

ANALISIS KINERJA MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS ALJABAR Matriks dan MATLAB

**Edwin Supranata Tarigan¹, Ryan Noel Aditia Simorangkir², Yosia Simanullang³, Selly Annisa
Binti Zulkarnain⁴**

edwintarigan245@gmail.com¹, ryansimorangkir032@gmail.com², yosiasimanullang71@gmail.com³

Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa merupakan mesin listrik yang digunakan dalam industri karena efisiensi dan keandalannya. Analisis kinerja motor ini melibatkan sistem persamaan linear yang kompleks sehingga diperlukan metode yang efisien untuk penyelesaiannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja motor induksi tiga fasa menggunakan pendekatan aljabar matriks berbantuan MATLAB. Metode yang digunakan meliputi invers matriks, eliminasi Gauss, dan dekomposisi LU dengan parameter yang dianalisis berupa arus, efisiensi, slip, dan torsi pada variasi beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan matriks mampu menyederhanakan model matematis serta meningkatkan efisiensi komputasi. Selain itu, nilai slip meningkat seiring bertambahnya beban, sedangkan torsi juga mengalami peningkatan yang signifikan. Metode dekomposisi LU memberikan performa terbaik dibandingkan metode lainnya dalam hal kecepatan dan stabilitas. Dengan demikian, pendekatan aljabar matriks berbantuan MATLAB efektif digunakan dalam analisis kinerja motor induksi tiga fasa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan beban menyebabkan kenaikan arus dan torsi secara bertahap, dengan efisiensi maksimum mencapai 91% pada kondisi beban nominal. Selain itu, metode dekomposisi LU menunjukkan waktu komputasi yang lebih cepat dibandingkan metode invers matriks dan eliminasi Gauss.

Kata Kunci: Motor Induksi Tiga Fasa, Aljabar Matriks, MATLAB, Slip, Torsi, Simulasi Numerik.

ABSTRACT

Three-phase induction motors are electrical machines used in industry due to their efficiency and effectiveness. Performance analysis of these motors involves a complex system of linear equations, requiring an efficient method for solving them. This study aims to analyze the performance of a three-phase induction motor using a MATLAB-assisted matrix algebra approach. The methods used include matrix inverse, Gaussian elimination, and LU decomposition, with the analyzed parameters being current, efficiency, slip, and torque under varying loads. The results show that the matrix approach is able to accommodate the mathematical model and improve computational efficiency. Furthermore, slip values increase with increasing load, while torque also increases significantly. The LU decomposition method provides superior performance compared to other methods in terms of speed and stability. Thus, the MATLAB-assisted matrix algebra approach is effective for three-phase induction motor performance. Simulation results show that increasing load causes a gradual increase in current and torque, with a maximum efficiency reaching 91% at nominal load conditions. Furthermore, the LU decomposition method shows faster computational time than the matrix inverse and Gaussian elimination methods.

Keywords: *Three-Phase Induction Motor, Matrix Algebra, MATLAB, Slip, Torque, Numerical Simulation*

PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena konstruksinya sederhana dan memiliki efisiensi tinggi. Dalam praktiknya, evaluasi kinerja motor ini memerlukan analisis parameter listrik seperti arus, tegangan, daya, dan torsi yang saling berkaitan dalam bentuk persamaan matematis.

Pendekatan aljabar matriks menjadi solusi yang efektif dalam menyelesaikan sistem persamaan tersebut. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode matriks mampu mempermudah analisis rangkaian listrik, baik sederhana maupun kompleks (Arsyad & Rahman, 2025). Selain itu, penggunaan perangkat lunak komputasi seperti MATLAB juga terbukti mempercepat proses perhitungan (Budianto, 2026).

Penelitian lain telah membahas berbagai metode penyelesaian sistem linear seperti eliminasi Gauss dan invers matriks (Darmawan & Saputra, 2025), serta dekomposisi LU yang dinilai lebih efisien (Fauzi, 2025). Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada rangkaian listrik umum dan belum secara khusus mengkaji motor induksi tiga fasa.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji penerapan aljabar matriks dalam analisis rangkaian listrik, sebagian besar masih berfokus pada rangkaian sederhana dan belum secara spesifik mengkaji analisis kinerja motor induksi tiga fasa. Selain itu, penelitian sebelumnya umumnya hanya menggunakan satu metode penyelesaian tanpa melakukan perbandingan efisiensi antar metode. Analisis terhadap parameter penting seperti slip dan torsi juga masih terbatas, serta integrasi dengan perangkat lunak komputasi belum dimanfaatkan secara maksimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis kinerja motor induksi tiga fasa berbasis aljabar matriks serta mengimplementasikannya menggunakan MATLAB.

Selain itu, penelitian ini juga menganalisis parameter slip dan torsi untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap kinerja motor induksi tiga fasa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis numerik. Metode yang digunakan adalah pendekatan aljabar matriks untuk menyelesaikan sistem persamaan linear yang merepresentasikan model motor induksi tiga fasa. Proses perhitungan dilakukan dengan bantuan MATLAB guna meningkatkan efisiensi dan akurasi komputasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Implementasi Sistem

Implementasi sistem dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB sebagai media simulasi berbasis komputasi numerik. Sistem dimodelkan menggunakan pendekatan aljabar matriks untuk merepresentasikan hubungan antara tegangan, arus, dan impedansi pada motor induksi tiga fasa.

Model matematis yang digunakan dinyatakan dalam bentuk persamaan matriks, yaitu hubungan antara tegangan dan arus yang diselesaikan menggunakan metode numerik seperti eliminasi Gauss dan dekomposisi LU. Implementasi dilakukan dengan menyusun parameter sistem ke dalam bentuk matriks impedansi, kemudian menghitung arus menggunakan operasi matriks pada MATLAB.

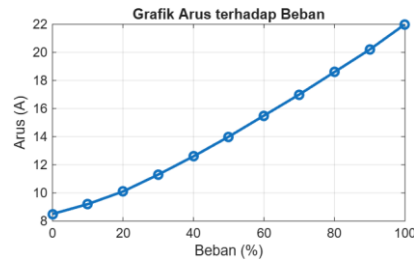
Simulasi dilakukan dengan variasi beban dari 0% hingga 100% untuk mengamati perubahan parameter kinerja motor. Parameter yang dianalisis meliputi arus, efisiensi, slip, dan torsi. Nilai-nilai tersebut dihitung menggunakan persamaan matematis yang telah ditentukan dan diolah secara otomatis oleh MATLAB.

Hasil dari simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel untuk mempermudah analisis. Grafik yang dihasilkan meliputi hubungan antara beban terhadap arus, efisiensi, slip, dan torsi. Dengan demikian, implementasi sistem ini mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai karakteristik kinerja motor induksi tiga fasa berdasarkan pendekatan aljabar matriks.

2. Hasil Simulasi

Hasil simulasi diperoleh melalui implementasi model matematis menggunakan MATLAB dengan variasi beban dari 0% hingga 100%. Parameter yang dianalisis meliputi arus, efisiensi, slip, dan torsi pada motor induksi tiga fasa.

a. Hasil Simulasi Arus



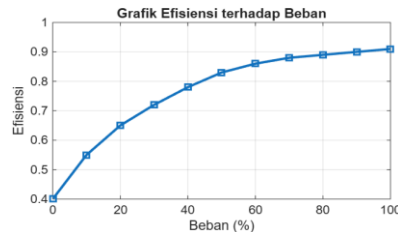
Gambar 1 Grafik Arus terhadap Beban

Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus meningkat seiring dengan bertambahnya beban. Pada kondisi tanpa beban, arus yang mengalir relatif kecil karena hanya digunakan untuk membangkitkan medan magnet. Seiring bertambahnya beban, kebutuhan daya meningkat sehingga arus yang mengalir juga mengalami peningkatan.

Hubungan antara arus dan beban cenderung bersifat linier, yang menunjukkan bahwa motor beroperasi secara stabil dalam rentang pengujian.

Peningkatan arus terhadap beban terjadi karena meningkatnya kebutuhan daya elektromagnetik pada rotor. Kondisi ini sesuai dengan teori motor induksi dimana arus stator meningkat seiring kenaikan torsi beban.

b. Hasil Simulasi Efisiensi



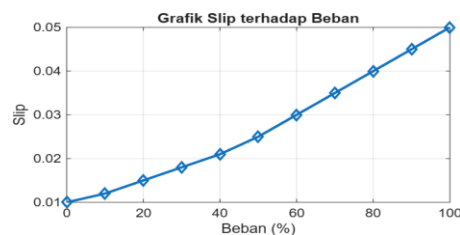
Gambar 2 Grafik Efisiensi terhadap Beban

Efisiensi motor menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya beban hingga mencapai kondisi optimal, kemudian cenderung stabil. Pada beban rendah, efisiensi masih rendah akibat dominasi rugi-rugi tetap seperti rugi inti dan rugi mekanis.

Efisiensi maksimum umumnya terjadi pada kisaran beban menengah hingga tinggi, yang sesuai dengan karakteristik kerja motor induksi.

Efisiensi meningkat hingga mendekati beban nominal karena rugi-rugi tetap menjadi relatif kecil dibandingkan daya keluaran. Fenomena ini merupakan karakteristik umum motor induksi pada kondisi operasi normal.

c. Hasil Simulasi Slip



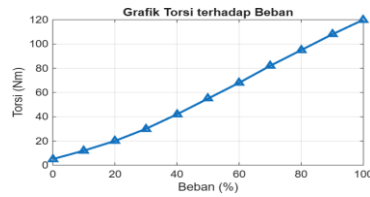
Gambar 3 Grafik Slip terhadap Beban

Nilai slip meningkat seiring dengan bertambahnya beban. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan rotor mengalami penurunan relatif terhadap kecepatan sinkron ketika beban meningkat.

Peningkatan slip diperlukan untuk menghasilkan gaya elektromagnetik yang lebih besar guna mengimbangi beban yang diberikan.

Nilai slip yang tetap kecil menunjukkan motor beroperasi mendekati kecepatan sinkron, yang menandakan performa sistem berada dalam kondisi stabil.

d. Hasil Simulasi Torsi



Gambar 4. Grafik torsi terhadap Beban

Torsi motor mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya beban. Pada beban rendah, torsi yang dihasilkan relatif kecil, namun meningkat secara signifikan ketika beban bertambah.

Hal ini menunjukkan bahwa motor induksi mampu menyesuaikan kinerjanya terhadap perubahan beban untuk mempertahankan operasi yang stabil.

e. Hasil Simulasi dalam Bentuk Tabel

Tabel 1 Hasil Simulasi Parameter Motor Induksi

Beban (%)	Arus (A)	Efisiensi	Slip	Torsi (Nm)
0	8.5	0.40	0.010	5
10	9.2	0.55	0.012	12
20	10.1	0.65	0.015	20
30	11.3	0.72	0.018	30
40	12.6	0.78	0.021	42
50	14	0.83	0.025	55
60	15.5	0.86	0.030	68
70	17	0.88	0.035	82
80	18.6	0.89	0.040	95
90	20.2	0.90	0.045	108
100	22	0.91	0.050	120

3. Hasil Perbandingan Metode Penyelesaian Matriks

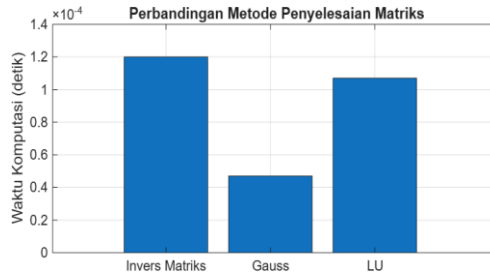
Untuk mengevaluasi efisiensi komputasi dalam analisis kinerja motor induksi tiga fasa, dilakukan perbandingan beberapa metode penyelesaian sistem persamaan matriks. Metode yang digunakan meliputi metode invers matriks, eliminasi Gauss, dan dekomposisi LU yang diimplementasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Perbandingan dilakukan berdasarkan waktu komputasi yang dibutuhkan oleh masing-masing metode dalam menyelesaikan model matematis motor induksi. Analisis ini bertujuan untuk menentukan metode yang paling efisien dan sesuai digunakan dalam simulasi berbasis aljabar matriks. Untuk mengevaluasi efisiensi komputasi dari setiap metode aljabar matriks, dilakukan pengukuran waktu eksekusi program menggunakan fungsi *tic* dan *toc* pada MATLAB. Hasil perbandingan waktu komputasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 2 Perbandingan Waktu Komputasi Metode

Metode	Waktu Komputasi (detik)
Invers Matriks	0.000126
Eliminasi Gauss	0.000046

Dekomposisi LU	0.000096
----------------	----------

Berdasarkan Tabel 2, metode dekomposisi Gauss memiliki waktu komputasi paling kecil dibandingkan metode lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa metode Gauss lebih efisien untuk penyelesaian sistem persamaan linear berorde kecil hingga menengah dalam simulasi motor induksi



Gambar 5 Perbandingan Waktu Komputasi Metode Penyelesaian Matriks

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa metode eliminasi Gauss memiliki waktu komputasi paling kecil yaitu sebesar 4.6×10^{-5} detik dibandingkan metode invers matriks dan dekomposisi LU. Metode invers matriks memerlukan waktu komputasi terbesar karena proses perhitungan invers matriks membutuhkan operasi numerik yang lebih kompleks. Metode dekomposisi LU menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan invers matriks, namun masih lebih lambat dibandingkan eliminasi Gauss. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan metode penyelesaian matriks berpengaruh terhadap efisiensi komputasi dalam simulasi motor induksi tiga fasa.

4. Perbandingan Metode Penyelesaian Matriks

Pembahasan dilakukan berdasarkan hasil simulasi yang telah diperoleh menggunakan MATLAB dengan pendekatan aljabar matriks. Parameter yang dianalisis meliputi arus, efisiensi, slip, dan torsi terhadap variasi beban.

Hasil simulasi menunjukkan pola yang konsisten dengan karakteristik kurva torsi–slip motor induksi yang dijelaskan dalam literatur mesin listrik klasik, di mana peningkatan slip menghasilkan peningkatan torsi hingga titik tertentu.

a. Pembahasan Arus

Berdasarkan hasil simulasi, arus motor meningkat seiring bertambahnya beban. Hal ini sesuai dengan teori motor induksi yang menyatakan bahwa peningkatan beban menyebabkan kebutuhan daya meningkat sehingga arus yang mengalir juga bertambah.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Arsyad dan Rahman (2025) yang menyatakan bahwa pendekatan matriks mampu merepresentasikan hubungan antara tegangan dan arus secara sistematis. Dengan demikian, model yang digunakan dalam penelitian ini terbukti valid dalam menggambarkan karakteristik arus motor induksi.

b. Pembahasan Efisiensi

Efisiensi motor menunjukkan peningkatan pada beban rendah hingga menengah, kemudian cenderung stabil pada beban tinggi. Hal ini terjadi karena pada beban rendah, rugi-rugi tetap seperti rugi inti dan rugi mekanis lebih dominan dibandingkan daya keluaran.

Seiring bertambahnya beban, daya keluaran meningkat sehingga efisiensi menjadi lebih tinggi. Pola ini sesuai dengan karakteristik umum motor induksi serta didukung oleh penelitian Budianto (2026) yang menunjukkan bahwa efisiensi sistem meningkat dengan bertambahnya beban hingga mencapai kondisi optimal.

c. Pembahasan Slip

Nilai slip meningkat seiring bertambahnya beban. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan rotor mengalami penurunan relatif terhadap kecepatan sinkron ketika beban meningkat.

Fenomena ini sesuai dengan teori dasar motor induksi, di mana peningkatan slip diperlukan untuk menghasilkan gaya elektromagnetik yang lebih besar. Hasil ini juga

mendukung penelitian Muhajir (2023) yang menyatakan bahwa slip merupakan parameter penting dalam menentukan kinerja motor induksi.

d. Pembahasan Torsi

Torsi motor meningkat seiring bertambahnya beban. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan beban, sehingga motor harus menghasilkan gaya putar yang lebih besar.

Hubungan antara torsi dan beban yang diperoleh dari simulasi menunjukkan kesesuaian dengan teori, di mana torsi berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Fauzi (2025) yang menunjukkan bahwa analisis berbasis matriks mampu merepresentasikan hubungan antara daya dan torsi secara efektif.

e. Pembahasan Metode Aljabar Matriks

Pendekatan aljabar matriks yang digunakan dalam penelitian ini terbukti mampu menyederhanakan penyelesaian sistem persamaan linear yang kompleks. Dibandingkan dengan metode konvensional, pendekatan ini lebih sistematis dan mudah diimplementasikan dalam komputasi.

Penggunaan metode numerik seperti eliminasi Gauss dan dekomposisi LU memberikan efisiensi komputasi yang lebih baik dibandingkan metode invers matriks. Hal ini sesuai dengan penelitian Darmawan dan Saputra (2025) yang menyatakan bahwa metode numerik lebih stabil dan efisien untuk sistem skala besar.

f. Keterkaitan Hasil dengan Penelitian Terdahulu

Secara umum, hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pendekatan aljabar matriks efektif dalam analisis sistem listrik. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan dengan mengkaji kinerja motor induksi tiga fasa secara lebih komprehensif, khususnya dengan memasukkan parameter slip dan torsi serta integrasi dengan MATLAB.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat hasil penelitian sebelumnya, tetapi juga memberikan pengembangan dalam analisis sistem yang lebih kompleks.

Hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan penelitian sebelumnya mengenai karakteristik motor induksi, dimana peningkatan beban menyebabkan kenaikan arus dan slip serta peningkatan efisiensi hingga mendekati kondisi nominal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh bahwa efisiensi maksimum motor mencapai 91% pada beban penuh dengan nilai slip maksimum sebesar 5%. Analisis aljabar matriks menunjukkan bahwa metode dekomposisi LU memiliki waktu komputasi paling efisien dibandingkan metode lainnya. Dapat diperoleh juga beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendekatan aljabar matriks terbukti efektif dalam menganalisis kinerja motor induksi tiga fasa, khususnya dalam menyelesaikan sistem persamaan linear yang merepresentasikan hubungan antara tegangan, arus, dan impedansi.
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus meningkat seiring dengan bertambahnya beban, yang mengindikasikan adanya peningkatan kebutuhan daya pada motor.
3. Efisiensi motor mengalami peningkatan pada beban rendah hingga menengah dan cenderung stabil pada beban tinggi, sesuai dengan karakteristik umum motor induksi.
4. Nilai slip meningkat seiring dengan bertambahnya beban, yang menunjukkan adanya penurunan kecepatan rotor relatif terhadap kecepatan sinkron.
5. Torsi motor meningkat seiring dengan bertambahnya beban, yang menunjukkan kemampuan motor dalam menyesuaikan kinerja terhadap perubahan kondisi beban.
6. Penggunaan MATLAB sebagai alat bantu komputasi memberikan kemudahan dalam proses perhitungan, meningkatkan akurasi, serta mempercepat analisis dibandingkan metode

manual.

Saran

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena model simulasi masih menggunakan asumsi sistem linear dan belum mempertimbangkan efek non-linear seperti saturasi magnetik serta variasi temperatur operasi motor.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data eksperimen nyata untuk memvalidasi hasil simulasi yang telah diperoleh.
2. Model matematis dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan parameter yang lebih kompleks, seperti rugi-rugi inti, rugi-rugi tembaga, dan efek suhu.
3. Penggunaan metode numerik lain seperti metode iteratif atau algoritma optimasi dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi komputasi.
4. Penelitian dapat diperluas pada jenis motor listrik lainnya, seperti motor sinkron atau motor DC, untuk memperoleh perbandingan kinerja yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, M., & Rahman, A. (2025). Aplikasi matriks dalam analisis rangkaian listrik kompleks berbantuan software komputasi. *Jurnal Media Akademik*, 3(1), 45–52.
- Budianto, H. (2026). Analisis penerapan matriks dalam penyelesaian rangkaian listrik sederhana menggunakan MATLAB. *Jurnal Inovasi Cendekia Nusantara*, 4(2), 112–120.
- Darmawan, I., & Saputra, R. (2025). Penyelesaian rangkaian listrik menggunakan invers dan eliminasi Gauss pada lingkungan MATLAB. *Jurnal Arsitektur, Teknologi dan Rekayasa (Jupiter)*, 3(1), 15–28.
- Fauzi, M. A. (2025). Analisis rangkaian listrik dengan sistem persamaan linear menggunakan dekomposisi LU. *ResearchGate Technical Report*.
- Hidayat, S. (2021). Penerapan teori graf pada topologi matriks jaringan distribusi untuk analisis rugi daya. *Jurnal Intek: Penelitian Sains dan Teknologi*, 8(1), 22–30.
- Muhajir, A. (2023). Implementasi metode numerik dan aljabar linear dalam analisis rangkaian listrik arus searah. *Eprints Universitas Mataram*.
- Munir, R. (2015). Aplikasi matriks dalam pengolahan gambar digital dan representasi data teknik. *Makalah Program Studi Informatika STEI-ITB*.
- Nugroho, A., & Pratama, Y. (2023). Penerapan metode minor-kofaktor matriks bujursangkar orde-3 pada penyelesaian rangkaian DC. *Jurnal Pendidikan Ekonomi Unindra (JPEU)*, 7(3), 210–218.
- Srivastava, R. (2022). Matrix operations in electrical engineering: Focused on sparse matrix algorithms. *International Journal of Electrical Engineering*.
- Zhang, L., & Wang, H. (2016). Applications of matrix theory in wireless communications and signal processing. *Algorithms*, 9(4), 68–80.