2019.
- [7] Hidayati, N., & Sumadipraja, B. F. Penentuan Nilai Efektivitas Kondensor Di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang. *Jurnal Rekayasa Energi dan Mekanika*, vol. 4, no. 2, p. 115, 2024.

- [8] La Ode, I. I. Pengaruh Tekanan Vacuum Pump pada Nilai Efektivitas Kondensor Pltu Pt. Antam Pomalaa 2 X 30 MW UBPB SulTra. Politeknik ATI Makassar, 2018.
- [9] Napitupulu, D. J. Analisis Perpindahan Panas (*Heat Transfer*) Kondensor Pada Unit 4 Pltu Pt Pln (Persero) Unit Pelaksana Pembangunan Belawan (*Doctoral Dissertation, Universitas Medan Area*), 2019
- [10] Power Magazine. (2018). Why Sodium Hypochlorite Loses Strength Over Time and What To Do About It. Retrieved dari <https://www.powermag.com>
- [11] Rusirawan, D. Review Optimalisasi Pengelolaan Pengotoran dan Korosi pada Sistem Perpindahan Panas terhadap Reheater pada PLTU. Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik, vol. 24, no. 1, p. 43-50, 2025.
- [12] Wisnumurti, A. B. Pengaruh Fase Lunar Terhadap Kapasitas Reproduksi Amphibalanus Amphitrite Di Pantai Teluk Penyu Cilacap, Jawa Tengah (*Doctoral Dissertation, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*), 2020.