

DOI: doi.org/10.58797/pilar.0302.04

Transformasi Industri Listrik di Indonesia: Peluang dan Tantangan bagi Teknik Industri

Fatanur Baity Tsulutsya*, Elma Dwi Ardiana, Ramadani Rahman,
Moh. Arman Dwi Putra Firdauzi, Nauval Ariza Hilmi

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

*Corresponding Email: fatanur.tsulutsya@trunojoyo.ac.id

Received: 11 Mei 2024
Revised: 22 Juni 2024
Accepted: 22 Desember 2024
Online: 30 Desember 2024
Published: 30 Desember 2024

**Mitra Pilar: Jurnal
Pendidikan, Inovasi, dan
Terapan Teknologi**
p-ISSN: 2964-7622
e-ISSN: 2964-6014



Abstract

This study aims to analyze the opportunities and challenges in the transformation of the electrical industry in Indonesia, as well as how the industrial engineering sector can harness the potential of this technology. The approach used in this research is an in-depth literature review, integrating various international case studies and relevant data to compare the application of electrical technology in Indonesia and other countries. The findings reveal that the implementation of electromagnetic technology in Indonesia can enhance energy efficiency and productivity, particularly in the manufacturing and energy sectors. However, the main challenges faced by Indonesia include limited infrastructure, a lack of skilled workforce, and policies that do not fully support the adoption of this technology. This study recommends increasing investment in research and development, as well as workforce education and training, to accelerate the adoption of this technology and support a more efficient and sustainable industrial transformation.

Keywords: energy efficiency, industrial engineering, productivity, technology

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peluang dan tantangan dalam transformasi industri listrik di Indonesia, serta bagaimana sektor teknik industri dapat memanfaatkan potensi teknologi ini. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian literatur yang mendalam, dengan mengintegrasikan berbagai studi

kasus internasional dan data yang relevan untuk membandingkan penerapan teknologi listrik di Indonesia dan negara-negara lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi elektromagnetik di Indonesia dapat meningkatkan efisiensi energi dan produktivitas, terutama dalam sektor manufaktur dan energi. Namun, tantangan utama yang dihadapi oleh Indonesia meliputi keterbatasan infrastruktur, tenaga kerja terlatih, dan kebijakan yang belum sepenuhnya mendukung adopsi teknologi ini. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan investasi dalam riset dan pengembangan, serta pendidikan dan pelatihan untuk tenaga kerja, guna mempercepat adopsi teknologi ini dan mendukung transformasi industri yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata-kata kunci: efisiensi energi, produktivitas, rekayasa industri, teknologi

PENDAHULUAN

Industri listrik di Indonesia telah mengalami perkembangan yang pesat seiring dengan kemajuan teknologi energi dan penerapan prinsip-prinsip magnetisme dalam berbagai sektor (Tsulutsya, dkk., 2024). Sektor ini memiliki potensi besar untuk mendukung transisi energi di Indonesia, terutama dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendorong penggunaan energi terbarukan (Windasari, Sudarti, & Yushardi, 2023). Meskipun demikian, meskipun teknologi energi terbarukan sudah dikenal luas di dunia, penerapan dan transformasi teknologi ini di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan teknis (Arifin, dkk., 2023), ekonomi (Hasibuan, Siregar, & Sayuti, 2023), dan sosial (Aryanto, 2023) yang memerlukan perhatian lebih.

Transformasi industri listrik juga memiliki dampak yang signifikan terhadap bidang teknik industri (Seffudin & Luthfianto, 2023). Perubahan dalam pola produksi dan distribusi energi ini memberikan peluang besar bagi rekayasa sistem dan manajemen operasional dalam dunia industri (Salvendy, 2001; Zhou, Liu, & Zhou, 2015), yang dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Namun, untuk memanfaatkan peluang ini secara optimal, diperlukan adanya pemahaman yang mendalam tentang potensi teknologi listrik serta tantangan-tantangan yang ada dalam konteks pasar dan infrastruktur Indonesia (Dutu, 2016).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, meskipun teknologi listrik terus berkembang di tingkat global, Indonesia masih tertinggal dalam hal adopsi dan penerapan teknologi ini secara luas (Tsulutsya, dkk., 2024). Proses transformasi yang terjadi di negara ini masih terbatas pada beberapa sektor dan perusahaan besar, sementara banyak industri kecil dan menengah yang belum sepenuhnya memanfaatkan teknologi ini. Dengan adanya ketertinggalan tersebut, urgensi untuk melakukan studi yang mendalam mengenai peluang dan tantangan transformasi industri listrik menjadi sangat relevan, khususnya dalam konteks penerapan pada teknik industri.

Melihat urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai peluang yang dapat dimanfaatkan dalam transformasi industri listrik magnet, serta tantangan yang harus dihadapi oleh sektor teknik industri Indonesia. Seiring dengan perubahan yang cepat di sektor industri dan teknologi energi, kebutuhan akan inovasi dalam bidang teknik industri menjadi semakin mendesak. Oleh karena itu, artikel ini diharapkan dapat memberikan

wawasan yang lebih mendalam mengenai bagaimana transformasi industri listrik dapat memperkuat posisi Indonesia dalam peta industri global, sekaligus menghadirkan solusi praktis terhadap tantangan yang ada di lapangan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan mengandalkan kajian literatur yang mendalam terhadap jurnal-jurnal dan publikasi-publikasi sebelumnya yang relevan dengan transformasi industri listrik di Indonesia. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perkembangan dan implementasi teknologi listrik dalam konteks teknik industri. Kajian literatur difokuskan pada studi-studi sebelumnya yang mengkaji adopsi teknologi listrik di sektor industri, serta peluang dan tantangan yang dihadapi oleh perusahaan-perusahaan di Indonesia dalam mengintegrasikan teknologi ini ke dalam operasional mereka.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini berasal dari berbagai sumber, termasuk jurnal ilmiah internasional, artikel konferensi, laporan riset industri, serta publikasi yang membahas inovasi teknologi dalam bidang energi, listrik magnet, dan teknik industri. Data literatur ini dianalisis secara deskriptif dan analitis untuk mengidentifikasi pola-pola yang muncul, serta untuk menggali berbagai faktor yang mempengaruhi transformasi industri listrik di Indonesia. Fokus utama dari analisis literatur ini adalah untuk mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan yang ada, baik dari sisi teknologi, manajemen, maupun kebijakan.

Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan data dari literatur terkait penerapan teknologi serupa di negara lain sebagai pembanding, guna memberikan perspektif yang lebih luas tentang bagaimana Indonesia dapat memanfaatkan potensi transformasi ini. Berbagai studi kasus internasional yang relevan akan dikaji untuk menggali *best practices*, keberhasilan implementasi, serta hambatan-hambatan yang mungkin terjadi dalam adopsi teknologi listrik di negara dengan kondisi serupa.

Pendekatan analisis dalam penelitian ini mencakup teknik sintesis data (Majid, 2017), di mana berbagai temuan dari literatur yang telah dikumpulkan akan disusun secara terstruktur dan dikaitkan dengan konteks industri Indonesia. Dengan menggunakan teknik ini, diharapkan dapat ditemukan pola dan rekomendasi yang berguna untuk mendorong adopsi teknologi listrik yang lebih luas di Indonesia, serta untuk mengidentifikasi tantangan-tantangan yang perlu diatasi oleh pemangku kepentingan, baik di tingkat perusahaan, pemerintah, maupun masyarakat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformasi industri listrik tidak dapat dilepaskan dari pembahasan elektromagnetik, karena prinsip dasar elektromagnetik merupakan fondasi utama dalam pengoperasian berbagai perangkat dan sistem listrik (Christopoulos, 2022). Fenomena seperti induksi elektromagnetik, yang dijelaskan melalui Hukum Faraday, menjadi dasar pembangkitan listrik di generator (Elfrites, 2019), sedangkan Hukum Ampere menjelaskan bagaimana arus listrik menciptakan medan magnet yang digunakan dalam motor listrik dan transformator (Al-Shaikhli, Ahmad, & Al-Taweel, 2019). Selain itu, teknologi elektromagnetik telah mendorong inovasi di berbagai sektor, seperti transmisi energi, penyimpanan daya, dan otomatisasi, yang semuanya berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem listrik. Oleh karena itu, pemahaman dan pengembangan teknologi berbasis elektromagnetik menjadi kunci dalam kemajuan industri listrik, terutama dalam konteks penerapannya di Indonesia.

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa penerapan teknologi listrik di industri Indonesia memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efisiensi energi dan produktivitas (Asian Development Bank, 2020; Pertamina Energy Institute, 2022). Studi menunjukkan bahwa teknologi elektromagnetik mampu mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi limbah produksi, dan mendorong produktivitas yang lebih tinggi (Zamri, dkk., 2021; Mahlia, dkk., 2020). Sektor industri di Indonesia yang mulai mengadopsi teknologi ini telah mencatat peningkatan efisiensi energi dan produktivitas (Arifin, dkk., 2023). Lebih jauh lagi, Aryanto (2023) mengungkapkan bahwa keberadaan industri listrik juga berdampak positif terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat, seperti yang terlihat pada masyarakat nelayan di Labuan Sumbawa. Kehadiran industri ini tidak hanya meningkatkan akses terhadap sumber daya dan teknologi, tetapi juga membuka peluang kerja baru dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Dengan adopsi teknologi elektromagnetik, peluang untuk inovasi dalam proses produksi yang lebih modern, efisien, dan berkelanjutan semakin terbuka (Tofail, dkk., 2018). Hal ini menunjukkan bahwa transformasi industri listrik di Indonesia tidak hanya membawa manfaat teknis, tetapi juga memberikan dampak sosial-ekonomi yang signifikan, menjadikannya peluang strategis bagi sektor teknik industri untuk berperan lebih aktif dalam mendorong perubahan ini.

Peningkatan Efisiensi Produksi

Penggunaan teknologi elektromagnetik memungkinkan otomatisasi yang lebih baik dan pengurangan limbah produksi. Teknologi ini dapat mengoptimalkan sistem distribusi energi dalam pabrik dan mendukung integrasi dengan sistem manufaktur pintar yang lebih efisien. Efisiensi energi yang tercapai mengurangi kebutuhan akan sumber energi eksternal dan mengurangi pemborosan, meningkatkan kinerja keseluruhan dari fasilitas produksi (Gholikhani, dkk., 2019).

Pengurangan Biaya Operasional

Dalam industri yang menerapkan teknologi listrik magnet, pengurangan biaya operasional menjadi salah satu manfaat utama yang paling mencolok. Dengan penerapan sistem yang lebih efisien dalam distribusi dan penggunaan energi, perusahaan dapat mengurangi pengeluaran untuk konsumsi energi. Hal ini memberi ruang bagi perusahaan untuk berinvestasi pada area lain yang mendukung inovasi dan peningkatan produktivitas. Penghematan biaya energi juga turut memperbaiki margin keuntungan, menjadikan perusahaan lebih kompetitif di pasar global (Amir, dkk., 2023).

Inovasi dalam Proses Produksi

Implementasi teknologi elektromagnetik dalam industri juga mendorong inovasi dalam proses produksi. Penggunaan alat dan mesin berbasis elektromagnetik meningkatkan kemampuan produksi dengan menciptakan produk yang lebih canggih dan berdaya saing tinggi (Rahmani, dkk., 2023). Selain itu, teknologi ini memungkinkan produksi yang lebih fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasar yang terus berubah.

Tantangan dalam Adopsi Teknologi

Meskipun teknologi listrik magnet menawarkan berbagai peluang, terdapat sejumlah tantangan yang harus dihadapi oleh sektor teknik industri di Indonesia. Salah satunya adalah keterbatasan sumber daya manusia yang terlatih dalam bidang teknologi tinggi seperti elektromagnetik (Arifin, dkk., 2023). Hal ini memerlukan perhatian khusus dari pihak pendidikan dan pelatihan untuk menciptakan tenaga kerja yang kompeten. Tantangan lainnya adalah terbatasnya investasi dalam riset dan pengembangan untuk teknologi baru, yang dapat memperlambat proses transformasi industri (Arifin, dkk., 2023).

Peluang di Era Industri 4.0

Penerapan teknologi elektromagnetik juga berhubungan erat dengan kemajuan menuju Industri 4.0, di mana otomatisasi, digitalisasi, dan internet of things (IoT) menjadi faktor utama dalam proses produksi (Cihuy, 2019). Di Indonesia, banyak perusahaan yang mulai mengadopsi konsep pabrik pintar, yang memungkinkan pengendalian dan pemantauan sistem secara real-time menggunakan teknologi digital dan elektromagnetik. Hal ini membuka peluang untuk menciptakan pabrik yang lebih efisien, berkelanjutan, dan responsif terhadap perubahan pasar. Tabel 1 menunjukkan peluang dan tantangan bagi teknik industri.

Tabel 1. Peluang dan Tantangan bagi Teknik Industri

Peluang	Tantangan
1. Peningkatan Efisiensi Energi	1. Keterbatasan Sumber Daya Manusia Terlatih
2. Inovasi dalam Proses Produksi	2. Keterbatasan Investasi pada Riset dan Pengembangan
3. Pengurangan Biaya Operasional	3. Kurangnya Infrastruktur Pendukung yang Memadai
4. Peralihan ke Pabrik Pintar dan Berkelanjutan	4. Ketergantungan pada Teknologi Impor
5. Peningkatan Daya Saing Global	5. Regulasi dan Kebijakan yang Masih Belum Mendukung

Berdasarkan hasil kajian, teknologi listrik magnet menawarkan sejumlah peluang besar bagi sektor teknik industri Indonesia, terutama dalam meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi biaya operasional. Namun, untuk memaksimalkan potensi ini, tantangan-tantangan seperti keterbatasan tenaga kerja terlatih dan infrastruktur yang belum memadai perlu segera diatasi. Selain itu, dengan semakin berkembangnya teknologi dan era Industri 4.0, perusahaan di Indonesia memiliki kesempatan untuk bertransformasi menuju pabrik pintar yang lebih efisien dan berkelanjutan, namun hal ini memerlukan dukungan dari kebijakan pemerintah dan sektor swasta.

Pengalaman Indonesia dan Negara Lain dalam Adopsi Teknologi Elektromagnetik

Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan data dari literatur terkait penerapan teknologi serupa di negara lain sebagai pembanding, guna memberikan perspektif yang lebih luas tentang bagaimana Indonesia dapat memanfaatkan potensi transformasi industri listrik magnet. Berbagai studi kasus internasional yang relevan akan dikaji untuk menggali *best*

practices, keberhasilan implementasi, serta hambatan-hambatan yang mungkin terjadi dalam adopsi teknologi listrik magnet di negara dengan kondisi serupa. Negara-negara maju seperti telah lebih dahulu mengadopsi teknologi elektromagnetik dalam industri mereka, yang memungkinkan mereka untuk mencapai tingkat efisiensi dan inovasi yang lebih tinggi (Brunel, 2019).

Di sisi lain, negara-negara berkembang dengan tantangan serupa seperti Indonesia juga dapat mempelajari pengalaman-pengalaman tersebut untuk mempercepat adopsi teknologi ini di sektor industri (Instituto de Relaciones Internacionales, 2019). Faktor-faktor seperti ketersediaan infrastruktur, kebijakan pemerintah, serta kesiapan tenaga kerja menjadi elemen-elemen kunci yang mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan implementasi teknologi elektromagnetik dalam industri. Dengan demikian, kajian literatur ini memberikan wawasan tentang peluang dan tantangan dalam implementasi teknologi ini di Indonesia, serta langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengatasi hambatan yang ada.

Tabel 2. Pengalaman Indonesia dan Negara Lain dalam Adopsi Teknologi Listrik Magnet

Aspek	Indonesia	Negara Maju
Infrastruktur	Terbatas, banyak daerah belum memiliki fasilitas pendukung	Infrastruktur modern dan canggih untuk mendukung teknologi
Kesiapan Tenaga Kerja	Keterbatasan keterampilan tenaga kerja terlatih dalam teknologi tinggi	Tenaga kerja terlatih yang siap mendukung adopsi teknologi canggih
Kebijakan Pemerintah	Kebijakan dan regulasi masih terbatas pada beberapa sektor	Kebijakan yang mendukung riset dan inovasi dalam teknologi tinggi
Investasi pada R&D	Terbatas, seringkali bergantung pada investor luar negeri	Investasi besar dalam riset dan pengembangan teknologi baru
Penerapan Teknologi di Sektor Industri	Masih dalam tahap pengenalan dan terbatas pada perusahaan besar	Teknologi telah diterapkan secara luas di berbagai sektor industri
Hambatan dalam Implementasi	Ketergantungan pada teknologi impor, biaya tinggi, regulasi yang belum memadai	Hambatan lebih terkait dengan biaya awal implementasi dan pemeliharaan teknologi
<i>Best Practices</i>	Penggunaan teknologi terbatas pada sektor tertentu seperti energi dan manufaktur	Penerapan teknologi listrik magnet di sektor otomotif, manufaktur, dan energi terbarukan
Inovasi dan Pengembangan	Fokus lebih pada penerapan standar teknologi, kurang pada inovasi lokal	Fokus besar pada inovasi dan adaptasi teknologi untuk sektor industri spesifik

Berdasarkan Tabel 2, Indonesia menghadapi sejumlah tantangan yang berbeda dengan negara-negara maju dalam hal adopsi teknologi listrik magnet. Salah satunya adalah keterbatasan infrastruktur dan tenaga kerja terlatih yang mempengaruhi kecepatan transformasi industri. Sementara itu, negara-negara seperti Jepang, Jerman, dan Amerika Serikat sudah memiliki infrastruktur yang lebih canggih dan tenaga kerja yang terampil dalam mengadopsi teknologi tinggi. Selain itu, kebijakan pemerintah di negara-negara maju telah banyak memberikan dukungan dalam hal riset dan inovasi untuk mempercepat pengembangan teknologi.

Namun, Indonesia memiliki peluang untuk belajar dari *best practices* negara-negara tersebut. Dengan meningkatkan investasi dalam riset dan pengembangan (R&D), serta mendukung pelatihan tenaga kerja yang terampil, Indonesia dapat mempercepat adopsi teknologi listrik magnet di industri, baik dalam sektor manufaktur maupun energi terbarukan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa transformasi industri listrik magnet di Indonesia memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi energi, produktivitas, dan daya saing industri. Teknologi elektromagnetik dapat mempercepat adopsi otomatisasi dan pengurangan limbah produksi, yang pada gilirannya mengurangi biaya operasional dan meningkatkan kualitas produk. Namun, untuk mencapai manfaat maksimal dari teknologi ini, Indonesia menghadapi sejumlah tantangan, terutama terkait dengan keterbatasan infrastruktur, tenaga kerja terlatih, dan kebijakan yang mendukung.

Dengan merujuk pada pengalaman negara-negara maju seperti Jepang, Jerman, dan Amerika Serikat, Indonesia dapat mempelajari *best practices* dalam hal investasi pada riset dan pengembangan, serta penerapan kebijakan yang mendukung inovasi teknologi. Oleh karena itu, untuk mempercepat transformasi industri listrik magnet, Indonesia perlu memperkuat sektor pendidikan dan pelatihan, meningkatkan investasi di sektor teknologi tinggi, serta menyusun kebijakan yang lebih mendukung pengembangan industri berbasis teknologi canggih. Transformasi ini akan mendorong Indonesia untuk tetap kompetitif di pasar global dan berkontribusi pada pembangunan ekonomi yang berkelanjutan (Junarsin, dkk., 2023).

REFERENSI

- Al-Shaikhli, T., Ahmad, B., & Al-Taweel, M. (2019). The implementations and applications of ampere's law to the theory of electromagnetic fields. *Int. J. Adv. Sci. Technol*, 28(8), 515-525.
- Amir, M., dkk. (2023). Energy storage technologies: An integrated survey of developments, global economical/environmental effects, optimal scheduling model, and sustainable adaption policies. *Journal of Energy Storage*, 72, 108694.
- Arifin, Z., dkk. (2023). *GREEN TECHNOLOGY: Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Aryanto, N. (2023). Dampak Inovasi Manajemen Industrialisasi Listrik Terhadap Sosial Ekonomi Masyarakat Nelayan Labuhan Sumbawa. *Jurnal Ekonomi Bisnis, Manajemen dan Akuntansi (JEBMA)*, 3(3), 713-722.
- Asian Development Bank. (2020). *Innovate Indonesia: Unlocking growth through technological transformation*. Asian Development Bank. <https://doi.org/10.22617/SGP200085-2>
- Brunel, C. (2019). Green innovation and green Imports: Links between environmental policies, innovation, and production. *Journal of environmental management*, 248, 109290.
- Christopoulos, C. (2022). *Principles and techniques of electromagnetic compatibility*. CRC press.
- Cihuy, P. G. (2019). *Mencari Peluang di REVOLUSI INDUSTRI 4.0 Untuk Melalui Era Disrupsi 4.0: Queen Publisher*. Queency Publisher.
- Dutu, R. (2016). Challenges and policies in Indonesia's energy sector. *Energy Policy*, 98, 513-519.
- Elfrites, E. E. (2019). *Design of induction generator for wind turbine* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Gholikhani, M., Tahami, S. A., Khalili, M., & Dessouky, S. (2019). Electromagnetic energy harvesting technology: Key to sustainability in transportation systems. *Sustainability*, 11(18), 4906.
- Hasibuan, A., Siregar, W. V., & Sayuti, M. (2023). *Pemanfaatan Energi Angin Untuk*

- Pembangkit Energi Listrik Di Daerah Kepulauan Menggunakan Kincir Angin Skala Kecil*. Feniks Muda Sejahtera.
- Instituto de Relaciones Internacionales. (2019). *Frontier technologies for sustainable development*. Retrieved from <https://www.iri.edu.ar/uploads/2019/08>.
- Junarsin, E., Hanafi, M. M., Iman, N., Arief, U., Naufa, A. M., Mahastanti, L., & Kristanto, J. (2023). Can technological innovation spur economic development? The case of Indonesia. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 14(1), 25-52.
- Mahlia, T. M. I., Syazmi, Z. A. H. S., Mofijur, M., Abas, A. P., Bilad, M. R., Ong, H. C., & Silitonga, A. S. (2020). Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 109526.
- Majid, A. (2017). *Analisis Data Penelitian Kualitatif*. Penerbit Aksara Timur.
- Pertamina Energy Institute. (2022). *Pertamina energy outlook 2022: An Indonesia energy transition scenarios & its implications*. Pertamina Energy Institute.
- Rahmani, H., dkk. (2023). Next-generation IoT devices: Sustainable eco-friendly manufacturing, energy harvesting, and wireless connectivity. *IEEE Journal of Microwaves*, 3(1), 237-255.
- Salvendy, G. (Ed.). (2001). *Handbook of industrial engineering: technology and operations management*. John Wiley & Sons.
- Seffudin, A., & Luthfianto, S. (2023, November). Analisa Pemeliharaan Generator Set 650 KVA di PT. Gopek Cipta Utama Cabang Tegal. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri Pancasakti Tegal (SNaTIPs)* (Vol. 1, pp. 65-73).
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
- Tsulutsya, F. B., Berlian, I., Andrian, F., & Hamdani, A. F. (2024). Perkembangan Industri Listrik Magnet di Indonesia dan Implikasinya pada Teknik Industri. *Mitra Pilar: Jurnal Pendidikan, Inovasi, dan Terapan Teknologi*, 3(1), 1-8.
- Windasari, N., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Analisis Efisiensi Mobil Listrik Berbasis Panel Surya Sebagai Upaya Pemanfaatan Energi Terbarukan. *Journal of Health, Education, Economics, Science, and Technology (J-HEST)*, 6(1), 41-47.
- Zamri, A. A., Ong, M. Y., Nomanbhay, S., & Show, P. L. (2021). Microwave plasma technology for sustainable energy production and the electromagnetic interaction within the plasma system: A review. *Environmental Research*, 197, 111204.
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015, August). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)* (pp. 2147-2152). IEEE.