

Tekep Isolator Gardu Untuk Menanggulangi Gangguan Binatang Tupai

Ida Bagus Prabha Girindra, I Wayan Jondra[✉], I Wayan Teresna

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

[✉]wjondra@pnb.ac.id

Abstrak: Kehandalan merupakan kunci untuk menekan SAIDI dan SAIFI. Energi listrik dibangkitkan oleh pusat pembangkit yang jauh dari pusat beban. Energi listrik dialirkan ke pelanggan melalui jaringan. Proses penyaluran energi listrik ada kemungkinan mengalami gangguan-gangguan, seperti gangguan *over voltage*, *over load*, *reverse power*, dan gangguan hubung singkat. Data PT. PLN ULP Kuta tahun 2018 menunjukkan terdapat 107 gangguan akibat binatang. Arus gangguan tanah menyebabkan bekerjanya *ground fault relay* (GFR) dan distribusi energi listrik menjadi padam. *Tekep isolator* merupakan sebuah merek dagang penutup isolator gardu untuk melindungi dari gangguan binatang yang diproduksi oleh PT. Adi Putra. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya arus gangguan fasa ke tanah, setelah pemasangan *tekep isolator* gardu dan mengetahui kemampuan *tekep isolator* gardu ini untuk menanggulangi bekerjanya relai tanah. Metode penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Temuan penelitian ini antara lain : (1) Nilai arus gangguan satu fasa ke tanah setelah pemasangan *tekep isolator* gardu tipe YS-FCO-AP di *fuse cut out* pada kondisi tubuh tupai kering dan basah yaitu: 46,14206371 mikro ampere dan 46,14208458 mikro ampere. Nilai arus gangguan satu fasa ke tanah setelah pemasangan *tekep isolator* gardu tipe YS-BUS-ARR-AP *bushing trafo* dan *arrester* pada kondisi tubuh tupai kering dan basah yaitu: 16,83937183 mikro ampere dan 16,83937461 mikro ampere; (2) Saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah di *fuse cut out*, *bushing trafo* dan *arrester* akibat tupai tidak menyebabkan jaringan distribusi padam, karena arus gangguan satu fasa ke tanah tidak melebihi *setting* relai tanah yaitu 30 ampere.

Kata kunci: Handal, Isolator, Tutup.

Abstract: Reliability is the key to minimize SAIDI and SAIFI. The remote power station generated electrical energy, and distributed to customers through the transmission and distribution system. So many disturbance in the distribution electrical energy process. PT. PLN ULP Kuta was noted 107 animal disturbances in 2018. Ground fault disturbance interrupted the GFR and the impact is distribution systems black out. *Tekep Isolator* is the trade mark of cover insulator for subdistribution station protection against animal disturbance, that are made in PT. Adi Putra. This study is quantitative research. This study was to determine the ground fault current, after the substation insulator cover installation and to minimize the ground fault relay (GFR) interruption. The findings of this study are (1) The value of one phase ground fault by to squirrels after the installation of the insulator cover, type YS-FCO-AP on the fuse cut out while dry and wet squirrel body conditions, namely: 46.14206371 micro amperes and 46.14208458 micro amperes. The value of one phase ground fault by to squirrels after the installation insulator cover type: YS-BUS-ARR-AP on the transformer bushing and arrester while squirrels are dry and wet is: 16.83937183 micro amperes and 16.83937461 micro amperes; (2) When one phase ground fault at fuse cut out, transformer bushing and arrester by squirrels did not cause the distribution black out, because the one phase ground fault current did not over than GFR setting, that is 30 amperes.

Keywords: Ability, Cover, Insulator.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu faktor penting dalam pembangunan bagi setiap bangsa termasuk Indonesia. Energi listrik sangat penting untuk menunjang setiap aktivitas manusia [1]. Perbaikan layanan energi listrik akan membawa banyak sekali keuntungan-keuntungan baik dalam bidang ekonomi maupun sosial. Maka dari itu, ketersediaan serta kualitasnya akan sangat menentukan keberhasilan pembangunan bagi setiap bangsa.

Untuk menunjang hal tersebut sistem distribusi tenaga listrik harus memiliki kehandalan yang tinggi. Kinerja kehandalan merupakan cara untuk menekan angka SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption*

Duration Index) [2]. Berdasarkan SPLN 59 tahun 1985, SAIFI yang diizinkan sebesar 1,199 kali/tahun dan SAIDI yang diizinkan sebesar 1,75 jam/tahun. Salah satu upaya untuk menekan nilai SAIDI dan SAIFI tersebut dengan memiliki sistem proteksi yang baik pula. Pemilihan penghantar haruslah diperhatikan dengan baik diantaranya tahanan jenisnya rendah dan isolasinya tinggi. Untuk mengantisipasi terjadinya gangguan antar fasa maupun fasa ke tanah, maka keberadaan isolasi merupakan suatu hal yang sangat penting. Isolasi yang baik adalah isolasi yang memiliki tahanan yang mampu menahan arus bocor ke dalam maupun di permukaan isolasi [2].

Energi listrik dibangkitkan oleh pusat pembangkit yang jauh dari perkotaan yang terkait dalam suatu sistem. Sistem tenaga listrik merupakan suatu proses

energi listrik diproduksi oleh pusat pembangkit dan disalurkan lewat transmisi menuju ke GI (Gardu Induk) dan didistribusikan ke pelanggan PLN [1]. Proses penyaluran energi listrik kemungkinan mengalami gangguan-gangguan seperti gangguan tegangan lebih, beban lebih, aliran daya balik, dan gangguan hubung singkat mulai dari pembangkit, transmisi hingga distribusi.

Gangguan dalam distribusi tenaga listrik banyak diakibatkan oleh gangguan binatang dan pohon [3]. Berdasarkan data PT. PLN ULP Kuta, pada tahun 2018 terdapat 107 gangguan akibat binatang. Gangguan tersebut menyebabkan terjadinya arus hubung singkat satu fasa ke tanah dan arus hubung singkat fasa-fasa. Data tersebut menunjukkan sebanyak 55 gangguan disebabkan oleh tupai dan binatang lainnya.

Informasi yang diperoleh setelah dilakukannya inspeksi oleh petugas PLN Unit Layanan Jaringan Kuta yaitu tupai-tupai berjalan melewati gardu distribusi tipe pasangan luar dan melompat ke arah *fuse cut out*. Arus gangguan tanah terjadi setelah bagian tubuh tupai menyentuh bagian konduktif terbuka dari *fuse cut out* dan setengah bagian tubuh tupai masih berada di *travers*, sehingga tupai tersetrum listrik. Arus gangguan tanah mengalir melalui pentanahan, yang tak jarang sulit untuk memperoleh tahanan pentanahan yang baik, untuk Gardu Pentanahan Tegangan Menengah minimal 5 ohm [4]. Arus gangguan tanah menyebabkan bekerjanya relai tanah dan jaringan menjadi padam. Penelitian ini sangat penting dilakukan untuk menanggulangi gangguan tersebut. Tupai yang mati tersetrum listrik akan mengganggu pelestarian tupai, sehingga hal ini tidak sejalan dengan prinsip *green tourism*.

Untuk menanggulangi gangguan temporer tersebut, PLN secara umum dan khususnya PLN Unit Layanan Jaringan Kuta telah memanfaatkan *tekep* isolator gardu. *Tekep* isolator gardu merupakan sejumlah peralatan asesories yang dipasang di gardu portal untuk mengantisipasi gangguan temporer, salah satunya akibat gangguan tupai. *Tekep* isolator ini diproduksi dan dipasarkan oleh PT. Adi Putra. *Tekep* isolator gardu merupakan salah satu karya desain dosen Politeknik Negeri Bali, yang telah mendapat pengakuan hak kekayaan intelektual dari Kementerian Hukum dan HAM.

Memperhatikan uraian di atas, maka penulis merumuskan artikel berjudul *Tekep* Isolator Gardu Untuk Menanggulangi Gangguan Binatang Tupai. Melalui artikel ini penulis mengharapkan dapat mengevaluasi pemasangan *tekep* isolator gardu dalam menanggulangi terjadinya gangguan akibat tupai.

II. METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian dengan metode observasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif.

B. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) ULP Kuta. Objek penelitian ini berupa *tekep* isolator yang terpasang dalam gardu distribusi tipe cantol KA 1021. Gardu ini terletak di Jl. Langui Kangin, Ungasan, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali.

C. Jenis Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif merupakan data dalam bentuk angka-angka, menyangkut besarnya tegangan, arus, tahanan, panjang, lebar, tebal dan sebagainya. Sedangkan data kualitatif merupakan data dalam bentuk teks atau gambar yang menjelaskan tentang spesifikasi produk atau data lain tentang objek yang diteliti.

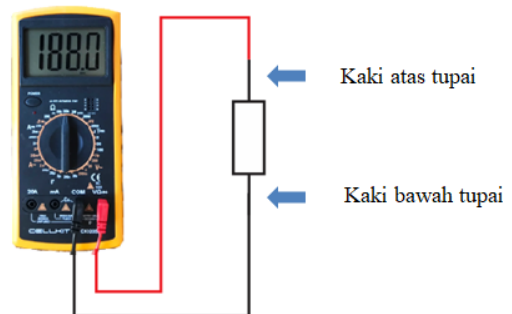
D. Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

E. Pengukuran

1. Pengukuran Tahanan Tubuh Tupai

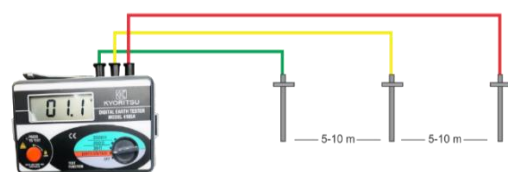
Pengukuran tahanan tubuh tupai dilakukan sesuai kajian pengukuran tahanan dengan ohm meter [5]. Pada penelitian ini resistor diganti dengan tupai. Cara pemasangan kabel untuk pengukuran tahanan tubuh tupai menggunakan multimeter digital ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian pengukuran tahanan tubuh tupai.

2. Pengukuran Pentanahan Gardu

Pengukuran tahanan pentanahan yang akan digunakan adalah menggunakan *Earth tester* [6]. Cara pemasangan kabel untuk pengukuran tahanan pentanahan di gardu KA1021 menggunakan *Earth tester* ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian pengukuran tahanan pentanahan gardu.

Keterangan :

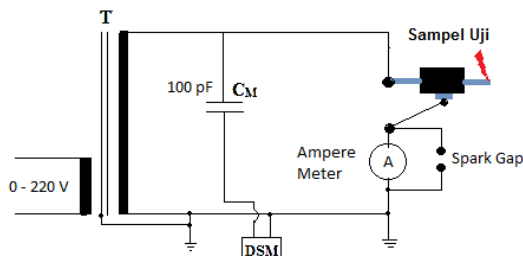
Terminal 1 = Berwarna Hijau

Terminal 2 = Berwarna Kuning (Arus)

Terminal 3 = Berwarna Merah (Tegangan)

3. Pengujian Arus Bocor

Tegangan pengujian elektrik terhadap isolasi minimal diuji dengan tegangan yang sama dengan tegangan operasi. Untuk pengujian peralatan sistem 20 kV, minimal diuji dengan tegangan uji 20 kV. Pengujian dilakukan dengan menggunakan transformator penaik tegangan, voltmeter dan amperemeter. Untuk mengamankan amperemeter, ampere meter dihubungkan paralel dengan spark gap. Semua peralatan di *grounding*. Pengukuran dilakukan adalah fasa ke netral. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian pengujian arus bocor dan tembus listrik sampel uji dengan tegangan tinggi AC

Pengujian arus bocor pada setiap sampel uji dilakukan pada beberapa tingkat tegangan tinggi ac hingga tegangan 30 kV. Pada setiap tingkat tegangan uji diukur arus bocornya menggunakan amperemeter. Pengukuran arus bocor tersebut diulangi sebanyak tiga kali dan diambil nilai rata-ratanya sebagai data hasil pengujian untuk satu sampel.

F. Metode Pengolahan Data

Penutup isolator dalam gardu distribusi KA1021 data-datanya diolah secara matematis dan statistik sederhana.

G. Analisa Hasil Penelitian

Setelah data-data diolah, penulis membandingkan nilai arus yang mengalir ke tanah akibat gangguan tupai dengan setting relai tanah saat ini. Perbandingan data tersebut akan menunjukkan bahwa pemasangan *tekep* isolator gardu jika terjadi gangguan tupai satu fasa ke tanah akan menyebabkan GFR bekerja atau tidak. Sehingga jika GFR tidak bekerja, maka pemasangan *tekep* isolator gardu dapat menanggulangi gangguan tupai.

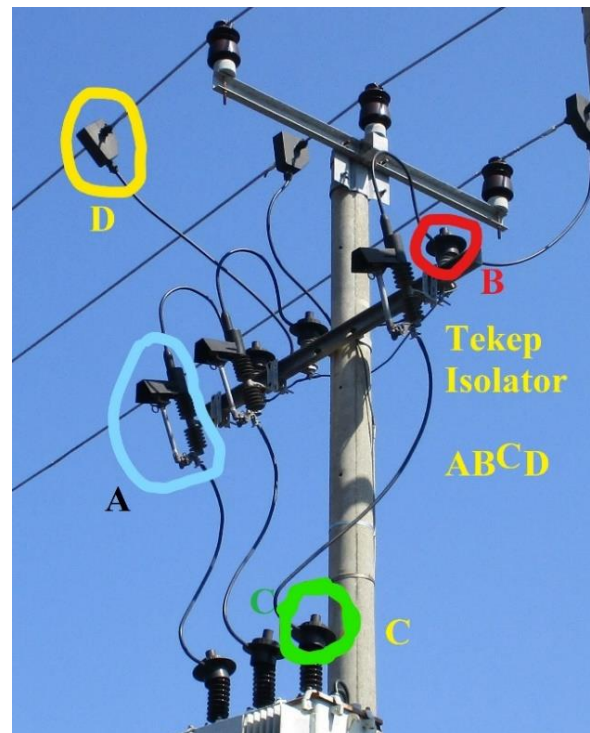
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tekep Isolator Gardu

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada pelanggan maka keberadaan gardu distribusi menjadi sangat penting dijaga keandalannya [7]. *Tekep*

isolator gardu merupakan seperangkat alat yang dipasang pada gardu distribusi pasangan luar untuk meningkatkan kehandalan. Pemasangan *tekep* isolator ini menjadi sangat penting untuk menekan terjadinya gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi [4]. Gangguan hubung singkat dapat juga mengakibatkan gangguan kepada penyulang lain yang sehat [8]. Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah maka akan mengganggu dua fasa yang sehat lainnya dalam sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa tersebut harus seimbang berbeda sudut 120 derajat [4].

Untuk mengantisipasi gangguan tersebut, maka pemasangan *tekep* isolator dalam gardu distribusi pasangan luar dipasang di empat komponen gardu distribusi. *Tekep* isolator *Fuse Cut Out* dengan tipe YS-CO-AP. *Tekep* isolator tipe YS-CO-AP terpasang di bagian *Fuse Cut Out*. *Tekep* Isolator tipe YS-BUS-ARR-AP merupakan alat pelindung yang terpasang pada bagian *Arrester* pada gardu distribusi pasangan luar. *Tekep* Isolator tipe YS-BUS-SEC-AP dipasang di bagian *bushing transformator* primer dan sekunder. *Tekep* Isolator tipe YS-Connector-AP merupakan alat pelindung yang terpasang di bagian *life line connector* (LLC), untuk penjamperan dari jaringan ke gardu.



Gambar 4 *Tekep* isolator gardu: FCO (A), *arrester* (B), *bushing* (C), *connector* (D).

B. Hasil Pengukuran

1. Pengukuran Tahanan Tubuh Tupai

Data tahanan tubuh tupai diperoleh dengan melakukan pengukuran tahanan tubuh tupai menggunakan digital multimeter merk cellkit dengan akurasi pengukuran

resistansi sebesar $\pm (0.8\% + 2)$. Pengukuran dilakukan selama dua hari. Dalam satu hari dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali pada pagi, siang, dan sore hari. Adapun data hasil pengukuran tubuh tupai kering pada hari pertama seperti data yang tertera dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Data hasil pengukuran tahanan tubuh tupai hari pertama.

Waktu	Jenis	R Kering (ohm)	R Basah (ohm)
08.00	tupai 1	126,5	5,6
	tupai 2	136,0	4,2
	tupai 3	59,3	5,5
13.00	tupai 1	130,9	5,2
	tupai 2	153,0	5,8
	tupai 3	90,8	4,9
17.00	tupai 1	128,9	25,9
	tupai 2	142,0	10,1
	tupai 3	88,0	13,2

Tabel 2. Data hasil pengukuran tahanan tubuh tupai hari ketiga.

Waktu	Jenis	R Kering (ohm)	R Basah (ohm)
08.00	tupai 1	129,0	7,6
	tupai 2	149,2	6,0
	tupai 3	108,0	6,7
13.00	tupai 1	145,4	4,1
	tupai 2	155,0	4,2
	tupai 3	122,6	4,5
17.00	tupai 1	128,0	16,3
	tupai 2	149,4	11,1
	tupai 3	120,1	12,9

Pengukuran tahanan tubuh tupai dilakukan sesuai kajian pengukuran tahanan dengan ohm meter [5]. Pada penelitian ini resistor diganti dengan tupai. Cara pemasangan kabel untuk pengukuran tahanan tubuh tupai menggunakan multimeter digital ditunjukkan oleh Gambar 1.

2. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan pada gardu distribusi tipe cantol KA1021 dilakukan menggunakan *Digital Earth Tester*. Pengukuran dilakukan dengan memvariasikan jarak antar elektroda arus dan tegangan. Data yang diperoleh setelah melakukan pengukuran ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil pengukuran pentanahan gardu distribusi KA1021.

Jarak (m)	Nilai tahanan (ohm)		
	1	2	3
5	10,81	11,0	10,0
7,5	11,11	11,3	9,0
10	11,30	12,0	11,7

C. Analisis

1. Tahanan Tubuh Tupai

Nilai arus gangguan diperoleh melalui tahapan perhitungan. Tahapan perhitungannya disusun mulai dari rata-rata nilai tahanan tubuh tupai basah, rata-rata nilai tahanan tubuh tupai kering, Tahanan pentanahan gardu KA1021, dan tahanan isolasi *tekep* isolator. Nilai tahanan tiga tubuh tupai dirata-ratakan berdasarkan waktu pengukuran yaitu pagi, siang dan sore hari. Nilai tahanan tersebut dirata-ratakan dengan membagi jumlah nilai data/tahanan dengan jumlah/frekuensi pengukuran data/pengukuran [9].

$$R_t = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^{n=6} (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6) \quad (1)$$

$$R_t = \frac{1}{6} (126,5 + 136 + 59,3 + 129 + 149,2 + 108)$$

$$R_t = \frac{1}{6} (708)$$

$$R_t = 118 \text{ ohm}$$

Tabel 4. Nilai rata-rata tahanan tubuh tupai.

Waktu	R Kering (Ohm)	R Basah (Ohm)
08.00	118,00	5,93
13.00	132,95	4,78
17.00	126,07	14,92

Dapat dilihat pada pengukuran di pagi hari (pukul 08.00) nilai rata-rata tahanan tubuh tupai kering sebesar 118 *ohm* sedangkan pada kondisi basah nilai tahanan menjadi 5,93 *ohm*. Pengukuran pada siang hari (pukul 13.00) rata-rata nilai tahanan tubuh tupai kering sebesar 132,95 *ohm* dan pada kondisi basah nilai tahananannya 4,78 *ohm*. Pengukuran di sore hari (pukul 17.00) dengan kondisi tubuh tupai kering rata-ratanya 126,07 *ohm* sedangkan nilai rata-rata ketika tubuh tupai basah sebesar 14,92 *ohm*.

2. Tahanan Pentanahan Gardu

Gardu yang dijadikan objek penelitian ini adalah gardu distribusi tipe gendong KA1021. Gardu KA1021 berada di penyulang Ungasan dan terletak di Jl. Langui Kangin, Ungasan, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali.

Data hasil pengukuran pentanahan Gardu KA1021 diolah untuk memperoleh nilai rata-rata dari tiga kali pengukuran, sehingga diperoleh hasil berikut ini :

$$R_{th} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^{n=9} (R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_9) \quad (2)$$

$$R_{th} = \frac{1}{9} (10,81 + 11,11 + 11,30 + 11,00 + 11,30 + 12,00 + 10,00 + 9,00 + 11,70)$$

$$R_{th} = 10,90 \text{ ohm}$$

Tabel 5. Nilai rata-rata tahanan pentanahan gardu KA1021.

Jarak (m)	Nilai tahanan (ohm)		
	1	2	3
5	10,81	11,00	10,00
7,5	11,11	11,30	9,00
10	11,30	12,00	11,70
	Rata-rata		10,90

Pengukuran pertama dilakukan pada pagi hari, pengukuran kedua dilakukan pada siang hari, dan pengukuran ketiga dilakukan pada sore hari. Setelah data pengukuran pertama, kedua dan ketiga diolah. Dapat dilihat pada tabel 5 nilai rata-rata total dari tiga kali pengukuran sebesar 10,90 ohm. Nilai tahanan tersebut masih diatas standar PLN, dimana nilai tahanan pentanahan gardu distribusi yang diizinkan PLN sebesar 5 ohm. Namun karena kondisi tanah di sekitar gardu KA1021 berupa kapur PLN ULP Kuta membuat standar pentanahan < 10 ohm untuk wilayah dengan tanah kapur.

3. Tahanan Isolasi *Tekep* Isolator

Data teknis *tekep* isolator menunjukkan bahwa *tekep* isolator telah diuji, dengan tegangan menengah AC dengan tegangan uji antara 5,5 KV hingga mencapai 30,5 KV, sehingga didapat nilai arus bocor yang bervarasirasi antara 26,8 mikro ampere sampai dengan 105 mikro ampere [10]. Berdasarkan data sekunder tersebut dapat dihitung besarnya nilai tahanan isolasi dengan cara membagi tegangan uji dengan arus bocornya [11-12]. Sehingga diperoleh hasil seperti Tabel 6.

Tabel 6. Nilai rata-rata tahanan isolasi tekep isolator YS-CO-AP.

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
Teg (KV)	5,43	5,45	5,39	5,42
Arus (mikro ampere)	7,30	8,40	7,80	7,83
Teg (KV)	10,38	10,39	10,43	10,40
Arus (mikro ampere)	14,00	16,20	15,10	15,10
Teg (KV)	15,34	15,36	15,37	15,36
Arus (mikro ampere)	20,80	24,10	22,30	22,40
Teg (KV)	20,31	20,25	20,22	20,26
Arus (mikro ampere)	27,50	32,00	29,50	29,67
Teg (KV)	25,27	25,28	25,41	25,32

Arus (mikro ampere)	34,50	40,00	37,00	37,17
Teg (KV)	30,27	30,27	30,39	30,31
Arus (mikro ampere)	41,80	82,20	46,80	56,93

Untuk mengitung besarnya tahanan isolasi *tekep* isolator tipe YS-CO-AP, dipilih data hasil pengujian yang sama atau di atas tegangan terima. V_t merupakan tegangan terima di gardu KA1021 sebesar 20KV, dalam perhitungan ini tegangan yang digunakan yaitu tegangan terima fasa-netral (1 Fasa). Perhitungan tegangan 1 fasa pada gardu sebesar :

$$V_t = \frac{vL}{\sqrt{3}} \tag{3}$$

$$V_t = \frac{20.000 V}{\sqrt{3}}$$

$$V_t = 11.547 \text{ Volt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut di atas, maka dalam tabel 6, dipilih data hasil pengujian dengan tegangan uji rata-rata 15,09 KV. Pada saat pengujian dengan tegangan uji rata-rata 15,09 KV diperoleh arus bocor rata ketiga sampel adalah sebesar 60,30 mikro ampere. Berdasarkan data tersebut, maka besarnya tahanan isolasi *tekep* isolator tipe YS-CO-AP, dapat dihitung seperti di bawah ini.

$$R_x = \frac{v_u}{I_b} \tag{4}$$

$$R_x = \frac{15.090 V}{0,00006030 A}$$

$$R_x = 250.248,756 \text{ ohm}$$

$$R_x = 250,25 \text{ Mega ohm}$$

Dari perhitungan tersebut, keenam data pengujian arus bocor dirata-ratakan. Sehingga, diperoleh nilai dalam tabel di atas. Dalam tabel 6, dapat dilihat dengan variasi tegangan dari 6,5 kV hingga 30,5 kV nilai arus bocornya semakin meningkat. Sedangkan nilai tahanan isolasi *tekep* isolator YS-CO-AP menunjukkan kebalikannya dimana saat pengujian dengan tegangan 6,5 kV, nilai tahananannya 242.537.313,4 ohm. Nilai tersebut terus menurun beriringan dengan ditingkatkannya tegangan uji. Pengujian terakhir adalah pengujian dengan menggunakan tegangan 30,5 kV, nilai tahanan isolasi *tekep* isolator adalah sebesar 111.926.605,5 ohm. Sehingga, nilai rata-rata tahanan isolasi *tekep* isolator adalah sebesar 180.980.057,4 ohm atau sama dengan 181 mega ohm.

Tabel 7. Nilai rata-rata tahanan isolasi *tekep* isolator YS-BUS-ARR-AP.

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
Teg (KV)	5,43	5,45	5,39	5,42
Arus (mikro ampere)	7,30	8,40	7,80	7,83
Teg (KV)	10,38	10,39	10,43	10,40
Arus (mikro ampere)	14,00	16,20	15,10	15,10
Teg (KV)	15,34	15,36	15,37	15,36
Arus (mikro ampere)	20,80	24,10	22,30	22,40
Teg (KV)	20,31	20,25	20,22	20,26
Arus (mikro ampere)	27,50	32,00	29,50	29,67
Teg (KV)	25,27	25,28	25,41	25,32
Arus (mikro ampere)	34,50	40,00	37,00	37,17
Teg (KV)	30,27	30,27	30,39	30,31
Arus (mikro ampere)	41,80	82,20	46,80	56,93

Berdasarkan hasil perhitungan (3) tersebut di atas, maka dalam tabel 6, dipilih data hasil pengujian dengan tegangan uji rata-rata 15,36 kV. Pada saat pengujian dengan tegangan uji rata-rata 15,36 KV, diperoleh arus bocor rata ketiga sampel adalah sebesar 22,40 mikro ampere. Berdasarkan data tersebut, maka besarnya tahanan isolasi *tekep* isolator tipe YS-CO-AP dapat dihitung seperti di bawah ini.

$$R_x = \frac{V_u}{I_b} \quad (5)$$

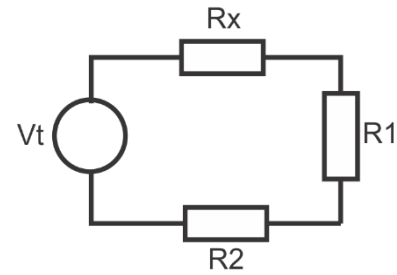
$$R_x = \frac{15.360 \text{ V}}{0,0000224 \text{ A}}$$

$$R_x = 685.714.285,714 \text{ ohm}$$

$$R_x = 685,71 \text{ Mega ohm}$$

4. Arus Gangguan

Untuk mengamankan arus gangguan fasa ke tanah, relai tanah di-setting pada 30 Amper. Arus gangguan yaitu arus yang mengalir ke tanah setelah pemasangan *tekep* isolator. Pada kondisi normal relai hubung tanah tidak merasakan, bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral dan relai hubung tanah merasakan [13-14].



Gambar 5. Rangkaian pengganti setelah pemasangan *tekep* isolator.

Keterangan :

V_t = Tegangan terima 1 fasa (V)

R_1 = Tahanan Tubuh tupai (kering/basah) (ohm)

R_2 = Tahanan Pentanahan Gardu (ohm)

R_x = Tahanan isolasi *tekep* isolator (ohm)

Berdasarkan hasil perhitungan (4) di atas, nilai R_x *tekep* Isolator tipe: YS-CO-AP adalah 250.248.756,219 ohm. Nilai R_1 diperoleh dari tabel 4 dan nilai R_2 diperoleh dari tabel 5. Kemudian dapat dilanjutkan dengan perhitungan arus gangguan yang mengalir melalui tubuh tupai ke tanah setelah pemasangan *tekep* isolator. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (6), berikut ini :

$$I = \frac{V_r}{R_x + R_1 + R_2} \quad (6)$$

$$I = \frac{11.547 \text{ (Volt)}}{(250.248.756,219 + 118 + 10,9)(\text{ohm})}$$

$$I = 46,14206371 \text{ mikro Amper}$$

Perhitungan di atas menunjukkan arus gangguan saat kondisi tubuh tupai kering dengan pengukuran yang dilakukan di pagi hari. Dimana nilai arus gangguannya di sisi *fuse cut out* sebesar 46,14206371 mikro amper. Perhitungan yang sama dilakukan untuk waktu pengukuran siang dan sore hari, begitu juga pada kondisi tubuh tupai basah. Sehingga setelah semua perhitungan arus gangguan dilakukan, maka diperoleh nilai yang tertuang pada Tabel 8.

Tabel 8. Arus gangguan di sisi *fuse cut out* setelah pemasangan *tekep* isolator YS-CO-AP.

Waktu	Arus gangguan (mikro ampere)	
	Tupai kering	Tupai basah
08.00	46,14206371	46,14208437
13.00	46,14206095	46,14208458
17.00	46,14206222	46,14208271

Untuk perhitungan arus gangguan di sisi *arrester* dan *bushing* trafo setelah pemasangan *tekep* isolator tipe YS-BUS-ARR-AP serupa seperti perhitungan (4) sebelumnya. Berdasarkan hasil perhitungan (5), nilai R_x yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 685.714.285,714 ohm. Tegangan sisi terima gardu dibagi dengan jumlah

total tahanan (*tekep* isolator tipe YS-BUS-ARR-AP, tubuh tupai, dan pentahanan). Maka diperoleh nilai pada tabel sebagai berikut :

Tabel 9. Arus gangguan di sisi arrester dan *bushing* tafo setelah pemasangan *tekep* isolator YS-BUS-ARR-AP.

Waktu	Arus gangguan (mikro ampere)	
	Tupai kering	Tupai basah
08.00	16,83937183	16,83937459
13.00	16,83937147	16,83937461
17.00	16,83937164	16,83937437

Berdasarkan tabel 8 dan 9, arus gangguan setelah gardu distribusi KA 1021 dipasang *tekep* isolator gardu sangat kecil. Tidak satupun arus gangguan yang ditunjukkan dalam tabel 8 dan 9 melebihi *setting* relai gangguan tanah (GFR) penyulang Bayuh, yaitu sebesar 30 Amper. Dengan demikian, maka tidak akan terjadi padam listrik ketika tupai berjalan-jalan di gardu distribusi. Pemasangan *tekep* isolator tipe YS-CO-AP di *fuse cut out*, dan tipe YS-BUS-ARR-AP di *arrester* dan YS-BUS-SEC-AP isolator *bushing* trafo efektif meningkatkan kehandalan gardu distribusi dari gangguan binatang tupai.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nilai arus gangguan yang mengalir ke tanah maksimum setelah pemasangan *tekep* isolator tipe YS-FCO-AP pada kondisi tubuh tupai kering dan basah yaitu: 46,14206371 mikro ampere dan 46,14208458 mikro ampere. Nilai arus gangguan yang mengalir ke tanah maksimum setelah pemasangan *tekep* isolator tipe YS-BUS-ARR-AP dan YS-BUS-SEC-AP pada kondisi tubuh tupai kering dan basah yaitu: 16,83937183 mikro Amper dan 16,83937461 mikro Amper. Setelah dilakukan analisis, arus gangguan setelah pemasangan *tekep* isolator gardu pada kondisi tubuh tupai kering dan basah jauh lebih kecil dibandingkan nilai *setting* arus penutup balik relai gangguan tanah Bayuh. Kecilnya arus gangguan ini tidak memicu GFR mengirim sinyal gangguan ke CB (*Circuit Breaker*) untuk memutus beban [15-16]. Tidak terjadi pemutusan/pemadaman, kehandalan meningkat, sehingga nilai SAIDI dan SAIFI dapat ditekan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang baik ini saya sampaikan ucapan terimakasih kepada Direktur Politeknik Negeri Bali beserta jajaran yang telah memberi kesempatan saya untuk menyelesaikan tulisan ini, Demikian pula kepada Yth General Manager PLN Unit Induk Distribusi Bali yang telah memberikan pembiayaan dalam penyelesaian tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. F. Hirsh and J. G. Koomey, "Electricity consumption and economic growth: a new

relationship with significant consequences?," *The Electricity Journal*, vol. 28, no 9, pp. 72-84, 2015.

- [2] I. W. Jondra, I. G. S. Widharma, and I. N. Sunaya, "Insulation resistance and breakdown voltage analysis for insulator cover type YSL-70AP," *J. Phys.: Conf. Ser.* 1450 012040, 2020.
- [3] Yandri, V. Rizki, and N. Y. Kahar, "Studi penentuan faktor dominan penyebab gangguan saluran udara tegangan menengah (SUTM) di wilayah kerja pt. PLN (Persero) Rayon Kayu Aro dengan menggunakan regresi linear SPSS," *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [4] Jumari, Y. Ginting, P. Tamba, "Sistem pentahanan pada jaringan distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Helvetia," *Jurnal Teknologi Energi Uda*, vol 8, no. 2, pp. 81-86, 2019.
- [5] W. Djatmiko, "Prototipe resistansi meter digital," *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi*, 2017.
- [6] H. Firdaus, "Rancang bangun alat ukur tahanan tanah (Earth Meter) digital," *Jurnal Soshum Insentif*, vol.1, no. 1, 2018.
- [7] P. Nurmiati and P. P. Ruswandi, "Pelaksanaan Manajemen Pemeliharaan Gardu Distribusi," *Jurnal SUTET*, vol. 6, no. 2, 2016.
- [8] I. G. P. Arka, N. Mudiana, dan G. K. Abasana, "Analisis arus gangguan hubung singkat pada penyulang 20 KV dengan Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR)," *Jurnal Logic*, vol. 16, no.1, 2016.
- [9] Harinaldi, *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*, Jakarta : Erlangga, 2005.
- [10] PT. Adiputra, *Spesifikasi Tekep Isolator*, Denpasar : PT. Adiputra, 2018.
- [11] A. Sofwan and S. A. Kusuma, "Pendeteksian dini terhadap arus bocor kabel tanah tegangan menengah pada transformator 150/20 kV," *Sinusoida*, vol. 20, no. 2, 2018.
- [12] Z. Rufina, I W. Ratnata, and Hasbullah, "Analisis tegangan tembus kabel instalasi listrik," *ELECTRANS*, vol. 13, no.1 , 2014.
- [13] Yulisman, "Analisis arus gangguan hubung singkat sistem tenaga listrik dengan aplikasi matlab," *Rang Teknik Journal*, vol. 1, No.1, 2018.
- [14] Marwan, Ruslan L, N. M. Samsul, "Analisis gangguan tidak seimbang pada line transmisi GI Sungguminasa-GI," *Journal INTEK*, vol. 3, no. 2, pp. 102-108, 2016.
- [15] M. Firdausi N, H. Purnomo, and T. Utomo, "Analisis koordinasi relai arus lebih dan penutup balik otomatis (recloser) pada Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling akibat gangguan arus hubung singkat," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 3, no. 2, 2015.
- [16] A. Semarabawa, A. A. G. T. G. I. Partha; and I G. D. Arjana, "Analisis resetting proteksi over current relay, ground fault relay dan recloser pada Penyulang Abang Dan Feeder Amed setelah rekonfigurasi," *Jurnal Spektrum*, vol. 6, no. 4, 2019.