

## Studi Kualitas Daya Listrik pada Pabrik Kopi Bubuk UD Bintang Jaya Menggunakan Matlab Simulink

Adi Sulistyawan<sup>1</sup>, Bagus Mitra Sujatmiko<sup>2</sup>, Iska Yanuartanti<sup>3</sup>

Universitas Islam Kadiri, Kediri, Indonesia  
Email: adisulistyawan@gmail.com

### Abstract

*UD Bintang Jaya Coffee Powder Factory operates five single-phase electric motors to drive its coffee bean roasting machines. Preliminary observation indicated that these motors do not always operate at full load, which potentially lowers the system power factor (PF) and increases electricity operating costs. This study aims to analyze the electrical power quality resulting from the motor loading and to design and test the effectiveness of capacitor bank compensation using MATLAB Simulink simulation. The research method consisted of direct field measurement of electrical parameters (voltage, current, active power, reactive power, and power factor) on the five motors using a power clamp meter, followed by modeling of the electrical system in MATLAB Simulink using AC Voltage Source, Series RLC Load, Power, and Powergui blocks. The model was validated against the field measurement data before being used to simulate reactive power compensation. The measurement results show that the initial power factor of the five motors ranged from 0.67 to 0.70, well below the PLN minimum standard of 0.85. Validation of the Simulink model against field data yielded an average error below 5%, indicating that the model is sufficiently accurate. Compensation simulation using a total 185  $\mu\text{F}$  (2,813.5 VAR) capacitor bank across the five motors successfully increased the system power factor from 0.67 to 0.95, an improvement of 41.79%, accompanied by a 32.21% reduction in total system current. Economically, the total investment cost required for the capacitor bank was relatively small, amounting to Rp1,895,000. These results indicate that reactive power compensation using a capacitor bank is an effective technical and economical solution for improving electrical power quality in small and medium industries operating single-phase induction motors.*

**Keywords:** power factor, induction motor, capacitor bank, MATLAB Simulink, power quality.

### Abstrak

Pabrik Kopi Bubuk UD Bintang Jaya mengoperasikan lima unit motor listrik satu fasa untuk menggerakkan mesin penggoreng biji kopi. Observasi awal menunjukkan bahwa motor-motor tersebut tidak selalu beroperasi pada beban penuh sehingga berpotensi menurunkan faktor daya (PF) sistem dan meningkatkan biaya operasional listrik. Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas daya listrik akibat pembebanan motor tersebut serta merancang dan menguji efektivitas kompensasi kapasitor bank menggunakan simulasi MATLAB Simulink. Metode penelitian meliputi pengukuran langsung parameter kelistrikan (tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya) pada kelima motor menggunakan power clamp meter, dilanjutkan dengan pemodelan sistem kelistrikan pada MATLAB Simulink menggunakan blok AC Voltage Source, Series RLC Load, Power, dan Powergui. Model divalidasi terhadap data pengukuran lapangan sebelum digunakan untuk mensimulasikan kompensasi daya reaktif. Hasil pengukuran menunjukkan nilai faktor daya awal kelima motor berkisar 0,67–0,70, jauh di bawah standar minimum PLN sebesar 0,85. Validasi model Simulink terhadap data lapangan menghasilkan error rata-rata di bawah 5%, menunjukkan model yang dibangun cukup akurat. Simulasi kompensasi menggunakan kapasitor bank dengan kapasitas total 185  $\mu\text{F}$  (2.813,5 VAR) untuk kelima motor berhasil meningkatkan faktor daya sistem dari 0,67 menjadi 0,95, atau naik sebesar 41,79%, disertai penurunan arus total pada sistem sebesar 32,21%. Dari sisi ekonomis, total biaya investasi kapasitor bank yang dibutuhkan tergolong kecil yaitu sebesar Rp1.895.000. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor bank merupakan solusi teknis dan ekonomis yang efektif untuk memperbaiki kualitas daya listrik pada industri kecil menengah yang mengoperasikan motor induksi satu fasa.

**Kata kunci:** faktor daya, motor induksi, kapasitor bank, MATLAB Simulink, kualitas daya listrik.

## PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan sektor penting bagi kehidupan manusia, terutama di bidang industri. Pemanfaatan energi listrik menjadi pilihan utama di sektor industri karena memiliki berbagai keunggulan, seperti lebih ramah lingkungan, efisiensi serta produktivitas yang tinggi, tingkat presisi yang baik, dan kemudahan dalam integrasi dengan teknologi modern, sehingga diperlukan kualitas daya listrik yang stabil untuk memenuhi kebutuhan suplai energi listrik di industri (Kualitas et al., 2025).

Salah satu permasalahan kualitas daya listrik yang sering dihadapi ialah rendahnya nilai faktor daya (power factor). Faktor daya berfungsi sebagai penanda kualitas daya listrik dan nilainya sangat dipengaruhi oleh tipe beban yang digunakan, baik resistif, induktif, maupun kapasitif. Semakin mendekati 1, kapasitas daya aktif yang dimanfaatkan semakin besar sehingga kualitas sistem kelistrikan menjadi lebih baik; sebaliknya, faktor daya yang rendah memaksa sistem bekerja lebih keras (arus lebih besar) untuk menghasilkan jumlah kerja yang sama, sehingga menimbulkan pemborosan energi akibat panas pada kabel serta membengkaknya biaya operasional karena denda dari PLN dan kebutuhan instalasi yang lebih besar (Esye & Lesmana, 2021). Berdasarkan SPLN 70-1, standar nilai minimum faktor daya adalah 0,85; apabila kurang dari nilai tersebut, PLN akan memperhitungkan kelebihan pemakaian kVArh di samping pemakaian kWh yang sudah ada (Saputra et al., 1985).

Simulasi menggunakan MATLAB Simulink memberikan kemampuan untuk memodelkan kondisi nyata sistem tenaga, memprediksi performa kualitas daya, serta menguji skenario sebelum dan sesudah perbaikan tanpa mengganggu proses produksi, sehingga berperan sebagai alat validasi teknis yang efektif sebelum implementasi solusi di lapangan. Berdasarkan observasi awal di Pabrik Kopi Bubuk UD Bintang Jaya, terdapat lima unit motor listrik satu fasa yang digunakan untuk menggerakkan mesin penggoreng biji kopi. Motor-motor tersebut tidak selalu beroperasi pada kondisi beban penuh sehingga kebutuhan daya reaktif tetap tinggi meskipun daya aktif yang dibutuhkan beban menurun, yang berpotensi menurunkan faktor daya sistem, meningkatkan arus jaringan, serta menambah rugi-rugi daya pada saluran dan transformator.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas kualitas daya listrik pada berbagai objek, mulai dari industri berskala besar, gedung bertingkat, hingga fasilitas rumah sakit, dengan penekanan pada distorsi harmonisa, ketidakseimbangan arus, analisis ekonomis, maupun pemodelan edukatif berbasis MATLAB/Simulink (Rizal, 2015; Yudha et al., 2017; Satriawan, 2022; Meyyasa et al., 2019; Shalahuddin & Yahya, n.d.). Namun, sebagian besar penelitian tersebut belum secara khusus menggabungkan pengukuran lapangan pada industri kecil satu fasa dengan simulasi MATLAB Simulink untuk kompensasi faktor daya. Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan memberikan solusi teknis perbaikan faktor daya yang divalidasi melalui simulasi software pada studi kasus nyata industri kecil menengah (UKM) satu fasa.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan (1) menganalisis karakteristik operasional dan nilai faktor daya aktual dari beban industri di pabrik kopi bubuk, (2) memodelkan sistem kelistrikan pabrik dan mensimulasikan teknik perbaikan faktor daya menggunakan

kapasitor bank dalam lingkungan MATLAB Simulink, serta (3) menentukan nilai kapasitansi optimal kapasitor bank dan menganalisis peningkatan kinerja sistem kelistrikan yang meliputi penurunan arus, pengurangan rugi-rugi daya, dan peningkatan nilai faktor daya. Penelitian ini difokuskan pada sistem kelistrikan satu fase 220 VAC dengan metode kompensasi yang disimulasikan terbatas pada kapasitor bank paralel statis, tanpa implementasi fisik di lapangan.

## METODE PENELITIAN

### Jenis dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental sistematis berbasis simulasi dengan pendekatan kuantitatif yang terfokus pada perhitungan, simulasi, dan analisis data kelistrikan. Pemilihan metode ini mempertimbangkan efisiensi biaya dan waktu serta memungkinkan analisis sistem kelistrikan industri dalam kondisi terkendali tanpa mengganggu proses produksi. Penelitian dilaksanakan di Pabrik Kopi Bubuk UD Bintang Jaya, Desa Tegaron, Kecamatan Prambon, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur.

### Alat, Bahan, dan Objek Penelitian

Pengukuran parameter kelistrikan lapangan dilakukan menggunakan power quality analyzer, tang ampere (clamp meter), dan multimeter digital, sedangkan pemodelan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB R2020a dibantu Microsoft Excel untuk pengolahan data. Objek penelitian adalah lima unit motor induksi satu fasa (M1–M5) dengan spesifikasi identik, yaitu daya 1 HP (0,75 kW), tegangan nominal 220 V, arus nominal 7 A, dan kecepatan putar 1400 RPM, yang disuplai dari jaringan PLN 1 fasa 220 VAC dengan daya terpasang 7.700 VA.

### Prosedur Penelitian

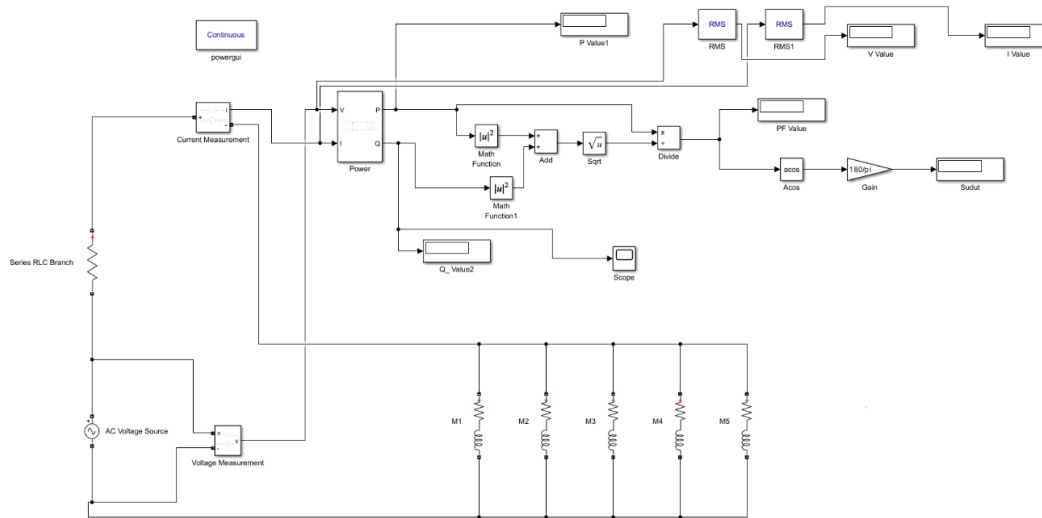
Penelitian dilaksanakan melalui delapan tahapan, yaitu: (1) studi literatur mengenai motor induksi, kualitas daya, dan kompensasi daya reaktif; (2) observasi dan pengumpulan data sekunder berupa spesifikasi teknis beban dan sistem kelistrikan; (3) pengukuran data primer berupa tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya pada kelima motor menggunakan power clamp meter pada kondisi operasional normal; (4) pemodelan sirkuit dan beban pada MATLAB Simulink; (5) validasi model dengan kriteria error relatif  $\leq 5\%$  terhadap data lapangan; (6) simulasi perbaikan faktor daya dengan mengintegrasikan model kapasitor bank untuk mencapai target PF  $> 0,95$ ; (7) analisis hasil terhadap peningkatan faktor daya, penurunan arus, dan pengurangan rugi-rugi daya; serta (8) penarikan kesimpulan dan rekomendasi teknis.

Pengukuran parameter listrik pada kelima motor dilakukan sebanyak tiga kali pada waktu operasional yang berbeda (pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 WIB) untuk memperoleh gambaran kondisi kelistrikan yang representatif, dan nilai rata-ratanya digunakan sebagai acuan pada tahap pemodelan.

### Pemodelan Sistem pada MATLAB Simulink

Pemodelan sistem dimulai dari sumber tegangan yang direpresentasikan menggunakan blok AC Voltage Source dengan parameter 220 V dan frekuensi 50 Hz. Setiap motor dimodelkan

menggunakan blok Series RLC Load — bukan blok motor induksi bawaan (Asynchronous Machine) — karena data yang tersedia dari pengukuran lapangan hanya berupa besaran kelistrikan makro (tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya), bukan parameter internal motor seperti resistansi stator/rotor atau momen inersia. Nilai resistansi (R) dan induktansi (L) pada blok Series RLC Load ditentukan langsung dari data daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) hasil pengukuran melalui proses tuning, sehingga keluaran model dapat divalidasi langsung terhadap data lapangan. Rangkaian dilengkapi blok Current Measurement, Voltage Measurement, Power, Math Function, Add, Sqrt, Divide, Acos, dan Gain untuk menghitung tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya secara otomatis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar dibawah.



**Gambar 1.** Model Simulink sistem kelistrikan sebelum kompensasi

Faktor daya ( $\cos \phi$ ) dihitung sebagai rasio daya aktif (P) terhadap daya semu (S) sesuai Persamaan (1), sedangkan daya reaktif (Q) diperoleh melalui hubungan segitiga daya pada Persamaan (2).

$$\cos \phi = P / S \quad (1)$$

$$Q = P \times \tan \phi = \sqrt{(S^2 - P^2)} \quad (2)$$

Model divalidasi dengan menghitung error relatif antara data pengukuran dan data simulasi menggunakan Persamaan (3); model dinyatakan valid apabila error relatif tidak lebih dari 5%.

$$\text{Error (\%)} = [(Data \text{ Pengukuran} - Data \text{ Simulasi}) / Data \text{ Pengukuran}] \times 100\% \quad (3)$$

### Perhitungan Kapasitor Bank dan Analisis Data

Kapasitas kapasitor bank yang diperlukan untuk menaikkan faktor daya dari kondisi aktual ( $\phi_{\text{aktual}}$ ) ke nilai target ( $\phi_{\text{target}} = 0,95$ ) dihitung melalui kebutuhan daya reaktif kompensasi ( $Q_c$ ) pada Persamaan (4), kemudian dikonversi menjadi nilai kapasitansi (C) pada Persamaan (5).

$$Q_c = P \times (\tan \phi_{\text{aktual}} - \tan \phi_{\text{target}}) \quad (4)$$

$$C = Q_c / (2\pi f V^2) \quad (5)$$

dengan  $f$  adalah frekuensi sistem (50 Hz) dan  $V$  adalah tegangan efektif sistem (220 V). Data hasil pengukuran dan simulasi selanjutnya dianalisis melalui tiga tahap, yaitu analisis kualitas daya awal (perbandingan PF terukur terhadap standar minimum PLN 0,85), analisis kinerja model simulasi (verifikasi error relatif terhadap data lapangan), dan analisis kompensasi daya reaktif (perbandingan PF, penurunan arus, dan pengurangan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank), yang dilengkapi dengan analisis ekonomis sederhana berupa estimasi biaya investasi kapasitor bank.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Faktor Daya Eksisting

Sistem kelistrikan pabrik disuplai dari jaringan PLN satu fasa 220 VAC dengan daya terpasang 7.700 VA yang melayani lima unit motor listrik penggerak mesin penggoreng kopi selama 9 jam operasional per hari (08.00–17.00 WIB). Hasil rata-rata tiga kali pengukuran parameter kelistrikan pada kelima motor disajikan pada Tabel 1.

**Table 1.** Rata-Rata Hasil Pengukuran Parameter Listrik dan Kondisi Faktor Daya

| Motor | V (Volt) | I (A) | P (Watt) | Cos $\phi$ | Q (VAR) | S (VA)  | Status |
|-------|----------|-------|----------|------------|---------|---------|--------|
| M1    | 222      | 4,71  | 710      | 0,67       | 769,69  | 1047,39 | Rendah |
| M2    | 222      | 5,58  | 764      | 0,68       | 965,72  | 1235,73 | Rendah |
| M3    | 221      | 5,13  | 730      | 0,67       | 801,53  | 1084,40 | Rendah |
| M4    | 222      | 5,34  | 831      | 0,70       | 848,19  | 1187,51 | Rendah |
| M5    | 222      | 3,61  | 537      | 0,67       | 595,09  | 801,39  | Rendah |

Tegangan kerja pada seluruh motor tercatat stabil pada kisaran 220–224 V selama pengukuran, menunjukkan bahwa kualitas suplai tegangan dari PLN tidak mengalami gangguan berarti. Namun, nilai  $\cos \phi$  pada seluruh motor secara konsisten berada pada kisaran 0,67–0,70, jauh di bawah standar minimum SPLN 70-1 sebesar 0,85. Arus rata-rata hasil pengukuran hanya berkisar 3,61–5,58 A, atau sekitar 52–80% dari arus nominal nameplate (7 A), yang menunjukkan bahwa kelima motor beroperasi pada kondisi beban ringan. Pada kondisi ini, kebutuhan daya reaktif (Q) untuk membangkitkan medan magnet tetap relatif besar meskipun daya aktif (P) yang diserap menurun, sehingga rasio Q terhadap P meningkat dan nilai  $\cos \phi$  menurun — sejalan dengan karakteristik umum motor induksi yang memiliki faktor daya rendah pada beban ringan. Kondisi ini mengonfirmasi bahwa seluruh motor (M1–M5) memerlukan perbaikan faktor daya melalui kompensasi daya reaktif.

### Pemodelan dan Validasi Simulink

Model sistem kelistrikan dibangun pada MATLAB Simulink menggunakan blok AC Voltage Source, Series RLC Load, Power, dan Powergui sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, dengan nilai R dan L pada setiap blok Series RLC Load dituning berdasarkan data P dan Q hasil pengukuran (Tabel 1) agar keluaran model dapat dibandingkan langsung dengan data lapangan. Hasil perbandingan arus, daya aktif, dan faktor daya antara simulasi dan pengukuran disajikan pada Tabel 2.

**Table 2.** Perbandingan Hasil Simulasi dengan Data Pengukuran Lapangan

| Motor | Arus Terukur (A) | Arus Simulasi (A) | P Terukur (W) | P Simulasi (W) | PF Terukur | PF Simulasi | Error Rerata (%) | Status |
|-------|------------------|-------------------|---------------|----------------|------------|-------------|------------------|--------|
| M1    | 4,71             | 4,60              | 710           | 698,6          | 0,67       | 0,68        | 2                | Valid  |
| M2    | 5,58             | 5,42              | 764           | 756,5          | 0,68       | 0,63        | 4                | Valid  |
| M3    | 5,13             | 4,80              | 730           | 725            | 0,67       | 0,68        | 3                | Valid  |
| M4    | 5,34             | 5,20              | 831           | 816            | 0,70       | 0,71        | 2                | Valid  |
| M5    | 3,61             | 3,53              | 537           | 528,4          | 0,67       | 0,67        | 1                | Valid  |

Berdasarkan Tabel 2, seluruh parameter hasil simulasi untuk kelima motor berstatus valid dengan error relatif rata-rata arus sebesar 3,29%, daya aktif 1,33%, dan faktor daya 2,35%, sehingga error relatif keseluruhan sebesar 2,33% — jauh di bawah ambang batas 5% yang disyaratkan. Hasil ini menunjukkan bahwa model Simulink yang dibangun cukup representatif terhadap kondisi nyata di lapangan dan layak digunakan sebagai dasar simulasi skenario perbaikan faktor daya.

### Perhitungan Kebutuhan Kapasitor Bank

Kebutuhan daya reaktif kompensasi ( $Q_c$ ) dan kapasitas kapasitor dihitung menggunakan Persamaan (4) dan (5) untuk menaikkan faktor daya setiap motor dari kondisi aktual menuju target 0,95. Karena nilai kapasitor hasil perhitungan jarang ditemui di pasaran, dilakukan penyesuaian ke nilai komersial terdekat, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

**Table 3.** Hasil Perhitungan dan Penyesuaian Kapasitas Kapasitor Bank

| Motor | P (W) | $Q_c$ (VAR) | C hitung ( $\mu F$ ) | C pasaran ( $\mu F$ ) | $Q_c$ pasaran (VAR) |
|-------|-------|-------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| M1    | 710   | 553,32      | 36,39                | 35                    | 532,2               |
| M2    | 764   | 572,67      | 37,66                | 40                    | 608,4               |
| M3    | 730   | 568,90      | 37,41                | 40                    | 608,4               |
| M4    | 831   | 574,65      | 37,79                | 40                    | 608,4               |
| M5    | 537   | 418,49      | 27,52                | 30                    | 456,1               |

Total kebutuhan daya reaktif kompensasi hasil perhitungan murni mencapai 2.688,03 VAR (176,77  $\mu F$ ), yang setelah disesuaikan dengan nilai komersial menjadi 2.813,5 VAR dengan total kapasitas kapasitor bank 185  $\mu F$ , terdiri atas 35  $\mu F$  untuk M1, 40  $\mu F$  masing-masing untuk M2–M4, dan 30  $\mu F$  untuk M5.

### Hasil Simulasi Setelah Kompensasi

Nilai kapasitor bank pada Tabel 3 dipasang paralel terhadap kelima motor pada model Simulink. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan  $\cos \phi$  yang signifikan dan seragam pada seluruh motor, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

**Table 4.** Hasil Simulasi Parameter Listrik Setelah Kompensasi Kapasitor Bank

| Motor | Arus (A) | P (W) | Q (VAR) | Cos $\phi$ baru |
|-------|----------|-------|---------|-----------------|
| M1    | 3,28     | 688   | 217,3   | 0,95            |
| M2    | 3,68     | 741   | 329,6   | 0,91            |
| M3    | 3,34     | 713   | 180,4   | 0,96            |
| M4    | 3,78     | 803   | 217,0   | 0,96            |
| M5    | 2,44     | 521   | 125,5   | 0,97            |

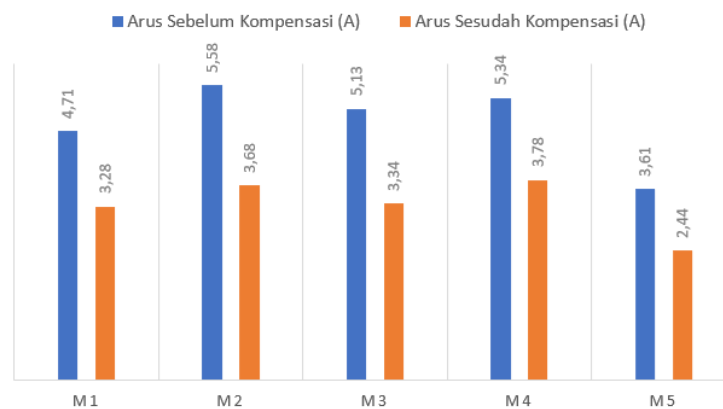
Setelah kompensasi, seluruh motor berhasil mencapai faktor daya di atas standar minimum 0,85, bahkan mendekati nilai target 0,95 (berkisar 0,91–0,97), dengan arus pada tiap motor menurun signifikan, misalnya M2 dari 5,58 A menjadi 3,68 A, sementara daya aktif relatif tetap karena beban mekanis tidak berubah.

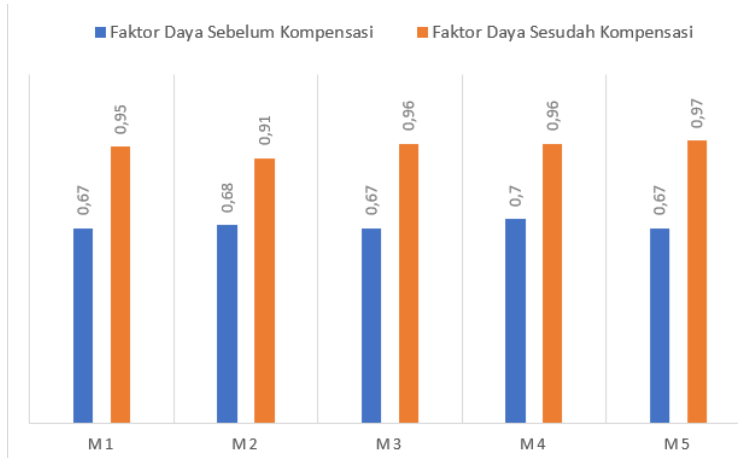
### Perbandingan Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Perbandingan kinerja sistem kelistrikan secara keseluruhan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank total 185  $\mu$ F (2.813,5 VAR) disajikan pada Tabel 5 dan divisualisasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

**Table 5.** Perbandingan Kinerja Sistem Sebelum dan Sesudah Kompensasi

| Parameter                 | Sebelum Kompensasi | Sesudah Kompensasi | Perubahan (%) |
|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Faktor Daya (Cos $\phi$ ) | 0,67               | 0,95               | ↑ 41,79%      |
| Arus Total (A)            | 24,37              | 16,52              | ↓ 32,21%      |
| Estimasi Rugi-Rugi Daya   | —                  | —                  | ↓ 54,06%      |

**Gambar 2.** Perbandingan arus total tiap motor sebelum dan sesudah kompensasi



**Gambar 3.** Perbandingan faktor daya ( $\cos \phi$ ) tiap motor sebelum dan sesudah kompensasi

Pemasangan kapasitor bank terbukti meningkatkan faktor daya sistem dari 0,67 menjadi 0,95 (naik 41,79%), menurunkan arus total sistem dari 24,37 A menjadi 16,52 A (turun 32,21%), serta menurunkan estimasi rugi-rugi daya pada penghantar sebesar 54,06% — sejalan dengan hubungan kuadratik antara arus dan rugi-rugi resistif ( $P_{\text{rugi}} = I^2R$ ). Penurunan arus dan kenaikan faktor daya ini konsisten dengan prinsip kompensasi daya reaktif, di mana kapasitor bank menyuplai sebagian kebutuhan daya reaktif motor sehingga arus yang ditarik dari sumber PLN berkurang.

### Analisis Ekonomis

Estimasi biaya investasi kapasitor bank disusun berdasarkan kapasitas hasil penyesuaian nilai pasaran pada Tabel 3, dengan rincian pada Tabel 6.

**Table 6.** Estimasi Biaya Investasi Kapasitor Bank

| Komponen                               | Jumlah  | Harga Satuan (Rp) | Total (Rp) |
|----------------------------------------|---------|-------------------|------------|
| Kapasitor 35 $\mu\text{F}/250\text{V}$ | 1 unit  | 175.000           | 175.000    |
| Kapasitor 40 $\mu\text{F}/250\text{V}$ | 3 unit  | 185.000           | 555.000    |
| Kapasitor 30 $\mu\text{F}/250\text{V}$ | 1 unit  | 165.000           | 165.000    |
| Box panel, MCB, terminal & kabel       | 1 paket | 400.000           | 400.000    |
| Jasa pemasangan & pengujian            | 1 paket | 600.000           | 600.000    |

Total estimasi biaya investasi yang dibutuhkan untuk pengadaan dan pemasangan kapasitor bank pada kelima motor adalah sebesar Rp1.895.000. Objek penelitian memiliki daya tersambung 7.700 VA sehingga termasuk golongan tarif bisnis kecil B-2/TR dengan skema tarif flat Rp1.444,70/kWh tanpa komponen biaya kelebihan pemakaian kVArh; skema biaya kVArh hanya berlaku bagi pelanggan golongan B-3/TM,TT, I-3/TM, I-4/TT, dan P-2/TM berdaya di atas 200 kVA (PT PLN (Persero), 2026). Dengan demikian, pabrik ini tidak dikenakan denda faktor daya rendah oleh PLN, sehingga pemasangan kapasitor bank tidak memberikan pengurangan tagihan listrik bulanan secara langsung pada kondisi saat ini. Meskipun demikian, manfaat operasional tetap diperoleh melalui penurunan arus total 32,21% yang berpotensi menurunkan rugi-rugi daya pada kabel instalasi hingga sekitar 54%, menurunkan risiko pembebanan berlebih dan pemanasan

pada kabel/MCB, memperpanjang umur pakai peralatan, serta menambah ruang kapasitas (kVA) untuk penambahan beban di masa mendatang. Investasi ini juga bersifat antisipatif apabila skala usaha berkembang sehingga daya tersambung dinaikkan melebihi 200 kVA di kemudian hari, karena sistem kompensasi faktor daya sudah tersedia untuk menghindari potensi denda kVARh pada golongan tarif tersebut. Mengingat biaya investasi (Rp1.895.000) tergolong kecil dibandingkan manfaat teknis dan strategis yang diperoleh, pemasangan kapasitor bank pada penelitian ini dinilai layak secara kualitatif.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, pemodelan, validasi, dan simulasi perbaikan faktor daya yang telah dilakukan pada sistem kelistrikan Pabrik Kopi Bubuk UD Bintang Jaya, dapat disimpulkan bahwa: (1) hasil pengukuran lapangan menunjukkan kelima motor listrik memiliki nilai faktor daya di bawah standar minimum SPLN 70-1 sebesar 0,85, yaitu masing-masing 0,67; 0,68; 0,67; 0,70; dan 0,67, yang mengonfirmasi bahwa faktor daya rendah pada motor berbeban ringan merupakan permasalahan utama kualitas daya di pabrik tersebut; (2) model sistem kelistrikan yang dibangun pada MATLAB Simulink menggunakan blok AC Voltage Source, Series RLC Load, Power, dan Powergui terbukti valid, dengan error relatif rata-rata sebesar 2,33% terhadap data pengukuran lapangan, jauh di bawah ambang batas toleransi 5%; (3) perbaikan faktor daya melalui pemasangan kapasitor bank paralel statis dengan kapasitas total 185  $\mu\text{F}$  (2,81 kVAR) mampu meningkatkan faktor daya sistem dari 0,67 menjadi 0,95 (naik 41,79%), menurunkan arus total sebesar 32,21%, serta mengurangi estimasi rugi-rugi daya pada penghantar sebesar 54,06%; dan (4) meskipun golongan tarif objek penelitian (B-2/TR) tidak menerapkan skema biaya kelebihan pemakaian kVARh sehingga tidak memberikan penghematan tagihan listrik secara langsung, estimasi biaya investasi kapasitor bank yang relatif kecil (Rp1.895.000) tetap sebanding dengan manfaat teknis dan strategis yang diperoleh.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor bank merupakan solusi teknis dan ekonomis yang efektif berdasarkan simulasi untuk memperbaiki kualitas daya listrik pada industri kecil menengah (UKM) dengan sistem kelistrikan satu fasa, tanpa memerlukan investasi pada metode kompensasi yang lebih kompleks seperti Static VAR Compensator (SVC) atau Active Power Filter (APF). Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan implementasi dan pengujian fisik kapasitor bank di lapangan guna memverifikasi hasil simulasi, memperluas analisis pada parameter Total Harmonic Distortion (THD) dan voltage sag/swell, serta mengkaji penggunaan kapasitor bank otomatis (automatic power factor controller) untuk mengikuti fluktuasi beban produksi secara dinamis.

### REFERENSI

- Bollen, M. H. J. (2000). *Understanding power quality problems*. IEEE Press.
- Chapman, S. J. (2016). *MATLAB programming for engineers* (4th ed.). Cengage Learning.
- Davira, B., & Karim, K. (2024). Analisis kualitas daya listrik Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. 5(1), 1–12.

- Electrical power systems quality (2nd ed.). (2012). McGraw-Hill.
- Esye, Y., & Lesmana, S. (2021). Analisa perbaikan faktor daya sistem kelistrikan. *Sains dan Teknologi*, 11(1).
- IEEE. (2019). IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE.
- IEEE Power and Energy Society. (2014). IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems (Vol. 2014).
- IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. (2017). (Vol. 2017).
- Krause, P. C., Wasynczuk, O., & Sudhoff, S. D. (2013). Analysis of electric machinery and drive systems. Wiley-IEEE Press.
- Kualitas, S., Listrik, D., & Quality, P. (2025). Studi kualitas daya listrik (power quality) di bangunan gedung xyz. 13(2).
- Meyyasa, I. P., Hartati, R. S., & Manuaba, I. B. G. (2019). Analisa kualitas daya listrik instalasi Wing Amerta RSUP Sanglah Denpasar. 18(2).
- Ogata, K. (2010). Modern control engineering (5th ed.). Prentice Hall.
- PT PLN (Persero). (2026). Penetapan penyesuaian tarif tenaga listrik (tariff adjustment) bulan Juli–September 2026. PT PLN (Persero).
- Rizal, M. H. (2015). Kualitas daya listrik industri.
- Saputra, A. U., et al. (1985). Analisa perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank pada Penyulang Suruk PT PLN (Persero) ULP Putussibau. (Vol. 0).
- Satriawan, F. (2022). Studi kualitas daya listrik di Gedung Pasca Sarjana Universitas PGRI Semarang. 1(2), 25–31.
- Shalahuddin, Y., & Yahya, M. (n.d.). Model simulasi praktikum pengukuran power faktor berbasis Matlab/Simulink. 1(2), 149–156.
- Yudha, H. M., Daya, I. K., Dip, T., & Sag, T. (2017). Kualitas daya listrik pengaruh dan penanganannya. 5, 2681–2682.