

ANALISA TEKNO-EKONOMI PENGUJIAN TEGANGAN TINGGI PADA PLN UNIT PELAYANAN TRANSMISI CAWANG

Muhammad Ihsan¹, Aminullah Assagaf²

^{1,2}Magister Teknik Elektor Institut Teknologi PLN

¹m.ihsan2489@gmail.com

ABSTRACT

High-Voltage (HV) Testing on the 150-kV High-Voltage Underground Cable (SKTT) system is essential to verify insulation integrity following faults or relocations associated with National Strategic Projects. Conventional testing methods using a Mobile Test Unit (MTU) often face cost and logistical constraints. This study evaluates the effectiveness of a reverse energization method utilizing a 150/20-kV Power Transformer as an alternative test source, using the 150-kV SKTT Taman Rasuna–Durentiga Circuit #2 as the case study. ETAP simulations indicate that this method can deliver a 34.7-A test current on the 150-kV side through an injection of 260.4 A from the 20-kV side at a test voltage of 152.8 kV. Operational safety is ensured through cascading protection coordination between the Line Current Differential relay (<100 ms) and the 20-kV incoming OCR (100 ms). From an economic standpoint, the reverse-transformer method requires only IDR 26.43 million, significantly lower than the MTU cost of IDR 358.51 million, resulting in 92.63% cost savings. The findings demonstrate that the reverse power-transformer method is a reliable, safe, and highly cost-efficient testing solution for PLN UPT Cawang operations.

Keywords: high-voltage testing, reverse power transformer, Underground Power Cable (SKTT), economic efficiency, protection coordination

ABSTRAK

Pengujian Tegangan Tinggi (HV Test) pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV penting untuk memastikan integritas isolasi pascagangguan atau relokasi akibat Proyek Strategis Nasional. Metode konvensional menggunakan Mobile Test Unit (MTU) sering terkendala biaya dan logistik. Penelitian ini menilai efektivitas metode *reverse* Trafo Daya 150/20 kV sebagai alternatif sumber uji melalui studi kasus SKTT 150 kV Taman Rasuna–Durentiga Sirkuit #2. Simulasi ETAP menunjukkan metode ini mampu menghasilkan arus uji 34,7 A pada sisi 150 kV melalui injeksi 260,4 A dari sisi 20 kV pada tegangan 152,8 kV. Keamanan operasi terjamin melalui koordinasi proteksi kaskading dengan relai Line Current Differential (<100 ms) dan OCR incoming 20 kV (100 ms). Secara ekonomi, metode *reverse* hanya memerlukan biaya Rp 26,43 juta, jauh lebih rendah dibandingkan MTU sebesar Rp 358,51 juta, memberikan penghematan 92,63%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *reverse* Trafo Daya merupakan solusi uji yang andal, aman, serta sangat efisien bagi operasional PLN UPT Cawang.

Kata Kunci: pengujian tegangan tinggi, reverse trafo daya, SKTT, efisiensi ekonomi, koordinasi proteksi

A. Pendahuluan

Keandalan pasokan listrik merupakan faktor fundamental bagi pertumbuhan industri dan stabilitas sosial. Pada sistem transmisi tegangan tinggi, integritas isolasi aset vital seperti Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) dan transformator menjadi elemen kunci penentu keandalan sistem.[1] Oleh karena itu, Pengujian Tegangan Tinggi (High Voltage Test/HV Test) berfungsi sebagai verifikasi mutu dan diagnostik wajib sesuai standar internasional.[2] Kegagalan dalam mengidentifikasi kelemahan isolasi dapat memicu kerusakan aset dan gangguan sistem berskala luas yang berdampak pada kerugian finansial dan tingginya nilai Energi Tidak Tersalurkan (ENS).

Kebutuhan pengujian tegangan tinggi meningkat signifikan di wilayah PLN UIT Jawa Bagian Barat (UIT JBB), didorong oleh dua faktor utama. Pertama, tingginya frekuensi gangguan pada SKTT 150 kV akibat faktor lingkungan, penuaan, maupun aktivitas pihak ketiga yang mengharuskan uji commissioning pascaperbaikan. Kedua, maraknya Proyek Strategis Nasional (PSN) dan Proyek Strategis Daerah (PSD) yang menuntut relokasi dan modifikasi jalur

SKTT, di mana setiap pekerjaan jointing wajib melalui HV Test sebelum dioperasikan kembali. Kondisi ini menciptakan beban permintaan pengujian yang berkelanjutan.

Saat ini, pelaksanaan HV Test terutama bergantung pada Mobile Test Unit (MTU). Meskipun andal, MTU memiliki tantangan logistik—mobilisasi kompleks, waktu penyiapan panjang, kebutuhan personel besar—serta biaya operasional dan depresiasi yang tinggi. Karena itu, muncul kebutuhan mendesak untuk menghadirkan metode pengujian yang lebih sederhana, cepat, dan hemat biaya dengan memanfaatkan aset internal.

Sebagai respon atas kebutuhan tersebut, penelitian ini mengusulkan metode HV Test menggunakan *reverse* Trafo Daya 150/20 kV sebagai alternatif pengganti MTU.[3] Pendekatan ini memanfaatkan transformator yang telah terpasang di gardu induk sebagai sumber tegangan uji melalui sisi tegangan menengah (20 kV) yang dinaikkan (*step-up*) ke level 150 kV. Metode ini berpotensi menghilangkan ketergantungan pada MTU eksternal sekaligus meningkatkan efisiensi operasional. Studi kasus dilakukan

pada SKTT 150 kV Taman Rasuna–Durentiga Sirkit #2 yang memerlukan HV Test pascagangguan, dengan Trafo Daya 150/20 kV GIS Durentiga digunakan sebagai sumber uji. Untuk memastikan keselamatan peralatan selama pengujian, penelitian ini juga melakukan analisis koordinasi proteksi dan setting relai agar sistem tetap aman apabila terjadi kegagalan pada sambungan kabel yang diuji.

B. Metode Penelitian

1. Desain dan Pendekatan

Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode Applied Experimental Case Study, yaitu studi kasus eksperimen terapan yang memvalidasi kelayakan teknis dan keekonomian metode *High Voltage Test (HV Test)* menggunakan teknik *reverse* pada Trafo Daya eksisting 150/20 kV. Pendekatan ini dipilih untuk menilai performa aktual pengujian paska-gangguan SKTT 150 kV dan membandingkannya dengan metode konvensional menggunakan *Mobile Test Unit (MTU)*.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di GIS 150 kV Durentiga, Unit Layanan Transmisi dan GI (ULTG) Mampang,

Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat. Proses penelitian berlangsung selama 12 bulan, mencakup studi literatur, observasi lapangan, analisis teknis, simulasi, serta penyusunan laporan akademik.

3. Objek Penelitian

Objek utama penelitian adalah:

- Transformator Daya 150/20 kV (khususnya Trafo #3 GIS Durentiga).
- SKTT 150 kV Durentiga – Taman Rasuna, yang mengalami gangguan fasa R pada 15 Agustus 2025.
- Peralatan switching, proteksi, dan kubikel 20 kV yang digunakan dalam prosedur HV Test *reverse*.

4. Jenis dan Sumber Data

a. Data Primer

- Pengukuran langsung parameter uji (tegangan injeksi, arus, THD, waktu setup).
- Observasi pelaksanaan HV Test *reverse* di lapangan.
- Wawancara teknis dengan engineer GIS Durentiga dan ULTG Mampang.

b. Data Sekunder

- Spesifikasi teknis Transformator 150/20 kV dan SKTT 150 kV.

- Standar teknis internasional (IEC/IEEE) dan SPLN.
- Data historis biaya mobilisasi MTU.
- Literatur akademik terkait transformator, proteksi, dan analisis ekonomi.

5. Metode Pengumpulan Data

a. Studi Literatur

Meliputi penelusuran standar internasional (IEC 60076-3, IEEE 400.2), SPLN, buku teori transformator, jurnal HV Test, serta referensi *engineering economy* untuk mendukung analisis tekno-ekonomi.

b. Observasi Lapangan (Field Experiment)

Dilakukan dengan mengikuti seluruh tahapan HV Test *reverse* menggunakan injeksi tegangan 20 kV pada sisi LV Trafo 150/20 kV, kemudian mengukur respons tegangan pada sisi HV serta karakteristik sinyal uji.

c. Wawancara dan Konsultasi

Wawancara dilakukan dengan Team Leader Pemeliharaan, teknisi proteksi, serta staf logistik PLN UIT JBB untuk memperoleh validasi teknis serta data biaya operasional MTU.

d. Dokumentasi

Mengumpulkan foto, SLD, lembar data teknis, rekaman dan

perhitungan uji, serta dokumen biaya sebagai bahan analisis teknis dan ekonomi.

6. Metode Analisis Data

a. Analisis Teknis HV Test Reverse

Analisis mencakup:

- Validasi teori transformator (*reversibility principle*) berdasarkan hukum Faraday dan rasio lilitan.
- Perhitungan rasio tegangan induksi dari 20 kV → 150 kV.
- Kajian setting proteksi (OCR/GFR) berdasarkan Kepdir 520 dan karakteristik inverse-time.
- Evaluasi keamanan dan selektivitas sistem proteksi selama uji.[4]

b. Simulasi ETAP (Load Flow & Voltage Profile)

Pemodelan dilakukan pada sistem GIS Durentiga–Kemang untuk memastikan:

- Kecukupan tegangan induksi pada sisi 150 kV.
- Efek Ferranti pada SKTT tanpa beban.[5]

Profil aliran daya dan besaran arus selama pengujian.

c. Analisis Ekonomi (Cost Comparative Analysis)

Menggunakan pendekatan *engineering economy*, meliputi:

- Perhitungan biaya total (TC = FC + VC).[22]
- Analisis biaya inkremental antara metode MTU dan *reverse*.
- Perhitungan *payback period* apabila metode ini dijadikan standar operasional.
- Rasio efisiensi biaya untuk menentukan keunggulan metode *reverse*.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Desain Topologi HV Test Reverse Menggunakan Trafo Daya Eksisting

Skema memanfaatkan Trafo 3 (150/20 kV) di GIS Durentiga sebagai penaik tegangan. Seluruh beban operasional dialihkan ke Busbar 2, sementara Busbar 1 dibebaskan untuk jalur pengujian menuju Bay Taman Rasuna #2. Suplai 20 kV direkomendasikan berasal dari GIS Kemang melalui penyulang ekspres ke Kopel E Durentiga.

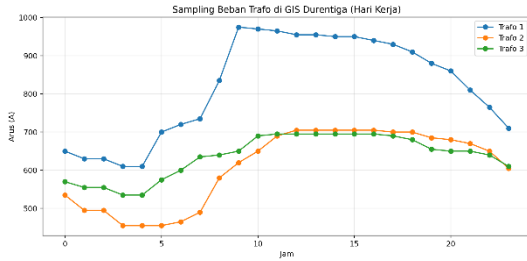
Tabel 1. Konfigurasi Padam Busbar 1 GIS Durentiga

Nama Bay	Sebelum	Setelah
Antasari #1	Busbar 1	Busbar 2
Antasari #2	Busbar 2	Busbar 2
Trafo #3	Busbar 1	Busbar 2
Taman Rasuna #1	Busbar 1	Busbar 2
Taman Rasuna #2	Off Gangguan	Busbar 1
Mampang Lama #1	Busbar 1	Busbar 2
Mampang Lama #2	Busbar 2	Busbar 2
Trafo #2	Busbar 2	Busbar 2
Kopel	Close	Open
Cawang Baru #1	Busbar 1	Busbar 2
Cawang Baru #2	Busbar 2	Busbar 2
Trafo #1	Busbar 1	Busbar 2

2. Verifikasi Pembebanan dan Kapabilitas Busbar

Data sampling beban menunjukkan arus maksimum Trafo 3 sebesar 695 A, sedangkan arus nominal trafo 1732 A, sehingga pengalihan beban ke Trafo 2/penyulang lain oleh UP2D Jakarta masih mencukupi. Batas konservatif busbar ditetapkan 2000 A (mengacu

tipe Hitachi Inom 2000 A dan Xian 4000 A). Grafik beban per jam ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 1 Sampling beban trafo (hari kerja)

3. Urutan Manuver dan SOP Ringkas

Pokok langkah:

- a. Keluarkan ES di kedua ujung SKTT;
- b. Alihkan seluruh bay ke Busbar 2 sesuai Tabel 4.1;
- c. Pembebasan Bus 20 kV Trafo 3;
- d. Masukkan PMS Bus 1 Bay Trafo 3 & Bay Taman Rasuna #2;
- e. Penyesuaian tap changer Trafo 3;
- f. Pengisian tegangan uji berurutan dari Kopel E Kemang → Kopel E Durentiga → Incoming 20 kV T3 → PMT 150 kV T3 → PMT Bay Taman Rasuna #2.

4. Implementasi Setting Proteksi

Zonasi proteksi: utama di relai Line Current Differential SKTT (instant), back-up di OCR Incoming 20 kV T3 DRTG ($t \approx 0,1$ s), lalu OCR Kopel E DRTG, dan sisi sumber Kemang. Prinsip koordinasi kaskading

menjamin hanya PMT terdekat yang bekerja saat gangguan.

5. Hasil Simulasi ETAP

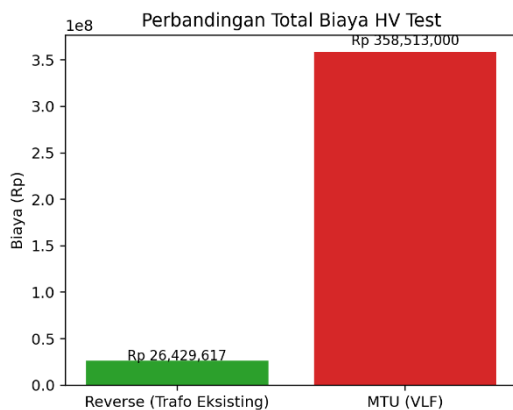
Simulasi power flow menunjukkan arus 20 kV 260,4 A → arus 150 kV 34,7 A dengan tegangan 152,8 kV. Ringkasan verifikasi pickup proteksi terhadap arus simulasi tersaji pada Tabel 4.2.

Tabel 2 Hasil Simulasi ETAP vs Setting Proteksi

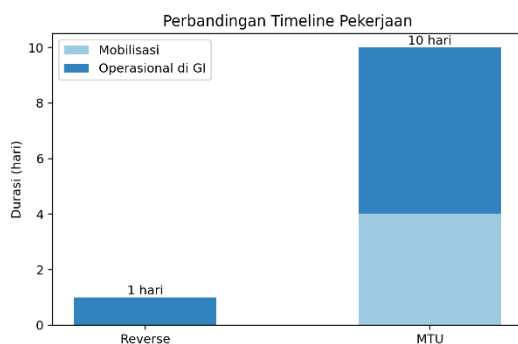
Elemen	Sisi Tegangan	Pick up I_p (A)	Arus Simulasi (A)	Evaluasi
SKTT Tamaraka - Durentiga	150 kV	40 A	34,7 A	Aman (34,7 A << 40 A)
INC T3 DRTG	20 kV	300 A	260,4 A	Aman (260,4 A << 300 A)
KPL DRTG	20 kV	320 A	260,4 A	Aman (260,4 A < 320 A)
KPL KMNG	20 kV	495 A	260,4 A	Aman (260,4 A < 495 A)
INC T2 KMNG	20 kV	2080 A	≈ 0 A	Aman

6. Analisis Keekonomian dan Efisiensi Waktu

Biaya total reverse \approx Rp 26,43 juta; MTU \approx Rp 358,51 juta. Efisiensi biaya \approx 92,62% (selisih \approx Rp 332,08 juta). Visualisasi pada Gambar 2. Perbandingan waktu: reverse 1 hari (operasional), MTU 6 hari (operasional) + 4 hari mobilisasi (total 10 hari) sebagaimana Gambar 3.



Gambar 2 Perbandingan total biaya



Gambar 3 Perbandingan timeline pekerjaan

D. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memvalidasi rancangan topologi pengujian HV Test metode reverse

(step-up) dengan memanfaatkan Trafo Daya 150/20 kV eksisting di GIS Durentiga. Hasil analisis menunjukkan bahwa konfigurasi ini memungkinkan pelaksanaan pengujian SKTT Taman Rasuna–Durentiga #2 secara mandiri tanpa Mobile Test Unit, dengan tetap menjamin keselamatan personel dan keandalan peralatan gardu.

Koordinasi proteksi juga terbukti bekerja selektif melalui penerapan skema kaskading. Relai Line Current Differential berfungsi sebagai proteksi utama dengan waktu operasi di bawah 100 ms, sementara OCR Incoming Trafo 3 memberikan cadangan dengan tunda 0,1 s. Kombinasi ini memungkinkan isolasi gangguan secara instan sehingga tidak mengganggu jaringan 20 kV sebagai sumber step-up.

Simulasi ETAP berhasil mengonfirmasi kemampuan reverse step-up transformator, di mana injeksi 260,4 A pada sisi 20 kV menghasilkan tegangan 152,8 kV pada sisi 150 kV. Pencapaian ini menunjukkan bahwa transformator eksisting memiliki rasio induksi dan kapasitas teknis yang memadai untuk bertindak sebagai sumber tegangan uji HV Test.

Dari sisi keekonomian, metode reverse menggunakan trafo eksisting

memberikan efisiensi biaya signifikan. Biaya yang diperlukan hanya 7,37% dibandingkan pengujian menggunakan Mobile Test Unit, setara dengan penghematan sekitar 92,63%. Secara keseluruhan, penggunaan MTU tercatat 13,56 kali lebih mahal daripada metode reverse.

Abdi, H. (2024). Power system analysis using the ETAP software: A comprehensive review. *Journal of Energy Management and Technology*, 8(3), 250. <https://doi.org/10.22109/jemt.2024.467452.1518>

DAFTAR PUSTAKA

- Gockenbach. (2021). *High voltage engineering*. In *Springer Handbooks* (pp. 131–182). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-32-9938-2_3
- International Organization for Standardization. (2008). *ISO 17512-1:2008: International standard IEC-61010-1* (Vol. 2008, p. 13). ISO.
- Sidqi, M. A., Education Development Program, & Strategic Management. (2018). *Sustainable innovation strategy and role of learning organization in improving business unit performance: Empirical study on electricity company in Indonesia* (pp. 868–880).
- McLyman, C. W. T. (2011). *Power transformer design*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b10865-7>