

Analisis Variabel Perubahan Suhu Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Dielektrik Udara

Christiono¹, Miftahul Fikri¹, Iwa Garniwa MK^{1,2}, dan Kartika Tresya Mauriraya¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
christiono@itpln.ac.id, miftahul@itpln.ac.id, iwa.garniwa@itpln.ac.id, kartika@itpln.ac.id

Abstrak

Permasalahan pada daerah tropis dimana adanya pengaruh perubahan suhu terhadap sistem tegangan tinggi mengakibatkan isolasi di sekitar penyaluran listrik yang terdapat pada kubikel 20 kV dapat memicu terjadinya kegagalan isolasi (*Breakdown Voltages*), kegagalan isolasi merupakan suatu gangguan kelistrikan yang mengakibatkan pemadaman listrik di area layanan pada suatu penyulang. Untuk mengurangi terjadinya pemadaman listrik akibat kegagalan isolasi dengan suhu yang berubah-ubah tersebut, maka dilakukan pengujian secara langsung dengan memberikan variasi suhu berkisar 30°C–90°C. Pengujian dilakukan Untuk melihat fenomena secara jelas. Pengujian dilakukan setiap kenaikan suhu 5°C. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh grafik yang menjelaskan penurunan nilai breakdown pada 50°C yang mengakibatkan tegangan tembus isolasinya bernilai 27kV dan penurunan tegangan tembus hingga suhu 90°C yang mengakibatkan tegangan tembus isolasinya menurun hingga 22kV. Dari pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin besar kenaikan suhu maka semakin cepat pula tegangan tembus yang diperoleh. Selanjutnya data dari hasil penelitian diuji menggunakan metode analisis regresi linear sehingga diperoleh MAPE sebesar 3,89% dan RMSE sebesar 1,33 dengan persentase rata-rata sebesar 0,37%.

Kata kunci: *breakdown voltage*, kegagalan isolasi, kubikel 20kV, pengujian suhu dan udara, regresi inear

Abstract

The problem in the tropics is the effect of temperature changes on the high voltage system, resulting in isolation around the electricity distribution in the 20 kV cubicle, which can trigger the insulation failure (*breakdown voltages*) on a feeder. To reduce the occurrence of power outages due to insulation failure with changing temperatures, direct testing is carried out by providing temperature variations ranging from 30°C to 90°C. To correctly understand the phenomenon, testing should be carried out. The test is carried out every 5°C temperature increase. Based on the research results, a graph is obtained that explains the decrease in the breakdown value at 50°C, which causes the insulation breakdown voltage to be 27kV, and the decrease in the breakdown voltage at 90°C, which causes the insulation breakdown voltage to decrease to 22kV. Based on experiments, it can be concluded that the greater the temperature rise, The breakdown voltage appears more quickly. Thereafter, the data from the research results were tested using the linear regression analysis method, so that a MAPE obtained 3.89% and an RMSE obtained 1.33 were obtained with an average percentage obtained 0.37%.

Keywords: *breakdown voltage*, insulation failure, 20kV cubicle, temperature and air testing, linear regression

1. Pendahuluan

Dalam penyaluran energi listrik bertegangan tinggi dibutuhkan peralatan yang handal. Masalah yang sering terjadi dalam penyaluran energi listrik adalah kegagalan isolasi (Harinata et al., 2019) yang disebabkan oleh kondisi iklim, polusi dan terpaan medan listrik (Mustamin, 2011). Perubahan iklim merupakan fenomena global, dimana kondisi alam mengalami pergeseran musim atau terjadi anomali terhadap kondisi normalnya dalam rentang waktu yang panjang dimana perubahan iklim identik dengan meningkatnya suhu udara (Alfiandy et al., 2022) perubahan iklim ini berdampak pada jaringan kelistrikan dalam hal ini pengaruh perubahan suhu pada daerah tropis, dapat mempengaruhi keandalan isolasi udara pada sistem distribusi (Abugalia, 2019), Selain dari pengaruh suhu, besarnya arus yang mengalir pada penghantar dapat mengakibatkan peningkatan suhu di kubikel 20 kV kemudian berkurangnya keandalan pada sistem hingga terjadinya kerusakan pada peralatan (Akhir et al., 2021) pada peralatan tegangan tinggi isolasi biasanya di gunakan unntuk memisahkan antara 2 peralatan yang tidak memiliki tegangan dengan peralatan

Info Makalah:

Dikirim : 05-23-22;
Revisi 1 : 12-03-22;
Revisi 2 : 05-14-23;
Revisi 3 : 06-23-23;
Diterima : 06-23-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 853-9858-4508
e-mail : christiono@itpln.ac.id

listrik yang memiliki tegangan (Ge et al., 2020). supaya di dalam rangkaian tersebut tidak terjadi munculnya lompatan/percikan elektron (*Flashover/sparkover*) yang akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan tegangan tinggi (Guerra-Garcia et al., 2020), dalam penyaluran tegangan tinggi semakin besar energi listrik yang digunakan maka semakin besar pula tegangan listrik yang disalurkan, dengan besarnya tegangan listrik tersebut mengakibatkan isolasi udara yang digunakan harus memiliki tahanan isolasi yang besar pula (Haddin & Bahtiar, 2018). Untuk menghindari adanya kegagalan isolasi dan fenomena korona yang bersifat merusak

peralatan sistem tenaga listrik dan tentunya sangat berdampak pada sistem kelistrikan 20 kV (Harinata et al., 2019). Penyebab dari adanya kerusakan peralatan tegangan tinggi bisanya terdapat beberapa hal yaitu adanya tegangan lebih yang mengakibatkan pemanasan pada penghantar. Panas tersebut dapat menyebabkan naiknya suhu pada isolasi yang melebihi batasnya. Apabila peristiwa ini terjadi terus menerus pada isolasi maka pada isolasi akan mengalami penurunan kualitas tahanan isolasinya dan dapat menyebabkan kegagalan isolasi, hal ini dapat membuat isolasi tidak mampu lagi menahan besarnya tegangan yang mengalir.

Adapun penyebab dari *flashover* dikarenakan tekanan udara, suhu ruangan dan jarak antar elektroda (Zhu et al., 2017). Definisi dari korona adalah sebuah peluahan muatan yang terus menerus dengan proses ionisasi pada lokasi tertentu karena adanya celah udara di antara peralatan yang tidak sesuai. Korona ditandai dengan adanya pancaran sinar berwarna biru ke abu-abuan pada batas antara konduktor dikarenakan medan listrik melebihi dari batas medan disruptif (*disruptif field*) udara di sekitar penghantar. Fenomena ini sering terjadi pada saat kondisi konduktor membawa beban tegangan ekstra tinggi (SUTET) dalam keadaan jarak berapa pun. Dari adanya fenomena tersebut mengakibatkan pihak penyuplai mengalami beberapa kerugian, adanya suara bising, percikan api, dll.

Efek korona biasanya mulai terlihat pada saluran udara yang melebihi dari 100 KV (Li et al., 2018). Dengan banyaknya penggunaan energi listrik membuat penyaluran semakin besar dengan adanya SUTET pada sistem transmisi menjadi penyebab utama adanya *corona*. Fenomena korona visual ditunjukkan oleh munculnya radiasi cahaya tampak, suara *hissing*, pembentukan ozon dan kehilangan daya. Dampak *corona* mempengaruhi lingkungan sekitar transmisi saluran udara dan pemadaman listrik di jalur tersebut. Penelitian ini membahas pengaruh suhu terhadap kemunculan *corona* dengan menggunakan metode kuantitatif dilakukan dengan menghitung nilai kepadatan udara relatif, tegangan kritis yang mengganggu, kehilangan daya dan energi *corona* (Masarrang et al., 2019).

Fenomena korona sendiri terjadi akibat adanya pelepasan muatan yang dikarenakan besarnya medan listrik antara, tahanan isolasi lebih kecil atau sama dengan besarnya medan listrik yang disalurkan (Pasra et al., 2018). Korona yang terjadi bila dikaitkan pada sistem distribusi dapat dilihat pada kubikel 20 kV yaitu dengan melihat tingkat kelembaban dan suhu yang mengakibatkan *discharge*, menjadi indikasi terjadi efek korona (FIKRI & CHRISTIONO, 2022; Prihatnolo et al., 2011). Menurut elemen distribusi medan listrik statis, nilai medan listrik di seluruh wilayah, saluran debit, permukaan elektroda dan jalur terpendek diekstraksi dan pasca-diproses, yang merupakan fitur medan listrik yang mengkarakterisasi struktur celah sehingga *discharge* dapat dideteksi (Refaat & Shams, 2018). Selain itu terbentuknya *discharge* ini bisa ditandai dengan adanya *treeing* pada isolasi, dan dengan adanya celah udara menyebabkan pola *partial discharge* (PD) menyerupai *void-discharge*. Sebelum inisiasi pohon, karakteristik debit berevolusi dengan peningkatan peningkatan tegangan dan peningkatan fase tertinggal di belakang tegangan yang diterapkan. Perubahan karakteristik PD ini mencerminkan perubahan dalam keadaan fisik celah udara (Syahbana, 2019).

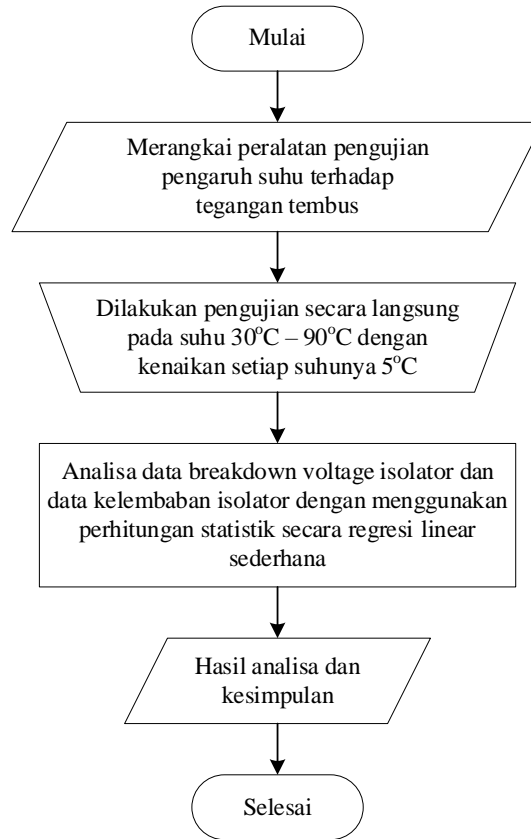
Pengujian tegangan tembus berdasarkan tingkat suhu bisa dilakukan dengan metode TEV untuk menentukan bahwa variabel yang diuji adalah *discharge* yang terjadi pada isolasi udara sehingga tepat sasaran, karena penting dilakukan kalibrasi terlebih dahulu selain menggunakan ultrasonik (Widyastuti & Dharma, 2019). Peristiwa korona ini akan mengakibatkan *breakdown* pada sistem isolasi dengan faktor penunjangnya yaitu suhu. Dengan demikian dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh tingkatan suhu terhadap karakteristik tegangan tembus pada isolasi udara dengan melakukan perubahan suhu dari 30°C–90°C dengan menggunakan pedoman dari (Prihatnolo et al., 2011) bahwa tegangan tembus dapat dipengaruhi oleh perbedaan suhu di mana ketika suhu pada udara terdapat kenaikan maka tegangan tembus yang di dapatkan akan semakin kecil.



Gambar 1. *Prototype* Laboratorium Pengujian Suhu terhadap *Breakdown Voltage* dan Kelembaban Isolator (FIKRI & CHRISTIONO, 2022).

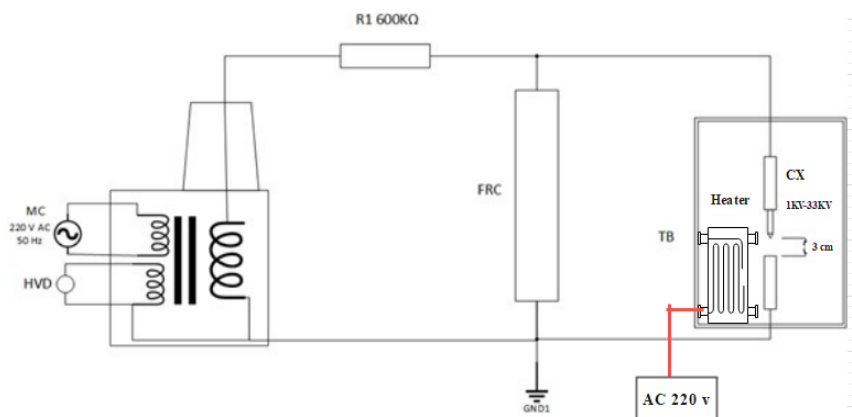
2. Metode

2.1. Teknik Pengambilan Data



Gambar 2. Flowchart Pengambilan Data Pengujian.

Pengujian ini dilakukan di laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fenomena suhu terhadap keandalan isolator. Pada flowchart di atas diterangkan bahwa pengujian dimaksudkan untuk mencari pengaruh suhu ketika adanya perubahan pada suhu 30°C – 90°C dengan kenaikan setiap suhunya 5°C. Setelah memperoleh hasil uji di atas maka dilanjutkan dengan analisis regresi linear. Konsep pengujian dapat diuraikan seperti pada gambar rangkaian percobaan seperti di bawah ini:



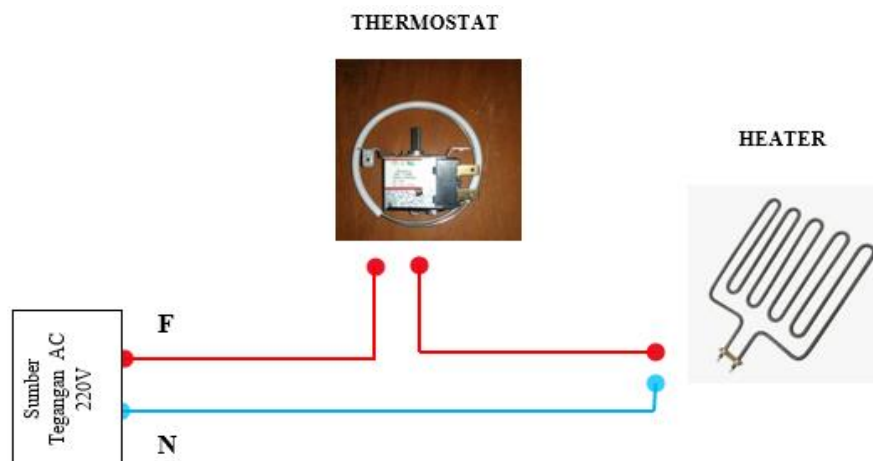
Gambar 3. Rangkaian Pengujian Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Tembus.

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengambilan data tersebut ialah HVD digunakan untuk membaca tegangan yang disuplai ke rangkaian pengujian, lalu ada MC 230V digunakan menyuplai tegangan yang akan diperbesar oleh trafo daya R1 600k untuk mengurangi arus yang mengalir sehingga tegangan yang menyuplai bisa maksimal. FRC untuk memperkecil arus-arus yang tersisa dan akan digrounding. *Grounding* membumikan arus sisa pada rangkaian. *Box Panel* untuk pengujian pada kubikel 20kV. *Heater* digunakan untuk memunculkan panas dan dapat dinaikkan suhunya. Elektroda untuk mengalirkan tegangan ke peralatan dengan jarak antar elektroda 3CM.



Gambar 4. Proses Pengujian.

Prinsip kerja pengujian di lakukan pada penelitian ini, menggunakan rangkaian gambar seperti di atas, rangkaian diberi suplai tegangan 220 VAC, tegangan tersebut lalu disalurkan menuju ke trafo daya, trafo tersebut memperbesar tegangan yang mengalir lalu tegangan masuk ke kontrol unit, fungsi dari kontrol unit ini adalah untuk mengontrol besar kecilnya tegangan sekunder pada trafo, lalu tegangan yang sudah di atur tadi akan mengalir juga melalui R1 atau CLR, pada komponen tersebut yang berfungsi untuk menurunkan arus yang besar ketika tegangan dibesarkan maka pada rangkaian menggunakan tegangan dengan meminimumkan arus maka tegangan yang mengalir akan semakin maksimal, lalu di FRC arus tadi disalurkan ke *grounding*, Lalu tegangan yang maksimal tadi akan disalurkan ke *Box uji* yang di dalamnya terdapat elektroda penguji dengan celah udara 3 cm, dan juga terdapat elemen *heater* pemanas ruangan, *heater* tersebut tegangannya berasal dari sumber yang berbeda agar pada saat pengujian tidak terjadi kecelakaan, untuk pengatur suhu udara panas menggunakan *thermostat* yang di rangkai di luar *box uji*, di dalam *box uji* juga terdapat *microphone* yang digunakan untuk perantara memperjelas suara dan merekam suara pada saat tegangan tembus, *microphone* tersebut nantinya akan disalurkan dengan *handphone* untuk menggunakan aplikasi perekamnya.



Gambar 5. Rangkaian *Heater*.

Cara pengambilan data penelitian ini menggunakan konsep perekaman dengan menggunakan *handphone* dan *microphone* yang sama dari pengujian awal, yang ditambah dengan menggunakan aplikasi peninjau seperti *wave editor*, proses pengujianya pertama alat yang di gunakan diberi tegangan suplai, setelah itu atur suhu pada *box* pengujian dari 30°C – 90°C, dengan kenaikan suhu 5°C, ketika suhu pada ruangan mencapai pada suhu 30°C pengujian dimulai dengan menaikkan tegangan secara bertahap pada *Control Unit* sampai dengan terjadinya kegagalan isolasi antara celah udara elektroda, ketika suhu 30°C ketahanan isolasi udaranya mencapai 33 KV, setelah itu lakukan pengujian selanjutnya dengan penambahan suhu 50°C, ketika suhu sudah diperbesar pada parameter 50°C, ketahanan isolasi atau tegangan tembusnya semakin menurun dengan nilai tegangan tembusnya 29 KV, kemudian ketika suhu sudah mencapai pada parameter 90°C, tegangan tembusnya semakin menurun sampai dengan nilai 23 KV, pengujian dilakukan secara berulang sebanyak 4 kali percobaan, dari 4 kali pengujian tersebut dapat dikatakan bahwa semakin besar suhu *box* penguji maka tegangan tembus pada *box* ujinya semakin menurun.

Setelah dilakukan percobaan seperti di atas, dan didapatkan suhu, kelembaban dan tekanan udara maka dapat diukur dengan menggunakan metode faktor koreksi perubahan suhu dengan rumus (Zhu et al., 2017).

$$K_{p.t} = \frac{P_0(273,2 + T)}{P(273,2 + T_0)} \quad (1)$$

2.2. Tegangan Tembus Isolasi Udara

Dalam proses kegagalan isolasi elektron tunggal yang bebas bukan karena proses ionisasi dapat menimbulkan banjir elektron (*avalanche*), merupakan kelompok elektron yang bergerak meninggalkan lintasan ionya yang semakin lama akan semakin bertambah banyak secara cepat. Terdapat 2 jenis strimer pada peluahan ini yaitu peluahan positif merupakan strimer akan mengarah ke katoda dan peluahan negatif merupakan strimer akan menuju ke anoda.

Jika tegangan yang disalurkan melebihi tegangan tembus statisnya maka pada dalam sekejap di antara sela akan muncul percikan api. Selama sekejap itu puncak tegangan saluran dapat dianggap konstan, maka dari itu tembus isolasi gas selalu terjadi pada saat puncak tegangan AC frekuensi rendah. Dalam gambar 3 menunjukkan adanya 2 susunan sela bola yang di ukur, untuk susunan horizontal digunakan untuk diameter $D < 50$ cm dalam rentan tegangan yang rendah sedangkan untuk diameter lebih lebar digunakan susunan vertikal. Sejumlah baku (VDE 0433-2; IEC- Publ.52; BS 358) menyatakan jarak bebas antara penghantar minimum tegangan tembus pada kondisi baku adalah ($b = 1013$ mbar, $v = 20^\circ\text{C}$) dengan berbagai diameter bola dan sela yang berubah : $U_{do} = f(D, s)$.

2.3. Elektroda

Pada pengujian tegangan tembus ini elektroda yang digunakan merupakan elektroda jarum dan batang, dengan bahan *stainless steel*, dengan jarak celah udaranya 3 cm dengan tegangan tembus normal sekitar 30-33kV, pengaruh jarak celah udara antar konduktor berpengaruh besar terhadap tegangan tembus, di mana ketika semakin jauh jarak celah udaranya maka tegangan tembusnya akan semakin besar.



Gambar 6. Elektroda Jarum dan Batang.

2.4. Peralatan dan Bahan Pengujian

Pada pengujian yang dilakukan di laboratorium teknologi dan peralatan tegangan tinggi Institut Teknologi PLN Jakarta, dengan peralatan yang digunakan yaitu: terdapat sumber tegangan 220VAC, Trafo *step up* 220 VAC-150 VAC berfungsi menaikkan tegangan, *control* unit untuk mengatur besarnya tegangan yang akan disuplai ke trafo *step up*, CLR (*Current Limiting Resistor*) untuk menghambat arus supaya tegangan bisa maksimal, HVD (*High Voltage Divider*) digunakan untuk mengukur tegangan trafo sekunder sampai 150 kV, *Box testing* untuk menyimulasikan kubikel 20 kV, *heater* dan thermostat untuk membangkitkan panas yang dapat diubah berada di dalam kubikel atau *box testing*, Thermometer untuk mengukur suhu yang ada di dalam *box testing* yang di ubah sampai 90°C , *Microphone* untuk media perantara memperjelas suara korona dan mendeteksi gelombang koronanya, *hanphone* dan aplikasi *wave editor* untuk merekam dan menampilkan gelombang pengujian.

2.5. Metode Regresi Linear

Analisis regresi merupakan salah satu metode analisis data dalam statistika yang sering kali digunakan untuk menguji hubungan antara beberapa variabel dan meramal suatu variabel (Kutner et al., 2004). Menurut (Iriawan & Astuti, 2006) analisa regresi linear sangat berguna dalam penelitian, yaitu: (1) model regresi dapat digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor, (2) model regresi dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu atau beberapa pengaruh suatu atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respon, (3) model regresi berguna untuk memprediksi pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel prediktor terhadap variabel respon. Persamaan regresi yang menggambarkan hubungan antara satu peubah bebas (X) dan satu peubah tak bebas (Y), di mana hubungan keduanya digambarkan sebagai garis lurus disebut regresi linear sederhana. Persamaan umum regresi linear dalam penelitian ini adalah (Muttaqin & Srihartini, 2022):

$$y = a + bx \tag{2}$$

2.6. Pengujian Keakurasian

Ada beberapa cara menghitung besarnya kesalahan, adapun beberapanya adalah *mean square error* (MSE), *root mean square error* (RMSE), dan *mean absolute percentage error* (MAPE). MSE adalah perataan selisih kuadrat antara data yang diprediksi dengan yang diamati, RMSE merupakan akar dari MSE, dan MAPE merupakan rata-rata diferensiasi absolut antara nilai yang diprediksi dan aktual, hasil prediksi yang baik adalah jika MAPE kurang dari 10% (Ayuni & Fitriyah, 2019). Rumus dari ketiga pengujian ini sebagaimana ditampilkan pada Persamaan 3, 4, dan 5 di bawah ini.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (Y_t - Y'_t)^2 \tag{3}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_t - Y'_t)^2} \tag{4}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - Y'_t|}{Y_t} \tag{5}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian pengaruh suhu terhadap tegangan tembus isolasi udara yang dilakukan dapat terlihat pada data pengamatan sebagai berikut:

Tabel 1. Data BDV dengan Kenaikan Suhu.

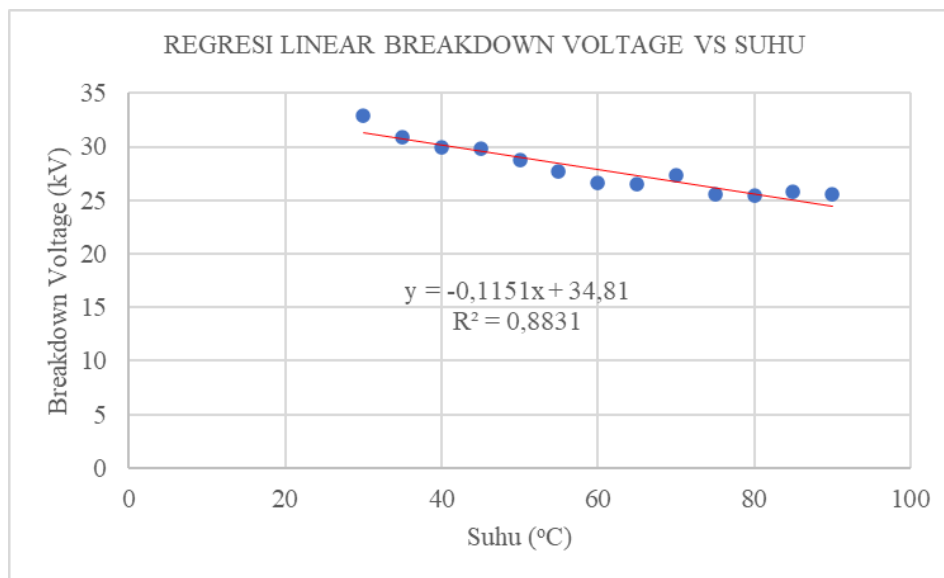
| SUHU | BREAKDOWN VOLTAGE | | | | | RATA-RATA |
|------|-------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | A (KV) | B (KV) | C (KV) | D (KV) | E (KV) | |
| 30 | 35,33 | 32,67 | 32,67 | 31,98 | 31,72 | 32,874 |
| 35 | 33,74 | 32,9 | 31,09 | 28,89 | 28,09 | 30,942 |
| 40 | 32,64 | 32 | 30,04 | 27,89 | 27,02 | 29,918 |
| 45 | 32,09 | 32,48 | 28,81 | 28,38 | 27,1 | 29,772 |
| 50 | 32,32 | 32,06 | 26,9 | 25,04 | 27,64 | 28,792 |
| 55 | 29,36 | 31,99 | 25,88 | 25,85 | 25,56 | 27,728 |
| 60 | 28,89 | 31,27 | 25,34 | 25,06 | 22,57 | 26,626 |
| 65 | 29,2 | 29,77 | 24,52 | 24,59 | 24,34 | 26,484 |
| 70 | 30,22 | 29,52 | 27,19 | 25,62 | 24,23 | 27,356 |
| 75 | 30,03 | 27,7 | 24,24 | 23,06 | 22,55 | 25,516 |
| 80 | 29,55 | 30 | 22,67 | 23,45 | 21,37 | 25,408 |
| 85 | 30,3 | 28,93 | 24,4 | 22,9 | 22,55 | 25,816 |
| 90 | 30,21 | 28,89 | 23,83 | 21,7 | 22,9 | 25,506 |

Dari tabel 1 data pengamatan diatas diberikan pengaruh berupa efek suhu yang meningkat yang dimulai dari 30°C hingga 90°C pada Isolator A, Isolator B, Isolator C, Isolator D, dan Isolator E, dimana terlihat nilai rata-rata *breakdown voltage* menurun secara signifikan setelah dipengaruhi suhu yang diberikan. Selanjutnya diperoleh data kelembaban dari setiap isolator yang terkena efek suhu yang dapat dilihat pada tabel 2. Dianalisa bahwa suhu dapat mempengaruhi kelembaban isolator yang diuji, terlihat setiap kenaikan suhu maka kelembaban menurun signifikan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Khriswanti et al., 2022) membuktikan suhu dan kelembaban mempunyai sifat yang tidak sama dan karakteristiknya selalu berbanding terbalik.

Tabel 2. Data Suhu dan Kelembaban.

| SUHU | A (%) | B (%) | C (%) | D (%) | E (%) |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 63 | 67 | 72 | 71 | 65 |
| 35 | 58 | 65 | 62 | 70 | 63 |
| 40 | 55 | 55 | 53 | 65 | 59 |
| 45 | 50 | 50 | 51 | 61 | 55 |
| 50 | 45 | 47 | 49 | 50 | 50 |
| 55 | 42 | 43 | 48 | 40 | 46 |
| 60 | 33 | 40 | 44 | 39 | 39 |
| 65 | 34 | 37 | 41 | 39 | 35 |
| 70 | 33 | 35 | 38 | 33 | 33 |
| 75 | 32 | 33 | 35 | 31 | 30 |
| 80 | 30 | 32 | 33 | 29 | 28 |
| 85 | 29 | 29 | 29 | 28 | 26 |
| 90 | 28 | 29 | 28 | 25 | 25 |

Dengan menggunakan data yang terdapat pada Tabel 2, maka dilanjutkan melihat grafik nilai pengujian suhu terhadap nilai *Breakdown voltages* (kV) di bawah ini:



Gambar 7. Grafik Regresi Linear.

Pada grafik di atas dapat dilihat disaat pengujian awal tegangan tembus isolasinya sebesar 33 KV, kemudian semakin besar kenaikan suhunya semakin cepat pula tegangan tembus yang diperoleh dapat dilihat pada grafik penurunan suhu pada saat suhu 50°C tegangan tembus isolasinya juga semakin cepat berkisar pada 27KV, kemudian suhu dinaikkan lagi pada 90°C yang mengakibatkan tegangan tembusnya semakin cepat berkisar 22KV, maka dari data yang diambil dengan menggunakan model analisis regresi linear ini berdasarkan grafik tegangan tembus (y) terhadap suhu (x) tersebut, diperoleh persamaan regresi linear sebagai berikut $y = -0.1151x + 34.81$. Analisis ini memiliki bentuk grafik menurun dapat disimpulkan bahwa pengaruh suhu terhadap tegangan tembus sangat berpengaruh karena pada grafik menjelaskan, semakin besar kenaikan suhu pada suatu tempat maka tegangan tembus isolasinya juga akan semakin cepat menurun.

Kemudian dapat dilihat korelasi antara suhu terhadap tegangan tembus sebesar $R^2=0,8384$. Dapat dilihat didapatkan nilai korelasi sebesar 0,8831 yang hampir mendekati 1 yang artinya faktor pengaruh suhu terhadap tegangan tembus sebesar 88,3% dan 11,7% dipengaruhi oleh faktor lain.

Di dalam model ini kita perlu mengetahui seberapa besar nilai keakurasiannya dengan menggunakan MAPE, MAPE merupakan ukuran akurasi relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan dari suatu model. MAPE didefinisikan dari persamaan (4) sehingga diperoleh tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Perhitungan Akurasi Pemodelan Regresi Linear Sederhana.

| X (suhu) | Y (kV) | \hat{Y} | $Y - \hat{Y}^2$ | Residu | % Error | ABS |
|----------------|--------|-----------|-----------------|---------|----------|-------|
| 30 | 32,874 | 31,357 | 2,301289 | 1,517 | 0,046146 | 5% |
| 35 | 30,942 | 30,7815 | 0,02576025 | 0,1605 | 0,005187 | 1% |
| 40 | 29,918 | 30,206 | 0,082944 | -0,288 | -0,00963 | 1% |
| 45 | 29,772 | 29,6305 | 0,02002225 | 0,1415 | 0,004753 | 0% |
| 50 | 28,792 | 29,055 | 0,069169 | -0,263 | -0,00913 | 1% |
| 55 | 27,728 | 28,4795 | 0,56475225 | -0,7515 | -0,0271 | 3% |
| 60 | 26,626 | 27,904 | 1,633284 | -1,278 | -0,048 | 5% |
| 65 | 26,484 | 27,3285 | 0,71318025 | -0,8445 | -0,03189 | 3% |
| 70 | 27,356 | 26,753 | 0,363609 | 0,603 | 0,022043 | 2% |
| 75 | 25,516 | 26,1775 | 0,43758225 | -0,6615 | -0,02592 | 3% |
| 80 | 25,408 | 25,602 | 0,037636 | -0,194 | -0,00764 | 1% |
| 85 | 25,816 | 25,0265 | 0,62331025 | 0,7895 | 0,030582 | 3% |
| 90 | 25,506 | 24,451 | 1,113025 | 1,055 | 0,041363 | 4% |
| <i>AVERAGE</i> | | | | | | 2,38% |

Pada pengujian dengan menggunakan metode regresi linear ini didapatkan nilai MAPE sebesar 2,38% dengan *error* sekecil itu kita dapat menyatakan bahwa model yang kita gunakan sudah cukup baik untuk tingkat keakurasianya, dengan nilai keakurasianya sebesar 97,62%.

Kesimpulan

Pengaruh perubahan suhu pada daerah tropis dapat mempengaruhi keandalan isolasi udara pada sistem distribusi. Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data adalah HVD digunakan untuk membaca tegangan yang disuplai ke rangkaian pengujian, maka dilakukan pengujian secara langsung dengan memberikan variasi suhu berkisar 30°C – 90°C. Untuk melihat fenomena secara jelas maka pengujian dilakukan setiap kenaikan suhu 5°C. Hasil penelitian dapat dilihat pada grafik terdapat penurunan nilai *breakdown* tampak jelas pada suhu 50°C yang mengakibatkan tegangan tembus isolasinya menurun hingga 27kV. Selanjutnya suhu dinaikkan hingga 90°C yang mengakibatkan tegangan tembus isolasinya menurun hingga 22kV. Dari pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin besar kenaikan suhu maka semakin cepat pula tegangan tembus yang diperoleh. Pengujian menunjukkan bahwa semakin besar kenaikan suhu maka semakin cepat pula tegangan tembus yang dapat diketahui menurut hasil data penelitian yang telah dilakukan didasari dengan menggunakan metode analisis regresi linear yang di dapatkan MAPE sebesar 2,38% sehingga diperoleh tingkat akurasi sebesar 97,62%, dan korelasinya yang bernilai 0,8831, artinya mendekati 1 didapatkan bahwa semakin besar kenaikan suhu akan berpengaruh kepada tegangan tembusnya akan semakin cepat.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi yang telah memberikan dukungan dan penggunaan fasilitas pengujian selama proses penelitian berjalan, Terima kasih Kepada Institut Teknologi PLN atas segala dukungan yang telah di berikan sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.

Daftar Notasi

- A = Konstanta
- b = Koefisien regresi
- Y. = Variabel *dependen* (variabel tak bebas / *Breakdown Voltage*)
- X. = Variabel *independen* (variabel bebas / Suhu)
- MAPE= *Mean absolute percentage error*
- R = Nilai korelasi
- RMSE= *Root mean square error*
- MSE = *Mean square error*

Daftar Pustaka

- Abugalia, A. (2019). Effect of corona on the wave propagation along overhead transmission lines. *Acta Electronica Malaysia*, 3(1), 06-09.
- Akhir, P., Darmawan, L. D., Studi, P., Teknologi, D., Ketenaga, F., & Dan, L. (2021). *Proyek akhir*.
- Alfiandy, S., Rangga, I. A., & Permana, D. S. (2022). Pattern of Increasing Air Temperature Based on BMKG and ERA5 Data in Central Sulawesi Province. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 19(1), 63-70.
- Ayuni, G. N., & Fitriyah, D. (2019). Penerapan metode Regresi Linear untuk prediksi penjualan properti pada PT XYZ. *Jurnal telematika*, 14(2), 79-86.

- FIKRI, M., & CHRISTIONO, C. (2022). Clustering Fenomena Corona Discharge berdasarkan Suara menggunakan Metode LPC dan Euclidean Distance. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(3), 689.
- Ge, X., Ding, Y., Yao, X., Lv, F., & Yang, B. (2020). Computation of breakdown voltage of long rod-plane air gaps in large temperature and humidity range under positive standard switching impulse voltage. *Electric Power Systems Research*, 187, 106518.
- Guerra-Garcia, C., Nguyen, N., Mouratidis, T., & Martinez-Sanchez, M. (2020). Corona discharge in wind for electrically isolated electrodes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16), e2020JD032908.
- Haddin, M., & Bahtiar, A. (2018). Rugi Daya Dan Energi Akibat Korona Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 Kv. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 6(2), 225-237.
- Harinata, I. M. D., Ilham, J., & Yusuf, T. I. (2019). Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Cair dan Isolasi Udara pada Beberapa Perubahan Suhu dan Diameter Elektroda. *Jurnal Teknik*, 17(1), 1-18.
- Iriawan, N., & Astuti, S. P. (2006). Mengolah data statistik dengan mudah menggunakan minitab 14. *Yogyakarta: Andi*.
- Khriawanti, J. T., Fitriyah, H., & Prasetio, B. H. (2022). Sistem Pengendali Suhu dan Kelembaban Udara Prototipe Greenhouse pada Tanaman Hidroponik menggunakan Metode Regresi Linier Berganda berbasis Arduino. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer e-ISSN*, 2548, 964X.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Wasserman, W. (2004). *Applied linear regression models* (Vol. 4). McGraw-Hill/Irwin New York.
- Li, X., Wang, J., Lu, T., & Cui, X. (2018). Statistical analysis of audible noise generated by AC corona discharge from single corona sources. *High voltage*, 3(3), 207-216.
- Masarrang, R., Patras, L. S., & Tumaliang, H. (2019). Efek korona pada saluran transmisi gardu induk Tello Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(2), 67-74.
- Mustamin, M. (2011). *Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Dipercepat* Universitas Hassanuddin].
- Muttaqin, Z., & Srihartini, E. (2022). Penerapan Metode Regresi Linier Sederhana Untuk Prediksi Persediaan Obat Jenis Tablet. *JSiI (Jurnal Sistem Informasi)*, 9(1), 12-16.
- Pasra, N., Makulau, A., & Abriyanto, M. O. (2018). Analisa Efek Korona Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV Pada Gardu Beton. *SUTET*, 8(2), 103-113.
- Prihatnolo, S. T., Syakur, A., & Facta, M. (2011). *Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara pada Berbagai Sela dan Bentuk Elektroda dengan Variasi Temperatur Sekitar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik*].
- Refaat, S. S., & Shams, M. A. (2018). A review of partial discharge detection, diagnosis techniques in high voltage power cables. 2018 IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG 2018),
- Syahbana, R. (2019). Analisa Terbentuknya Korona Pada Saluran Kubicle Tegangan 20Kv Serta Pengaruhnya Terhadap Rugi-Rugi Daya. *Lensa*, 2(48), 14-21.
- Widyastuti, C., & Dharma, I. N. B. Y. (2019). Dampak Korona pada SUTET 500 kV Terhadap Radio Interference: Dampak Korona pada Sutet 500 kV Terhadap Radio Interference. *ENERGI & KELISTRIKAN*, 11(2), 87-97.
- Zhu, M. X., Wang, Y. B., Liu, Q., Zhang, J. N., Deng, J. B., Zhang, G. J., Shao, X. J., & He, W. L. (2017). Localization of multiple partial discharge sources in air-insulated substation using probability-based algorithm. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(1), 157-166. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2016.005964>