

Analisa Impedansi Kabel Terhadap Motor Induksi 3 Fasa Pada Unit Screw Press

Antonius Managam Simamora¹, Jhonson Monang Siburian², Rasmi Sitohang³,Piala Mutiara⁴,Masriani Endayanti⁵, Jumari⁶

^{1,2,5,6} Fakultas Teknik Universitas Darma Agung, Medan, Indonesia

^{3,4}Fakultas Teknologi Industri Institut Sains dan Teknologi TD Pardede, Medan, Indonesia

Email Penulis Korespondensi: antonius2simamora@gmail.com

Info Artikel	Abstrak
Kata Kunci: Impedansi kabel motor induksi tiga fasa screw press	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh impedansi kabel terhadap kinerja motor induksi tiga fasa pada unit screw press. Latar belakang penelitian ini didasarkan pada pentingnya kualitas suplai daya dalam menjaga performa motor, khususnya pada beban industri yang bersifat dinamis. Metode penelitian yang digunakan meliputi pendekatan analitis dan eksperimental, yaitu dengan menghitung parameter impedansi kabel berdasarkan panjang, luas penampang, dan jenis konduktor, kemudian mengevaluasi dampaknya terhadap parameter kinerja motor seperti tegangan terminal, arus, torsi, dan efisiensi. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi panjang kabel dan kondisi beban untuk mensimulasikan kondisi operasi nyata di lapangan. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, besarnya impedansi listrik disebabkan panjang dan jenis kabel penghantar dari generator menuju motor induksi 3 fasa untuk unit screw press didapat sebesar 12,565 Ω pada arus 52 ampere, sebesar 12,408 Ω pada arus 53 ampere, dan sebesar 14,762 Ω pada arus 44,4 ampere. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan impedansi kabel menyebabkan penurunan tegangan pada terminal motor yang berdampak pada meningkatnya arus kerja serta penurunan torsi dan efisiensi motor. Pada kondisi tertentu, terjadi penurunan tegangan hingga lebih dari 5% yang mengakibatkan kinerja motor tidak optimal dan berpotensi meningkatkan temperatur operasi. Selain itu, ditemukan bahwa pemilihan ukuran kabel yang tidak sesuai dengan kapasitas beban dapat meningkatkan rugi-rugi daya secara signifikan. Sebaliknya, penggunaan kabel dengan luas penampang yang lebih besar mampu mengurangi nilai impedansi, menekan voltage drop, serta meningkatkan stabilitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa impedansi kabel memiliki pengaruh signifikan terhadap performa motor induksi tiga fasa pada unit screw press. Oleh karena itu, perancangan sistem distribusi tenaga listrik harus mempertimbangkan parameter kabel secara tepat, termasuk panjang dan luas penampang, guna meminimalkan rugi-rugi daya dan menjaga kinerja motor tetap optimal. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam bentuk rekomendasi teknis untuk pemilihan kabel yang sesuai pada aplikasi industri guna meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem.
	Abstract
Keywords: Impedance of an induction motor screw press	This study aims to analyze the effect of cable impedance on the performance of a three-phase induction motor in a screw press unit. The background of this study is based on the importance of power supply quality in maintaining motor performance, especially in dynamic industrial loads. The research method used includes analytical and experimental approaches, namely by calculating cable impedance parameters based on length, cross-sectional area, and conductor type, then evaluating their impact on motor performance parameters such as terminal voltage, current, torque, and efficiency. Tests were carried out on several variations of cable length and load conditions to simulate real operating conditions in the field. Based on the results of the calculations that have been carried out, the magnitude of the electrical impedance due to the length and type of conductor cable from the generator to the 3-phase induction motor for the screw press unit was obtained at 12.565 Ω at a current of 52 amperes, at 12.408 Ω at a current of 53 amperes, and at 14.762 Ω at a current of 44.4 amperes. The results showed that increasing cable impedance caused a decrease in voltage at the motor terminals which resulted in an increase in working current and a decrease in motor torque and efficiency. Under certain conditions, a voltage drop of more than 5% occurs, resulting in suboptimal motor performance and potentially increasing operating temperatures. Furthermore, it

was found that selecting a cable size that does not match the load capacity can significantly increase power losses. Conversely, the use of cables with a larger cross-sectional area can reduce the impedance value, suppress voltage drops, and improve the stability and efficiency of the overall system. The conclusion of this study is that cable impedance has a significant influence on the performance of a three-phase induction motor in a screw press unit. Therefore, the design of an electric power distribution system must consider cable parameters appropriately, including length and cross-sectional area, to minimize power losses and maintain optimal motor performance. This study contributes in the form of technical recommendations for selecting appropriate cables for industrial applications to improve system efficiency and reliability.

JuKSIT is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License



1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu mesin listrik yang paling banyak digunakan dalam sektor industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, efisiensi tinggi, biaya pemeliharaan yang relatif rendah, serta keandalan operasi yang baik. Penggunaan motor induksi banyak ditemukan pada sistem penggerak industri seperti pompa, kompresor, konveyor, dan unit screw press pada pabrik kelapa sawit [1], [2]. Pada unit screw press, motor induksi berfungsi sebagai penggerak utama yang menghasilkan torsi untuk proses ekstraksi minyak sawit sehingga kontinuitas operasi motor sangat menentukan produktivitas pabrik. Kinerja motor induksi tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi internal motor, tetapi juga oleh kualitas sistem distribusi tenaga listrik yang menyuplai daya ke motor tersebut. Salah satu parameter penting dalam sistem distribusi tenaga listrik adalah impedansi kabel penghantar. Impedansi kabel terdiri dari resistansi dan reaktansi yang nilainya dipengaruhi oleh panjang penghantar, luas penampang, jenis material, frekuensi operasi, serta kondisi lingkungan [3], [4]. Semakin besar nilai impedansi kabel, maka semakin besar pula rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi pada saluran distribusi. Jatuh tegangan yang disebabkan oleh impedansi kabel dapat menurunkan tegangan terminal motor sehingga memengaruhi performa motor induksi secara keseluruhan. Penurunan tegangan pada motor dapat menyebabkan peningkatan arus kerja, penurunan torsi, kenaikan temperatur lilitan, serta berkurangnya efisiensi dan umur isolasi motor [5], [6].

Selain itu, kondisi tersebut dapat meningkatkan konsumsi energi listrik dan memperbesar biaya operasional industri. Penelitian mengenai karakteristik impedansi motor dan sistem penggeraknya menunjukkan bahwa perubahan impedansi pada sistem distribusi dapat memengaruhi stabilitas operasi motor induksi secara signifikan. Pada sistem industri yang menggunakan kabel dengan panjang relatif besar, pengaruh impedansi kabel menjadi semakin penting untuk diperhatikan. Kabel yang panjang menyebabkan peningkatan resistansi dan reaktansi saluran sehingga tegangan yang diterima motor lebih rendah dibandingkan tegangan sumber. Penelitian mengenai distribusi daya pada motor induksi menunjukkan bahwa panjang kabel memiliki hubungan langsung terhadap besarnya voltage drop yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Pada unit screw press PT Perkebunan Nusantara II Sawit Hulu misalnya, penggunaan kabel tembaga sepanjang 30 meter menghasilkan penurunan tegangan sebesar 4 V atau sekitar 1,03% dari tegangan sumber. Selain menimbulkan jatuh tegangan, impedansi kabel juga dapat memengaruhi karakteristik transien dan kualitas daya pada sistem penggerak motor. Pada sistem motor yang menggunakan inverter, kombinasi antara kabel dan motor dapat menghasilkan fenomena overvoltage akibat refleksi gelombang tegangan pada terminal motor. Kondisi ini berpotensi mempercepat degradasi isolasi lilitan stator dan meningkatkan risiko kegagalan operasi motor [7], [8]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa karakterisasi impedansi kabel dan motor menjadi faktor penting dalam analisis frekuensi tinggi pada sistem motor induksi yang menggunakan kabel panjang.

Seiring berkembangnya teknologi pemantauan kondisi motor, analisis impedansi juga dimanfaatkan sebagai metode diagnosis gangguan pada motor induksi. Perubahan nilai impedansi dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan lilitan stator, gangguan bearing, maupun ketidakseimbangan sistem tenaga secara dini [9], [10]. Oleh karena itu, pemahaman mengenai hubungan antara impedansi kabel dan kinerja motor induksi menjadi penting tidak hanya untuk meningkatkan efisiensi sistem tetapi juga untuk mendukung program predictive maintenance pada industri modern. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas pengaruh jatuh tegangan terhadap performa motor induksi, karakteristik impedansi stator, pemodelan impedansi motor, serta pengaruh sistem pentanahan terhadap operasi motor listrik [11], [12], [13], [14].

Namun demikian, penelitian yang secara khusus membahas analisa impedansi kabel terhadap motor induksi tiga fasa pada unit screw press masih relatif terbatas, terutama pada kondisi operasi nyata di industri kelapa sawit. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh impedansi kabel terhadap

kinerja motor induksi tiga fasa pada unit screw press. Analisis dilakukan melalui pengukuran parameter kelistrikan, perhitungan impedansi kabel, dan evaluasi besarnya jatuh tegangan yang terjadi pada sistem.

Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan spesifikasi kabel yang optimal sehingga efisiensi, keandalan, dan umur operasi motor induksi dapat ditingkatkan [15]. Generator adalah mesin yang mengubah energi mekanis(gerak) menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari penggerak mulai seperti turbin, mesin bensin/diesel, atau baling-baling. Contohnya pada pembangkit listrik tenaga uap pada pabrik yang memanfaatkan aliran uap pada perpipaan dan akan disalurkan ke turbin untuk menghasilkan energi mekanis (gerak) untuk menghasilkan tenaga listrik, gerak dari turbin ini sebagai penggerak generator.

Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (alternating current, AC) yang paling banyak dan luas penggunaannya. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya sehingga motor ini disebut motor induksi. Arus yang dihasilkan rotor (bagian yang bergerak) motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator.



Gambar 1. Tampilan Motor Induksi

Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Kecepatan motor induksi tiga fasa sangat dipengaruhi oleh jumlah kutub pada stator dan frekuensi sumber tegangan yang dihubungkan dengan

Arus Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (alternating current, AC) yang paling banyak dan luas penggunaannya. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya sehingga motor ini disebut motor induksi. Arus yang dihasilkan rotor (bagian yang bergerak) motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator.

Prinsip Kerja Mesin Screw Press

Motor listrik berfungsi sebagai penggerak mesin double screw press. Mesin dioperasikan melalui panel kendali beserta sistem hidroliknya, kemudian air panas bersuhu 90°C dialirkan melalui inlet. Motor berdaya 30 kW dengan putaran 1475 rpm memutar puli melalui poros, lalu diteruskan oleh sabuk ke puli pada poros yang terhubung dengan gear reducer. Putaran dari gear reducer disalurkan ke poros utama melalui kopling, yang kemudian menggerakkan roda gigi perantara sehingga dua poros berulir berputar berlawanan arah dengan kecepatan yang sama.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analitis dan eksperimental. Eksperimen yang dilakukan secara langsung pada unit screw press dianggap lebih valid dibandingkan simulasi perangkat lunak maupun perhitungan matematis murni karena mampu merepresentasikan kondisi operasi yang sebenarnya. Pendekatan analitis dilakukan melalui perhitungan parameter impedansi kabel dan analisis teoritis pengaruhnya terhadap kinerja motor induksi tiga fasa. Sementara itu, pendekatan eksperimental dilakukan dengan pengujian langsung pada sistem motor induksi tiga fasa yang digunakan pada unit screw press untuk memvalidasi hasil perhitungan dan analisis. Unit screw

press yang diteliti dipilih berdasarkan metode purposive sampling, yaitu pemilihan objek penelitian secara sengaja dengan mempertimbangkan karakteristik yang relevan terhadap tujuan penelitian. Unit tersebut dipilih karena beroperasi secara rutin dan stabil selama periode penelitian.

2. 2. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Darma Agung. Penulis melakukan penelitian pada tanggal 20 Maret 2026 – 20 April 2026.. Objek penelitian meliputi:

- Motor induksi tiga fasa
- Kabel penghantar (variasi panjang dan luas penampang)
- Beban mekanis unit screw press

2. 3. Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas (Independent Variable)

- Panjang kabel (m)
- Luas penampang kabel (mm²)
- Jenis kabel (tembaga/aluminium)

b. Variabel Terikat (Dependent Variable)

- Tegangan terminal motor (V)
- Arus motor (A)
- Torsi motor (Nm)
- Efisiensi motor (%)

c. Variabel Kontrol

- Tegangan sumber
- Frekuensi sistem (50 Hz)
- Spesifikasi motor induksi

2.4. Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Motor induksi tiga fasa
- Kabel listrik dengan variasi panjang dan luas penampang
- Multimeter digital
- Clamp meter
- Power analyzer
- Tachometer (pengukur kecepatan)
- Beban mekanis screw press

2.5. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Mengumpulkan referensi terkait impedansi kabel, motor induksi tiga fasa, serta sistem distribusi tenaga listrik sebagai dasar teori penelitian.

b. Perhitungan Impedansi Kabel

c. Pengujian Eksperimental

Pengujian dilakukan dengan variasi panjang kabel dan luas penampang, kemudian diukur parameter berikut:

- Tegangan pada sisi sumber dan terminal motor
- Arus yang mengalir ke motor
- Kecepatan putar motor
- Daya input dan output

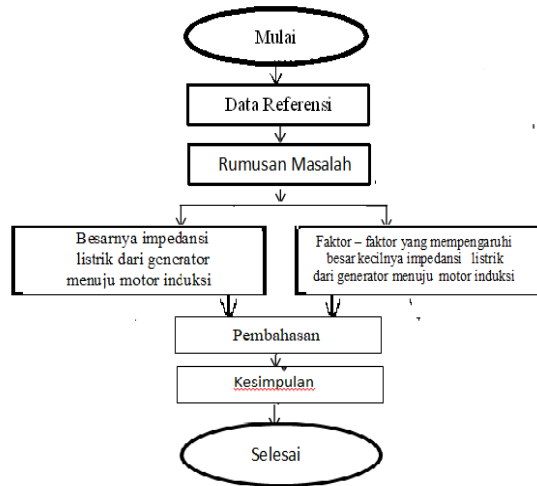
d. Pengambilan Data

Data diambil untuk setiap variasi kondisi kabel dan beban, kemudian dicatat secara sistematis untuk dianalisis.

2.6. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode berikut:

- Analisis Jatuh Tegangan (Voltage Drop)
- Perhitungan Efisiensi Motor
- Analisis Hubungan Variabel

2.7. Diagram Alur Penelitian**Gambar 2.** Flowchart**2.8. Validasi Data**

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan teoritis dengan hasil pengukuran langsung di lapangan. Selain itu, dilakukan pengulangan pengukuran untuk memastikan konsistensi data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**3.1. Hasil Penelitian**

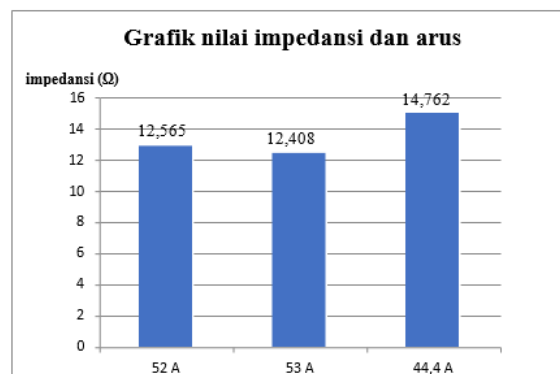
Setelah dilakukan penelitian dihasilkan data seperti tabel berikut ini.

Tabel 1. Data Pengamatan

Waktu (jam)	Luas penampang kabel (mm^2)	tegangan fase-fase (v)	Arus (ampere)	Panjang kabel listrik (m)	Hambatan Jenis (ohm. m)
12.30 – 13.30	54,2	380	52	31	$1,59 \times 10^{-7}$
13.30 – 14.30	54,2	380	53	31	$1,59 \times 10^{-7}$
15.30 – 16.30	54,2	380	44,4	31	$1,59 \times 10^{-7}$

Tabel 2. Tabulasi Data

Arus (Ampere)	Impedansi (Ω)
52	12,565
53	12,408
44,4	14,762



Gambar 3. Grafik nilai impedansi dan arus**3.2. Pembahasan**

Faktor – faktor yang mempengaruhi besar kecilnya impedansi listrik yang terdapat pada rangkaian distribusi daya dari generator menuju motor induksi 3 phasa unit screw press. Impedansi listrik dalam rangkaian distribusi daya dari generator menuju motor induksi tiga fasa unit screw press dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Beberapa faktor yang mempengaruhi besar kecilnya impedansi dalam konteks ini adalah sebagai berikut:

1. Resistansi kabel penghantar

Resistansi berpengaruh langsung terhadap impedansi listrik, yaitu total hambatan terhadap arus. Semakin besar resistansi, semakin besar impedansi, sebaliknya jika resistansi menurun, impedansi juga menurun karena resistansi merupakan bagian utama dari komponen rill impedansi.

2. Reaktansi Kabel Penghantar

Reaktansi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besar kecilnya impedansi dalam rangkaian distribusi daya dari generator menuju motor induksi tiga fasa unit screw press. Reaktansi merujuk pada sifat komponen reaktif dalam impedansi, yang terutama dihasilkan oleh induktansi dan kapasitansi dalam rangkaian. Dalam konteks distribusi daya, reaktansi dapat mempengaruhi cara arus dan tegangan berperilaku, serta memengaruhi kinerja keseluruhan sistem.

3. Panjang Kabel

Panjang kabel yang digunakan dalam distribusi daya akan berpengaruh pada impedansi. Semakin panjang kabel, semakin besar hambatan dan induktansi pada kabel. Ini akan berkontribusi pada peningkatan impedansi total dalam rangkaian.

4. Luas Penampang Kabel

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penampang kabel mempengaruhi resistansi. Penggunaan kabel dengan penampang yang lebih besar akan mengurangi resistansi dan dampak dari impedansi resistif pada rangkaian listrik.

5. Tegangan dan Arus

Pada rangkaian dengan tegangan bolak-balik, perubahan tegangan mempengaruhi arus dan dapat menyebabkan perubahan impedansi, terutama pada komponen yang memiliki reaktansi. Perubahan ini terjadi karena potensial dalam rangkaian ikut berubah.

6. Frekuensi

Frekuensi operasi mempengaruhi impedansi. Pada frekuensi tinggi, efek skin dan pelindian semakin signifikan. Dalam penelitian ini digunakan reaktansi induktif kabel penghantar

7. Material Kabel

Jenis bahan penghantar dalam kabel juga memiliki dampak pada resistansi. Material dengan konduktivitas dan listrik yang lebih tinggi akan memiliki resistansi yang lebih rendah, dan material yang memiliki resistivitas (hambat jenis) yang lebih tinggi akan menghasilkan resistansi yang lebih tinggi pula. Pada penelitian ini material kabel penghantar yang digunakan adalah material berjenis tembaga dengan resistivitas $1,59 \times 10^{-7} \Omega.m$.

8. Kualitas Kontak dan Sambungan

Kualitas sambungan dan kontak dalam sistem distribusi juga memiliki pengaruh pada impedansi. Kontak yang buruk dapat meningkatkan resistansi dan menyebabkan peningkatan impedansi pada rangkaian listrik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, besarnya impedansi listrik disebabkan panjang dan jenis kabel penghantar dari generator menuju motor induksi 3 phasa untuk unit screw press didapat sebesar 12,565 Ω pada arus 52 ampere, sebesar 12,408 Ω pada arus 53 ampere, dan sebesar 14,762 Ω pada arus 44,4 ampere. Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi besar kecilnya impedansi listrik yang terdapat pada rangkaian distribusi daya dari generator menuju motor induksi 3 phasa unit screw press adalah resistansi kabel penghantar, reaktansi kabel penghantar, panjang kabel, luas penampang kabel, tegangan, arus, frekuensi, material kabel, kualitas kontak dan, sambungan. Kesimpulan dari

penelitian ini adalah bahwa impedansi kabel memiliki pengaruh signifikan terhadap performa motor induksi tiga fasa pada unit screw press. Oleh karena itu, perancangan sistem distribusi tenaga listrik harus mempertimbangkan parameter kabel secara tepat, termasuk panjang dan luas penampang, guna meminimalkan rugi-rugi daya dan menjaga kinerja motor tetap optimal. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam bentuk rekomendasi teknis untuk pemilihan kabel yang sesuai pada aplikasi industri guna meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENCES

- [1] K. N. Gyftakis and A. J. M. Cardoso, "Reliable Detection of Stator Interturn Faults of Very Low Severity Level in Induction Motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 68, no. 4, pp. 3475–3484, 2020.
- [2] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 6th Edition. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2022.
- [3] Y. Ryu, M. Yea, J. Kim, and K. J. Han, "Stator Impedance Modeling Platform for the Electromagnetic Compatibility Aware Design of Squirrel-Cage Induction Motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 68, no. 11, pp. 11255–11265, 2021.
- [4] Z. Zhao, F. Fan, W. Wang, Y. Liu, and K. Y. See, "Detection of Stator Inter-Turn Short-Circuit Faults in Inverter-Fed Induction Motors by Online Common-Mode Impedance Monitoring," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, 2021.
- [5] J. G. Kim and Y. J. Park, "Study on Voltage Drop and Transformer Capacity During Induction Motor Direct-on-Line Starting," *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, vol. 36, no. 3, pp. 13–19, 2022.
- [6] B. H. S. Tambunan and Karti, "Case Study: Impact of Conductor Cable Length on Voltage Drop in Power Distribution from Generator to 3-Phase Induction Motor in PTP Nusantara II Sawit Hulu Screw Press Unit," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 2, no. 3, pp. 15–21, 2023.
- [7] L. Wang, Y. Zhang, M. S. Ali, G. Chen, J. M. Guerrero, and J. C. Vasquez, "High-Frequency Modeling and Filter Design for PWM Drives with Long Cables," *Energies*, vol. 14, no. 4, 2021.
- [8] M. U. Sardar, "Modeling Cable-Fed Induction Motor Drives with Optimized Impedance Characterization Across a Low to High-Frequency Spectrum," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 40, no. 1, 2025.
- [9] S. Lee, W. Lee, M. Liu, and B. Sarlioglu, "High-Frequency Motor Impedance Analysis and CM Current Estimation of Electric Motors," *IEEE Trans. Transp. Electr.*, vol. 11, no. 1, pp. 880–890, 2025.
- [10] R. B. Fairuz, "Non-Invasive Fault Detection of Stator Windings of Induction Motors," *IEEE Access*, 2021.
- [11] M. Digo, U. Situmeang, and E. Zondra, "Analisis Kinerja Motor Induksi 3 Fasa pada Screw Press Pabrik Kelapa Sawit," *SainETIn*, vol. 6, no. 2, pp. 66–72, 2022.
- [12] S. M. Saleh, "Impacts of Impedance Grounding on Variable-Frequency Electric Motor Drives," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 61, no. 2, pp. 2336–2348, 2025.
- [13] H. Sekhavatmanesh, "A Convex Model for Induction Motor Starting Transients Embedded in an OPF-Based Optimization Problem," *IEEE Trans. Power Syst.*, 2020.
- [14] K. Venkatesh and N. M., "Fault Analysis and Predictive Maintenance of Induction Motor Using Machine Learning," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, 2024.
- [15] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, and S. D. Umans, *Electric Machinery*, 8th Edition. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2021.