SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH PENINGKATAN RESISTANSI KONTAK TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA PEMUTUS TENAGA (PMT) 150 KV DI GARDU INDUK PANGKAL PINANG

Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
26 Agustus 2026

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
IMANUDIN MAHMUD
132022099

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH PENINGKATAN RESISTANSI KONTAK TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA PEMUTUS TENAGA (PMT) 150 KV DI GARDU INDUK PANGKAL PINANG

Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
26 Agustus 2026

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
IMANUDIN MAHMUD
132022099

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH PENINGKATAN RESISTANSI KONTAK TERHADAP RUGI RUGI DAYA PMT 150 KV DI GARDU INDUK PANGKAL PINANG

Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
26 Agustus 2026

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
Imanudin Mahmud

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing 1

Dr. Wiwin A. Oktaviani S.T.,M.Sc
NIDN. 0002107302

Penguji 1

Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs
NIDN. 0207038101

Pembimbing 2

Asri Indah Lestari S.T.,M.T
NIDN. 0230129701

Penguji 2

Taufk Barlian, S.T., M.Eng
NIDN. 0218017202

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik

Ir. A. Junaidi, M.T
NIDN. 0202026502

Menyetujui
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs
NIDN. 0207038101

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan di dalam daftar pustaka.

Palembang 01 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Imanudin Mahmud

KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul ANALISIS PENGARUH PENINGKATAN RESISTANSI KONTAK TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA PEMUTUS TENAGA (PMT) 150 KV DI GARDU INDUK PANGKAL PINANG dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammdaiyah Palembang.

Pada kesempatan ini penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada,

Ibu Dr. Wiwin A. Oktaviani, S.T., M.Sc, selaku Pembimbing I

Ibu Asri Indah Lestari, S.T., M.T, selaku Pembimbing II

dan tak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada,

1. Bapak Prof Dr. Abid Djazuli, S.E., M.M, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Bapak Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs, Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Bapak Muhammad Hurairah, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
5. Bapak dan Ibu Staf Dosen pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
6. Bapak dan ibu staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
7. Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

Yang telah banyak membantu penulis baik secara moril maupun material dalam menyelesaikan skripsi ini, semoga amal baik yang diberikan kepada penulis

mendapatkan imbalan yang sesuai dari Allah SWT. Penulis menyadari penulisan skripsi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca akan penulis terima sangat senang hati. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi rekan-rekan pembaca di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Palembang 8 juni 2026

Penulis.

Imanudin Mahmud

ABSTRAK

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan salah satu peralatan penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan aliran listrik serta mengamankan sistem ketika terjadi gangguan. Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi PMT adalah tahanan kontak, karena nilai tahanan kontak yang meningkat dapat menyebabkan rugi-rugi daya dan susut energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi tahanan kontak PMT 150 kV pada setiap bay dan fasa R, S, dan T, menghitung rugi-rugi daya serta susut energi listrik yang diakibatkan oleh tahanan kontak, dan mengetahui nilai ekonomi (Cost) dari energi yang hilang. Objek penelitian meliputi PMT pada Bay Kelapa 1, Kelapa 2, Air Anyir 1, dan Air Anyir 2 di Gardu Induk Pangkal Pinang dengan menggunakan data tahun 2022 dan 2024. Metode penelitian dilakukan dengan mengolah data tahanan kontak dan arus yang mengalir pada masing-masing fasa. Nilai tahanan kontak dalam satuan mikro-ohm dikonversikan ke ohm, kemudian digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya menggunakan persamaan . Selanjutnya, rugi-rugi daya digunakan untuk menentukan susut energi selama satu tahun dengan waktu operasi 8.760 jam, sedangkan nilai ekonomi dihitung menggunakan tarif energi sebesar Rp1.444,70/kWh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total susut energi pada tahun 2022 sebesar 11.941,11 kWh, sedangkan pada tahun 2024 sebesar 11.859,69 kWh. Nilai ekonomi energi yang hilang atau Cost pada tahun 2022 sebesar Rp17.249.136,12, sedangkan tahun 2024 sebesar Rp17.131.583,34. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa peningkatan tahanan kontak sebesar 1%, dengan asumsi arus dan waktu operasi tetap, menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya, susut energi, dan Cost masing-masing sebesar 1%. Berdasarkan hasil tersebut, pengujian dan pemantauan tahanan kontak secara berkala diperlukan sebagai bagian dari pemeliharaan PMT untuk menjaga keandalan peralatan dan mengurangi potensi rugi-rugi energi.

Kata kunci: PMT 150 kV, tahanan kontak, rugi-rugi daya, susut energi, Cost, Gardu Induk Pangkal Pinang.

ABSTRAC

A Circuit Breaker (CB) is one of the essential components in an electrical power system, functioning to connect and disconnect the electrical current and to protect the system when a fault occurs. One of the parameters that can be used to assess the condition of a CB is contact resistance, as an increase in contact resistance can result in power losses and electrical energy losses. This study aims to analyze the contact resistance condition of 150 kV CBs in each bay and phase R, S, and T, calculate the power losses and electrical energy losses caused by contact resistance, and determine the economic value (cost) of the lost energy. The research objects include the CBs at Kelapa 1, Kelapa 2, Air Anyir 1, and Air Anyir 2 Bays at Pangkal Pinang Substation, using data from 2022 and 2024. The research method was conducted by processing contact resistance and current data flowing through each phase. The contact resistance values in micro-ohms were converted into ohms and then used to calculate power losses using the relevant equation. Subsequently, the power losses were used to determine the annual energy losses based on an operating time of 8,760 hours, while the economic value was calculated using an energy tariff of IDR 1,444.70/kWh. The results showed that the total energy loss in 2022 was 11,941.11 kWh, while in 2024 it was 11,859.69 kWh. The economic value of the lost energy, or cost, in 2022 was IDR 17,249,136.12, while in 2024 it was IDR 17,131,583.34. The analysis also showed that a 1% increase in contact resistance, assuming constant current and operating time, resulted in a 1% increase in power losses, energy losses, and cost. Based on these results, periodic testing and monitoring of contact resistance are necessary as part of CB maintenance to maintain equipment reliability and reduce potential energy losses.

Keywords: 150 kV Circuit Breaker, contact resistance, power losses, energy losses, cost, Pangkal Pinang Substation.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL……...i
HALAMAN PENGESAHAN……ii
PERNYATAAN……...iii
KATA PENGHANTAR iv
ABSTRAK vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
BAB 1 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Tujuan Pembahasan 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Sistematika Penulisan 4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Pengertian Pemutus Tenaga 5
2.2 Fungsi dan Peranan PMT pada Gardu Induk 7
2.3 Prinsip Kerja Pemutus Tenaga (PMT) 8
2.4 Komponen – Komponen Pada PMT 9
2.4.1 Kontak Utama (Main Contact) 10
2.4.2 Ruang Pemadam Busur Api (Arc Extinguishing Chamber) 10
2..4.3 Mekanisme Penggerak (Operating Mechanism) 11
2.4.4 Sistem Isolasi 12
2.4.5 Sistem Kontrol dan Proteksi 12
2.4.6 Kontak Bantu dan Sistem Interlock 13
2.5 Jenis-Jenis Pemutus Tenaga (PMT) 14
2.5.1 PMT Minyak (Oil Circuit Breaker) 14
2.5.2 PMT Udara (Air Circuit Breaker) 14
2.5.3 PMT Gas SF6 (SF6 Circuit Breaker) 15
2.5.4 PMT Vakum (Vacuum Circuit Breaker) 15

2.5.5 PMT Udara Tekan (Air Blast Circuit Breaker) 16
2.6 Pengukuran Tahanan Kontak 16
2.6.1 Langkah Kerja Pengukuran Tahanan Kontak Pemutus Tenaga (PMT) 18
2.6.2 Standar Tahanan Kontak Pemutus Tenaga (PMT) 18
2.7 Rugi-Rugi Daya 20
2.7.1 Perhitungan Rugi Daya Penghantar 22
2.7.2 Perhitungan Susut Energi Listrik 23
2.7.3 Perhitungan Perubahan ke Panas 25
BAB 3 METODELOGI PENELITIAN 27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 27
3.2 Diagram Penelitian 27
3.3 Variabel Penelitian 28
3.4 Tahap-Tahap Penelitian 28
3.4.1 Studi Literatur 28
3.4.2 Pengumpulan Data 28
3.4.3 Pengolahan Data 29
3.4.4 Analisa Data 29
3.4.5 Teknik Analisa Data 29
3.5 Flowchart Penelitian 30
BAB 4 DATA, PERHITUNGAN, PEMBAHASAN DAN HASIL ANALISIS 31
4.1 Data Penelitian 31
4.1.1 Data Spesifikasi *Bay Kelapa 1* 32
4.1.2 Data Spesifikasi Bay Kelapa 2 33
4.1.3 Data Bay Air Anyir 1 34
4.1.4 Daftar Bay Air Anyir 2 34
4.1.5 Data Tahanan Kontak PMT Pada Tahun 2022 Dan 2024 35
4.1.6 Data Arus Mengalir 37
4.2 Perhitungan 37
4.4.1 Perhitungan Rugi Rugi Daya Tahun 2022 Dan 2024 38
4.4.2 Perhitungan Rugi – Rugi Daya Pada saat gangguan 39
4.4.3 Perhitungan Akumulasi Susut Energi Listrik Selama 2022-2024 40
4.4.4 Perhitungan Susut Energi pada Kondisi Arus Gangguan 40

4.4.5 Perhitungan Cost Akumulasi Susut Energi Tahun 2022 dan 2024 . 44
4.4.6 Perhitungan Cost Pada Kondisi Gangguan Tahun 2022 dan 2024 45
4.3 Hasil Analisis 46
BAB 5 ..... **53**
KESIMPULAN DAN SARAN **53**
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran 54
DAFTAR PUSTAKA **56**

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Spesifikasi PMT Bay Kelapa 1 32
Tabel 4. 2 Spesifikasi PMT Bay Kelapa 2 33
Tabel 4. 3 Spesifikasi PMT Bay Air Anyir 1 34
Tabel 4. 4 Spesifikasi PMT Bay Air Anyir 2 35
Tabel 4. 5 Tahanan Kontak PMT Pada Tahun 2022 35
Tabel 4. 6 Tahanan Kontak PMT Pada Tahun 2024 35
Tabel 4. 7 Nilai Arus Yang Mengalir 2022 37
Tabel 4. 8 Nilai Arus Yang Mengalir 2024 37
Tabel 4. 9 Arus Gangguan 37
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Rugi Daya Tahun 2022 38
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Rugi Daya Tahun 2024 39
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Rugi Dengan Arus Gangguan 2022 40
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Rugi Dengan Arus Gangguan 2024 40
Tabel 4. 14 Susust Energi Listrik Arus Gangguan Tahun 2022 41
Tabel 4. 15 Susust Energi Listrik Arus Gangguan Tahun 2024 42
Tabel 4. 16 Susust Energi Listrik Tahun 2022 Dan 2024 43
Tabel 4. 17 Akumulasi Susust Energi Listrik Tahun 202 Dan 2024 43
Tabel 4. 18 Energi Panas 2022 44
Tabel 4. 19 Energi Panas 2024 45
Tabel 4. 20 Energi Panas Pada Arus Gangguan Tahun 2022 46
Tabel 4. 21 Energi Panas Pada Arus Gangguan Tahun 2024 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 klasifikasi PMT 5
Gambar 2. 2 prinsip kerja PMT 8
Gambar 2. 3 Kontak Utama (main contact) 10
Gambar 2. 4 Ruang Pemadam Busur Api (Arc Extinguishing Chamber) 11
Gambar 2. 5 Mekanisme Penggerak (Operating Mechanism) 11
Gambar 2. 6 Sistem Isolasi 12
Gambar 2. 7 Sistem Kontrol dan Proteksi 13
Gambar 2. 8 Kontak Bantu dan Sistem Interlock 13
Gambar 2. 9 Rangkaian Pengukuran Tahanan Kontak 18

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem tenaga listrik yang andal dan efisien merupakan parameter utama dalam keberhasilan operasional penyaluran energi listrik ke konsumen. Dalam sistem transmisi 150 kV, Gardu Induk (GI) memiliki peran strategis sebagai pusat kontrol dan pembagi beban. Keandalan sistem ini sangat bergantung pada performa peralatan sakelar mekanis, khususnya Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker*.

PMT memiliki fungsi krusial untuk memutus atau menghubungkan arus listrik pada rangkaian dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan seperti hubung singkat. Mengingat fungsinya sebagai bagian penting dalam sistem proteksi, setiap penurunan performa pada PMT dapat memengaruhi keandalan sistem kelistrikan. Fadilah et al. (2024) menunjukkan bahwa evaluasi kondisi PMT 150 kV dapat dilakukan melalui beberapa parameter, antara lain tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan tahanan pentanahan.

Salah satu parameter elektrikal yang penting dalam menilai kondisi PMT adalah nilai tahanan kontak. Nilai tahanan kontak yang tinggi menunjukkan adanya peningkatan resistansi pada jalur penghantar PMT yang dapat memengaruhi kinerja peralatan. Pengujian tahanan kontak merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam evaluasi kelayakan PMT 150 kV. Fadilah et al. (2024) menunjukkan bahwa pengukuran tahanan kontak dapat digunakan untuk menilai kondisi operasional PMT. Peningkatan nilai resistansi kontak ini sering kali tidak terlihat secara visual, namun dampaknya secara teknis sangat merugikan bagi sistem tenaga listrik.

Dampak utama dari peningkatan resistansi kontak adalah timbulnya rugi-rugi daya (*power losses*) yang terdisipasi dalam bentuk panas. Berdasarkan prinsip dasar hukum Joule, besarnya daya yang hilang berbanding lurus dengan nilai resistansi

kontak. Dalam sistem tegangan tinggi 150 kV di mana arus yang mengalir sangat besar, Peningkatan nilai tahanan kontak menyebabkan bertambahnya resistansi pada jalur penghantar PMT. Dalam kondisi dialiri arus, resistansi tersebut menghasilkan rugi-rugi daya yang besarnya dipengaruhi oleh nilai arus dan tahanan. Oleh karena itu, pengukuran tahanan kontak menjadi salah satu bagian penting dalam pemeliharaan PMT. Penelitian Jabar et al. (2024) secara khusus menganalisis tahanan kontak pada PMT 150 kV dan menggunakannya sebagai salah satu parameter evaluasi kondisi peralatan. Panas yang dihasilkan akibat rugi daya ini (*overheating*) tidak hanya menyebabkan pemborosan energi, tetapi juga dapat memicu kerusakan pada material isolasi gas SF6 atau minyak, serta memperlemah kekuatan mekanis pegas kontak yang pada akhirnya dapat mengakibatkan PMT gagal beroperasi (*malfunction*) saat terjadi gangguan sistem (Utomo, 2024).

Gardu Induk Pangkal Pinang merupakan salah satu objek vital dalam sistem kelistrikan Bangka yang melayani beban industri dan domestik yang terus meningkat. Adanya kenaikan nilai resistansi kontak pada PMT di GI ini akan berdampak pada penurunan efisiensi penyaluran energi dan potensi kerugian finansial bagi penyedia layanan energi listrik. Selain itu, kondisi iklim di wilayah Pangkal Pinang yang memiliki kelembapan tinggi serta pengaruh udara laut dapat mempercepat laju korosi pada material kontak peralatan tegangan tinggi (Hidayat dkk., 2023). Oleh karena itu, pemantauan terhadap nilai resistansi kontak melalui pengujian rutin menjadi syarat mutlak untuk memastikan operasional peralatan tetap berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh PLN, yaitu merujuk pada standar IEC 60694.

Meskipun pengujian resistansi kontak rutin dilakukan, sering kali data tersebut hanya digunakan sebagai indikator kelayakan tanpa dianalisis lebih lanjut mengenai besaran energi yang hilang akibat kenaikan nilai tersebut. Penelitian ini bermaksud untuk mengisi celah tersebut dengan melakukan analisis kuantitatif terhadap data hasil uji lapangan. Dengan menghitung selisih rugi daya antara kondisi ideal dan kondisi riil di lapangan, dapat diketahui tingkat degradasi efisiensi pada PMT 150 kV.

Berdasarkan urgensi tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul "Analisis Pengaruh Peningkatan Resistansi Kontak Terhadap Rugi-Rugi Daya pada Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV di Gardu Induk Pangkal Pinang". Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kerugian teknis dan biaya yang dialami serta menjadi landasan bagi manajemen pemeliharaan dalam menentukan prioritas perbaikan (*corrective maintenance*) guna menjaga keandalan sistem transmisi di wilayah tersebut.

1.2 Tujuan Pembahasan

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui secara kuantitatif besarnya rugi-rugi daya (*power losses*) yang dihasilkan akibat adanya nilai resistansi kontak pada setiap fasa PMT.
2. Menganalisis susut energi listrik yang hilang pada setiap kontak selama 1 Tahun.
3. Menentukan seberapa besar biaya yang harus dikeluarkan berdasarkan pada energi listrik yang hilang. 1 Tahun.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan pada unit Pemutus Tenaga (PMT) dengan level tegangan 150 kV yang beroperasi di Gardu Induk Pangkal Pinang.
2. Analisis difokuskan pada nilai resistansi kontak (tahanan kontak), besarnya rugi-rugi daya (*power losses*), susut energi listrik yang hilang pada setiap kontak, Dan menghitung seberapa besar biaya yang dikeluarkan, berdasarkan SPLN
3. Penelitian ini tidak menghitung secara detail pengaruh variabel lingkungan seperti suhu ambien, kecepatan angin, atau tingkat polusi udara secara spesifik, melainkan hanya menjadikannya sebagai referensi faktor penyebab degradasi kontak secara umum.
4. Standar yang digunakan sebagai acuan kelayakan nilai resistansi kontak merujuk pada standar IEC 60694 dan manual book dari pabrikan PMT yang bersangkutan.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini disusun sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori-teori yang berkaitan dengan sistem tenaga listrik, gardu induk, Pemutus Tenaga (PMT), serta standar pengujian yang digunakan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan metode penelitian, lokasi dan waktu penelitian, teknik pengumpulan data, serta metode analisis data.

BAB 4 DATA, PERHITUNGAN, PEMBAHASAN DAN HASIL ANALISIS

menyajikan data penelitian dan hasil pengolahan data yang diperoleh dari PMT 150 kV pada beberapa bay di Gardu Induk Pangkal Pinang.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Askan, Z. M. (2025). Evaluasi kinerja PMT 20 kV berdasarkan tahanan isolasi, tahanan kontak dan uji vakum. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 13*(3S1)

Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2014). *Protective relaying: Principles and applications* (4th ed.). CRC Press

Cahyo, C. D. D., & Ayuni, S. D. (2024). Optimizing power grid stability with enhanced circuit breaker maintenance. *Procedia of Engineering and Life Science, 5*, 614–619. https://doi.org/10.21070/pels.v7i0.1556.

Darminto, P. (2022). Analisis pengukuran tahanan kontak dan tahanan pertanahan pada pemutus tenaga. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika, 1*(2), 15–22. https://doi.org/10.55606/jtmei.v1i2.474.

Fadilah, F., Utomo, R. M., & Wirawan, A. P. (2024). Analisis kelayakan pemutus tenaga 150 kV di Gardu Induk Manggarsari Balikpapan. *ELECTROPS: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 3*(1).

Glover, J. D., Overbye, T. J., & Sarma, M. S. (2017). *Power system analysis and design* (6th ed.). Cengage Learning.

Gonen, T. (2014). *Electrical power transmission system engineering: Analysis and design* (3rd ed.). CRC Press.

Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power system analysis*. McGraw-Hill.

Gulo, L. R. T., & Cahyono, B. D. (2025). Analisis hasil pengujian tahanan isolasi pada pemutus tenaga (PMT) kubikel 20 kV Setia di Gardu Induk Budi Kemuliaan. *E-JOINT: Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology, 6*(2), 70–74.

Hartanto, S., Pahlavi, R., & Priyono, T. O. (2023). Pengujian kinerja PMT 20 kV pada kubikel netto Gardu Induk PLTMG Senayan. *TEKNOKRIS, 26*(1), 45–53.

IEEE Power and Energy Society. (2018a). *IEEE Std C37.04-2018: IEEE standard for ratings and requirements for AC high-voltage circuit breakers with rated maximum voltage above 1000 V*. IEEE.

IEEE Power and Energy Society. (2018b). *IEEE Std C37.09-2018: IEEE standard test procedures for AC high-voltage circuit breakers with rated maximum voltage above 1000 V*. IEEE.

International Electrotechnical Commission. (2017). *IEC 62271-1:2017: High-voltage switchgear and controlgear—Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 62271-100:2021: High-voltage switchgear and controlgear—Part 100: Alternating-current circuit-breakers*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 62271-101:2021: High-voltage switchgear and controlgear—Part 101: Synthetic testing*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 62271-200:2021: High-voltage switchgear and controlgear—Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*. IEC.

Jabar, S. H. A., Nur, M. I., Hafid, A., & Faharuddin, A. (2024). Analisis tahanan kontak dan tahanan pentanahan pada PMT 150 kV di ULTG Panakukang. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi, 2*(2), 550–563. https://doi.org/10.57250/ajst.v2i2.670.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 7 Tahun 2024 tentang tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*. Kementerian ESDM.

Kothari, D. P., & Nagrath, I. J. (2008). *Power system engineering* (2nd ed.). Tata McGraw-Hill.

Kuffel, E., Zaengl, W. S., & Kuffel, J. (2000). *High voltage engineering fundamentals* (2nd ed.). Newnes.

Li, L., Wang, B., Liu, Y., Yu, H., Zhang, S., & Huang, M. (2023). Early detection of health condition degradation of circuit breaker based on electrical quantity monitoring. *Energies, 16*(14), 5581. https://doi.org/10.3390/en16145581.

Liu, Y., Zhang, G., Zhao, C., Qin, H., & Yang, J. (2021). Influence of mechanical faults on electrical resistance in high voltage circuit breaker. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 129*, 106827. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106827.

Liu, Y., Zhang, G., Zhao, C., Lei, S., Qin, H., & Yang, J. (2020). Mechanical condition identification and prediction of spring operating mechanism of high voltage circuit breaker. *IEEE Access, 8*, 210328–210338. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3039055.

PT PLN (Persero). (2014). *Buku pedoman pemeliharaan pemutus tenaga (PMT)*. PT PLN (Persero).

Rahman, E. S., Mappeasse, M. Y., & Hasrul. (2023). Studi pengujian keserempakan pemutus tenaga (PMT) 150 kV menggunakan breaker analyzer di gardu induk. *Jurnal Media Elektrik, 20*(2), 119–127. https://doi.org/10.59562/metrik.v20i2.5537.

Rezyan, R. F., & Stefanie, A. (2024). Kelayakan pemutus tenaga 150 kV berdasarkan uji tahanan isolasi dan tahanan kontak. *EPIC Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control, 7*(1), 42–50. https://doi.org/10.32493/epic.v7i1.39120.

Sutjipto, R., Sungkowo, H., Khairan, M., Nurhadi, S., & Hakim, M. F. (2025). Evaluasi operasional pemutus tenaga gas SF6 di gardu induk 150 kV. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, 12*(1). https://doi.org/10.33795/elposys.v12i1.6847.

Widagdo, R. S., Slamet, P., & Saputra, F. E. (2024). Performance analysis of SF6 circuit breakers: Case study of Rungkut 150 kV main substation. *Wahana: Tridarma Perguruan Tinggi, 76*(1).