

Analisis Kondisi Minyak Isolasi Transformator Berdasarkan Hasil
Pengujian Karakteristik Minyak pada IBT Gitet Arun UPT Banda Aceh

Kamaruzzaman*, Pristisa Wibowo, Hamdani
Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia
Email: kamaruz239@gmail.com*

Keywords:	Abstract
Insulating Oil; Transformer; IBT; Oil Characteristics; IKKM; GITET Arun	Insulating oil supports transformer dielectric performance and cooling, making periodic assessment essential for maintaining reliable electricity transmission. This study aimed to evaluate insulating oil conditions in IBT 2R, IBT 2S, and IBT 2T at GITET Arun, UPT Banda Aceh, and compare their characteristics across two testing periods. A descriptive quantitative approach was applied using documentary records of six oil samples collected in November 2024 and August 2025. Ten parameters were examined: breakdown voltage, water content, acid number, interfacial tension, color, sediment, DC resistivity, viscosity, flash point, and dielectric dissipation factor. Each parameter was classified and scored according to the assessment criteria, then aggregated into the Oil Characteristics Conformity Index (IKKM). All units achieved an IKKM of 100% in November 2024. In August 2025, IBT 2S and IBT 2T remained at 100%, while IBT 2R decreased to 96.67% because its sediment content reached 0.02%, classified as moderate. Breakdown voltage decreased by 5.15%, 5.21%, and 2.95%, respectively, while remaining within the good category. These findings demonstrate that aggregate scores should be interpreted alongside individual parameter changes. Overall, oil conditions remained good under the study criteria. Continued monitoring, particularly of sediment in IBT 2R, is recommended to detect further deterioration and support condition-based maintenance decisions.
Kata Kunci:	Abstrak
Minyak Isolasi; Transformator; IBT; Karakteristik Minyak; IKKM; GITET Arun	Minyak isolasi berperan penting dalam mempertahankan kemampuan dielektrik dan pendinginan transformator, sehingga perubahan karakteristiknya perlu dipantau untuk mendukung keandalan penyaluran listrik. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi minyak isolasi pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T di GITET Arun UPT Banda Aceh serta membandingkan kondisinya pada dua periode pengujian. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui dokumentasi enam sampel minyak dari periode November 2024 dan Agustus 2025. Sepuluh parameter dianalisis, meliputi tegangan tembus, kadar air, angka asam, tegangan antarmuka, warna, sedimen, resistivitas DC, viskositas, titik nyala, dan faktor rugi dielektrik. Setiap parameter diklasifikasikan berdasarkan kriteria penilaian, diberikan skor, kemudian diintegrasikan menggunakan Indeks Kesesuaian Karakteristik Minyak (IKKM). Hasil menunjukkan bahwa seluruh unit memperoleh IKKM sebesar 100% pada November 2024. Pada Agustus 2025, nilai IBT 2S dan IBT 2T tetap 100%, sedangkan IBT 2R menurun menjadi 96,67% akibat sedimen sebesar 0,02% yang dikategorikan sedang. Tegangan tembus menurun masing-masing sebesar 5,15%, 5,21%, dan 2,95%, tetapi tetap berkategori baik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa indeks agregat perlu diinterpretasikan bersama perubahan parameter individual untuk menentukan prioritas pemantauan. Disimpulkan bahwa minyak seluruh unit masih berkategori baik berdasarkan kriteria penelitian,

PENDAHULUAN

Salah satu komponen penting yang berpengaruh terhadap keandalan transformator adalah sistem isolasi. Sistem isolasi transformator terdiri atas isolasi padat dan isolasi cair berupa minyak transformator. Minyak transformator memiliki fungsi sebagai media isolasi listrik sekaligus media pendingin yang berperan menjaga temperatur kerja peralatan tetap berada pada batas yang diizinkan. Selama transformator beroperasi, minyak isolasi akan mengalami proses degradasi akibat pengaruh temperatur, oksidasi, kelembaban, kontaminasi partikel, serta pengaruh medan listrik yang berlangsung secara terus-menerus. Kondisi tersebut dapat menyebabkan perubahan karakteristik minyak sehingga kemampuan isolasi dan pendinginannya menurun (Commission, 2004, 2013; Wang et al., 2002).

Penurunan kualitas minyak isolasi umumnya ditandai dengan menurunnya nilai tegangan tembus (*Breakdown Voltage*), meningkatnya kadar air (*Water Content*), meningkatnya nilai keasaman (*Acid Number*), menurunnya nilai *Interfacial Tension* (IFT), serta perubahan warna minyak. Apabila kondisi ini tidak terdeteksi sejak dini, maka risiko terjadinya kegagalan isolasi akan meningkat yang dapat berakibat pada gangguan transformator, penurunan umur peralatan, hingga terjadinya outage pada sistem tenaga listrik. Oleh sebab itu, pengujian karakteristik minyak secara berkala menjadi salah satu metode pemeliharaan yang sangat penting dalam mendukung keandalan transformator (Commission, 2003, 2013; IEEE, 2015; International, n.d.-b; Wang et al., 2002).

IBT (*Inter Bus Transformer*) pada GITET Arun UPT Banda Aceh merupakan peralatan strategis yang berfungsi sebagai penghubung sistem penyaluran tenaga listrik pada jaringan transmisi. Mengingat perannya yang sangat penting dalam menjaga kontinuitas penyaluran daya, maka kondisi minyak isolasi pada IBT harus selalu berada dalam kondisi yang memenuhi standar operasi. Berdasarkan praktik pemeliharaan yang selama ini dilakukan, hasil pengujian minyak umumnya masih dianalisis secara terpisah berdasarkan masing-masing parameter pengujian. Pendekatan tersebut sering kali belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat kesehatan minyak sehingga menyulitkan dalam menentukan prioritas tindakan pemeliharaan yang tepat (IEEE, 2015; Muhammad et al., 2024; Tharo et al., 2018).

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan kondisi aktual minyak isolasi transformator secara menyeluruh berdasarkan berbagai parameter hasil pengujian karakteristik minyak. Analisis yang hanya berfokus pada satu parameter tertentu berpotensi menghasilkan keputusan pemeliharaan yang kurang optimal karena setiap parameter memiliki tingkat pengaruh yang berbeda terhadap kualitas minyak isolasi transformator.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan metode Oil Health Index (OHI) sebagai pendekatan evaluasi kondisi minyak isolasi. Metode ini mengintegrasikan beberapa parameter hasil pengujian minyak seperti *Breakdown Voltage*, *Water Content*, *Acid Number*, *Interfacial Tension*, dan *Color Number* ke dalam suatu indeks kesehatan minyak. Melalui metode ini, kondisi minyak dapat dinilai secara kuantitatif dan diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu sehingga mempermudah proses pengambilan

keputusan pemeliharaan berbasis kondisi (*Condition Based Maintenance*) (Commission, 2004, 2013; Wang et al., 2002).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi minyak isolasi transformator berdasarkan hasil pengujian karakteristik minyak pada IBT GITET Arun UPT Banda Aceh menggunakan metode Oil Health Index. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat kesehatan minyak isolasi secara lebih komprehensif serta menjadi dasar rekomendasi tindakan pemeliharaan yang lebih efektif guna meningkatkan keandalan operasi transformator dan sistem tenaga listrik secara keseluruhan (Muhammad et al., 2024; Ridho et al., 2024; Siagian et al., 2023; Tharo et al., 2018; Wang et al., 2002; Waruwu & Tharo, 2023).

Dimensi perubahan kondisi antarperiode juga mendapat perhatian dalam penelitian sebelumnya. Bohatyrewicz dan Banaszak (2022) melalui *Assessment Criteria of Changes in Health Index Values over Time—A Transformer Population Study* menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi gas terlarut memberikan pengaruh lebih besar terhadap perubahan indeks kesehatan pada populasi yang diteliti dibandingkan perubahan sifat fisikokimia minyak dan kandungan furfural. Temuan ini memperlihatkan bahwa respons indeks dipengaruhi oleh komposisi indikator yang digunakan. Selanjutnya, Li et al. (2023) menguraikan kelebihan dan keterbatasan berbagai metode indeks kesehatan, termasuk ketergantungan pendekatan berbasis skor pada penetapan bobot serta kebutuhan data pada pendekatan berbasis kecerdasan buatan. Berdasarkan keempat penelitian tersebut, evaluasi kondisi perlu mempertimbangkan keterlacakan perhitungan, cakupan indikator, dan perubahan hasil pengujian antarperiode.

Dalam konteks objek penelitian, kebutuhan tersebut relevan dengan pemantauan minyak isolasi pada IBT (*Inter Bus Transformer*) di GITET Arun UPT Banda Aceh. Berdasarkan dokumen pengujian yang digunakan dalam penelitian ini, objek analisis mencakup IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T pada dua periode pengambilan sampel, yaitu November 2024 dan Agustus 2025. Data tersebut memperlihatkan perubahan nilai tegangan tembus IBT 2R dari 95,1 kV menjadi 90,2 kV, IBT 2S dari 92,2 kV menjadi 87,4 kV, serta IBT 2T dari 91,6 kV menjadi 88,9 kV. Selain itu, pada periode Agustus 2025 tercatat sedimen sebesar 0,02% pada IBT 2R yang dikategorikan sedang dalam penilaian penelitian. Fenomena tersebut menunjukkan perlunya membaca perubahan nilai pengujian bersama kategori kondisinya, karena hasil yang masih dinyatakan baik tetap dapat memperlihatkan perubahan yang memerlukan pemantauan.

Meskipun literatur telah mengembangkan berbagai metode penilaian kondisi transformator, masih terdapat kebutuhan untuk menerjemahkan dokumen pengujian rutin pada objek penelitian menjadi evaluasi komparatif yang transparan. Kesenjangan yang ditangani penelitian ini terletak pada penyajian hubungan antara hasil individual sepuluh parameter minyak, kategori kesesuaiannya, dan perubahan indeks gabungan pada tiga unit IBT selama dua periode pengamatan. Sepuluh parameter tersebut meliputi tegangan tembus, kadar air, angka asam, tegangan antarmuka, warna, sedimen, resistivitas DC, viskositas, titik nyala, dan faktor rugi dielektrik. Evaluasi dibatasi pada karakteristik minyak yang tersedia dalam dokumen pengujian. Dengan batasan tersebut, hasil penelitian diposisikan sebagai penilaian kesesuaian kondisi minyak, sedangkan penilaian kesehatan transformator secara menyeluruh memerlukan informasi diagnostik tambahan.

Urgensi penelitian ini berkaitan dengan kebutuhan untuk membedakan kondisi minyak yang relatif stabil dari kondisi yang mulai memperlihatkan indikasi perubahan. Penurunan nilai suatu parameter maupun munculnya sedimen perlu ditelusuri secara proporsional berdasarkan hasil laboratorium, kriteria penilaian, dan riwayat pengujian yang tersedia. Evaluasi semacam ini dapat membantu pengelola menentukan fokus pemeriksaan lanjutan dan menyusun prioritas pemantauan. Selain itu, penyajian hasil secara terstruktur dapat mempermudah perbandingan antarunit dan antarperiode sehingga dokumentasi pengujian memiliki kegunaan yang lebih besar dalam perencanaan pemeliharaan. Kebutuhan tersebut sejalan dengan fungsi indeks kondisi sebagai alat bantu pengelolaan aset, dengan tetap mempertahankan perhatian terhadap hasil diagnostik yang membentuk nilai indeks.

Kebaruan penelitian ini bersifat aplikatif dan kontekstual, yaitu menggabungkan evaluasi sepuluh karakteristik minyak dengan perbandingan dua periode pengujian pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T di GITET Arun. Penggabungan dilakukan melalui Indeks Kesesuaian Karakteristik Minyak (IKKM), sebagaimana digunakan dalam metode penelitian, dengan pemberian skor berdasarkan kategori baik, sedang, dan buruk, kemudian dinormalisasi terhadap skor maksimum. Kontribusi pendekatan ini terletak pada penyajian evaluasi yang sederhana dan dapat ditelusuri kembali ke parameter penyusunnya. Dengan demikian, nilai indeks dapat digunakan bersama perubahan hasil pengujian individual untuk menjelaskan perbedaan kondisi antarunit. Kebaruan tersebut ditempatkan pada penerapan dan integrasi data kasus, tanpa mengasumsikan bahwa penggabungan skor merupakan metode yang pertama kali dikembangkan dalam penelitian ini.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi minyak isolasi pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T di GITET Arun UPT Banda Aceh berdasarkan hasil pengujian sepuluh karakteristik minyak pada periode November 2024 dan Agustus 2025. Secara khusus, penelitian diarahkan untuk mengidentifikasi kesesuaian setiap parameter terhadap kriteria yang digunakan, menghitung nilai IKKM, membandingkan perubahan kondisi antarperiode, serta menyusun rekomendasi pemantauan dan pemeliharaan sesuai temuan. Secara akademis, penelitian diharapkan menambah bukti empiris mengenai penggunaan indeks kesesuaian untuk merangkum hasil pengujian karakteristik minyak dalam studi kasus dengan data terbatas. Secara praktis, hasilnya diharapkan menjadi bahan pertimbangan bagi pengelola dalam menentukan parameter yang perlu dipantau, memperbaiki dokumentasi kondisi minyak, dan mendukung pemeliharaan berbasis kondisi.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada transformator IBT (*Inter Bus Transformer*) di GITET Arun UPT Banda Aceh. Objek yang dianalisis terdiri dari tiga unit transformator, yaitu IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T. Data penelitian diperoleh dari dokumen hasil pengujian karakteristik minyak isolasi transformator pada dua periode pengujian, yaitu November 2024 dan Agustus 2025. Pengolahan data, analisis hasil pengujian, serta penyusunan laporan penelitian dilakukan setelah seluruh data pengujian diperoleh (Commission, 2004, 2013).

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi minyak isolasi pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T

berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Metode kuantitatif digunakan karena penelitian ini memakai data angka dari setiap parameter pengujian minyak, kemudian dibandingkan dengan standar yang digunakan. Hasil perbandingan tersebut selanjutnya diberi skor dan dihitung menggunakan metode Indeks Kesesuaian Karakteristik Minyak (IKKM). Melalui metode ini, kondisi minyak isolasi tidak hanya dinilai berdasarkan satu parameter, tetapi berdasarkan gabungan seluruh parameter pengujian minyak (Commission, 2004, 2013).

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah minyak isolasi transformator pada tiga unit IBT di GITET Arun UPT Banda Aceh. Identitas objek penelitian ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Identitas Objek Penelitian IBT di GITET Arun UPT Banda Aceh

Bay Transformator	Nomor Identitas	Periode Pengujian
IBT 2R	3011170044	November 2024 dan Agustus 2025
IBT 2S	3011170045	November 2024 dan Agustus 2025
IBT 2T	3011170046	November 2024 dan Agustus 2025

Data Penelitian

Pada periode pertama, sampel minyak diambil pada 26 November 2024 dan diuji pada 3 Desember 2024. Pada periode kedua, sampel minyak diambil pada 14 Agustus 2025 dan diuji pada 20 Agustus 2025. Dengan demikian, jumlah data hasil pengujian yang dianalisis dalam penelitian ini adalah enam data sampel minyak, yaitu tiga sampel pada tahun 2024 dan tiga sampel pada tahun 2025.

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer merupakan data utama yang diperoleh dari laporan hasil pengujian minyak isolasi transformator IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T. Parameter pengujian yang dianalisis terdiri dari sepuluh parameter (Commission, 1997, 2003, 2013, 2018; International, n.d.-e, n.d.-a, n.d.-d, n.d.-h, n.d.-c, n.d.-f, n.d.-b, n.d.-g).

Tabel 2. Parameter Data Primer Pengujian Minyak Isolasi

Parameter Pengujian	Satuan	IBT 2R	IBT 2S	IBT 2T	IBT 2R	IBT 2S	IBT 2T
		Nov 2024	Nov 2024	Nov 2024	Agu 2025	Agu 2025	Agu 2025
Tegangan tembus (<i>Breakdown Voltage</i>)	kV	95,1	92,2	91,6	90,2	87,4	88,9
Kadar air (<i>Water Content</i>)	ppm	4,9	5,6	6,0	4,7	4,0	4,0
Angka asam (<i>Acid Number</i>)	mg KOH/g	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Tegangan antarmuka (<i>Interfacial Tension</i>)	mN/m	39,2	37,7	39,0	40,8	38,9	39,2
Warna minyak (<i>Colour</i>)	ASTM Colour	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Sedimen (<i>Sediment</i>)	%	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Resistivitas DC	GΩm	398,66	316,74	243,04	403,85	321,37	252,70
Viskositas	mm ² /s (cSt)	—	—	—	9,012	8,978	9,012
Titik nyala (<i>Flash Point</i>)	°C	150	149	149	146	148	149
Faktor rugi dielektrik (<i>DDF</i>)	tan δ	0,0014	0,0013	0,0019	0,002	0,001	0,002

2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan meliputi:

- a) Data identitas dan lokasi IBT
- b) Dokumen hasil pengujian minyak isolasi periode 2024 dan 2025.
- c) Standar pengujian minyak isolasi yang digunakan sebagai acuan penilaian. (International, n.d.-h, n.d.-a, n.d.-f, n.d.-b, n.d.-g, n.d.-e, n.d.-d).
- d) Literatur, jurnal, buku, serta standar IEC dan ASTM yang berkaitan dengan pengujian minyak transformator

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi. Data dikumpulkan dari laporan hasil pengujian minyak isolasi yang tersedia pada GITET Arun UPT Banda Aceh. Tahapan pengumpulan data adalah sebagai berikut: (Commission, 2004, 2013).

1. Mengumpulkan dokumen hasil pengujian minyak IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T
2. Mengelompokkan data berdasarkan periode pengujian November 2024 dan Agustus 2025.
3. Mencatat nilai setiap parameter pengujian minyak.
4. Membandingkan hasil pengujian dengan standar atau kategori penilaian pada laporan pengujian.
5. Menyusun data ke dalam tabel untuk dilakukan analisis kondisi minyak dan perhitungan IKKM

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian minyak terhadap nilai standar atau kategori kondisi yang tercantum dalam laporan pengujian. Selanjutnya, setiap parameter diberi skor untuk memperoleh nilai Indeks Kesesuaian Karakteristik Minyak. Tahapan analisis data adalah sebagai berikut:

1. Menyajikan hasil pengujian minyak untuk setiap IBT dan setiap periode pengujian
2. Membandingkan nilai setiap parameter dengan standar pengujian yang digunakan.
3. Menentukan kategori kondisi setiap parameter, yaitu baik, sedang, atau buruk.
4. Memberikan skor pada setiap parameter berdasarkan kategori kondisi.
5. Menghitung nilai IKKM untuk masing-masing unit IBT.
6. Membandingkan nilai IKKM periode November 2024 dan Agustus 2025.
7. Menentukan kondisi umum minyak isolasi serta rekomendasi tindak lanjut pemeliharaan

Kriteria Penilaian Parameter

Dalam penelitian ini, hasil setiap parameter dikelompokkan menjadi tiga kondisi, yaitu baik, sedang, dan buruk. Penilaian dilakukan berdasarkan standar serta kategori yang tercantum pada laporan hasil uji minyak.

Tabel 3. Kriteria Penilaian Kondisi Parameter Minyak Isolasi

Kondisi Parameter	Keterangan	Skor
Baik	Nilai parameter memenuhi standar dan tidak menunjukkan indikasi gangguan	3
Sedang	Nilai parameter masih dapat diterima, tetapi memerlukan pemantauan	2
Buruk	Nilai parameter tidak memenuhi standar dan memerlukan tindakan pemeliharaan	1

Nilai skor tersebut digunakan untuk menghitung IKKM. Semakin tinggi skor yang diperoleh, maka semakin baik kondisi minyak isolasi transformator.

Perhitungan Indeks Kesesuaian Karakteristik Minyak (IKKM)

Metode IKKM digunakan untuk memperoleh gambaran kondisi minyak isolasi secara keseluruhan. Nilai IKKM dihitung berdasarkan jumlah skor dari seluruh parameter pengujian. Dapat dihitung dengan persamaan (5). Adapun Contoh perhitungan apabila seluruh parameter berada pada kondisi baik, maka jumlah skor adalah 30. Nilai IKKM diperoleh sebagai berikut:

$$IKKM = \frac{30}{30} \times 100\%$$

$$IKKM = 100\%$$

Nilai IKKM kemudian digunakan untuk menentukan kondisi umum minyak isolasi pada masing-masing IBT.

Kriteria Kondisi Berdasarkan Nilai IKKM

Tabel 4. Kriteria Kondisi Minyak Berdasarkan Nilai IKKM

Nilai IKKM	Kondisi Minyak	Tindakan
80–100%	Baik / normal operasi	Melanjutkan operasi dan pengujian berkala
60–79%	Cukup / perlu perhatian	Melakukan pemantauan lebih intensif dan evaluasi parameter
<60%	Kurang baik / perlu tindakan	Melakukan pemeriksaan lanjut, filtrasi, <i>reconditioning</i> , atau tindakan sesuai hasil evaluasi

Kriteria tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan kondisi minyak isolasi pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan berikut:

1. Identifikasi masalah kondisi minyak isolasi pada IBT GITET Arun
2. Studi literatur mengenai transformator, minyak isolasi, parameter pengujian, standar pengujian, dan metode IKKM.
3. Pengumpulan data hasil pengujian minyak IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T periode November 2024 serta Agustus 2025.
4. Pengelompokan data berdasarkan unit IBT dan periode pengujian.
5. Perbandingan hasil pengujian dengan standar atau kategori kondisi yang digunakan.
6. Pemberian skor terhadap sepuluh parameter pengujian minyak.
7. Perhitungan nilai IKKM pada masing-masing IBT.
8. Analisis perbandingan kondisi minyak antara periode 2024 dan 2025.
9. Penarikan kesimpulan serta pemberian rekomendasi pemeliharaan



Gambar 1. *Flowchart Penelitian*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada minyak isolasi tiga unit *Inter Bus Transformer* (IBT) yang berada di GITET Arun UPT Banda Aceh, yaitu IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T. Kondisi minyak isolasi dianalisis berdasarkan dokumen hasil pengujian laboratorium pada dua periode, yaitu November 2024 dan Agustus 2025. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian karakteristik minyak isolasi terhadap standar yang digunakan. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan tembus, kadar air, angka asam, tegangan antarmuka, warna, sedimen, resistivitas DC, viskositas, titik nyala, dan faktor rugi dielektrik.

Tabel 5. Identitas Sampel Minyak Isolasi IBT GITET Arun

Bay Transformator	Nomor Identitas	Periode Pengujian
IBT 2R	3011170044	November 2024 dan Agustus 2025
IBT 2S	3011170045	November 2024 dan Agustus 2025
IBT 2T	3011170046	November 2024 dan Agustus 2025

Pada periode November 2024, pengambilan sampel dilakukan tanggal 26 November 2024 dan pengujian dilakukan tanggal 3 Desember 2024. Pada periode Agustus 2025,

pengambilan sampel dilakukan tanggal 14 Agustus 2025 dan pengujian dilakukan tanggal 20 Agustus 2025.

Hasil Pengujian Minyak Isolasi Periode November 2024

Berdasarkan hasil pengujian periode November 2024, minyak isolasi pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T menunjukkan kondisi baik. Seluruh parameter hasil uji berada dalam kategori memenuhi standar dan ketiga transformator dinyatakan dapat beroperasi secara normal (Commission, 2004, 2013).

Tabel 6. Hasil Pengujian Minyak Isolasi IBT Periode November 2024

Parameter	Satuan	IBT 2R	IBT 2S	IBT 2T	Kondisi Umum
Tegangan tembus	kV	95,1	92,2	91,6	Baik
Kadar air	ppm	4,9	5,6	6,0	Baik
Angka asam	mg KOH/g	0,03	0,03	0,03	Baik
Tegangan antarmuka	mN/m	39,2	37,7	39,0	Baik
Warna	ASTM Colour	0,5	0,5	0,5	Baik
Sedimen	%	0,01	0,01	0,01	Baik
Resistivitas DC	GΩm/TΩm	398,66	316,74	243,04	Baik
Titik nyala	°C	150	149	149	Baik
Faktor rugi dielektrik	% / tan δ	0,0014	0,0013	0,0019	Baik

Hasil tersebut menunjukkan bahwa minyak pada ketiga IBT masih memiliki kemampuan isolasi dan pendinginan yang baik. Tegangan tembus yang memenuhi standar menunjukkan bahwa minyak mampu menahan tegangan listrik tanpa terjadi kegagalan dielektrik. Selain itu, kadar air dan angka asam yang masih rendah menunjukkan bahwa proses oksidasi serta kontaminasi air belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas minyak. Parameter IFT, resistivitas DC, dan DDF yang berada dalam kondisi baik juga menunjukkan bahwa minyak belum mengalami degradasi yang serius. Dengan demikian, pada periode November 2024 minyak isolasi IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T dinyatakan layak untuk tetap dioperasikan.

Hasil Pengujian Minyak Isolasi Periode Agustus 2025

Hasil pengujian minyak isolasi pada Agustus 2025 menunjukkan bahwa kondisi umum minyak pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T masih baik dan seluruh unit dinyatakan normal operasi.

Tabel 7. Hasil Pengujian Minyak Isolasi IBT Periode Agustus 2025

Parameter	Satuan	IBT 2R	IBT 2S	IBT 2T	Kondisi Umum
Tegangan tembus	kV	90,2	87,4	88,9	Baik
Kadar air	ppm	4,7	4,0	4,0	Baik
Angka asam	mg KOH/g	0,04	0,04	0,04	Baik
Tegangan antarmuka	mN/m	40,8	38,9	39,2	Baik
Warna	ASTM Colour	0,5	0,5	0,5	Baik
Sedimen	%	0,02	0,01	0,01	Sedang pada IBT 2R; baik pada IBT 2S dan 2T
Resistivitas DC	GΩm/TΩm	403,85	321,37	252,70	Baik
Viskositas	mm ² /s	9,012	8,978	9,012	Baik
Titik nyala	°C	146	148	149	Baik
Faktor rugi dielektrik	% / tan δ	0,002	0,001	0,002	Baik

Pada IBT 2R terdapat parameter sedimen sebesar 0,02% yang masuk kategori sedang atau perlu perhatian. Kondisi ini menunjukkan adanya endapan sangat kecil pada minyak. Sedimen dapat berasal dari proses penuaan minyak, partikel isolasi kertas, debu, atau kontaminasi ringan dari dalam sistem transformator. Walaupun demikian, parameter lain pada IBT 2R masih berada pada kondisi baik. Oleh sebab itu, hasil pengujian keseluruhan tetap menyatakan IBT 2R dalam kondisi normal operasi. Tindakan yang diperlukan adalah pemantauan berkala terhadap nilai sedimen pada pengujian berikutnya. Sementara itu, IBT 2S dan IBT 2T menunjukkan seluruh parameter dalam kategori baik. Kedua unit tersebut masih memiliki kondisi minyak yang baik dan tidak memerlukan tindakan pemeliharaan khusus selain pengujian rutin.

Perbandingan Kondisi Minyak Tahun 2024 dan Tahun 2025

Perbandingan hasil pengujian dilakukan untuk melihat perubahan kondisi minyak isolasi selama periode November 2024 sampai Agustus 2025.

Tabel 8. Perbandingan Kondisi Minyak Isolasi Tahun 2024 dan Tahun 2025

Unit IBT	Kondisi Tahun 2024	Kondisi Tahun 2025	Perubahan Kondisi
IBT 2R	Baik	Baik, dengan sedimen kategori sedang	Perlu pemantauan sedimen
IBT 2S	Baik	Baik	Stabil
IBT 2T	Baik	Baik	Stabil

Berdasarkan Tabel 8 kondisi minyak isolasi IBT 2S dan IBT 2T relatif stabil dari tahun 2024 hingga tahun 2025. Tidak terdapat parameter yang menunjukkan kondisi sedang maupun buruk. Pada IBT 2R terdapat perubahan pada parameter sedimen. Namun, perubahan tersebut belum memengaruhi parameter utama lainnya, seperti tegangan tembus, kadar air, angka asam, resistivitas DC, dan DDF. Oleh karena itu, perubahan kondisi pada IBT 2R belum dapat dikategorikan sebagai gangguan serius, tetapi tetap perlu dijadikan perhatian dalam program pemeliharaan preventif.

Perhitungan Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Tegangan tembus (*Breakdown Voltage*/BDV) menunjukkan kemampuan minyak isolasi dalam menahan tegangan listrik sebelum terjadi kegagalan dielektrik. Nilai BDV diperoleh dari nilai rata-rata beberapa kali pengujian sampel minyak dengan menggunakan persamaan (5). Pada penelitian ini, nilai BDV yang digunakan merupakan nilai rata-rata hasil pengujian laboratorium pada masing-masing sampel minyak isolasi. Rekapitulasi nilainya ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 9. Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Minyak Isolasi

Unit IBT	BDV November 2024 (kV)	BDV Agustus 2025 (kV)	Perubahan (kV)	Persentase Perubahan	Kondisi
IBT 2R	95,1	90,2	-4,9	-5,15%	Baik
IBT 2S	92,2	87,4	-4,8	-5,21%	Baik
IBT 2T	91,6	88,9	-2,7	-2,95%	Baik

Perhitungan Perubahan BDV IBT 2R

Nilai BDV minyak isolasi IBT 2R pada November 2024 adalah 95,1 kV, sedangkan pada Agustus 2025 sebesar 90,2 kV

$$\Delta BDV = BDV_{2025} - BDV_{2024}$$

$$\Delta BDV = 90,2 - 91,5$$

$$\Delta BDV = 4,9kV$$

Persentase perubahan BDV dihitung dengan persamaan:

$$\% \Delta BDV = \frac{BDV_{2025} - BDV_{2024}}{BDV_{2024}} \times 100\%$$

$$\% \Delta BDV = \frac{90,2 - 91,5}{91,5} \times 100\%$$

$$\Delta BDV = -5,15\%$$

Dengan demikian, nilai BDV IBT 2R mengalami penurunan sebesar 4,9 kV atau 5,15%. Meskipun menurun, nilai 90,2 kV masih menunjukkan kemampuan dielektrik minyak yang sangat baik.

Perhitungan Perubahan BDV IBT 2S

$$\Delta BDV = 87,4 - 92,2$$

$$\Delta BDV = -4,8kV$$

$$\% \Delta BDV = \frac{87,4 - 92,2}{92,2} \times 100\%$$

$$\% \Delta BDV = -5,21\%$$

Nilai BDV IBT 2S mengalami penurunan sebesar 4,8 kV atau 5,21%. Namun, nilai BDV pada Agustus 2025 masih sebesar 87,4 kV dan tetap berada dalam kondisi baik

Perhitungan Perubahan BDV IBT 2T

$$\Delta BDV = 88,9 - 91,6$$

$$\Delta BDV = -2,7kV$$

$$\% \Delta BDV = \frac{88,9 - 91,6}{91,6} \times 100\%$$

$$\% \Delta BDV = -2,95\%$$

Nilai BDV IBT 2T mengalami penurunan sebesar 2,7 kV atau 2,95%. Penurunan ini merupakan yang paling kecil dibandingkan dua unit IBT lainnya. Nilai BDV 88,9 kV menunjukkan minyak isolasi IBT 2T masih memiliki kekuatan dielektrik yang baik

Perhitungan Indeks Kesesuaian Karakteristik Minyak

Nilai IKKM dihitung berdasarkan skor setiap parameter. Parameter dengan kondisi baik diberikan skor 3, kondisi sedang diberikan skor 2, dan kondisi buruk diberikan skor 1. Jumlah parameter yang digunakan adalah 10 parameter, sehingga skor maksimum adalah: $3 \times 10 = 30$ dengan menggunakan rumus IKKM.

$$IKKM = \frac{\sum S_i}{3n} \times 100\% \text{ Maka}$$

Perhitungan IKKM IBT 2R Tahun 2024

Seluruh parameter IBT 2R pada tahun 2024 berada pada kategori baik

$$IKKM = \frac{30}{30} \times 100\%$$

$$IKKM = 100\%$$

Nilai IKKM IBT 2T tahun 2024 adalah **100%** dan berada pada kondisi normal operasi

Perhitungan IKKM IBT 2R Tahun 2025

Pada IBT 2R tahun 2025, terdapat sembilan parameter dengan kondisi baik dan satu parameter sedimen dengan kondisi sedang

$$\sum S_i = (9 \times 3) + (1 \times 2)$$

$$\sum S_i = 29$$

$$IKKM = \frac{29}{30} \times 100\%$$

$$IKKM = 96,67\%$$

Nilai IKKM IBT 2R tahun 2025 adalah 96,67%. Nilai tersebut termasuk kategori baik atau normal operasi. Namun, parameter sedimen perlu dipantau pada pengujian berikutnya.

Perhitungan IKKM IBT 2S Tahun 2025

Seluruh parameter IBT 2S tahun 2025 berada pada kondisi baik

$$IKKM = \frac{30}{30} \times 100\%$$

$$IKKM = 100\%$$

Nilai IKKM IBT 2S tahun 2025 adalah 100% dengan kondisi minyak baik

Perhitungan IKKM IBT 2T Tahun 2025

Seluruh parameter IBT 2T tahun 2025 berada pada kondisi baik

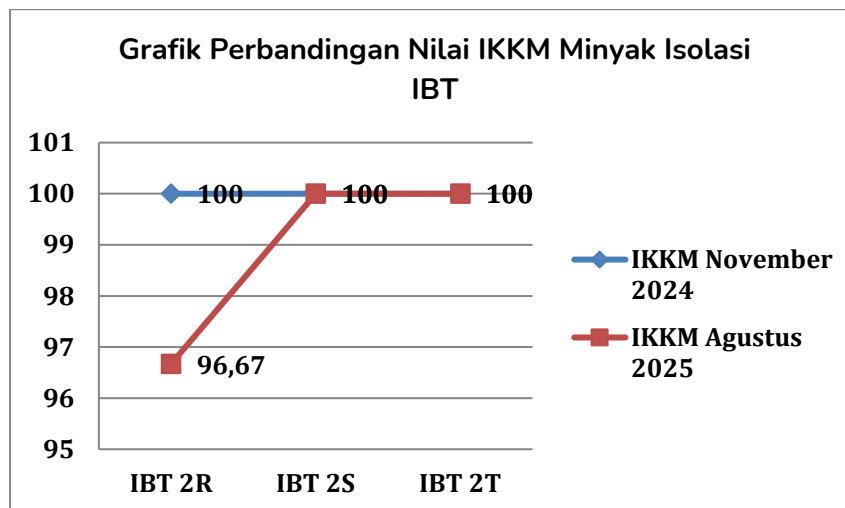
$$IKKM = \frac{30}{30} \times 100\%$$

$$IKKM = 100\%$$

Nilai IKKM IBT 2T tahun 2025 adalah 100% dengan kondisi minyak baik

Tabel 10. Rekapitulasi Nilai IKKM Minyak Isolasi

Unit IBT	IKKM November 2024	IKKM Agustus 2025	Kondisi Tahun 2025
IBT 2R	100%	96,67%	Baik / normal operasi
IBT 2S	100%	100%	Baik / normal operasi
IBT 2T	100%	100%	Baik / normal operasi



Gambar 2. Grafik Garis Perubahan Nilai IKKM Minyak Isolasi IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T Periode November 2024 dan Agustus 2025

Pembahasan Kondisi Minyak Isolasi

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan IKKM, kondisi minyak isolasi pada ketiga unit IBT GITET Arun masih tergolong baik. Nilai IKKM seluruh unit berada di atas 80%, sehingga minyak masih memenuhi kriteria normal operasi. IBT 2S dan IBT 2T memiliki nilai IKKM 100% pada kedua periode pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh parameter minyak berada dalam kondisi baik dan kualitas minyak relatif stabil. IBT 2R mengalami penurunan nilai IKKM dari 100% pada November 2024 menjadi 96,67% pada Agustus 2025. Penurunan ini disebabkan oleh nilai sedimen sebesar 0,02% yang berada pada kategori sedang. Walaupun demikian, nilai IKKM tersebut masih berada pada kategori baik. Tidak diperlukan penggantian minyak, tetapi perlu dilakukan pemantauan untuk memastikan nilai sedimen tidak terus meningkat. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa program pengujian berkala minyak isolasi telah mampu memberikan informasi awal mengenai kondisi internal transformator. Pemeriksaan rutin sangat penting dilakukan agar indikasi penurunan kualitas minyak dapat diketahui sebelum berkembang menjadi gangguan pada transformator.

Rekomendasi Pemeliharaan

Berdasarkan hasil analisis, rekomendasi pemeliharaan yang dapat diberikan adalah sebagai berikut: Minyak isolasi pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T dapat tetap dioperasikan karena seluruh nilai IKKM berada dalam kategori baik. IBT 2R perlu mendapat pemantauan khusus pada parameter sedimen karena pada Agustus 2025 diperoleh nilai 0,02% dengan kategori sedang. Pengujian minyak secara berkala perlu tetap dilakukan sesuai jadwal pemeliharaan, terutama untuk parameter tegangan tembus, kadar air, angka asam, IFT, resistivitas DC, dan DDF. Apabila nilai sedimen pada IBT 2R meningkat pada pengujian berikutnya, dapat dilakukan pemeriksaan sumber kontaminasi serta tindakan filtrasi atau *oil treatment* sesuai kebutuhan. Hasil pengujian minyak perlu didokumentasikan secara berkelanjutan agar tren perubahan kondisi minyak setiap IBT dapat dianalisis dari tahun ke tahun.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi minyak isolasi pada IBT 2R, IBT 2S, dan IBT 2T di GITET Arun UPT Banda Aceh secara umum berada dalam kategori baik berdasarkan evaluasi sepuluh parameter karakteristik minyak pada periode November 2024 dan Agustus 2025. Nilai Indeks Kesesuaian Karakteristik Minyak (IKKM) ketiga unit pada periode pertama mencapai 100%, sedangkan pada periode kedua nilai IBT 2S dan IBT 2T tetap sebesar 100% dan IBT 2R menurun menjadi 96,67%. Penurunan tersebut berkaitan dengan parameter sedimen sebesar 0,02% yang dikategorikan sedang. Meskipun nilai tegangan tembus seluruh unit mengalami penurunan, hasil pengujiannya masih dikategorikan baik berdasarkan kriteria yang digunakan. Dengan demikian, IKKM dapat membantu merangkum kesesuaian karakteristik minyak, tetapi interpretasinya tetap perlu disertai pemeriksaan setiap parameter agar perubahan kondisi tidak tertutupi oleh nilai agregat yang tinggi.

Penelitian selanjutnya disarankan memperluas jumlah unit transformator dan periode pengamatan agar perubahan karakteristik minyak dapat dianalisis secara lebih representatif dan berkelanjutan. Evaluasi juga perlu dilengkapi dengan analisis gas terlarut, kandungan furan, riwayat pembebanan, temperatur operasi, dan catatan pemeliharaan untuk memperoleh gambaran kondisi sistem isolasi yang lebih menyeluruh. Selain itu, pengujian sensitivitas terhadap bobot parameter dan batas klasifikasi IKKM diperlukan untuk menilai ketahanan hasil penilaian serta membandingkannya dengan metode indeks kesehatan lainnya. Khusus pada IBT 2R, penelitian lanjutan dapat menelusuri sumber sedimen melalui pengujian ulang dan pemeriksaan kontaminan sehingga rekomendasi pemeliharaan didasarkan pada perkembangan kondisi dan bukti diagnostik yang memadai.

REFERENSI

- Commission, I. E. (1997). *Insulating liquids—Oil-impregnated paper and pressboard—Determination of water by automatic coulometric Karl Fischer titration (IEC 60814)*. International Electrotechnical Commission.
- Commission, I. E. (2003). *Insulating liquids—Determination of acidity—Part 1: Automatic potentiometric titration (IEC 62021-1)*. International Electrotechnical Commission.
- Commission, I. E. (2004). *Insulating liquids—Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor and DC resistivity (IEC 60247)*. International Electrotechnical Commission.
- Commission, I. E. (2013). *Mineral insulating oils in electrical equipment—Supervision and maintenance guidance (IEC 60422)* (4th ed.). International Electrotechnical Commission.
- Commission, I. E. (2018). *Insulating liquids—Determination of the breakdown voltage at power frequency—Test method (IEC 60156)*. International Electrotechnical Commission.
- IEEE. (2015). *IEEE guide for acceptance and maintenance of insulating mineral oil in electrical equipment (IEEE Std C57.106)*. IEEE.
- International, A. (n.d.-a). *Standard test method for acid and base number by color-indicator titration (ASTM D974)*. ASTM International.
- International, A. (n.d.-b). *Standard test method for ASTM color of petroleum products (ASTM D1500)*. ASTM International.
- International, A. (n.d.-c). *Standard test method for dielectric breakdown voltage of insulating liquids using VDE electrodes (ASTM D1816)*. ASTM International.

- International, A. (n.d.-d). *Standard test method for dissipation factor (or power factor) and relative permittivity (dielectric constant) of electrical insulating liquids (ASTM D924)*. ASTM International.
- International, A. (n.d.-e). *Standard test method for flash and fire points by Cleveland open cup tester (ASTM D92)*. ASTM International.
- International, A. (n.d.-f). *Standard test method for interfacial tension of oil against water by the ring method (ASTM D971)*. ASTM International.
- International, A. (n.d.-g). *Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (ASTM D445)*. ASTM International.
- International, A. (n.d.-h). *Standard test method for water in insulating liquids by coulometric Karl Fischer titration (ASTM D1533)*. ASTM International.
- Muhammad, F., Siagian, P., & Fahreza, M. (2024). Penyeimbangan beban transformator distribusi PCC-007 untuk mengurangi rugi-rugi jaringan pada tegangan menengah 20 kV. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 13(2), 284–287.
- Ridho, Siagian, P., & Tharo, Z. (2024). Analisis frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi gardu induk 150 kV Siempat Rube. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5321>
- Siagian, A., Zulkarnain, Dalimunthe, M. E., & Tharo, Z. (2023). Analisis kehandalan sistem konfigurasi jaringan penyulang 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Pakam Kota berbasis MATLAB. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 5(1), 18–31. <https://doi.org/10.36706/jres.v5i1.89>
- Tharo, Z., Tarigan, A. D., Pulungan, R., & Aryza, S. (2018). Pengaruh pemakaian beban tidak seimbang terhadap umur peralatan listrik. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 10–15. <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.2256>
- Wang, M., Vandermaar, A. J., & Srivastava, K. D. (2002). Review of condition assessment of power transformers in service. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 18(6), 12–25. <https://doi.org/10.1109/MEI.2002.1161455>
- Waruwu, N., & Tharo, Z. (2023). Analisis sistem jaringan tegangan rendah di PT PLN ULP Binjai Timur dengan metode Failure Mode and Effect Analysis. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 5(1), 32–38. <https://doi.org/10.36706/jres.v5i1.91>