

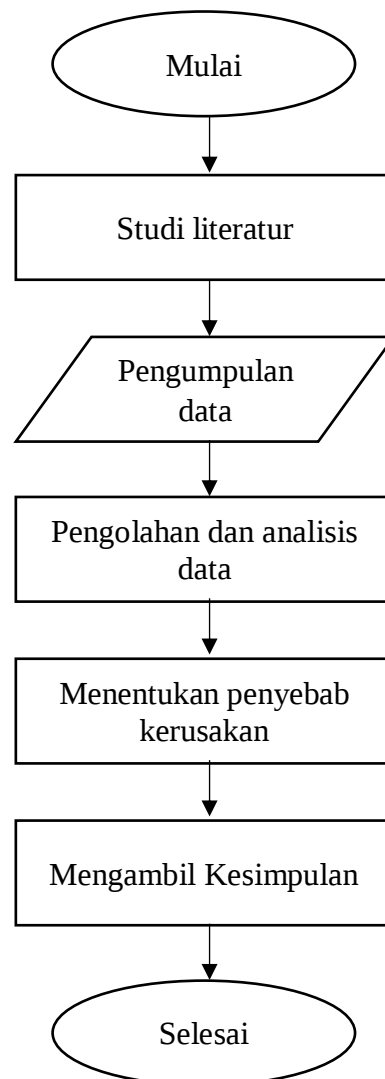
BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Bagian ini menjelaskan tujuan metodologi yang digunakan untuk menentukan penyebab kerusakan kapasitor pada sistem perbaikan faktor daya di Mayasari Plaza. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan kapasitor.

3.2. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan pengumpulan data primer melalui pengukuran parameter kelistrikan dan inspeksi visual komponen, serta pengumpulan data sekunder dari spesifikasi kapasitor dan data historis kerusakan.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.3. Objek Penelitian

- Lokasi: Mayasari Plaza, pada sistem kapasitor bank yang digunakan untuk perbaikan faktor daya.
- Kapasitor: Kapasitor *self-healing* yang digunakan untuk perbaikan faktor daya pada sistem kelistrikan Mayasari Plaza

3.4. Pengumpulan Data

3.4.1. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan melalui pengecekan fisik dan pengukuran langsung terhadap komponen kapasitor bank. Data ini diambil untuk menilai kondisi sekring, kontaktor, suhu kerja kapasitor, serta parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, harmonisa, dan power *loss*. Setiap parameter yang diukur bertujuan untuk mengidentifikasi apakah kapasitor mengalami masalah yang disebabkan oleh ketidakcocokan dengan kondisi kelistrikan atau faktor eksternal lainnya.

3.4.1.1. Pengecekan Sekring Eksternal

Pengecekan sekring dilakukan untuk memastikan apakah sekring NH 00 yang digunakan pada kapasitor bank masih berfungsi dengan baik. Sekring yang rusak atau tidak lagi dapat mengaliri listrik bisa menjadi indikasi adanya masalah kelistrikan, seperti *overcurrent*, yang dapat menyebabkan kerusakan pada kapasitor.

Langkah-langkah pengecekan:

1. Kapasitor bank dinonaktifkan untuk memastikan keamanan saat pengecekan.
2. Sekring NH 00 dilepas dari tempatnya.
3. Multimeter digunakan untuk mengukur kontinuitas listrik pada sekring. Jika multimeter menunjukkan kontinuitas, sekring masih dalam kondisi baik dan dapat mengaliri listrik. Jika tidak ada kontinuitas, sekring tersebut dianggap rusak dan memerlukan penggantian.

Hasil pengecekan sekring akan dicatat untuk setiap kapasitor, dan jika ada sekring yang rusak, akan dicatat sebagai indikasi kemungkinan adanya gangguan kelistrikan yang menyebabkan *overcurrent*.

3.4.1.2. Pengecekan Kontaktor

Kontaktor adalah komponen penting dalam sistem kapasitor bank yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan aliran listrik ke kapasitor. Pengecekan dilakukan untuk memastikan bahwa kontaktor masih berfungsi dengan baik, khususnya dalam mekanisme *switching*. Gangguan pada kontaktor bisa menjadi tanda adanya masalah kelistrikan seperti *overcurrent* yang dapat memengaruhi kinerja kapasitor.

Langkah-langkah pengecekan:

1. Pengecekan dilakukan saat sistem kapasitor bank dalam kondisi aktif.
2. Kontaktor diuji dengan menyalakan dan mematikan *switching* secara manual untuk melihat apakah kontaktor masih berfungsi dengan baik.
3. Jika kontaktor bekerja tanpa hambatan, maka dapat dipastikan kontaktor dalam kondisi baik. Jika ada kendala dalam *switching*, ini bisa menjadi indikasi adanya masalah, seperti *overcurrent*.

Hasil pengecekan ini akan dicatat untuk masing-masing kapasitor yang terhubung melalui kontaktor.

3.4.1.3. Pengukuran Suhu Lingkungan

Suhu lingkungan merupakan faktor yang mempengaruhi kinerja kapasitor. Pengukuran suhu lingkungan dilakukan menggunakan pembacaan langsung dari *thermostat* ruangan ber-AC tempat kapasitor bank dipasang. Suhu ini digunakan

sebagai acuan untuk mengukur seberapa jauh suhu operasi kapasitor melebihi suhu lingkungan.

Langkah-langkah pengukuran:

1. Suhu ruangan diukur dari *thermostat* yang dipasang di ruangan ber-AC. Pembacaan ini dilakukan setiap jam untuk mendapatkan gambaran suhu lingkungan selama sistem beroperasi.
2. Suhu yang ditunjukkan oleh *thermostat* dicatat dan digunakan sebagai referensi untuk menganalisis suhu kerja kapasitor.

3.4.1.4. Pengukuran Suhu Kapasitor

Suhu operasi kapasitor adalah parameter penting untuk menentukan kondisi kesehatan kapasitor. Jika suhu kapasitor melebihi batas yang diizinkan, yaitu 20°C di atas suhu lingkungan atau melebihi rating suhu kapasitor, ini bisa menjadi indikasi adanya masalah pada penanggulangan panas atau kelistrikan di sistem. Pengukuran suhu dilakukan setelah kapasitor satu jam beroperasi.

Langkah-langkah pengukuran:

1. Setelah kapasitor bank beroperasi selama satu jam, pengukuran suhu permukaan setiap kapasitor dilakukan menggunakan kamera *thermal*.
2. Kamera *thermal* digunakan untuk memfoto dan mengukur suhu permukaan kapasitor secara non-kontak. Setiap kapasitor yang diukur akan dicatat suhunya.
3. Jika suhu kapasitor lebih suhu yang dianjurkan, ini menjadi indikasi adanya masalah pada kapasitor tersebut.

3. Atur alat untuk merekam parameter daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan faktor daya (pf). Arus dan tegangan juga akan terukur pada saat yang bersamaan. Lalu atur *interval* rekam menjadi 60 detik.
4. Biarkan alat merekam selama kapasitor bank berfungsi.
5. Simpan hasil rekaman dalam format CSV.

3.4.1.6. Pengukuran Kapasitansi

Pengukuran kapasitansi tiap modul kapasitor dilakukan untuk memverifikasi apakah nilai kapasitansi aktual masih sesuai dengan spesifikasi pabrikan. Kapasitansi menurun seiring usia atau kerusakan dielektrik, sehingga pemeriksaan rutin diperlukan.

Langkah-langkah pengukuran:

1. Non-aktifkan dan isolasi modul kapasitor dari sistem untuk keselamatan.
2. Gunakan LCR meter yang telah dikalibrasi.
3. Sambungkan *probe* LCR meter ke terminal kapasitor, yaitu titik merah pada gambar 3.1.
4. Untuk mengukur kapasitansi pada fasa R-S, hubungkan *probe* pertama ke titik merah yang terhubung langsung dengan fasa R, lalu hubungkan *probe* kedua ke titik merah yang terhubung langsung dengan fasa S. Begitupun seterusnya untuk fasa S-T dan T-R.
5. Pilih mode “*Capacitance*” pada LCR meter dan gunakan frekuensi 100Hz agar mendekati frekuensi 50Hz.
6. Baca nilai kapasitansi (μF) dan tahan (*hold*) tampilan hingga stabil.
7. Ulangi untuk setiap modul kapasitor.

Setelah dilakukan pengukuran, maka dilakukan penghitungan untuk kapasitansi tiap kapasitornya.

Langkah 1

Masukkan persamaan awal.

$$C_{RS} = C_{tengah} + \frac{C_{kiri} * C_{kanan}}{C_{kiri} + C_{kanan}} \quad (3.1)$$

$$C_{ST} = C_{kanan} + \frac{C_{kiri} * C_{tengah}}{C_{kiri} + C_{tengah}} \quad (3.2)$$

$$C_{TR} = C_{kiri} + \frac{C_{tengah} * C_{kanan}}{C_{tengah} + C_{kanan}} \quad (3.3)$$

Langkah 2

Ubah variabel persamaan untuk memudahkan penulisan.

$$C_{RS} = a, C_{ST} = b, C_{TR} = c$$

$$C_{kiri} = x, C_{tengah} = y, C_{kanan} = z$$

Langkah 3

Masukkan persamaan yang sudah diganti variabelnya

$$a = y + \frac{x * z}{x + z} \quad (3.4)$$

$$b = z + \frac{x * y}{x + y} \quad (3.5)$$

$$c = x + \frac{y * z}{y + z} \quad (3.6)$$

Langkah 4

Jika:

$$x * y + y * z + x * z = S \quad (3.7)$$

Langkah 5

Maka:

$$a(x + z) = S \quad (3.8)$$

$$b(x + y) = S \quad (3.9)$$

$$c(y + z) = S \quad (3.10)$$

Langkah 6

$$x + z = \frac{S}{a} \quad (3.11)$$

$$x + y = \frac{S}{b} \quad (3.12)$$

$$y + z = \frac{S}{c} \quad (3.13)$$

Langkah 7

$$x = \frac{S}{a} - z \quad (3.14)$$

$$x = \frac{S}{a} - \left(\frac{S}{c} - y \right) \quad (3.15)$$

$$x = \frac{S}{a} - \frac{S}{c} + y \quad (3.16)$$

$$x = \frac{S}{a} - \frac{S}{c} + \frac{S}{b} - x \quad (3.17)$$

$$2x = S \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{c} \right) \quad (3.18)$$

Langkah 8

Lakukan langkah 7 untuk y dan z, sehingga didapatkan:

$$x = \frac{S}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{c} \right) \quad (3.19)$$

$$y = \frac{S}{2} \left(-\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \quad (3.20)$$

$$z = \frac{S}{2} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \quad (3.21)$$

Langkah 9

Masukkan x, y, z pada langkah 8 ke langkah 4, sehingga menjadi:

$$S = \frac{S^2}{4} \left\{ 2 \left(\frac{1}{a * b} + \frac{1}{b * c} + \frac{1}{a * c} \right) - \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right) \right\} \quad (3.22)$$

$$S = \frac{4}{2 \left(\frac{1}{a * b} + \frac{1}{b * c} + \frac{1}{a * c} \right) - \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right)} \quad (3.23)$$

Langkah 10

Masukkan S pada langkah 9 ke x, y, z pada langkah 8, sehingga menjadi:

$$x = \frac{2\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{c}\right)}{2\left(\frac{1}{a * b} + \frac{1}{b * c} + \frac{1}{a * c}\right) - \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}\right)} \quad (3.24)$$

$$y = \frac{2\left(-\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}\right)}{2\left(\frac{1}{a * b} + \frac{1}{b * c} + \frac{1}{a * c}\right) - \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}\right)} \quad (3.25)$$

$$z = \frac{2\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} + \frac{1}{c}\right)}{2\left(\frac{1}{a * b} + \frac{1}{b * c} + \frac{1}{a * c}\right) - \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}\right)} \quad (3.26)$$

dimana:

$$a = C_{RS}$$

$$b = C_{ST}$$

$$c = C_{TR}$$

$$x = C_{kiri}$$

$$y = C_{tengah}$$

$$z = C_{kanan}$$

3.4.1.7. Pengukuran Loss Daya

Loss daya atau kerugian daya pada kapasitor diukur untuk mengetahui seberapa efisien kapasitor bekerja. Kehilangan daya yang tinggi bisa menjadi indikasi adanya masalah dalam sistem atau komponen kapasitor itu sendiri.

Langkah-langkah pengukuran:

1. Kerugian daya dihitung menggunakan alat ukur *power quality analyzer*, bersamaan dengan pengukuran daya reaktif.
2. Data kerugian daya tiap kapasitor dicatat dan dibandingkan dengan spesifikasi teknis yang diberikan oleh pabrikan.

3.4.1.8. Pengukuran Arus dan Harmonisa Arus

Pengukuran arus yang masuk ke setiap kapasitor sangat penting untuk memastikan bahwa arus yang mengalir tidak melebihi spesifikasi. Selain itu, distorsi harmonisa pada arus juga diukur karena harmonisa yang tinggi dapat menyebabkan panas yang berlebihan (Nugroho, 2018).

Langkah-langkah pengukuran:

1. Pengukuran arus dilakukan setiap jam selama tiga hari berturut-turut, dari pukul 08.00 pagi hingga pukul 20.00 malam. Alat ukur *power quality analyzer* digunakan untuk mengukur arus setiap fasa yang masuk ke kapasitor.
2. Selain arus, harmonisa arus juga diukur untuk mengetahui tingkat distorsi harmonisa yang terjadi.
3. Hasil pengukuran dicatat dan dibandingkan dengan spesifikasi teknis kapasitor yang disediakan oleh pabrikan.

3.4.1.9. Pengukuran Tegangan dan Harmonisa Tegangan

Seperti arus, tegangan juga harus sesuai dengan spesifikasi pabrik agar kapasitor dapat berfungsi dengan baik. Distorsi harmonisa pada tegangan dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam operasi kapasitor (Abidin, 2015).

Langkah-langkah pengukuran:

1. Tegangan diukur secara bersamaan dengan arus, setiap jam selama tiga hari dari pukul 08.00 hingga 20.00.
2. THD tegangan diukur untuk mendeteksi adanya distorsi harmonisa pada tegangan yang masuk ke kapasitor.

3. Hasil pengukuran tegangan dan THD tegangan dicatat dan dibandingkan dengan spesifikasi teknis kapasitor.

3.4.1.10. Perhitungan Frekuensi Resonansi Sistem

Resonansi dalam sistem kelistrikan dapat terjadi ketika frekuensi harmonisa tertentu sejalan dengan frekuensi fundamental sistem, sehingga menyebabkan kenaikan arus atau tegangan yang tidak normal. Pengukuran resonansi dilakukan menggunakan rumus perkiraan antara kapasitor dan trafo.

Langkah-langkah perhitungan:

1. Resonansi dihitung menggunakan rumus perkiraan yang melibatkan kapasitor dan trafo. Rumus ini membantu memperkirakan apakah frekuensi harmonisa tertentu menyebabkan resonansi yang berbahaya.
2. Hasil perhitungan resonansi digunakan untuk mengidentifikasi apakah ada gangguan harmonisa yang mempengaruhi kinerja kapasitor.

3.4.2. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder meliputi data historis dan spesifikasi kapasitor yang digunakan sebagai acuan dalam analisis lebih lanjut.

3.4.2.1. Data Historis Kerusakan Kapasitor

Data historis mengenai kerusakan kapasitor sebelumnya dikumpulkan dari catatan perbaikan dan pemeliharaan. Ini digunakan untuk mengidentifikasi pola kerusakan yang berulang.

3.4.2.2. Spesifikasi Kapasitor

Spesifikasi teknis kapasitor *self-healing* yang digunakan, seperti tegangan kerja, kapasitas, suhu kerja, dan nilai harmonisa yang diizinkan, dijadikan acuan untuk membandingkan hasil pengukuran lapangan.

3.5. Metode Analisis Data

3.5.1. Perbandingan Data Pengukuran dengan Spesifikasi

Data hasil pengukuran suhu, arus, tegangan, dan harmonisa dibandingkan dengan spesifikasi teknis kapasitor untuk mengevaluasi apakah ada ketidaksesuaian yang dapat menjadi penyebab kerusakan.

3.5.2. Perhitungan Kapasitansi Berdasarkan Pengukuran

Kapasitansi kapasitor tiga fasa didapatkan melalui pengukuran menggunakan LCR Meter. Nilai kapasitansi ekuivalen yang didapatkan dari hasil pengukuran digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi satu kapasitor tunggal dengan menggunakan rumus seperti yang sudah dijelaskan di bagian 3.4.1.6.

3.5.3. Analisis *Root Cause Failure Analysis* (RCFA)

RCFA digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan. Model RCFA yang digunakan diadopsi sepenuhnya dari penelitian lain yang berkaitan dengan kapasitor *self-healing* (Gallay, 2018). RCFA ini membantu mengonfirmasi hasil temuan dari perbandingan data pengukuran.

3.6. Alat yang Digunakan

Data divalidasi melalui pengecekan ulang untuk memastikan hasil pengukuran dapat diandalkan.

1. *Thermal Camera (Bosch GTC 400 C Professional)*



Gambar 3.3 *Thermal Camera*

Thermal camera, atau kamera termal, adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi dan merekam radiasi inframerah (panas) yang dipancarkan oleh objek, lalu mengubahnya menjadi citra visual yang menunjukkan variasi suhu. Gambar 3.3 memperlihatkan *thermal camera* merk Bosch tipe GTC 400 C *Professional*, yang dipakai pada penelitian ini. Tidak seperti kamera biasa yang menangkap cahaya tampak, *thermal camera* dapat melihat perbedaan suhu meskipun dalam kondisi gelap total, sehingga sangat berguna untuk aplikasi seperti pemantauan kelistrikan, inspeksi bangunan, pemadam kebakaran, pengawasan keamanan, dan diagnostik mesin. Citra yang dihasilkan biasanya berupa peta warna (*false color image*), di mana warna-warna tertentu mewakili tingkat suhu yang berbeda.

2. LCR Meter (Sanwa LCR700)



Gambar 3.4 LCR Meter

LCR meter adalah alat ukur elektronik yang digunakan untuk mengukur nilai induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) suatu komponen atau rangkaian listrik. Gambar 3.4 memperlihatkan LCR meter merk Sanwa tipe LCR700, yang dipakai pada penelitian ini. Alat ini bekerja dengan mengalirkan sinyal AC ke komponen yang diuji, kemudian menganalisis respon tegangan dan arus untuk menghitung parameter-parameter tersebut. LCR meter banyak digunakan dalam pengujian dan perawatan komponen elektronik, seperti kapasitor, resistor, dan induktor, serta dalam verifikasi kualitas dan nilai nominal pada produksi maupun perbaikan perangkat elektronik.

3. *Power Harmonic Analyzer* (Prova 6830A)



Gambar 3.5 *Power Harmonic Analyzer*

Alat yang mengukur kualitas daya pada suatu jaringan kelistrikan. Alat ini dapat mengukur besaran, gelombang, dan fasa dari tegangan dan arus. Alat ini juga dapat mengukur daya dan harmonisa. Digunakan untuk mengukur karakteristik listrik yang masuk ke kapasitor daya. Gambar 3.5 memperlihatkan *Power Harmonic Analyzer* merk Prova tipe 6830A, yang dipakai pada penelitian ini. Gambar menunjukkan bahwa alat ini terdiri dari 3 bagian. modul yang berbentuk kotak, 3 *clamp* arus, dan 3 *probe* tegangan dan tambahan 1 *probe* tegangan untuk netral.

3.7. Matriks Kerja Penelitian

Penelitian dilakukan di Mayasari Plaza selama tiga bulan, dengan pengukuran dilakukan setiap jam mulai pukul 08.00 pagi hingga 20.00 malam.

Tabel 3.1 Matriks Kerja Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan											
		Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penyusunan makalah												
2	Pengumpulan Data												
3	Pengukuran												
4	Penghitungan												
No	Jenis Kegiatan	Bulan											
		Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penyusunan makalah												
2	Pengumpulan Data												
3	Pengukuran												
4	Penghitungan												

3.8. Asumsi dan Keterbatasan

- Asumsi yang digunakan adalah bahwa seluruh kapasitor menerima input listrik yang sama dan kondisi lingkungan yang serupa.
- Keterbatasan pengukuran, seperti keterbatasan akses fisik ke beberapa kapasitor