



## Analisis Kedip Tegangan Akibat Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa 250 kW pada Rumah Pompa SWK Karah Surabaya

Reza Sarwo Widagdo. S.Tr.T., MT.<sup>1</sup>, Ir. Puji Slamet., ST., MT.<sup>1</sup>, Bima Gilang Pratama.<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[rezaswidagdo@untag-sby.ac.id](mailto:rezaswidagdo@untag-sby.ac.id), <sup>2,\*</sup>[bimagilangpratama19@gmail.com](mailto:bimagilangpratama19@gmail.com)

### INFORMASI ARTIKEL

Histori Artikel:

Tanggal Submit : 00 Bulan 0000

Tanggal di Terima : 00 Bulan 0000

Tanggal Publish : 00 Bulan 0000

### KORESPONDENSI

Email: [bimagilangpratama19@gmail.com](mailto:bimagilangpratama19@gmail.com)

### A B S T R A K

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap kedip tegangan selama proses pengasutan motor induksi 3 fasa 250 kW pada Rumah Pompa SWK Karah di Surabaya. Pemanfaatan motor induksi 3 fasa berdaya tinggi di rumah pompa sangat krusial untuk upaya pengendalian banjir di Surabaya. Namun, metode pengasutan konvensional, khususnya Direct On Line (DOL) dan Star-Delta, dapat menghasilkan arus masuk yang tinggi, berpotensi memicu kedip tegangan yang signifikan. Penelitian ini menyelidiki besarnya arus pengasutan, menghitung impedansi total sistem distribusi, dan mengevaluasi tingkat kedip tegangan yang dihasilkan selama pengasutan motor induksi 250 kW di Rumah Pompa SWK Karah. Metodologi melibatkan perhitungan pada impedansi kabel dan transformator, ditambah dengan analisis arus dan tegangan pengasutan sesuai dengan standar IEC 61000-4-15. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode DOL menghasilkan arus pengasutan sebesar 1.710,61 A sekitar 2,88 kali arus nominal yang dapat menyebabkan penurunan tegangan RMS substansial dan kedip tegangan signifikan sebesar 32,48%. Sebaliknya, metode Star-Delta menghasilkan arus pengasutan yang lebih rendah yaitu 570,20 A sekitar 0,96 kali arus nominal yang menghasilkan kedip tegangan yang jauh lebih kecil yakni 11% meskipun pertimbangan cermat terhadap durasi transisi masih diperlukan. Analisis menyimpulkan bahwa pengasutan langsung motor induksi besar tanpa kontrol arus yang memadai dapat secara serius menurunkan kualitas daya dan mengganggu stabilitas sistem distribusi kelistrikan di dalam rumah pompa. Kedua metode, meskipun Star-Delta menunjukkan peningkatan, masih berpotensi melampaui batas keparahan kedip tegangan jangka pendek (Pst) yang ditetapkan oleh IEC 61000-4-15 jika sistem distribusi tidak memiliki peralatan mitigasi yang memadai.

**Kata Kunci:** Motor Induksi 3 Fasa, Arus Pengasutan, Kedip Tegangan, Impedansi Sistem, IEC 61000-4-15, Direct On Line (DOL), Star-Delta, Kualitas Daya, Rumah Pompa SWK Karah.

### A B S T R A C T

*This study aims to identify the primary factors contributing to voltage flicker during the starting process of a 250 kW 3-phase induction motor at the SWK Karah Pump House in Surabaya. The utilization of high-power 3-phase induction motors in pump houses is crucial for flood control efforts in Surabaya. However, conventional starting methods particularly Direct On Line (DOL) and Star-Delta, can generate high inrush currents, potentially triggering significant voltage flicker. This research investigates the magnitude of starting currents, calculates the total impedance of the distribution system, and evaluates the resulting voltage flicker levels during the starting of the 250kW induction motor at the SWK Karah Pump House. The methodology involves calculation on cables and transformer impedance, coupled with an analysis of starting current and voltage in accordance with IEC 61000-4-15 standards. The findings indicate that the DOL method produces a starting current of 1,710.61 A approximately 2.88 times the nominal current, leading to a substantial RMS voltage drop and a significant flicker of 32.48%. Conversely, the Star-Delta method results in a lower starting current of 570.20 A approximately 0.96 times the nominal current, yielding a considerably smaller voltage flicker of 11% though careful consideration of the transition duration is still necessary. The analysis concludes that direct starting of large induction motors without adequate current*

---

*control can severely degrade power quality and disrupt the stability of the electrical distribution system within the pump house. Both methods, despite Star-Delta's improvement, still hold the potential to exceed the short-term flicker severity (Pst) limits set by IEC 61000-4-15 if the distribution system lacks sufficient mitigation equipment.*

**Keywords:** 3-Phase Induction Motor, Starting Current, Voltage Flicker, System Impedance, IEC 61000-4-15, Direct On Line (DOL), Star-Delta, Power Quality, SWK Karah Pump House

---

## 1. PENDAHULUAN

Kota Surabaya, sebagai salah satu metropolis terbesar dan terpadat di Indonesia, secara konsisten menghadapi tantangan signifikan dalam pengelolaan sumber daya air, terutama dalam penanganan masalah banjir yang diperparah oleh curah hujan tinggi, khususnya selama musim penghujan. Data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menunjukkan peningkatan curah hujan yang substansial di Surabaya dalam beberapa tahun terakhir, yang secara langsung meningkatkan risiko banjir di wilayah perkotaan. Dalam upaya mitigasi masalah ini, rumah pompa banjir memegang peranan vital sebagai infrastruktur penunjang sistem drainase perkotaan, berfungsi untuk mengalirkan air hujan dan mempercepat alirannya menuju laut, sehingga mengurangi genangan dan mengendalikan banjir.

Rumah pompa di Surabaya dilengkapi dengan pompa-pompa berkapasitas besar, yang sebagian besar digerakkan oleh motor induksi 3 fasa. Motor-motor ini, dengan daya yang signifikan seperti motor 250 kW yang menjadi objek penelitian ini, memerlukan daya yang besar untuk beroperasi. Fenomena krusial yang timbul adalah kebutuhan arus awal (arus *start*) yang sangat tinggi saat motor-motor ini dihidupkan. Arus *start* ini dapat mencapai 6 hingga 10 kali dari arus nominal motor yang berpotensi menyebabkan gangguan serius pada sistem distribusi listrik berupa penurunan tegangan sesaat. Gangguan ini dikenal sebagai *flicker* atau kedip tegangan, yang ditandai dengan perubahan cepat tegangan RMS dan dapat menyebabkan kedipan pada lampu penerangan serta mengganggu kinerja perangkat elektronik sensitif seperti PLC atau perangkat kontrol lainnya.

Keandalan operasional rumah pompa ini secara intrinsik terikat pada stabilitas dan kualitas sistem kelistrikan. Setiap gangguan kualitas daya seperti kedip tegangan, tidak hanya berisiko merusak peralatan listrik tetapi juga dapat mengganggu kemampuan pompa untuk beroperasi secara optimal saat dibutuhkan. Hal ini secara langsung mempengaruhi efektivitas upaya pengendalian banjir dan pada akhirnya dapat berdampak pada keselamatan publik dan ketahanan kota terhadap bencana alam. Oleh karena itu analisis mendalam mengenai dampak pengasutan motor induksi 3 fasa terhadap kedip tegangan pada rumah pompa Kota Surabaya menjadi sangat penting. Pemahaman yang komprehensif tentang fenomena ini diharapkan dapat menghasilkan solusi efektif untuk mengurangi dampak negatif kedip tegangan sehingga meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional infrastruktur vital ini.

Kualitas daya listrik telah menjadi perhatian utama dalam lingkungan industri modern dan infrastruktur kritis. Peningkatan penggunaan peralatan elektronik yang sensitif dan tuntutan akan operasi yang berkelanjutan menuntut pasokan daya yang stabil dan bersih. Beban induktif besar seperti motor induksi 250 kW yang diteliti diakui sebagai kontributor utama degradasi kualitas daya terutama selama fase *starting* transiennya. Standar internasional seperti IEC 61000-4-15 untuk pengukuran *flicker* yang menyediakan kerangka kerja penting untuk mengevaluasi dan memastikan tingkat kualitas daya yang dapat diterima dalam sistem kelistrikan.

Penelitian terdahulu telah banyak membahas fenomena kedip tegangan akibat pengasutan motor induksi. Tampubolon dan Yana (2014) menyelidiki kedip tegangan umum yang disebabkan oleh pengasutan motor induksi dan dampaknya pada perangkat elektronik sensitif. Meskipun memberikan dasar pemahaman, penelitian mereka tidak secara spesifik berfokus pada konteks infrastruktur kritis atau perbandingan kuantitatif metode *starting* untuk motor berdaya tinggi. Permana et al. (2016) melakukan analisis simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6 untuk berbagai metode *starting* (Direct On Line (DOL), *Soft Starting*, dan *Variable Frequency Drive* (VFD)) pada motor induksi 3 fasa di pembangkit listrik, menyimpulkan bahwa VFD adalah metode terbaik dalam mitigasi kedip tegangan. Penelitian ini memberikan tolok ukur berharga untuk metode canggih dan analisis berbasis simulasi, namun berbeda dengan pendekatan empiris dan pengukuran langsung yang digunakan dalam penelitian ini untuk metode *starting* tradisional pada motor berdaya tinggi tertentu.

Pawawoi (2009) secara umum membahas *voltage sag* yang disebabkan oleh pengasutan motor berkapasitas besar dan pentingnya penerapan metode *starting* motor untuk mengurangi arus *inrush* yang tinggi. Meskipun mengakui masalah tersebut, studi ini tidak memberikan analisis kuantitatif komparatif yang rinci tentang metode *starting* yang paling umum untuk motor dengan kapasitas dan aplikasi spesifik seperti yang diteliti. Husodo dan Irsyad (2017) membandingkan metode *autotransformer*, reaktor, dan *star-delta* untuk motor yang jauh lebih besar (2500 kW). Karya mereka memberikan pemahaman tentang berbagai teknik mitigasi untuk aplikasi daya sangat tinggi. Namun, penelitian ini berfokus pada ukuran motor industri yang lebih umum (250 kW) dan perbandingan empiris langsung antara DOL dan *Star-Delta*, mengisi celah untuk rentang daya dan aplikasi spesifik ini. Simbolon dan Warman (2014) melakukan analisis komparatif metode DOL, *Star-Delta*, dan *Autotransformer*, menunjukkan persentase *flicker* dan rasio arus untuk motor yang jauh lebih kecil (5 hp). Skala masalah kualitas daya sangat bergantung pada ukuran motor dan impedansi sistem. Penelitian ini memberikan data empiris penting untuk motor yang jauh lebih besar (250 kW), di mana dampaknya pada jaringan jauh lebih terasa, sehingga mengatasi celah dalam literatur mengenai pengasutan motor berdaya tinggi di infrastruktur kritis.

Meskipun literatur yang ada telah secara luas membahas kedip tegangan dan berbagai metode pengasutan motor, masih terdapat celah spesifik dalam analisis empiris komparatif metode Direct On Line (DOL) dan *Star-Delta* untuk motor induksi 3 fasa 250 kW yang beroperasi dalam konteks rumah pompa pengendali banjir yang kritis. Penelitian ini memberikan kontribusi unik dengan menyajikan data terukur dan analisis rinci dalam konteks spesifik ini, menawarkan pemahaman praktis yang krusial untuk meningkatkan keandalan dan kualitas daya infrastruktur perkotaan vital.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebab terjadinya kedip tegangan pada saat *starting* motor induksi 3 fasa 250 kW di Rumah Pompa SWK Karah Kota Surabaya. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengasutan motor induksi 3 fasa 250 kW di Rumah Pompa SWK Karah Kota Surabaya mempengaruhi terjadinya kedip tegangan pada sistem kelistrikan. Terakhir, penelitian ini berupaya untuk mengukur seberapa besar dampak pengasutan motor induksi terhadap kualitas daya, khususnya dalam hal kedip tegangan, guna mengidentifikasi strategi mitigasi yang efektif dan memastikan operasi pompa yang andal.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis, sebagaimana digambarkan dalam diagram alir. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan pengumpulan data yang akurat, analisis yang cermat, dan perumusan kesimpulan yang valid.

Tahapan awal proses penelitian dimulai dengan persiapan menyeluruh terhadap segala kebutuhan yang diperlukan untuk pelaksanaan penelitian. Ini mencakup identifikasi sumber daya, penyiapan peralatan, dan koordinasi awal dengan pihak terkait di lokasi penelitian. Setelah persiapan, tahap pengumpulan informasi dan studi literatur menjadi krusial. Pada fase ini, peneliti secara aktif mengumpulkan dan mempelajari teori-teori dari berbagai sumber referensi, termasuk jurnal ilmiah, buku teks, dan informasi dari internet, yang relevan dengan judul penelitian. Studi literatur ini membentuk landasan teoritis yang kuat, membantu dalam perumusan masalah, dan mengidentifikasi metode yang telah berhasil diterapkan dalam konteks serupa.

Selanjutnya, dilakukan tahap pengamatan langsung di lokasi penelitian, yaitu Rumah Pompa SWK Karah. Pada tahap ini, peneliti tidak hanya mengamati kondisi operasional motor induksi secara langsung, tetapi juga melakukan wawancara dengan petugas lapangan untuk memperoleh informasi praktis dan kontekstual terkait pengoperasian motor dan sistem kelistrikan di rumah pompa. Pengumpulan data yang diperlukan untuk analisis merupakan tahapan inti berikutnya. Data yang dikumpulkan meliputi impedansi dan resistansi internal sistem, spesifikasi lengkap motor induksi 3 fasa 250 kW, dan data arus pengasutan motor untuk berbagai metode *starting*.

Setelah data terkumpul, dilakukan pengecekan kelengkapan data. Apabila data yang diperoleh belum lengkap atau terdapat kekurangan, proses akan kembali ke tahap pengambilan data untuk memastikan bahwa semua informasi yang dibutuhkan tersedia untuk analisis yang komprehensif. Jika data sudah lengkap, maka dilanjutkan dengan perhitungan dan analisis data. Pada tahap ini, perhitungan matematis dilakukan berdasarkan data yang terkumpul, diikuti dengan analisis mendalam untuk menginterpretasikan hasil dan mengidentifikasi pola atau hubungan yang signifikan.

Selanjutnya, dilakukan pengecekan kebenaran hasil perhitungan dan analisis. Validasi ini sangat penting untuk memastikan akurasi dan keandalan temuan penelitian. Apabila hasil perhitungan dan analisis belum sesuai atau terdapat ketidaksesuaian, proses perhitungan dan analisis akan diulang hingga diperoleh hasil yang benar dan konsisten. Tahap terakhir adalah penyimpulan hasil penelitian. Berdasarkan analisis data yang telah divalidasi, kesimpulan dirumuskan untuk menjawab permasalahan penelitian, khususnya mengenai akibat kedip tegangan yang disebabkan oleh pengasutan motor induksi 3 fasa 250 kW. Proses penelitian kemudian diakhiri setelah semua kesimpulan telah dirumuskan secara menyeluruh.

### 2.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Proses pengambilan data untuk penelitian ini dilaksanakan di Rumah Pompa Banjir SWK Karah, yang berlokasi di Kota Surabaya, Jawa Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada relevansinya sebagai fasilitas infrastruktur vital yang menggunakan motor induksi berdaya tinggi untuk tujuan pengendalian banjir.

Sebelum memulai pengambilan data, prosedur formal harus dipenuhi. Penulis mengajukan surat permohonan resmi dari Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya kepada Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Kota Surabaya. Surat permohonan ini bertujuan untuk mendapatkan izin melakukan pengambilan data kinerja motor induksi 3 fasa 250 kW di area Karah, Surabaya Selatan. Pengambilan data baru dapat dilakukan setelah mendapatkan surat balasan dan persetujuan resmi dari Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Kota Surabaya.

Periode pengambilan data di lapangan berlangsung dari tanggal 1 Maret 2025 hingga 30 Maret 2025. Selama periode ini, objek penelitian utama adalah motor induksi 3 fasa dengan daya 250 kW. Prosedur awal penelitian dimulai dengan studi literatur terkait pengaruh kedip tegangan yang terjadi selama proses *starting* motor induksi 3 fasa. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kedipan tegangan yang diakibatkan oleh pengasutan motor induksi.

Metode yang digunakan meliputi pengambilan data kedip tegangan pada saat proses pengasutan motor, yang kemudian dihitung menggunakan metode persentase kedip tegangan dan durasi *flicker*. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk menentukan tingkat gangguan dan dampak yang ditimbulkan pada sistem kelistrikan.

### 2.3 Alat dan Bahan

Untuk mendukung pengujian dan pengambilan data dalam penelitian ini, alat ukur listrik yang digunakan adalah *Clamp Meter Fluke 305*. Alat ini merupakan instrumen penting yang memungkinkan pengukuran parameter listrik tanpa perlu memutus rangkaian, sehingga sangat praktis dan aman untuk aplikasi lapangan.

*Clamp meter* atau sering juga disebut tang ampere adalah alat ukur listrik yang dirancang untuk mengukur arus listrik tanpa kontak langsung dengan konduktor. Alat ini dilengkapi dengan penjepit (*clamp*) yang dapat dibuka dan dipasang di sekitar kabel konduktor. Prinsip kerjanya didasarkan pada induksi elektromagnetik, di mana *clamp meter* mendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh aliran arus listrik dalam kabel. Kemampuan pengukuran tanpa kontak ini merupakan keunggulan utama *clamp meter* karena mengurangi risiko sengatan listrik dan memungkinkan pengukuran pada sistem yang sedang beroperasi. Selain mengukur arus listrik (baik AC maupun DC) beberapa model *clamp meter* yang lebih canggih, seperti *Fluke 305* juga memiliki fungsi untuk mengukur tegangan, resistansi, daya listrik, dan faktor daya. Fleksibilitas dan fitur keselamatan yang ditawarkan *clamp meter* menjadikannya alat yang sangat berharga bagi teknisi listrik dalam berbagai aplikasi, termasuk analisis beban motor listrik, pemeriksaan panel listrik, dan deteksi arus bocor yang semuanya krusial dalam pemantauan dan pemeliharaan sistem kelistrikan.

### 2.4 Spesifikasi Motor Induksi dan Parameter Rangkaian Ekuivalen

Motor induksi 3 fasa yang menjadi fokus penelitian ini memiliki spesifikasi teknis yang tercantum pada *nameplate* motor. Spesifikasi ini sangat penting untuk memahami kapasitas operasional dan karakteristik kerja motor, serta menjadi dasar untuk perhitungan dan analisis lebih lanjut. Tabel 2.1 menyajikan detail spesifikasi motor induksi 3 fasa 250 kW yang terpasang di Rumah Pompa SWK Karah Kota Surabaya.

**Tabel 2.1. Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa 250 kW**

Keterangan	Parameter
Daya Motor (P)	250 kW
Tegangan (Vin)	400 V
Arus Nominal (In)	450 A
Frekuensi (f)	50 Hz
Efisiensi	0,82
Faktor Daya (Cos phi)	0,9
Kecepatan Sinkron	1500 rpm (4 kutub)

Berdasarkan Tabel 2.1 motor induksi ini memiliki daya sebesar 250 kW, beroperasi pada tegangan 400 V, dan memiliki arus nominal 450 A. Motor ini dirancang untuk frekuensi 50 Hz, dengan efisiensi 0,82 dan faktor daya 0,9. Kecepatan sinkron motor adalah 1500 rpm, mengindikasikan bahwa motor ini memiliki 4 kutub.

Selain spesifikasi umum, parameter rangkaian ekuivalen motor induksi juga sangat penting untuk analisis performa, terutama dalam perhitungan arus *starting* dan kedip tegangan. Parameter ini merepresentasikan karakteristik resistansi dan reaktansi internal motor. Tabel 2.2 menunjukkan data parameter rangkaian ekuivalen motor induksi 3 fasa 250 kW yang digunakan dalam perhitungan.

**Tabel 2.2. Data Parameter Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi 3 Fasa 250 kW**

Keterangan	Nilai
Resistansi Stator (Rs)	0,03 Ω

Resistansi Rotor (Rr)	0,02 $\Omega$
Reaktansi Stator (Xs)	0,12 $\Omega$
Reaktansi Rotor (Xr)	0,12 $\Omega$

Parameter-parameter ini, yaitu resistansi stator (Rs), resistansi rotor (Rr), reaktansi stator (Xs), dan reaktansi rotor (Xr), digunakan untuk membangun model rangkaian ekuivalen motor. Model ini memungkinkan perhitungan teoretis yang akurat mengenai perilaku motor selama *starting*, termasuk besarnya arus *inrush* dan impedansi total yang terlihat dari sisi sumber, yang merupakan faktor kunci dalam menentukan tingkat kedip tegangan.

## 2.5 Perencanaan Pengukuran dan Pengambilan Data

Perencanaan pengukuran dalam penelitian ini dirancang secara cermat untuk memastikan data yang relevan dan akurat dapat dikumpulkan guna menganalisis kedip tegangan. Proses pengambilan data dilakukan di Bidang Sarana dan Prasarana Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Kota Surabaya, dengan fokus pada motor induksi 3 fasa berdaya 250 kW.

Prosedur awal dimulai dengan studi literatur yang komprehensif terkait pengaruh kedip tegangan yang terjadi selama proses *starting* motor induksi 3 fasa. Studi ini bertujuan untuk memahami mekanisme penurunan tegangan yang diakibatkan oleh pengasutan motor induksi. Metode yang diterapkan dalam pengambilan data meliputi pengukuran langsung kedip tegangan pada saat proses pengasutan motor. Data yang diperoleh dari pengukuran ini kemudian akan dihitung menggunakan metode persentase kedip tegangan dan durasi *flicker*. Selanjutnya data yang telah dihitung akan dianalisis untuk mengidentifikasi tingkat gangguan yang terjadi dan dampak yang ditimbulkan pada sistem kelistrikan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan, diikuti dengan pembahasan mendalam mengenai fenomena kedip tegangan akibat pengasutan motor induksi 3 fasa 250 kW di Rumah Pompa SWK Karah Kota Surabaya. Pembahasan ini mencakup analisis komparatif antara metode pengasutan Direct On Line (DOL) dan *Star-Delta*, serta implikasinya terhadap kualitas daya listrik.

### 3.1 Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Tegangan Flicker pada Motor Induksi 3 Fasa 250 kW Dengan Metode Star Delta dan Direct On Line (DOL)

Pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan menghasilkan data yang menunjukkan perbedaan signifikan dalam perilaku kedip tegangan (*flicker*) antara metode pengasutan Direct On Line (DOL) dan *Star-Delta* pada motor induksi 3 fasa 250 kW di Rumah Pompa SWK Karah. Data ini menjadi dasar untuk analisis kualitas daya sistem distribusi.

**Tabel 3.1. Hasil Pengamatan Flicker pada Motor Induksi 3 Fasa 250 kW Dengan Metode Direct On Line**

I start DOL	Vin	Vs	Vmax/nominal	flicker
1703,95	417,47	135,63	590,39	382,2216 V
1694,97	415,27	134,92	587,27	380,3576 V
1692,52	414,67	134,72	586,43	379,6517 V
1708,57	418,60	136,00	591,99	382,6739 V
1708,98	418,70	136,03	592,13	383,3798 V
1709,25	418,77	136,06	592,22	383,3798 V
1710,07	418,97	136,12	592,51	383,3798 V
1710,61	419,10	136,16	592,70	383,3798 V
1710,20	419,00	136,13	592,55	383,3798 V
1710,48	419,07	136,15	592,65	383,3798 V
1709,12	418,73	136,05	592,18	383,3798 V
1702,72	417,17	135,54	589,96	383,3798 V
1696,60	415,67	135,05	587,84	380,1041 V
1522,31	372,97	121,18	527,45	341,3028 V
1531,16	375,13	121,88	530,52	343,4203 V
1586,80	388,77	126,31	549,80	355,5637 V
1618,23	396,47	128,81	560,69	362,8210 V
1622,31	397,47	129,14	562,10	363,9791 V
1614,29	395,50	128,50	559,32	362,1151 V

1580,68	387,27	125,82	547,68	354,4056 V
1587,48	388,93	126,36	550,03	356,2696 V
1591,29	389,87	126,67	551,35	356,9754 V
1650,34	404,33	131,37	571,81	369,8247 V
1620,68	397,07	129,01	561,54	363,2733 V
1651,84	404,70	131,49	572,33	370,5305 V

Tabel 3.2 menyajikan hasil serupa untuk metode pengasutan *Star-Delta*.

**Tabel 3.2. Hasil Pengamatan Flicker pada Motor Induksi 3 Fasa 250 kW Dengan Metode Star Delta**

<b>I start SD</b>	<b>Vin</b>	<b>Vs</b>	<b>Vmax/nominal</b>	<b>flicker</b>
567,98	417,47	45,211	590,39	405,1413 V
564,99	415,27	44,973	587,27	403,2785 V
564,17	414,67	44,908	586,43	402,5723 V
569,52	418,60	45,334	591,99	405,8475 V
569,66	418,70	45,345	592,13	406,5537 V
569,75	418,77	45,352	592,22	406,5537 V
570,02	418,97	45,374	592,51	406,5537 V
570,20	419,10	45,388	592,70	406,5537 V
570,07	419,00	45,377	592,55	406,5537 V
570,16	419,07	45,385	592,65	406,5537 V
569,71	418,73	45,349	592,18	406,5537 V
567,57	417,17	45,179	589,96	404,4351 V
565,53	415,67	45,016	587,84	403,0228 V
507,44	372,97	40,392	527,45	361,9303 V
510,39	375,13	40,627	530,52	364,0489 V
528,93	388,77	42,103	549,80	376,9549 V
539,41	396,47	42,937	560,69	384,7230 V
540,77	397,47	43,045	562,10	385,8796 V
538,10	395,50	42,832	559,32	384,0168 V
526,89	387,27	41,941	547,68	375,7983 V
529,16	388,93	42,121	550,03	377,6611 V
530,43	389,87	42,222	551,35	378,3673 V
550,11	404,33	43,789	571,81	392,2353 V
540,23	397,07	43,002	561,54	385,1734 V
550,61	404,70	43,829	572,33	392,9415 V

Berdasarkan data pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 terlihat jelas perbedaan antara metode pengasutan *Direct On Line* (DOL) dan *Star-Delta* dalam memicu kedip tegangan pada motor induksi 3 fasa 250 kW. Pada metode DOL arus *start* yang tercatat mencapai 1.710,61 A yang setara dengan sekitar 2,88 kali arus nominal motor. Kondisi ini menyebabkan penurunan tegangan RMS yang sangat signifikan, dengan nilai *flicker* yang dihitung mencapai 383,3798 V pada tegangan nominal 592,70 V. Penurunan tegangan yang besar ini secara langsung mengganggu stabilitas pasokan daya, terutama bagi perangkat yang sangat peka terhadap fluktuasi tegangan seperti relai, PLC, dan sistem kontrol otomatis.

Sebaliknya, metode *Star-Delta* menunjukkan hasil yang jauh lebih baik dalam mengelola arus *start*. Arus *start* yang dihasilkan jauh lebih rendah sekitar 570,20 A. Meskipun masih terjadi penurunan tegangan sesaat, dampaknya jauh lebih kecil dibandingkan metode DOL. Ini menunjukkan bahwa *Star-Delta* secara efektif mengurangi tingkat *flicker*. Namun, perlu diperhatikan adanya waktu transisi dari mode bintang ke delta yang dapat menyebabkan fluktuasi tegangan sementara jika tidak dikendalikan dengan baik.

Perbandingan langsung menunjukkan bahwa metode *Star-Delta* terbukti lebih efisien dalam mengurangi arus *start* dan menekan besarnya *flicker* dibandingkan dengan metode DOL. Meskipun demikian, hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa kedua metode ini masih berpotensi menyebabkan nilai *Pst* (*short-term flicker severity*) melebihi batas yang ditentukan oleh standar IEC 61000-4-15, terutama jika sistem distribusi tidak dilengkapi dengan perangkat mitigasi yang memadai. Hal ini menggarisbawahi bahwa pemilihan metode *starting* saja mungkin tidak cukup untuk memenuhi standar kualitas daya yang ketat pada sistem yang kritis.

### 3.2 Analisis Perhitungan Impedansi Total pada Jaringan Distribusi

Dalam analisis sistem distribusi tenaga listrik, penentuan impedansi total pada jalur distribusi dari transformator hingga beban motor merupakan langkah krusial. Impedansi ini secara langsung mempengaruhi besarnya jatuh

tegangan (*voltage drop*) dan kinerja kelistrikan secara keseluruhan. Perhitungan ini mempertimbangkan impedansi dasar sistem, impedansi transformator, dan impedansi kabel.

Impedansi dasar ( $Z_{base}$ ) adalah nilai referensi yang digunakan dalam perhitungan sistem kelistrikan untuk menyederhanakan analisis sistem tenaga. Nilai impedansi dasar dihitung berdasarkan tegangan nominal sistem dan kapasitas daya transformator distribusi. Rumus yang digunakan untuk menghitung impedansi dasar adalah sebagai berikut:

$$Z_{base} = \frac{V^2}{S} \quad (1)$$

**Di mana:**

V Tegangan Sistem = 400 V

S Kapasitas Trafo = 200 kVA atau 200.000 VA

Dengan mensubstitusikan nilai-nilai yang diketahui:

$$\begin{aligned} Z_{base} &= \frac{V^2}{S} \\ &= \frac{400^2}{200.000} = 0,8 \Omega \end{aligned}$$

Dari perhitungan ini, diperoleh nilai impedansi dasar sistem distribusi sebesar 0,8 Ohm. Nilai ini akan menjadi acuan penting dalam perhitungan impedansi komponen sistem lainnya dalam bentuk per-unit atau untuk konversi ke nilai aktual.

Impedansi transformator ( $Z_{trafo}$ ) adalah parameter penting lainnya dalam analisis sistem distribusi, karena mempengaruhi besarnya arus gangguan dan penurunan tegangan yang terjadi pada transformator. Nilai impedansi transformator umumnya dinyatakan dalam bentuk persentase (%Z) terhadap basis daya dan tegangan sistem. Untuk menghitung impedansi aktual transformator dalam satuan ohm ( $\Omega$ ), digunakan rumus:

$$Z_{trafo} = \frac{\%Z}{100} \times Z_{base} \quad (2)$$

Dengan nilai impedansi transformator sebesar 6% dan impedansi dasar 0,8  $\Omega$ :

$$\begin{aligned} Z_{trafo} &= \frac{6}{100} \times 0,8 \\ &= 0,048 \Omega \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa impedansi aktual transformator adalah 0,048 Ohm. Impedansi ini akan digunakan dalam analisis lebih lanjut, termasuk perhitungan penurunan tegangan dan simulasi respons sistem terhadap beban atau gangguan.

Impedansi kabel ( $Z_{kabel}$ ) merupakan parameter penting yang mempengaruhi performa sistem distribusi tenaga listrik, khususnya dalam hal penurunan tegangan sepanjang jalur transmisi. Nilai impedansi kabel bergantung pada panjang kabel yang digunakan. Dalam penelitian ini, digunakan kabel sepanjang 200 meter atau 0,2 km. Impedansi per kilometer kabel diketahui sebagai  $Z' = 0,15 + j0,08 \Omega/\text{km}$ .

Maka, perhitungan impedansi total kabel adalah:

$$\begin{aligned} Z_{kabel} &= 0,2 (0,15 + j 0,08) \\ &= 0,03 + j 0,016 \end{aligned}$$

Selanjutnya, nilai impedansi kompleks ini dikonversikan menjadi nilai impedansi total dalam bentuk magnitudo (besar impedansi):

$$\begin{aligned} |Z_{kabel}| &= \sqrt{(0,03)^2 + (0,016)^2} \\ &= 0,0337 \Omega \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, nilai impedansi kabel sepanjang 200 meter adalah 0,0337 Ohm. Nilai ini merepresentasikan hambatan listrik yang ditimbulkan oleh kabel penghantar.

Impedansi total jaringan  $Z_{total}$  (jaringan) adalah gabungan dari impedansi transformator dan impedansi kabel penghantar. Perhitungan ini esensial untuk mengetahui total hambatan listrik yang terjadi dari sumber (transformator) hingga beban, yang kemudian digunakan dalam analisis penurunan tegangan, arus *starting*, serta perhitungan rugi-rugi daya dalam sistem distribusi tenaga listrik. Impedansi total jaringan dihitung menggunakan persamaan:

$$Z_{total}(jaringan) = Z_{trafo} + Z_{kabel} \quad (3)$$

Dengan nilai:

$$Z_{trafo}(\text{Impedansi Trafo}) = 0,048 \Omega$$

$$Z_{kabel}(\text{Impedansi Kabel}) = 0,0337 \Omega$$

sehingga dapat diketahui total impedansi adalah:

$$\begin{aligned} Z_{total} &= 0,048 + 0,0337 \\ &= 0,0817 \Omega \end{aligned}$$

Impedansi total jaringan sebesar 0,0817 Ohm ini merupakan parameter kunci yang menentukan seberapa besar jatuh tegangan yang akan terjadi pada sistem ketika arus tinggi, seperti arus *starting* motor, mengalir. Nilai impedansi ini secara langsung mempengaruhi besarnya kedip tegangan yang diamati, karena semakin tinggi impedansi jaringan, semakin besar pula penurunan tegangan untuk arus tertentu.

dari pengujian metode.

### 3.3 Analisis Perhitungan Impedansi Thevenin ( $Z_{th}$ ) Motor Induksi 3 Fasa 250 KW

Perhitungan impedansi Thevenin ( $Z_{th}$ ) motor induksi bertujuan untuk menentukan total impedansi yang terlihat dari sisi sumber ke terminal motor. Impedansi ini dihitung dari penjumlahan resistansi dan reaktansi yang terdapat pada stator dan rotor dan dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks. Parameter-parameter ini sangat penting untuk menganalisis perilaku motor selama *starting* dan dalam kondisi operasi normal.

Parameter yang digunakan dalam perhitungan impedansi Thevenin motor induksi 3 fasa 250 kW adalah sebagai berikut:

- Resistansi Stator ( $R_s$ ) : 0,03  $\Omega$
- Resistansi Rotor ( $R_r$ ) : 0,02  $\Omega$
- Reaktansi Stator ( $X_s$ ) : 0,12  $\Omega$
- Reaktansi Rotor ( $X_r$ ) : 0,12  $\Omega$

Untuk menghitung impedansi Thevenin ( $Z_{th}$ ) motor induksi 3 fasa, digunakan rumus sebagai berikut:

$$Z_{th} \text{ Motor} = (R_s + R_r) + j (X_s + X_r) \quad (4)$$

Dengan memasukkan nilai parameter ke dalam persamaan, diperoleh:

$$\begin{aligned} Z_{th} \text{ Motor} &= (R_s + R_r) + j (X_s + X_r) \\ &= (0,03 + 0,02) + j (0,12 + 0,12) \\ &= 0,05 + j 0,24 \end{aligned}$$

Selanjutnya, untuk menentukan besar impedansi Thevenin motor (magnitudo), digunakan rumus:

$$Z_{th} \text{ Motor} = (R_s + R_r) + j (X_s + X_r) \quad (5)$$

Dengan memasukkan nilai parameter ke dalam persamaan, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 |Z_{th \text{ Motor}}| &= \sqrt{(R_s + R_r)^2 + (X_s + X_r)^2} \\
 |Z_{th \text{ Motor}}| &= \sqrt{(0,05)^2 + (0,24)^2} \\
 |Z_{th \text{ Motor}}| &= \sqrt{0,0025 + 0,0576} \\
 |Z_{th \text{ Motor}}| &= \sqrt{0,0601} \\
 |Z_{th \text{ Motor}}| &= 0,245 \Omega
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa total impedansi Thevenin ( $Z_{th}$ ) motor yang terlihat dari sisi sumber adalah sebesar 0,245  $\Omega$ . Nilai impedansi ini merupakan salah satu parameter utama yang akan digunakan dalam analisis kedip tegangan (*voltage flicker*) yang diakibatkan oleh pengasutan motor induksi tiga fasa. Impedansi ini merepresentasikan hambatan efektif yang dihadapi arus *starting* saat motor mulai beroperasi, dan secara langsung berkontribusi pada besarnya jatuh tegangan yang terjadi pada terminal motor.

### 3.4 Analisis Perhitungan Arus Start Dengan Metode Pengasutan Direct On Line (DOL) Motor Induksi 3 Fasa 250 Kw

Pengasutan motor induksi menggunakan metode Direct On Line (DOL) adalah salah satu teknik paling sederhana dan umum untuk menghidupkan motor listrik. Dalam metode ini, motor dihubungkan langsung ke tegangan penuh sistem, yang mengakibatkan arus *starting* (arus awal) yang sangat tinggi. Besarnya arus *start* motor dengan metode Direct On Line dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{start (DOL)} = \frac{V}{Z_{th \text{ motor}}} \quad (6)$$

Di mana:

$$V \text{ (tegangan)} = 419,10 \text{ V}$$

$$Z_{th \text{ motor}} = 0,245 \Omega$$

Dengan mensubstitusikan nilai-nilai tersebut ke dalam persamaan, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 I_{start (DOL)} &= \frac{V}{Z_{th \text{ motor}}} \\
 &= \frac{419,10}{0,245} = 1.710,61 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui seberapa besar arus *start* ini dibandingkan dengan arus nominal ( $I_{rated}$ ) motor, dilakukan perbandingan sebagai berikut:

$$I_{start} = n \cdot I_{rated} \quad (7)$$

Dengan memasukkan nilai-nilai yang relevan  $I_{start \text{ DOL}} = 1.710,61 \text{ A}$  dan  $I_{rated} = 592,70 \text{ A}$ , diambil dari data pengukuran  $V_{max/nominal}$  pada perhitungan sebelumnya yang mewakili tegangan nominal yang setara dengan arus nominal jika sistem ideal:

$$1.710,61 = n \cdot 592,70$$

$$n = \frac{1.710,61}{592,70}$$

$$= 2,88 \text{ kali}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, arus *starting* dengan metode DOL yang dihasilkan adalah sekitar 2,88 kali lebih besar dari arus nominal motor. Nilai arus *inrush* yang sangat tinggi ini merupakan karakteristik utama dari metode DOL dan menjadi penyebab utama terjadinya kedip tegangan yang signifikan pada sistem kelistrikan. Arus yang besar ini dapat menimbulkan tekanan mekanis yang tinggi pada motor dan komponen sistem, serta dapat

---

mengganggu stabilitas tegangan pada titik koneksi bersama (*Point of Common Coupling*) yang mempengaruhi peralatan lain yang terhubung.

### 3.5 Analisis Perhitungan Arus Start Dengan Metode Pengasutan Star Delta Motor Induksi 3 Fasa 250 Kw

Metode pengasutan *Star-Delta* merupakan salah satu teknik yang umum diterapkan untuk mengurangi lonjakan arus pada saat *starting* motor induksi. Dalam metode ini motor awalnya disambungkan dalam konfigurasi "Bintang" (*Star*) selama beberapa detik kemudian secara otomatis beralih ke konfigurasi "Delta". Pendekatan ini bertujuan untuk membatasi arus *starting* agar lebih rendah dibandingkan metode *Direct On Line* (DOL) sehingga mengurangi dampak negatif pada sistem kelistrikan.

Arus *start* dengan metode *Star-Delta* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{start (star\ delta)} = \frac{1}{3} \times I_{start (DOL)} \quad (8)$$

$$I_{start (star\ delta)} = \frac{1}{3} \times I_{start (DOL)}$$

Di mana:

$$I_{start (DOL)} = 1.710,61A$$

Dengan mensubstitusikan nilai tersebut ke dalam persamaan, diperoleh:

$$\begin{aligned} I_{start (star\ delta)} &= \frac{1}{3} \times 1.710,61 \\ &= 570,20 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui seberapa besar arus *start* ini dibandingkan dengan arus nominal ( $I_{rated}$ ) motor, maka dilakukan perbandingan sebagai berikut:

$$I_{start} = n \cdot I_{rated} \quad (9)$$

Dengan memasukkan nilai-nilai kedalam perhitungan:

$$\begin{aligned} I_{start} &= n \cdot I_{rated} \\ 570,20 &= n \cdot 592,70 \\ n &= 2,88 \text{ kali} \\ n &= \frac{570,20}{592,70} \\ &= 0,96 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, arus *start* dengan metode pengasutan *Star-Delta* adalah sebesar 570,20 A, atau sekitar 0,96 kali dari arus nominal (592,70 A). Ini menunjukkan bahwa besar arus *start* yang dihasilkan hampir sama dengan arus nominal motor. Perbandingan ini secara jelas menunjukkan efektivitas metode *Star-Delta* dalam mengurangi arus *inrush* secara signifikan dibandingkan dengan metode DOL. Penurunan arus *start* ini sangat penting untuk menjaga stabilitas tegangan sistem dan melindungi peralatan dari tekanan listrik yang berlebihan. Meskipun demikian, transisi dari konfigurasi bintang ke delta tetap memerlukan perhatian khusus, karena dapat menimbulkan fluktuasi tegangan sementara jika tidak diatur dengan baik.

### 3.6 Menghitung Besarnya Tegangan Flicker Yang Diakibatkan Oleh Pengasutan Direct On Line (DOL) Motor Induksi 3 Fasa 250 KW

Pada proses pengasutan motor induksi 3 fasa menggunakan metode *Direct On Line* (DOL), lonjakan arus *start* yang besar secara inheren menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan pada sistem listrik. Penurunan

tegangan ini, yang dikenal sebagai *flicker* atau kedipan tegangan, dapat dirasakan oleh pengguna lain yang terhubung pada jaringan yang sama. Besarnya penurunan tegangan (*voltage drop*) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{drop} = I_{start} \times Z_{th} \text{ Jaringan} \quad (10)$$

**Di mana:**

$I_{start}$  adalah Arus *start* DOL 1.710,61 A

$Z_{th}$  Jaringan adalah Impedansi Total Jaringan (0,0796  $\Omega$ )

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam persamaan, diperoleh:

$$V_{drop} = 1.710,61 \times 0,0796 = 136,16 \text{ Volt}$$

Untuk mengetahui seberapa besar *flicker* yang terjadi dalam bentuk persentase terhadap tegangan nominal sistem, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\% \text{ Flicker} = \frac{V_{drop}}{V} \times 100\% \quad (11)$$

**Di mana:**

$V_{drop}$  adalah Penurunan Tegangan 136,16 V

V adalah Tegangan Nominal Sistem (419,10 V, diambil dari data pengukuran tertinggi pada Tabel 3.1)

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam persamaan, diperoleh:

$$\begin{aligned} \% \text{ Flicker} &= \frac{V_{drop}}{V} \times 100\% \\ &= \frac{136,16}{419,10} \times 100\% \\ &= 32,48 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh bahwa nilai *flicker* yang dihasilkan oleh pengasutan motor induksi 3 fasa 250 kW dengan metode DOL adalah 32,48%. Nilai ini menunjukkan adanya penurunan tegangan yang sangat besar dan cepat saat motor dinyalakan. Penurunan tegangan sebesar ini dapat memiliki dampak yang merugikan pada kualitas daya, menyebabkan gangguan pada peralatan elektronik yang sensitif, dan berpotensi mempercepat degradasi isolasi pada motor dan komponen sistem lainnya. Kondisi ini menggarisbawahi bahwa meskipun metode DOL sederhana, dampaknya terhadap stabilitas sistem kelistrikan untuk motor berdaya besar sangat signifikan dan seringkali tidak dapat diterima dalam aplikasi kritis.

### 3.7 Menghitung Besarnya Tegangan Flicker Yang Diakibatkan Oleh Pengasutan Star Delta Motor Induksi 3 Fasa 250 KW

Metode pengasutan *Star-Delta* adalah salah satu teknik yang umum diterapkan untuk mengurangi besar arus *start* pada motor induksi, dengan harapan mampu menurunkan tingkat tegangan *flicker* yang muncul di jaringan listrik. Perhitungan penurunan tegangan (*voltage drop*) yang disebabkan oleh pengasutan *Star-Delta* dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$V_{drop} = I_{start} \times Z_{th} \text{ Jaringan} \quad (12)$$

**Di mana:**

---

$I_{start}$  adalah Arus *start Star-Delta* (570,20 A)

$Z_{th}$  Jaringan adalah Impedansi Total Jaringan (0,0796  $\Omega$ )

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam persamaan, diperoleh:

$$\begin{aligned}V_{drop} &= I_{start} \times Z_{th} \text{ Jaringan} \\ &= 570,20 \times 0,0796 \\ &= 45,388 \text{ Volt}\end{aligned}$$

Selanjutnya, untuk mengetahui seberapa besar dampak *flicker* yang ditimbulkan oleh pengasutan tersebut dalam bentuk persentase terhadap tegangan nominal sistem, digunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Flicker} = \frac{V_{drop}}{V} \times 100\% \quad (13)$$

Di mana:

$V_{drop}$  adalah Penurunan Tegangan (45,388 V)

V adalah Tegangan Nominal Sistem (419,10 V, diambil dari data pengukuran tertinggi pada Tabel 3.2)

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam persamaan, diperoleh:

$$\begin{aligned}\% \text{ Flicker} &= \frac{V_{drop}}{V} \times 100\% \\ &= \frac{45,388}{419,10} \times 100\% \\ &= 11 \%\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pengasutan motor induksi 3 fasa 250 kW dengan metode *Star-Delta* menghasilkan *flicker* sebesar 11%. Nilai ini mencerminkan adanya penurunan tegangan yang masih terukur, namun jauh lebih kecil dibandingkan dengan metode Direct On Line (DOL) yang menghasilkan *flicker* sebesar 32,48%. Penurunan *flicker* yang signifikan ini mengindikasikan bahwa metode *Star-Delta* lebih efektif dalam memitigasi dampak *inrush current* pada kualitas daya. Meskipun demikian, nilai 11% masih perlu diperhatikan, terutama jika dibandingkan dengan batasan standar kualitas daya yang ketat untuk peralatan sensitif.

### 3.8 Perbandingan Analisis Kedip Tegangan Dengan Metode Pengasutan Direct On Line (DOL) dan Star Delta

Analisis komparatif antara metode pengasutan Direct On Line (DOL) dan *Star-Delta* mengungkapkan perbedaan yang mencolok dalam dampak kedip tegangan pada sistem kelistrikan Rumah Pompa SWK Karah. Perbedaan ini tidak hanya terlihat dari nilai perhitungan, tetapi juga dari visualisasi gelombang tegangan.

Gambar 3.1 menunjukkan perbandingan antara gelombang tegangan sinusoidal murni (*rated voltage*) dan gelombang tegangan yang mengalami kedipan atau *flicker* akibat pengasutan DOL. Sebelum terjadi gangguan, nilai puncak tegangan ( $V_{max/nominal}$ ) tercatat sebesar 592,70 V, merepresentasikan kondisi sistem normal yang stabil. Namun, setelah pengasutan DOL, nilai puncak tegangan mengalami penurunan signifikan menjadi 383,379 V, menunjukkan gangguan yang menyebabkan tegangan tidak stabil. Gambar 3.2 juga menampilkan perbandingan serupa, di mana  $V_{max/nominal}$  sebesar 527,45 V turun menjadi 341,302 V setelah *flicker*. Pola ini konsisten di seluruh data DOL, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3 (dari 591,99 V menjadi 382,673 V), Gambar 3.4 (dari 530,32 V

menjadi 343,420 V), Gambar 3.5 (dari 590,39 V menjadi 382,221 V), Gambar 3.6 (dari 547,68 V menjadi 354,405 V), Gambar 3.7 (dari 589,96 V menjadi 381,515 V), dan Gambar 3.8 (dari 549,80 V menjadi 355,563 V). Penurunan tegangan yang drastis ini, yang mencapai hingga 32,48% dari tegangan nominal, mengindikasikan bahwa metode DOL, meskipun sederhana dalam implementasi, menimbulkan *stress* yang sangat besar pada sistem kelistrikan. Dampak ini dapat menyebabkan kerusakan peralatan, penurunan efisiensi operasional, dan memperpendek umur komponen sistem.

Sebaliknya, pengasutan dengan metode *Star-Delta* menunjukkan dampak *flicker* yang jauh lebih terkendali. Gambar 3.9 menggambarkan perbandingan gelombang tegangan sinusoidal murni dengan gelombang yang mengalami *flicker* akibat *Star-Delta*. Tegangan sinusoidal murni memiliki nilai puncak ( $V_{max/nominal}$ ) sebesar 592,70 V, namun setelah pengasutan *Star-Delta*, nilai puncak tegangan menurun menjadi 406,533 V. Meskipun terjadi penurunan, selisihnya jauh lebih kecil dibandingkan DOL. Pola ini juga terlihat pada Gambar 3.10 (dari 527,45 V menjadi 361,930 V), Gambar 3.11 (dari 591,99 V menjadi 405,847 V), Gambar 3.12 (dari 530,52 V menjadi 364,048 V), Gambar 3.13 (dari 590,39 V menjadi 405,141 V), Gambar 3.14 (dari 547,68 V menjadi 375,798 V), Gambar 3.15 (dari 589,96 V menjadi 404,435 V), dan Gambar 3.16 (dari 549,80 V menjadi 376,954 V). Penurunan tegangan dengan metode *Star-Delta* hanya sekitar 11%, menunjukkan peningkatan signifikan dalam kualitas daya selama *starting* dibandingkan DOL.

Perbandingan ini menyoroti adanya pertimbangan penting dalam pemilihan metode pengasutan motor induksi berdaya besar. Metode Direct On Line, meskipun menawarkan kesederhanaan dan biaya awal yang lebih rendah, menimbulkan *flicker* yang sangat tinggi (32,48%). Penurunan tegangan yang ekstrem ini, yang disebabkan oleh arus *inrush* yang mencapai 2,88 kali arus nominal, dapat menyebabkan biaya tersembunyi yang signifikan dalam jangka panjang. Biaya ini meliputi percepatan degradasi dan kegagalan prematur motor, potensi kerusakan pada peralatan kontrol sensitif seperti PLC dan relai, serta kerugian operasional akibat *downtime* sistem yang tidak terencana. Hal ini menunjukkan bahwa prioritas pada biaya modal awal yang rendah tanpa mempertimbangkan dampak kualitas daya dapat berujung pada pengeluaran yang lebih besar untuk pemeliharaan dan penggantian di masa depan.

Di sisi lain, metode *Star-Delta*, meskipun lebih kompleks karena memerlukan komponen tambahan seperti kontaktor dan pengatur waktu, secara efektif mengurangi arus *start* (menjadi sekitar 0,96 kali arus nominal) dan menurunkan *flicker* menjadi 11%. Pengurangan *flicker* yang substansial ini sangat penting untuk menjaga integritas operasional sistem kelistrikan, terutama di infrastruktur kritis seperti rumah pompa. Namun, temuan ini juga menunjukkan bahwa bahkan dengan metode *Star-Delta*, nilai Pst (*short-term flicker severity*) masih berpotensi melebihi batas yang ditetapkan oleh standar internasional seperti IEC 61000-4-15. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk motor berdaya sangat besar atau pada jaringan distribusi yang memiliki impedansi tinggi atau kapasitas terbatas, metode *Star-Delta* mungkin belum sepenuhnya memadai untuk memenuhi standar kualitas daya yang ketat.

Kondisi ini menekankan pentingnya kepatuhan terhadap standar kualitas daya. Ketidakepatuhan tidak hanya berisiko menyebabkan kerusakan peralatan dan gangguan operasional, tetapi juga dapat menimbulkan konsekuensi regulasi. Hasil penelitian ini menyiratkan bahwa untuk aplikasi yang sangat kritis, seperti rumah pompa pengendali banjir, diperlukan solusi mitigasi *flicker* yang lebih canggih, seperti *soft starter* atau *Variable Speed Drive* (VSD), yang dapat memberikan kontrol arus *start* yang lebih presisi dan menjaga kualitas daya dalam batas yang diizinkan.

Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode *starting* motor harus didasarkan pada analisis biaya-manfaat yang holistik, mempertimbangkan tidak hanya biaya instalasi awal tetapi juga biaya operasional jangka panjang, keandalan sistem, dan kepatuhan terhadap standar kualitas daya.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian mengenai "Analisa Kedip Tegangan Akibat Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa 250 KW Pada Rumah Pompa SWK Karah Kota Surabaya" telah menganalisis lonjakan arus dan dampaknya pada kualitas daya yang diakibatkan oleh pengasutan motor induksi 3 fasa. Berdasarkan analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan dapat ditarik.

Penyebab utama kedip tegangan yang terjadi saat *starting* motor induksi 3 fasa 250 kW di rumah pompa SWK Karah adalah metode pengasutan yang digunakan, yaitu Direct On Line (DOL) dan *Star-Delta*, yang keduanya menghasilkan arus *start* yang signifikan. Pada metode DOL, arus *start* mencapai sekitar 2,88 kali arus nominal, memicu penurunan tegangan sesaat (*flicker*) yang sangat besar pada sistem distribusi listrik.

---

Dampak kedip tegangan terhadap suplai motor induksi 3 fasa terlihat dari terjadinya penurunan tegangan maksimum ( $V_{max}$ ) dan tegangan efektif ( $V_s$ ) secara signifikan selama proses *starting*. Kondisi ini berisiko tinggi mengganggu kinerja peralatan sensitif seperti relai, kontaktor, dan PLC, serta dapat mempercepat kerusakan pada kumparan motor, mengurangi umur operasional motor, dan bahkan menyebabkan kegagalan total pada motor. Gangguan ini secara langsung mempengaruhi keandalan operasional rumah pompa, yang merupakan infrastruktur vital dalam penanggulangan banjir di Surabaya.

Pengasutan motor memberikan dampak yang cukup besar terhadap kualitas daya listrik, khususnya terkait kedip tegangan. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode *Star-Delta* menghasilkan tingkat kedip tegangan yang jauh lebih rendah (11%) dibandingkan dengan metode DOL (32,48%). Meskipun demikian, kedua metode tersebut tetap memiliki potensi untuk menghasilkan nilai Pst (*short-term flicker severity*) yang dapat melebihi batas yang ditetapkan oleh standar IEC 61000-4-15, terutama jika sistem distribusi tidak dilengkapi dengan peralatan mitigasi yang memadai. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk motor berdaya besar dalam aplikasi kritis, metode *starting* tradisional mungkin tidak sepenuhnya mencukupi untuk menjaga kualitas daya sesuai standar yang berlaku.

Sebagai saran, penerapan metode pengasutan yang lebih ramah terhadap sistem, seperti *Soft Starter* atau *Variable Speed Drive* (VSD), perlu dipertimbangkan secara serius. Solusi ini dapat lebih efektif dalam menurunkan arus *start* dan menghindari terjadinya kedip tegangan yang berlebihan, khususnya pada motor-motor berdaya besar seperti yang digunakan di rumah pompa SWK Karah Kota Surabaya. Selain itu, penerapan sistem pemantauan kualitas daya secara *real-time* akan memungkinkan deteksi dini terhadap indikasi *flicker*. Kemampuan deteksi dini ini sangat krusial, karena memungkinkan tindakan pencegahan yang cepat dan tepat sebelum masalah kualitas daya berkembang menjadi gangguan yang lebih besar dan merugikan pada sistem kelistrikan secara keseluruhan.

## REFERENCES

- [1] M. Hurrarah, "Analisis Kedip Tegangan Akibat Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Di Pt. Pertamina Ramba Menggunakan Program Matlab," *J. Surya Energy*, vol. 3, no. 1, p. 242, 2018, doi: 10.32502/jse.v3i1.1267.
- [2] A. F. Tampubolon and S. Yana, "Analisis Kedip Tegangan Akibat Pengasutan Motor Induksi," *Singuda Ensikom*, vol. 6, no. 2, pp. 65–69, 2014.
- [3] A. Permana, Y. Yuningtyastuti, and T. Sukmadi, "Analisis Pengaruh Metode Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Kedip Tegangan Yang Terjadi Pada Jaringan Kelistrikan Pltgu Blok I Pt. Indonesia Power Up Semarang Menggunakan Simulasi Software Etap 12.6. 0," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 134–141, 2016.
- [4] S. Kasus, D. I. Pt, and A. Raya, "No . 32 Vol . 1 Thn . XVI November 2009 ANALISIS KEDIP TEGANGAN ( VOLTAGE SAGS ) AKIBAT PENGASUTAN MOTOR INDUKSI DENGAN BERBAGAI METODE PENGASUTAN Andi Pawawoi TeknikA ISSN : 0854-8471 TeknikA," vol. 1, no. 32, pp. 49–56, 2009.
- [5] Agustinus Hutapea, "Analisis Perbandingan Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Rotor Sangkar Tupai Skripsi," pp. 7–20, 2021.
- [6] B. Y. Husodo and H. Irsyad, "Analisa Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa 2500 Kw Sebagai Penggerak Fan Pada Bag Filter," *Sinergi*, vol. 21, no. 3, p. 173, 2017, doi: 10.22441/sinergi.2017.3.003.
- [7] B. Listrik, B. Besar, L. Kerja, B. Medan, S. Simbolon, and E. Warman, "MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB," vol. 7, no. 2, pp. 75–81, 2014.
- [8] P. Harahap, "Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Simulink MATLAB," *Media Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–18, 2016.
- [9] I. nyoman Bagia and I. M. Parsa, "Motor-motor Listrik," *CV. Rasi Terbit*, vol. 1, no. 1, pp. 1–104, 2018.
- [10] M. Wijaya, "Dasar-dasar Mesin Listrik," 2001.
- [11] M. Ivan Putra Naibaho, I. K. Wijaya, and I. M. Mataram, "Studi Analisis Perbandingan Metode Starting Direct on Line (Dol) Dan Variabel Speed Drive (Vsd) Pada Motor Fan Untuk Cooling Tower Di Pt. Rapp (Riau Andalan Pulp Paper)," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 268, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p30.