

Optimizing Power Grid Stability with Enhanced Circuit Breaker Maintenance

Mengoptimalkan Stabilitas Jaringan Listrik dengan Pemeliharaan Pemutus Sirkuit yang Disempurnakan

Chandra Darmawan Dwi Cahyo¹, Shazana Dhiya Ayuni^{2*}
Email coresponding author: shazana@umsida.co.id

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstract. *This study aims to evaluate the effectiveness of maintenance techniques on 20 kV Power Circuit Breakers (PMTs) using the Research and Development (R&D) method. Key performance variables assessed included contact resistance, PMT synchronism, and insulation resistance. Findings revealed that contact resistance for all phases was below 100 $\mu\Omega$, indicating optimal connectivity. Synchronism testing showed time differences of 0.7 ms during opening and 1.05 ms during closing, both within acceptable limits. Furthermore, insulation resistance exceeded the 20 M Ω standard, confirming the insulation's integrity. These results suggest that regular maintenance using precise measurement techniques ensures the continued reliability and safety of MV electrical delivery systems.*

Keywords - Contact Resistance; Insulation Resistance; PMCB; Synchronism Testing

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas teknik pemeliharaan pada Pemutus Sirkuit Tenaga (PMT) 20 kV dengan menggunakan metode Penelitian dan Pengembangan (R&D). Variabel kinerja utama yang dinilai meliputi resistansi kontak, sinkronisasi PMT, dan resistansi isolasi. Temuan menunjukkan bahwa resistansi kontak untuk semua fase berada di bawah 100 $\mu\Omega$, yang mengindikasikan konektivitas yang optimal. Pengujian sinkronisasi menunjukkan perbedaan waktu 0,7 ms selama pembukaan dan 1,05 ms selama penutupan, keduanya dalam batas yang dapat diterima. Selain itu, resistensi isolasi melebihi standar 20 M Ω , yang mengonfirmasi integritas isolasi. Hasil ini menunjukkan bahwa pemeliharaan rutin menggunakan teknik pengukuran yang tepat memastikan keandalan dan keamanan sistem pengiriman listrik MV yang berkelanjutan.*

Kata Kunci - Tahanan Kontak; Tahanan Isolasi; PMCB; Tes Keserempakan

I.PENDAHULUAN

Listrik saat ini merupakan salah satu kebutuhan primer bagi masyarakat, kebutuhan manusia akan sumber energi listrik terus meningkat, peningkatan kebutuhan tersebut menjadikan perusahaan listrik harus menyediakan kebutuhan akan sumber energi listrik yang diperlukan oleh konsumen dalam jumlah yang cukup, andal, aman, berkualdas, serta efisien [1].

Sistem distribusi daya listrik meliputi semua jaringan Tegangan Menengah (TM) 20 kV dan jaringan Tegangan Rendah (TR) 380/220 V hingga ke meteran pelanggan untuk kebutuhan industri bisnis maupun rumah tangga. Tegangan distribusi dikelompokkan menjadi distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V) [2].

Dalam melayani pelanggan, khususnya pelanggan Tegangan Menengah (TM), dibutuhkan suatu Alat Pembatas dan Pengukur (APP) yang baik. Disamping sebagai Alat Pembatas dan Pengukur (APP) juga berfungsi sebagai peralatan proteksi yang dapat mengisolir serta mengamankan sistem bila terjadi gangguan pada instalasi pelanggan maupun pada jaringan distribusi tenaga listrik. Terdapat beberapa alternatif peralatan proteksi yang dapat dipilih, disesuaikan dengan kondisi dan lokasinya, namun kebanyakan peralatan Alat Pembatas dan Pengukur (APP) tersebut berukuran besar dan dipasang dalam sebuah gardu serta membutuhkan lahan yang luas [1]. Dalam peralatan Alat Pembatas dan Pengukur (APP) ini terdapat komponen utama yaitu circuit breaker (MCB: *Miniature Circuit Breaker*) sebagai pembatas daya yang akan melakukan pemutusan energi listrik secara otomatis jika daya yang dipakai melebihi dari kapasitasnya [3] dan meter listrik sebagai komponen pengukur atau pencatat energi terpakai oleh pelanggan [4].

Gangguan pada saluran udara tegangan menengah mempunyai jenis-jenis gangguan yakni gangguan hubung singkat yang dapat terjadi abtar fasa (3 fase atau 2 fase) atau 1 fase ketanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen. Gangguan permanen, Hubung singkat pada kabel, belitan trafo, generator, (tembusnya isolasi). Gangguan temporer Flash Over karena sambaran petir, *flash over* dengan pohon, tertiuip angin [5].

Gangguan Tegangan berlebih pada system jaringan distribusi tenaga listrik akan mengakibatkan arus litrik yang mengalir menjadi besar sehingga dapat mengakibatkan memperpendek umur kerja peralatan, kenaikan rugi-rugi daya dan bisa menyebabkan terbakarnya peralatan [6].

Akibat dari gangguan ini berdampak pada sistem yang akan mengalami keadaan kelebihan beban karena arus gangguan yang masuk ke system, hilang atau penurunnya beban karena *switching*, gangguan AVR, *over speed* karena kehilangan beban, Hilangnya sumber tenaga yang diakibatkan oleh gangguan di unit pembangkit, gangguan hubung

singkat jaringan sehingga rele dan MCB (Miniature Circuit Breaker) bekerja dan jaringan terputus dari pembangkit [5].

Dalam pengerjaan dan pemasangan Alat Pembatas dan Pengukur (APP) konvensional membutuhkan waktu yang lama, sementara hari pelayanan dibatasi maksimal 100 hari. Juga dari segi harga, Alat Pembatas dan Pengukur (APP) konvensional harganya relatif mahal, karena disamping biaya pengangkutan juga harus membangun gardu beton untuk ruangan penempatan Alat Pembatas dan Pengukur (APP) [1].

Untuk itu diperlukan analisa ulang kinerja proteksinya. Relai arus lebih OCR (Over Current Relay) dan relai gangguan tanah GFR/DGR (Ground Foul Relay) merupakan relai proteksi yang bekerja dengan Pemutus Tenaga (Circuit Breaker) sehingga SUTM/SKTM yang terganggu dapat dipisahkan dari jaringan [7] dengan cara pengukuran Pengukuran Tahanan Kontak menggunakan mikro ohmmeter dan Uji Keserempakan menggunakan Breaker Analyzer pada Pemutus Tenaga (PMT) serta Pengukuran Tahanan Isolasi menggunakan Megger pada Trafo CT dan PT.

II. METODE

A. Jenis Penelitian

Peneliti menggunakan metode Research and Development dalam penelitian ini. Metode Research and Development sendiri memiliki definisi sebagai proses ilmiah yang mengidentifikasi kebutuhan, mengembangkan produk dan memvalidasi produk tersebut menjadi produk baru yang memuaskan kebutuhan. Suatu produk baru dikembangkan dengan menggunakan metode yang sistematis dan uji lapangan sedemikian rupa sehingga memenuhi kriteria atau standar mutu, efisiensi dan efektifitas tertentu [8]. Dengan teknik yang digunakan, data yang didapatkan dari lapangan untuk pemeliharaan PMCB adalah pengukuran tahanan kontak, waktu keserempakan kontak, dan pengukuran tahanan isolasi.

Penelitian dilaksanakan di PMCB KPI P. Sidomulyo, Kec Buduran yang berlokasi di Buduran, Kab. Sidoarjo, Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan mulai Agustus 2023. Objek pada penelitian ini adalah Pengukuran Tahanan Kontak menggunakan mikro ohmmeter dan Uji Keserempakan menggunakan Breaker Analyzer pada Pemutus Tenaga (PMT) serta Pengukuran Tahanan Isolasi menggunakan Megger pada Trafo CT dan PT.

B. Variabel Penelitian

Variabel merupakan indikator penting yang menentukan keberhasilan penelitian, sebab variabel penelitian menjadi titik perhatian dalam suatu penelitian. Variabel dalam penelitian ini adalah Pengukuran Tahanan Kontak dengan nilai standar pengukuran tahanan kontak pada pemutus tenaga ditetapkan sebesar $R < 100 \mu\Omega$ (sesuai dengan P3B O&M PMT/001.01 dan SK Direksi Tahun 2012/2013) [9].

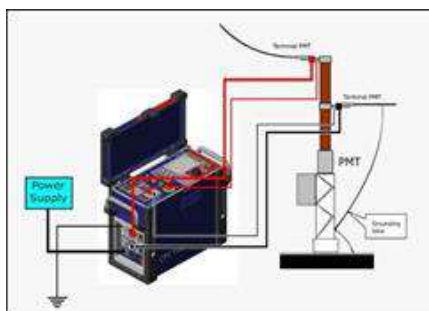
Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) dengan menghitung selisih waktu (*delta time*) pemutus tenaga saat *Close Time* dan *Open Time*.

Serta Pengukuran Tahanan Isolasi yang bertujuan agar membatasi aliran arus antara belitan dan inti besi. Nilai Tahanan isolasi harus mempunyai nilai sekurang-kurangnya 1000ohm tiap 1 Volt tegangan nominalnya, dengan pengertian bahwa arus bocor dari tiap bagian instalasi listrik pada tegangan nominalnya tidak boleh melebihi 1 mA tiap 100 m panjang instalasi listrik [10]

C. Langkah Kerja Pengujian PMCB TM 20 Kv

Pada pemeliharaan PMCB, hal yang dilakukan adalah pembersihan pada kotak PMCB, pembersihan pada kotak kontrol panel, pengukuran tahanan kontak, uji keserempakan PMT serta pengukuran tahanan isolasi.

1. Pengujian Tahanan Kontak



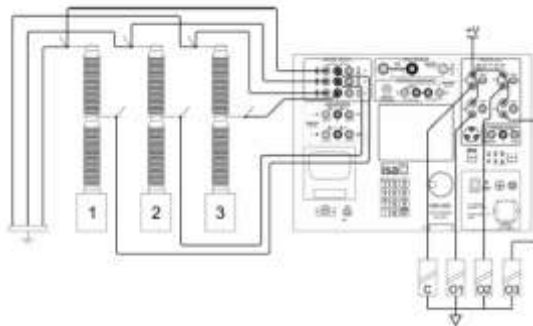
Gambar 1. Rangkaian Pengujian Tahanan Kontak

Pada Gambar 1 pengukuran tahanan kontak dilaksanakan guna mengukur nilai resistansi yang mengakibatkan adanya rugi daya. Sesuai dengan standar tahanan kontak adalah tidak melebihi atau $< 50 \mu\Omega$. [11]

Berikut pengujian tahanan kontak:

- Melakukan grounding pada pemutus tenaga yang akan dilakukan pengujian.
- Memasangkan kabel berwarna merah (+) pada terminal atas PMT.
- Memasangkan kabel berwarna hitam (-) pada terminal bawah PMT.
- Memilih inject arus pada alat ukur sebesar 100 A.
- Memulai melakukan pengujian dan mencatat hasilnya.

2. Pengujian Keserempakan

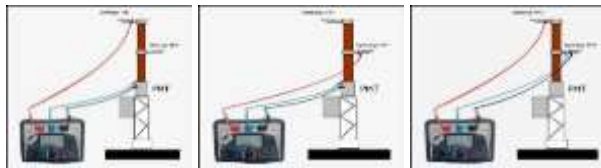


Gambar 2. Rangkaian Pengujian Keserempakan

Pada Gambar 2 batas standar yang diizinkan berdasarkan standar No. 0520-2K/DIR/2014, yakni maksimal selama 120 ms dengan toleransi $\pm 110\%$, dan selisih waktu standar pabrikan dari PMT adalah ≤ 10 ms. Berikut pengujian keserempakan:

- Sebelum memasang main contact alat uji, pastikan PMT dalam posisi masuk (close) dan kedua sisi PMT terpasang pentanahan lokal untuk menghindari induksi tegangan.
- Alat uji dapat dioperasikan dengan menggunakan baterai yang terdapat pada alat uji atau dengan menghubungkan alat uji dengan sumber tegangan 220 V.
- Rangkai alat uji untuk dihubungkan pada peralatan PMT ke kontak fasa R, S, T, di pole/chamber atas dan pole/chamber bawah PMT.
- Hubungkan kabel (konektor 4 pin/kabel) pada rangkaian kontrol yang terdapat pada kotak kontrol PMT maupun kotak control bay.
- Menghubungkan alat uji Circuit Breaker Analyzer ke sumber tegangan yang sesuai (220 VAC) & pastikan Power On/Off alat pada posisi Off.
- Mengaktifkan alat uji Circuit Breaker Analyzer dengan memosisikan saklar On/Off pada posisi On.
- Masukkan data/spesifikasi PMT yang akan di uji dengan media keypad dan display monitor pada alat uji.
- Melakukan operasi alat Circuit Breaker Analyzer untuk pengujian Keserempakan PMT dengan mengikuti petunjuk/panduan pada display alat uji.
- Memastikan PMT dalam kondisi open apabila akan melakukan pengujian keserempakan close time. Demikian juga sebaliknya. Hal ini bisa dilihat pada indikator di kotak kontrol PMT. Apabila PMT dalam kondisi open indikator menunjukkan "0" sedangkan PMT kondisi close indikatornya adalah "1".
- Menekan tombol start agar PMT bekerja (open/close) untuk melakukan pengujian keserempakan PMT kerja kontak Open dan Close.
- Catat hasil pengujian.

3. Pengukuran Tahanan Isolasi



Gambar 3. Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi

Pada Gambar 3 merupakan pengukuran tahanan isolasi bertujuan untuk mengetahui kebocoran arus pada setiap fasa pemutus tenaga (PMT) 20 kV. Pengukuran Tahanan isolasi bertujuan agar membatasi aliran arus antara belitan dan inti besi. Nilai Tahanan Isolasi = 1000 Ohm tiap 1 Volt tegangan nominalnya.

Berikut pengujian tahanan isolasi:

- Melakukan pemasangan local grounding, pemasangan local grounding.
- Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi terminal atas-ground.
- Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi bagian bawah-ground.
- Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi bagian atas-bawah.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengukuran tahanan kontak, dilakukan saat kondisi kontak-kontak PMT tertutup (close). Pengukuran dilakukan terhadap terminal fasa R dan titik grounding, terminal fasa S dan titik grounding, terminal fasa T dan titik grounding [12].

Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) merupakan kegiatan untuk mengetahui keserempakan saat Open/Close dengan menghitung selisih waktu (delta time) kerja kontak pada pemutus tenaga (PMT) yang bekerja pada saat terjadi trip secara serentak yang akan menyebabkan gangguan pada sistem yang ada di lapangan [11].

Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran (kabel) yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan tanah (ground). Bisa juga didefinisikan sebagai suatu yang diukur dari isolasi antara belitan dan inti besi pada trafo [13].

A. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak

1. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak pada Fasa r

Dari hasil yang ditampilkan pada display, nilai pengukuran tahanan kontak pada fasa R adalah $63.5 \mu\Omega$. Dari hasil pengukuran tersebut dapat dikatakan tahanan kontak dalam keadaan baik atau masih layak digunakan karena nilai tahanan kontak dibawah $100 \mu\Omega$.

2. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak pada Fasa s

Dari hasil yang ditampilkan pada display, nilai pengukuran tahanan kontak pada fasa S adalah $57.3 \mu\Omega$. Dari hasil pengukuran tersebut dapat dikatakan tahanan kontak dalam keadaan baik atau masih layak digunakan karena nilai tahanan kontak dibawah $100 \mu\Omega$.

3. Hasil pengukuran tahanan kontak pada fasa t

Dari hasil yang ditampilkan pada display, nilai pengukuran tahanan kontak pada fasa T adalah $58.9 \mu\Omega$. Dari hasil pengukuran tersebut dapat dikatakan tahanan kontak dalam keadaan baik atau masih layak digunakan karena nilai tahanan kontak dibawah $100 \mu\Omega$.

B. Hasil Pengujian Keserempakan Pemutus Tegangan (PMT)

1. Hasil Pengujian PMT 20 kV Kontak Terbuka (Open/Trip)

Hasil perhitungan selisih waktu open PMT 20 kV sebagai berikut:

$$\text{Fasa R} = 38.2 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa S} = 38.2 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa T} = 37.5 \text{ ms}$$

$$\Delta t \text{ Open} = t_{\text{maks}} - t_{\text{min}}$$

$$= t_{38.2} - t_{37.5}$$

= 0.7 ms

2. Hasil Pengujian PMT 20 kV Kontak Tertutup (Close)

Fasa R = 59.65 ms

Fasa S = 59.55 ms

Fasa T = 60.60 ms

$\Delta t \text{ Open} = t_{\text{maks}} - t_{\text{min}}$

= $t_{60.60} - t_{59.55}$

= 1.05 ms

Pada data perhitungan diatas, diketahui waktu kerja kontak PMT yang diperoleh ketika membuka (open) dan menutup (close) yang diperoleh dari pengujian tersebut masih dalam batas standar yang diizinkan berdasarkan standar No. 0520-2K/DIR/2014, yakni maksimal selama 120 ms dengan toleransi $\pm 110\%$. Sedangkan untuk selisih waktu kerja (Δt) ketika membuka (open) adalah 0.7 ms dan ketika menutup (close) adalah 1.05 ms. Selisih waktu ini masih dibawah standar pabrikan dari PMT, yakni ≤ 10 ms. Selisih ini yang menunjukkan serempak atau tidaknya PMT ketika bekerja, di mana semakin kecil selisih waktu kerja PMT di tiap fasanya, maka dapat dikatakan PMT tersebut semakin serempak.

C. Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Megger* dengan tegangan yang diinput 5 kV. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Pengukuran Tahanan Isolasi

Titik Ukur	Acuan	Hasil Pengukuran (M Ω)		
		R	S	T
Ground - Atas	1 kV/1 M Ω	4000	5000	4000
Ground - Bawah		12000	18000	12000
Atas - Bawah		40000	40000	40000

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran tahanan kontak pada fasa R, S dan T yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan mikro ohmmeter, dapat dikatakan tahanan kontak dalam keadaan baik atau masih layak digunakan karena nilai tahanan kontak dibawah 100 $\mu\Omega$. Setelah dilakukan pengujian pada pemutus tenaga 20 kV diketahui keserempakan PMT masih dalam batas wajar dimana standar keserempakan yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan breaker analyzer nilai yang diperoleh tidak lebih dari 120 ms berdasarkan standar No. 0520-2.K/DIR/2014. Besar selisih waktu atau delta time kontak PMT saat open/close masih dalam batas standar PLN, yaitu < 10 ms. Pada hasil pengukuran tahanan isolasi yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan megger pada trafo CT maupun trafo PT, tahanan isolasi masih bisa dikatakan bagus karena nilai yang didapat tahanan diatas 20 M Ω (isolasi = 1v/1 k Ω). Maka dapat disimpulkan bahwa PMCB KPI P. Sidomulyo, Kec Buduran masih layak digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu baik pihak Universitas Muhammadiyah Sidoarjo maupun UP3 Sidoarjo khususnya divisi jaringan dan jajarannya yang telah mengizinkan untuk melakukan pengumpulan data.

REFERENSI

- [1] M. G. Ahmad, M. Z. Efendi, and R. P. Eviningsih, "Temperature and Humidity Control System for Pole-Mounted Metering Circuit Breaker with Artificial Neural Network Methods," *ELKHA : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 112–119, Oct. 2023, doi: 10.26418/elkha.v15i2.67933.
- [2] Z. Syaroni and T. Rijanto, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 Kv Dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, 2019, doi: 10.26740/jte.v8n1.p%p.
- [3] S. Pratama, Hidayat, and Arzul, "Studi Analisa Komparatif Penempatan App (Alat Pengukur Dan Pembatas) Pada Tegangan Menengah Dan Tegangan Rendah," *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Industrial Technology, Bung Hatta University*, vol. 17, no. 1, pp. 10–10, Mar. 2021.
- [4] S. Handoko, "Pelatihan Instalasi Listrik Rumah Tangga di Kelurahan Padangsari Kecamatan Banyumanik," *Jurnal Pasopati*, vol. 2, no. 1, Feb. 2020, doi: 10.14710/pasopati.2020.5802.
- [5] R. A. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Di PT. PLN (Persero) Rayon Daya Makassar," *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 1–12, Aug. 2020, doi: 10.26618/jte.v12i2.4017.
- [6] A. Gaffar, A. Agussalim, and D. Arisandi, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Gardu Induk Panakkukang," *Jurnal Teknologi Elekterika*, vol. 14, no. 2, pp. 156–162, Jul. 2022, doi: 10.31963/elekterika.v1i2.1221.
- [7] M. L. Ali, *Analisa Kinerja Proteksi PMCB (Pole Mounted Circuit Breaker) Dan Recloser di PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur ULP Kraksaan Pada Penyulang Wangkal*. Probolinggo: Universitas Nurul Jadid, 2019.
- [8] O. Okpatrioka, "Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan," *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, vol. 1, no. 1, pp. 86–100, Mar. 2023, doi: 10.47861/jdan.v1i1.154.
- [9] Z. F. Sumarna and E. A. Z. Hamidi, "Analisis Pengukuran Tahanan Kontak dan Tahanan Pertanahan Pada Pemutus Tenaga (PMT)," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, pp. 191–200, Jan. 2022.
- [10] Y. Yusniati, Z. Pelawi, A. Armansyah, and I. Taufik, "Pengukuran Resistansi Isolasi Instalasi Penerangan Basement Pada Gedung Rumah Sakit Grend Mitra Medika Medan," *Buletin Utama Teknik*, vol. 16, no. 3, pp. 240–247, May 2021.
- [11] E. S. Rahman, M. Y. Mapeasse, and H. Hasrul, "Studi Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) 150 Kv Menggunakan Breaker Analyzer Di Gardu Induk," *Jurnal Media Elektrik*, vol. 20, no. 2, pp. 119–127, Apr. 2023, doi: 10.59562/metrik.v20i2.45946.
- [12] P. Darminto, "Analisis Pengukuran Tahanan Kontak dan Tahanan Pertanahan Pada Pemutus Tenaga," *JTMEL*, vol. 1, no. 2, pp. 15–22, Jun. 2022, doi: 10.55606/jtmei.v1i2.474.
- [13] S. Suganda and A. Muis, "Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya," *SINUSOIDA*, vol. 23, no. 2, pp. 1–10, Dec. 2021, doi: 10.37277/s.v23i2.1114.