

**PENERAPAN ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION DALAM
PENENTUAN KAPASITOR BANK UNTUK MENINGKATKAN FAKTOR DAYA
MOTOR INDUKSI TIGA FASA****Aqmal Amir Musa¹, Subuh Isnur Haryudo², Joko³, Hesti Khuzaimah Nurul
Yusufiyah⁴**S1 Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: aqmalamir.22024@mhhs.unesa.ac.id**Abstract (English)**

Three-phase induction motors are among the most widely used electrical machines in industrial applications. They require reactive power to generate a magnetic field; therefore, reactive power compensation using capacitor banks is necessary to improve the power factor. This study aims to determine the optimum capacitor bank value using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. The optimization process was carried out using MATLAB software. The results show that the PSO algorithm produces an optimum capacitor bank value of 381.54 VAR, equivalent to 8.41 μF , which increases the power factor from 0.76 to 0.98, reduces the source current from 1.10 A to 0.85 A, and decreases the reactive power from 467.20 VAR to 85.57 VAR. These results indicate that the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is an effective optimization method for determining the optimum capacitor bank value to improve the power factor of a three-phase induction motor.

Article History

Submitted: 24 July 2026

Accepted: 27 July 2026

Published: 28 July 2026

Key Words

Three-Phase Induction Motor, Power Factor, Capacitor Bank, Particle Swarm Optimization, MATLAB.

Abstrak (Indonesia)

Motor induksi tiga fasa sebagai salah satu komponen yang banyak digunakan di industri memerlukan daya reaktif untuk membangkitkan medan magnet, sehingga diperlukan kompensasi menggunakan kapasitor bank guna meningkatkan faktor daya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kapasitor bank optimum menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO). Proses optimasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma PSO menghasilkan nilai kapasitor bank optimum sebesar 381,54 VAR atau setara dengan 8,41 μF , sehingga mampu meningkatkan faktor daya dari 0,76 menjadi 0,98, menurunkan arus sumber dari 1,10 A menjadi 0,85 A, serta menurunkan daya reaktif dari 467,20 VAR menjadi 85,57 VAR. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma PSO efektif digunakan untuk menentukan nilai kapasitor bank optimum sehingga mampu meningkatkan faktor daya motor induksi tiga fasa.

Sejarah Artikel

Submitted: 24 July 2026

Accepted: 27 July 2026

Published: 28 July 2026

Kata Kunci

Motor Induksi Tiga Fasa, Faktor Daya, Kapasitor Bank, Particle Swarm Optimization, MATLAB

Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan komponen vital yang mendominasi penggunaan energi listrik di sektor industri, diperkirakan mengonsumsi lebih dari 60% total energi listrik industri global (de Souza et al., 2022). Karena penggunaannya yang sangat masif, peningkatan efisiensi operasional motor induksi, bahkan dalam skala kecil, akan memberikan dampak signifikan terhadap upaya konservasi energi nasional dan pengurangan biaya operasional pabrik. Oleh karena itu, menjaga motor induksi agar beroperasi pada efisiensi optimalnya adalah sebuah keharusan dalam manajemen energi modern (Ike & Abdulraheem, 2021).

Salah satu jenis motor induksi tiga fasa yang paling banyak digunakan di lingkungan industri adalah motor induksi dengan rotor sangkar tupai (*squirrel cage induction motor*) (Pjetri et al., 2024). Motor jenis ini dipilih secara luas karena memiliki konstruksi yang sederhana, tingkat keandalan yang tinggi, biaya perawatan yang relatif rendah, serta mampu beroperasi secara kontinu dalam jangka waktu panjang (Anthony, 2024). Namun demikian, karakteristik motor induksi sangkar tupai memiliki kelemahan berupa faktor daya yang relatif rendah,

terutama saat beroperasi pada kondisi beban sebagian (partial load), yang berdampak langsung pada penurunan efisiensi sistem secara keseluruhan (Sinaga et al., 2021).

Karakteristik fundamental dari motor induksi adalah sifatnya sebagai beban induktif yang memerlukan daya reaktif dalam jumlah besar untuk membangkitkan medan magnet putar (Kurnia & Hariman, 2021). Permintaan daya reaktif ini menyebabkan motor beroperasi pada faktor daya ($\cos \phi$) yang rendah, terutama saat beroperasi pada beban sebagian (partial load) (Lestari et al., 2022). Faktor daya yang rendah secara langsung berkorelasi dengan peningkatan arus total yang harus disuplai oleh jaringan untuk daya aktif yang sama. Peningkatan arus ini merupakan akar masalah dari timbulnya rugi-rugi daya (I^2R) yang tinggi pada saluran transmisi dan belitan motor, yang berujung pada pemborosan energi dan panas berlebih (Nurmahandy et al., 2021).

Untuk mengatasi permasalahan faktor daya rendah ini, solusi teknis yang paling umum dan telah teruji adalah dengan memasang kapasitor bank secara paralel dengan motor induksi (Lestari et al., 2022). Kapasitor memiliki karakteristik yang berlawanan dengan beban induktif, jika motor mengonsumsi daya reaktif, kapasitor justru menyuplai daya reaktif (Manggalai et al., 2019). Dengan menyediakan sumber daya reaktif lokal langsung di dekat beban, kapasitor bank mengurangi jumlah daya reaktif yang harus ditarik dari jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN), sehingga dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Prasetyono et al., 2023).

Salah satu upaya untuk menentukan nilai pada kapasitor bank adalah dengan menggunakan metode algoritma metaheuristik, yaitu *Particle Swarm Optimization* (PSO). PSO merupakan teknik optimasi stokastik yang terinspirasi dari inteligensi kolektif kawanan sosial dan telah terbukti andal dalam mengeksplorasi ruang pencarian yang kompleks secara efisien (Anggara et al., 2019). Dalam penelitian ini, algoritma PSO akan diformulasikan untuk menavigasi ruang pencarian dari nilai-nilai kapasitor standar guna menemukan solusi optimum global, dengan fungsi tujuan memaksimalkan faktor daya mendekati 1.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Harahap dkk. (Harahap & Toruan, 2023) yang berjudul “Rancang Bangun Kapasitor Bank Otomatis Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Arduino Uno” berfokus pada perancangan sistem kapasitor bank otomatis untuk motor induksi 1.5 kW menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan sistem dalam meningkatkan faktor daya dari nilai awal sekitar 0.45 menjadi 0.84.

Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Anggara dkk, yang berjudul “Optimasi Penempatan dan Kapasitas Bank Kapasitor Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Kombinasi Metode *Loss Sensitivity Factors* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO)”, dilakukan optimasi penempatan kapasitor pada jaringan distribusi (Anggara et al., 2019). Penelitian tersebut menggunakan metode hibrida, yaitu *Loss Sensitivity Factors* untuk menentukan kandidat lokasi bus dan PSO untuk mencari kapasitas optimal kapasitor pada lokasi tersebut. Adapun hasil yang didapat pada studi kasus IEEE 10 bus adalah reduksi rugi-rugi daya aktif sebesar 10.8% dan perbaikan profil tegangan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mudjiono dkk, dengan judul “Aplikasi *Particle Swarm Optimization* Pada Pemasangan Kapasitor Bank Pada Jaringan Distribusi”, dilakukan optimasi untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor bank minimum pada jaringan distribusi 10 bus (Mudjiono et al., 2021). Penelitian tersebut menggunakan metode PSO dengan fungsi tujuan mencari injeksi daya reaktif minimum agar tegangan di semua bus memenuhi standar (di atas 0.9 pu). Adapun hasil yang didapat adalah PSO berhasil menemukan solusi optimal pada iterasi ke-160, yaitu pemasangan 2.55 MVar pada bus 7.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada optimasi nilai kapasitor bank menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar tupai sebagai unit beban tunggal, sehingga penelitian ini memiliki fokus yang berbeda

dibandingkan penelitian terdahulu yang umumnya berfokus pada optimasi sistem tenaga skala makro pada jaringan distribusi. Melalui penelitian yang dilakukan ini, diharapkan hasilnya dapat memberikan peningkatan pada performa motor induksi tiga fasa melalui pemasangan kapasitor bank optimum yang dihasilkan oleh algoritma PSO.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis kuantitatif dengan pendekatan simulasi. Jenis kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik hasil pengukuran parameter motor induksi tiga fasa yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pemodelan sistem dan proses optimasi. Pendekatan simulasi dilakukan untuk menerapkan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam proses optimasi untuk memperoleh kapasitor bank optimum yang dapat meningkatkan faktor daya motor induksi tiga fasa.

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperoleh dari pengamatan secara langsung pada motor induksi tiga fasa. Pengumpulan data akan dibagi menjadi 2 kondisi simulasi, yaitu kondisi sebelum terpasang kapasitor bank dan setelah terpasang kapasitor bank hasil optimasi PSO.

Setelah melakukan pengumpulan data, tahap selanjutnya adalah menganalisis data. Data yang dianalisis diperoleh dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *MATLAB*. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini yaitu (1) Penerapan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), (2) Analisis Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa.

Hasil dan Pembahasan

A. Implementasi Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Pada penelitian ini, algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) diterapkan untuk menentukan nilai kapasitor bank optimum yang digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif pada motor induksi tiga fasa. Proses optimasi dilakukan dengan memanfaatkan data parameter motor yang diperoleh dari hasil simulasi awal sebelum pemasangan kapasitor bank. Tabel 1 berikut merupakan data spesifikasi motor induksi tiga fasa yang akan digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa

No.	Parameter	Nilai
1.	Tipe	Y2 712-4
2.	Daya	0,37 kW
3.	Tegangan	380 V
4.	Frekuensi	50 Hz
5.	Kecepatan	1330 Rpm
6.	Cos ϕ	0,75
7.	Jumlah Kutub	4

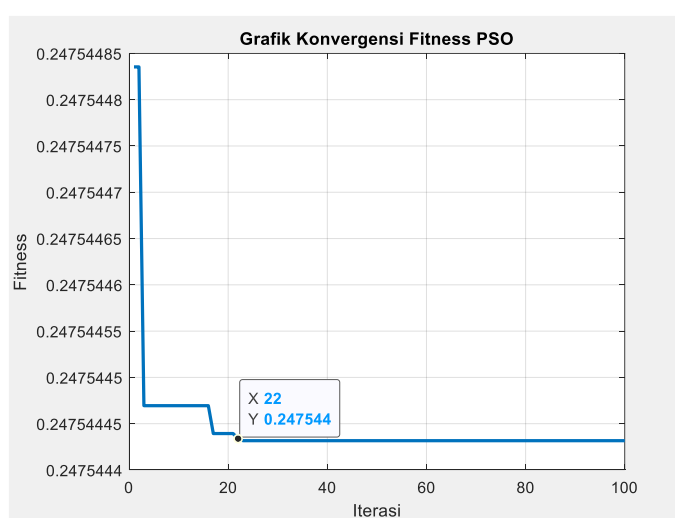
Data spesifikasi motor induksi tiga fasa pada tabel 1 digunakan sebagai masukan dalam proses optimasi menggunakan algoritma PSO. Sebelum proses optimasi dilakukan, terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter algoritma PSO yang akan digunakan pada *software MATLAB*. Parameter algoritma PSO yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Parameter Algoritma PSO

No.	Parameter	Nilai
1.	Jumlah Partikel (n)	20
2.	Iterasi Maksimal ($maxIter$)	100
3.	Bobot Inersia (ω)	0,7
4.	Koefisien Kognitif ($C1$)	1,5
5.	Koefisien Sosial ($C2$)	1,5
6.	Batas Bawah Pencarian ($Cmin$)	100
7.	Batas Atas Pencarian ($Cmax$)	600

Berdasarkan parameter yang telah ditentukan, algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dijalankan untuk mencari nilai kompensasi daya reaktif (Q_c) optimum pada motor induksi tiga fasa. Jumlah partikel sebanyak 20 dipilih karena optimasi hanya melibatkan satu variabel, sehingga cukup merepresentasikan ruang pencarian tanpa meningkatkan kompleksitas perhitungan. Iterasi maksimum sebanyak 100 digunakan agar proses optimasi mencapai kondisi konvergen dengan waktu komputasi yang relatif singkat. Bobot inersia (ω) sebesar 0,7 dipilih untuk menyeimbangkan proses eksplorasi dan eksploitasi, sedangkan koefisien kognitif ($C1$) dan sosial ($C2$) masing-masing sebesar 1,5 digunakan untuk menjaga kestabilan pencarian solusi berdasarkan *pbest* dan *gbest*.

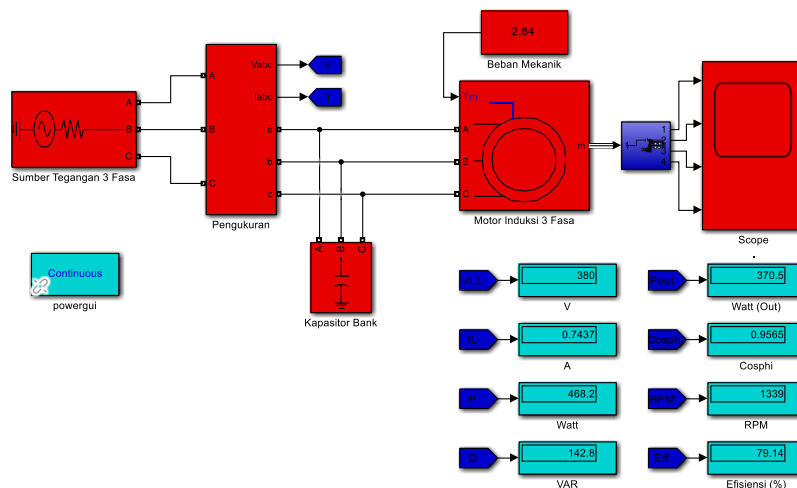
Selanjutnya, proses optimasi dilakukan dengan mengevaluasi setiap partikel menggunakan fungsi fitness yang sudah ditentukan. Sehingga dihasilkan grafik konvergensi *fitness* PSO seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Konvergensi *Fitness* PSO

Berdasarkan grafik konvergensi PSO, nilai *fitness* menurun signifikan pada iterasi awal dan mencapai nilai terbaik sebesar 0,247544 pada iterasi ke-22. Setelah itu, nilai *fitness* cenderung stabil hingga iterasi ke-100, yang menunjukkan algoritma telah mencapai kondisi konvergen. Semakin kecil nilai *fitness*, semakin baik solusi yang diperoleh. Hasil optimasi menghasilkan nilai kompensasi daya reaktif optimum sebesar 381,54 VAR yang selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan kapasitor bank.

B. Hasil Simulasi



Gambar 2. Rangkaian Simulasi *MATLAB*

Berdasarkan gambar 2, rangkaian simulasi disusun dengan menghubungkan sumber tegangan tiga fasa, blok pengukuran tegangan dan arus, motor induksi tiga fasa, kapasitor bank serta beban mekanik yang direpresentasikan dalam bentuk torsi mekanik (*mechanical torque*). Setelah dilakukan perangkaian, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan beban. Variasi pembebanan pada simulasi dilakukan berdasarkan torsi nominal motor yang dihitung menggunakan persamaan 2.2. Sehingga variasi torsi pembebanan motor dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Variasi Torsi Beban

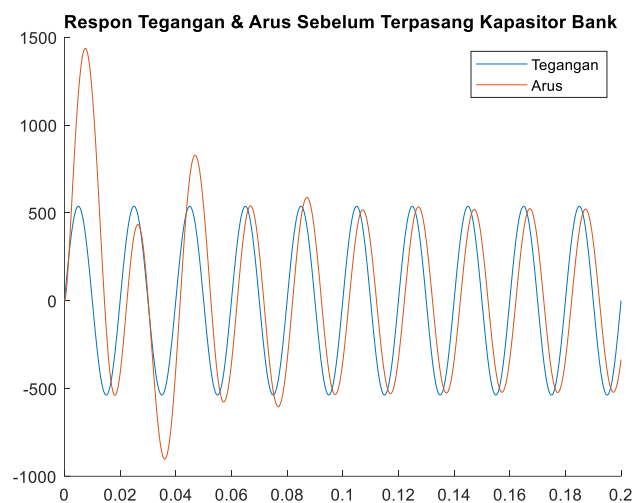
No.	Persentase Beban	Torsi (Nm)
1.	0%	0,00
2.	25%	0,66
3.	50%	1,32
4.	75%	1,98
5.	100%	2,64

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.3, maka nilai tersebut digunakan sebagai acuan pembebanan pada simulasi. Sehingga diperoleh hasil simulasi motor induksi tiga fasa sebelum pemasangan kapasitor bank sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.

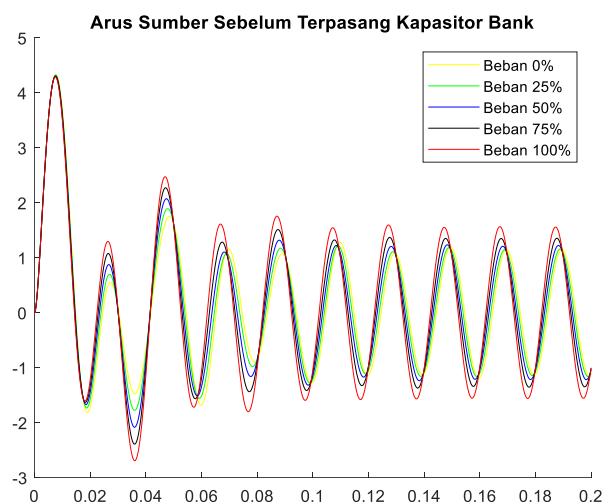
Tabel 4. Hasil Simulasi Sebelum Terpasang Kapasitor Bank

Parameter	Kondisi Beban				
	0%	25%	50%	75%	100%
Tegangan (V)	380	380	380	380	380
Arus (A)	0,81	0,81	0,83	0,95	1,1
Daya Semu (KVA)	538,6	540,7	566,7	628,8	725
Daya Aktif (W)	77,23	180,6	292,8	416,2	554.4
Daya Reaktif (VAR)	533	506,2	485,2	471,4	467,2
Faktor Daya (Cos ϕ)	0,14	0,33	0,51	0,66	0,76
Kecepatan (RPM)	1500	1467	1429	1384	1330
Efisiensi Motor (%)	0%	51,11%	63,18%	66,67%	66,78%

Berdasarkan tabel 4 hasil simulasi sebelum pemasangan kapasitor bank, peningkatan beban menyebabkan arus sumber, daya semu, daya aktif, dan daya reaktif meningkat. Faktor daya masih tergolong rendah, menunjukkan motor menyerap daya reaktif yang cukup besar akibat sifat induktifnya. Kondisi ini menyebabkan arus sumber meningkat sehingga rugi-rugi daya sistem juga bertambah. Gambar 3 berikut merupakan bentuk gelombang tegangan dan arus sebelum terpasang kapasitor bank.

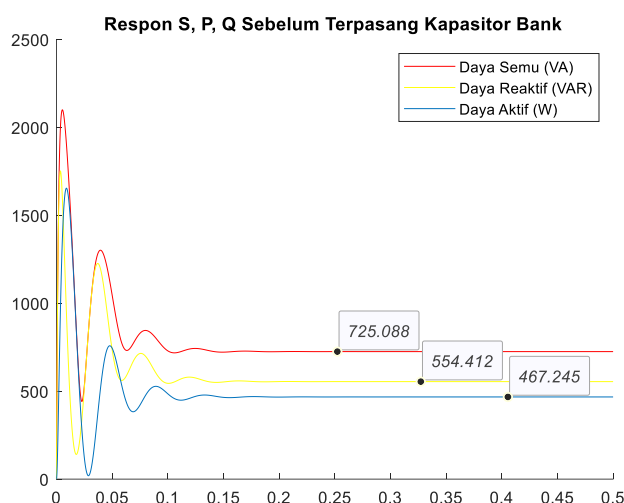
**Gambar 3. Respon Tegangan dan Arus Sebelum Terpasang Kapasitor Bank**

Gambar 3 menunjukkan gelombang tegangan dan arus motor induksi tiga fasa sebelum pemasangan kapasitor bank. Terlihat bahwa arus tertinggal terhadap tegangan, menunjukkan motor bekerja sebagai beban induktif yang memerlukan daya reaktif untuk membentuk medan magnet. Gambar 4 berikut merupakan perbandingan arus pada beberapa variasi pembebanan sebelum terpasang kapasitor bank.



Gambar 4. Gelombang Arus Sebelum Terpasang Kapasitor Bank

Gambar 4 menunjukkan gelombang arus motor induksi tiga fasa pada pembebanan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sebelum pemasangan kapasitor bank. Pada awal pengoperasian terjadi arus transien akibat proses starting motor, kemudian arus menjadi stabil setelah mencapai steady state. Seiring meningkatnya pembebanan, amplitudo arus juga meningkat, dengan nilai terbesar pada beban 100% dan terkecil pada kondisi tanpa beban, karena kebutuhan torsi motor semakin besar. Selanjutnya, gambar 4.5 berikut merupakan respon Daya Semu (S), Daya Aktif (P), dan Daya Reaktif (Q) pada kondisi sebelum terpasang kapasitor bank.



Gambar 5. Respon S, P, dan Q Sebelum Terpasang Kapasitor Bank

Berdasarkan gambar 5 respon daya semu (S), daya aktif (P), dan daya reaktif (Q) sebelum pemasangan kapasitor bank, pada beban penuh motor menggunakan daya aktif sebesar 467,245 W dan menyerap daya reaktif sebesar 554,412 VAR. Besarnya daya reaktif menyebabkan daya semu meningkat dan faktor daya sistem menjadi rendah.

Pengujian simulasi kedua dilakukan dengan menambahkan kapasitor bank yang dipasang secara paralel terhadap sumber tegangan dengan nilai yang diperoleh menggunakan algoritma PSO. Proses optimasi dilakukan menggunakan parameter PSO yang telah ditentukan pada tabel 2, dengan mempertimbangkan nilai daya reaktif sistem, faktor daya target, serta pembatas (*constraint*) agar sistem tidak mengalami kondisi *leading*. Berdasarkan hasil

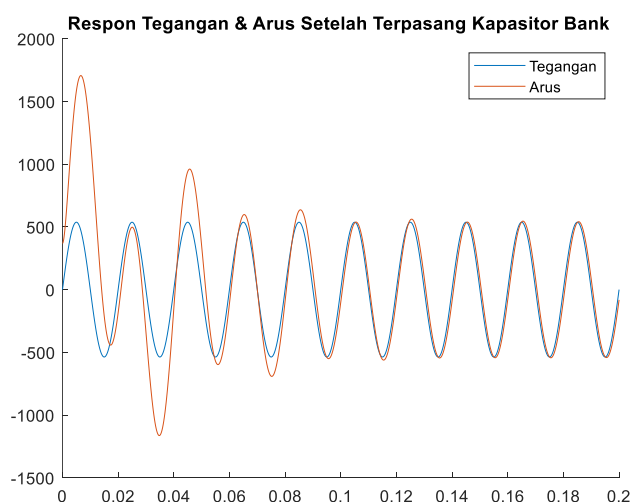
optimasi menggunakan algoritma PSO, diperoleh nilai kompensasi daya reaktif optimum sebesar 381,54 VAR. Nilai tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai kapasitansi berdasarkan persamaan 2.8, maka diperoleh nilai sebesar 8,41 μF dan digunakan pada simulasi motor induksi tiga fasa. Nilai tersebut selanjutnya diterapkan pada simulasi motor induksi tiga fasa setelah terpasang kapasitor bank agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara langsung dengan kondisi sebelumnya.

Sehingga diperoleh hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor bank sebagaimana ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Simulasi Setelah Terpasang Kapasitor Bank

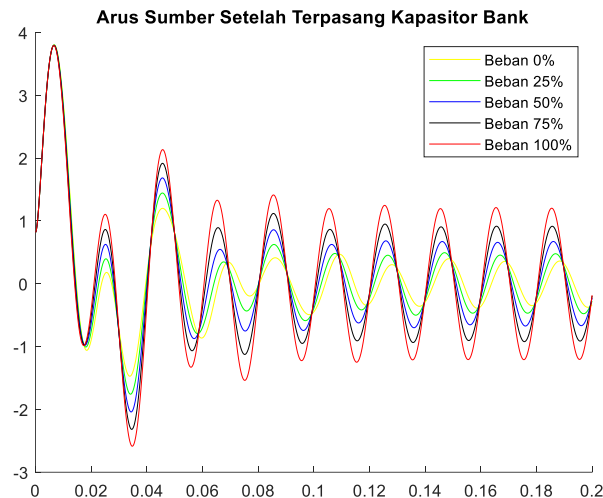
Parameter	Kondisi Beban				
	0%	25%	50%	75%	100%
Tegangan (V)	380	380	380	380	380
Arus (A)	0,25	0,33	0,47	0,64	0,85
Daya Semu (KVA)	170	219,4	310,6	425,8	561
Daya Aktif (W)	77,23	180,6	292,8	416,2	554,4
Daya Reaktif (VAR)	151,5	124,7	103,7	89,83	85,57
Faktor Daya (Cos ϕ)	0,45	0,82	0,94	0,97	0,98
Kecepatan (RPM)	1500	1467	1429	1384	1330
Efisiensi Motor (%)	0%	51,11%	63,18%	66,67%	66,78%

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 5, terlihat bahwa pemasangan kapasitor bank mampu memperbaiki performa sistem motor induksi tiga fasa. Performa sistem tersebut ditunjukkan dengan peningkatan faktor daya dan penurunan arus pada seluruh variasi pembebanan. Gambar 6 berikut merupakan respon tegangan dan arus setelah terpasang kapasitor bank hasil optimasi PSO.



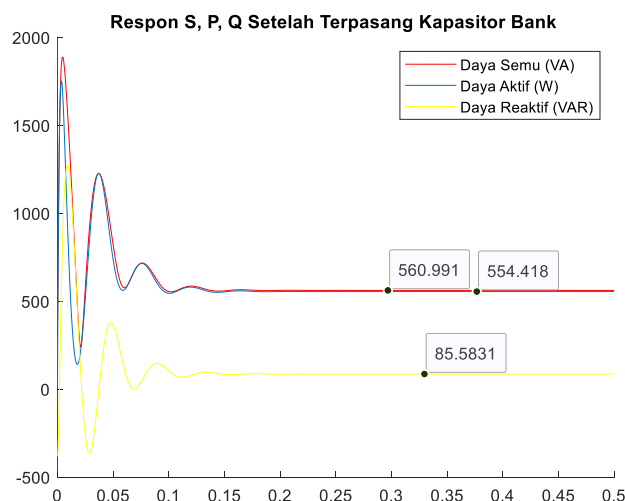
Gambar 6. Respon Tegangan dan Arus Setelah Terpasang Kapasitor Bank

Berdasarkan gambar 6 respon tegangan dan arus setelah pemasangan kapasitor bank, gelombang arus masih tertinggal terhadap tegangan karena motor induksi tetap bersifat induktif. Namun, sudut fasa keduanya menjadi lebih kecil dibandingkan sebelum pemasangan kapasitor bank, menunjukkan bahwa kapasitor bank hasil optimasi PSO mampu menyuplai sebagian daya reaktif sehingga arus yang disuplai sumber berkurang. Gambar 7 berikut merupakan perbandingan arus pada beberapa variasi pembebanan setelah terpasang kapasitor bank hasil optimasi PSO.



Gambar 7. Gelombang Arus Setelah Terpasang Kapasitor Bank

Gambar 7 menunjukkan gelombang arus motor induksi tiga fasa pada pembebanan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% setelah pemasangan kapasitor bank sebesar $8,41 \mu\text{F}$ hasil optimasi PSO. Seiring meningkatnya pembebanan, amplitudo arus juga meningkat karena kebutuhan torsi motor semakin besar. Arus sumber menurun cukup signifikan. Selanjutnya, gambar 8 berikut merupakan respon daya semu (S), daya aktif (P), dan daya reaktif (Q) setelah pemasangan kapasitor bank hasil optimasi PSO.



Gambar 8. Respon S, P, dan Q Setelah Terpasang Kapasitor Bank

Berdasarkan gambar 8, daya semu (S), daya aktif (P), dan daya reaktif (Q) menunjukkan karakteristik yang lebih baik dibandingkan sebelum kompensasi. Daya aktif relatif tidak berubah yaitu sebesar 554,418 W karena kapasitor bank hanya menyuplai daya

reaktif. Akibatnya, daya reaktif dari sumber berkurang menjadi 85,5831 VAR sehingga daya semu sistem juga menurun, yang menunjukkan pemanfaatan daya listrik menjadi lebih efisien.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak *MATLAB*, dapat disimpulkan bahwa algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) berhasil diterapkan untuk menentukan nilai kapasitor bank optimum sebesar 8,41 μF atau setara dengan 381,54 VAR sebagai kompensasi daya reaktif pada motor induksi tiga fasa. Nilai kapasitor hasil optimasi tersebut selanjutnya digunakan pada model simulasi untuk memperbaiki faktor daya motor.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor bank hasil optimasi mampu mengurangi kebutuhan daya reaktif motor induksi tiga fasa pada seluruh variasi pembebanan, yaitu dari 467,20–533,00 VAR menjadi 85,57–151,50 VAR. Penurunan daya reaktif tersebut menyebabkan faktor daya motor meningkat dari 0,14–0,76 menjadi 0,94–0,98. Seiring dengan meningkatnya faktor daya, arus sumber yang disuplai ke motor juga mengalami penurunan dari 0,81–1,12 A menjadi 0,25–0,85 A. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitor bank yang ditentukan menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) mampu mengompensasi kebutuhan daya reaktif motor secara efektif, sehingga meningkatkan faktor daya sekaligus mengurangi arus yang ditarik dari sumber.

Referensi

- Anggara, F. A., Zebua, O., & Hasan, K. (2021). Optimasi Penempatan dan Kapasitas Bank Kapasitor Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Kombinasi Metode Loss Sensitivity Factors dan Particle Swarm Optimization (PSO). *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 12(2), 48. <https://doi.org/10.23960/elc.v12n2.2080>
- Anthony, Z. (2024). A Review of Strategies for Improving 3-Phase Induction Motor Performance. *Andalusian International Journal*, 04, 01–12. <https://doi.org/10.25077/aijaset.v4i1.112>
- de Souza, D. F., Salotti, F. A. M., Sauer, I. L., Tatizawa, H., de Almeida, A. T., & Kanashiro, A. G. (2022). A Performance Evaluation of Three-Phase Induction Electric Motors between 1945 and 2020. *Energies*, 15(6), 1–31. <https://doi.org/10.3390/en15062002>
- Harahap, R., & Toruan, Y. M. L. (2023). Rancang Bangun Kapasitor Bank Otomatis Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Arduino Uno. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 8(2), 54–61. <https://doi.org/10.30743/jet.v8i2.7679>
- Ike, S. A., & Abdulraheem, T. (2021). An overview of Induction Motor Design Optimization using Artificial Intelligence Techniques. *Global Scientific Journal*, 9(1), 2147–2158. https://www.researchgate.net/publication/388104395_An_overview_of_Induction_Motor_Design_Optimization_using_Artificial_Intelligence_Techniques
- Kurnia, H., & Hariman, H. (2021). Analisis Pengaruh Pemakaian Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan Daya 1 Hp 380 / 660 V Di Smkn 01 Rejang Lebong. In *Jurnal Teknik Elektro Rafflesia* (Vol. 1, Issue 2, pp. 13–19). <https://ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTERAF/article/view/106>
- Lestari, A. D., Sunarto, & Tohir, T. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Nilai Kapasitor Bank terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan ETAP. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 13(1), 13–14. <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/4284>
- Manggalai, M. B., Afroni, M. J., & Basuki, B. M. (2021). Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank Terhadap Peningkatan Efisiensi daya Listrik Pada Saluran Unit III Di PT. Petrokimia Gresik. *Science Electro*, 8(1), 28–30. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:145891059>

- Mudjiono, M., Ridzki, I., & Surya, P. (2021). Aplikasi Particle Swarm Optimization Pada Pemasangan Kapasitor Bank Pada Jaringan Distribusi. In *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan* (Vol. 8, Issue 3, pp. 65–71). <https://doi.org/10.33795/elposys.v8i3.81>
- Nurmahandy, K. D., Subuh, I. H., Aribowo, W., & Widyartono, M. (2021). Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Penyulang Barata PT PLN Ngagel Surabaya. In *Jurnal Teknik Elektro Unesa* (Vol. 10, Issue 1, pp. 261–269). <https://doi.org/10.26740/jte.v10n1.p261-269>
- Pjetri, A., Bardhi, A., & Dume, G. (2024). Sensorless Speed Estimation of Three Phase Induction Motors. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 8(2), 610–621. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v8i2.32862>
- Prasetyono, R. N., Mubarak, R., Sigitta, R. C., Alfarikhi, M. Z., Nasrulloh, N., & Murdiantoro, R. A. (2023). Pengaruh Penambahan Kapasitor Bank terhadap Perbaikan Daya pada Direct On Line (DOL) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) di Motor Listrik 3 Phase. In *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)* (Vol. 5, Issue 2, pp. 132–143). <https://doi.org/10.20895/jtece.v5i2.1066>
- Sinaga, R. A., Eteruddin, H., & Tanjung, A. (2021). Pengaruh Kapasitor Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa Di PT. Malindo Karya Lestari. *Jurnal Teknik*, 15(2), 85–93. <https://doi.org/10.31849/teknik.v13i1.2360>