

Studi Peforma Kabel Bawah Tanah yang Terhubung pada Gardu Induk Gejayan 150 KV

Irfan Darma Maulana¹, Ramadoni Syahputra², Anna Nur Nazilah Chamim³, Yudhi ardiyanto⁴

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jl. Brawijaya, Geblagan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183

Email: irfandarma20.im@gmail.com

INTISARI

Kabel bawah tanah memiliki nilai investasi yang jauh lebih mahal baik untuk pemasangannya maupun pemeliharannya. Biaya yang tinggi untuk instalasi kabel bawah tanah adalah refleksi dari biaya yang tinggi untuk peralatan, tenaga kerja, waktu pabrikasinya, penggalian saluran dan pengurugan dengan menggunakan *back fill* dan dalam pemasangan kabel itu sendiri. Karena harganya yang mahal maka instalasi kabel tanah tegangan tinggi dipasang pada daerah urban, pembangkit dan gardu induk. Biaya yang besar berkaitan dengan instalasi dan juga perlu perhatian terhadap penggunaan dan pemilihan jenis dan ukuran guna melayani beban instalasi. Hasil dari penelitian tugas akhir ini telah mendapatkan hasil dengan menggunakan pengukuran langsung arus bocor yang terdapat pada arrester fasa T di *joint box* 1 nilai bocornya sebesar 0,3 mA dan pada saat perhitungan menggunakan metode kegagalan thermal hasilnya 0,45 mA dan dari pengujian dan pengukuran tersebut memilki selisih nilai arus bocor sebesar 15 %. Dan dari hasil pengukuran nilai arus bocor sudah memenuhi standar *IEC* dikarenakan nilai arus bocornya masih dibawah 1 mA.

Kata Kunci: Gardu Induk, Arus Bocor, Saluran Kabel Bawah Tanah.

I. Pendahuluan

Kabel bawah tanah memiliki nilai investasi jauh lebih mahal baik untuk pemasangannya maupun pemeliharannya. Biaya yang tinggi untuk instalasi kabel bawah tanah adalah refleksi dari biaya yang tinggi untuk peralatan, tenaga kerja, waktu pabrikasinya, penggalian saluran dan pengurugan dengan menggunakan *back fill* dan dalam pemasangan kabel itu sendiri. Karena harganya yang mahal maka instalasi kabel tanah tegangan tinggi dipasang pada daerah urban, pembangkit dan gardu induk. Biaya yang besar berkaitan dengan instalasi dan juga perlu perhatian terhadap penggunaan dan pemilihan jenis dan ukuran guna melayani beban instalasi.

Informasi tentang maksimum kuat hantar arus dimana yang dapat ditoleransi tanpa adanya resiko penurunan atau kerusakan adalah sangat penting pada enjiniring dan operasi kabel. Nilai kemampuan kabel diperlukan untuk setiap instalasi kabel yang baru pada operasi sistem kabel. Pendekatan untuk rancang bangun umur kabel transmisi menggunakan kabel bawah tanah, yaitu dengan metode pengembangan sistematis untuk menentukan feasibility penambahan umur kabel atau menaikkan kemampuan hantar arus adalah sangat penting.

Kapasitas transmisi umumnya diberikan dalam MVA, MVA sendiri terdiri dari 2 komponen, yaitu MW yang menggambarkan daya real dan tersedia

untuk melaksanakan pekerjaan, dan MVAR, komponen reaktif yang hadir di sistem akibat induksi dan kapasitansi, dan tidak dapat digunakan untuk menghasilkan kerja. Kabel harus mampu menyalurkan sejumlah besar arus tanpa adanya panas yang berlebih. Adanya panas yang berlebih pada kabel tanah merupakan masalah besar yang berkaitan dengan kabel bawah tanah (UGC). Pada overhead line, panas yang terjadi dengan mudah didisipasikan, panas yang ditimbulkan karena rugi-rugi oleh sistem kabel harus melalui isolasi kabel ke sekeliling tanah pada kabel. Karena suhu maksimum dimana konduktor beroperasi terbatas, oleh sistem isolasi, dan karena sistem ini mempunyai sifat yang buruk terhadap aliran panas, akhirnya diperlukan konduktor yang besar dari pada yang dibutuhkan untuk kapasitas yang sama.

Perlunya dilakukan pemeliharaan secara rutin ini dikarenakan kabel bawah tanah ini sendiri setiap saat dialiri arus dan hal ini akan berakibat kabel menjadi panas dan dari panas ini jika kabel sudah berumur maka semakin lama pada bagian isolasinya juga akan semakin memburuk. Jika isolasi memburuk maka dapat terjadi banyak kemungkinan seperti dapat terjadi arus bocor, maka dari itu diperlukan pemeliharaan rutin dengan melakukan pengukuran besarnya nilai dari arus bocor dan tahanan isolasi pada beberapa komponen dan hasil dari pengukuran tersebut akan dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan, apakah masih layak atau tidak layak untuk digunakan.

II. Landasan Teori

1. Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan saluran yang menghubungkan antara Sumber Tenaga menuju beban - beban yang ada. Saluran transmisi sendiri memiliki beberapa macam konstruksi seperti Saluran Udara dan Saluran Kabel Bawah Tanah, dan selanjutnya akan dijelaskan mengenai keduanya.

A. Saluran Udara

Saluran transmisi udara merupakan saluran transmisi yang memiliki bentuk fisik yang terdiri dari kabel – kabel yang memiliki tegangan dan arus. Bentuk fisiknya ini terdiri dari beberapa komponen yaitu tiang – tiang penyangga yang tingginya sendiri memiliki berbeda – beda tergantung dari tegangan yang dilaluinya. Dengan melihat konstruksi dari saluran udara memiliki beberapa kelemahan yaitu karena letaknya di tempat terbuka maka saluran udara ini sangat berpengaruh terhadap cuaca dan hal ini akan menyebabkan bahwa saluran udara ini rentan mengalami gangguan karena pengaruh oleh cuaca dan kelemahan lainnya adalah karena letaknya di atas dari permukaan tanah maka akan mengurangi estetika dari sekitar lokasi pemasangannya saluran udara. Dari beberapa kelemahan saluran udara terdapat juga beberapa kelebihan seperti mudah dalam perawatannya dan memiliki biaya investasi yang lebih murah.

B. Saluran Kabel Bawah Tanah

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah. Kategori saluran seperti ini adalah favorit untuk pemasangan didalam kota, karena berada didalam tanah maka tidak mengganggu keindahan kota dan

juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun tetap memiliki kekurangan, antara lain mahal dalam instalasi dan investasi serta sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya.

2. Macam – macam Gangguan Pada Saluran Kabel Bawah Tanah

Tegangan Lebih *Transien*

Suatu sistem tenaga listrik dapat mengalami gangguan yang bisa mengakibatkan terhentinya pendistribusian daya listrik. Menurut Aris munandar dalam kutipannya.” Salah satu penyebab gangguan yang mungkin terjadi adalah rusaknya system isolasi karena pengaruh tegangan lebih akibat operasi pensaklaran maupun akibat surja hubung, oleh karena itu dalam pengoperasian system tenaga listrik perlu perhatian khusus pada system proteksi terhadap tegangan lebih”.

Tegangan lebih dapat dikategorikan beberapa menurut *IEC*, yang ditimbulkan oleh:

a. Tegangan Lebih (*Lightning Overvoltage*)

Tegangan lebih petir atau yang biasa disebut surja petir merupakan tegangan yang amplitudonya akan naik dalam waktu yang sangat singkat dan akan turun secara perlahan. Surja petir memiliki amplitude tertinggi dibandingkan tegangan lebih lainnya. Arus yang dihasilkan bisa mencapai sekitar 100 kA dalam waktu kurang dari satu sampai dengan beberapa puluh mikrodetik. Surja petir dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan tegangan rendah dan peralatan elektronik tegangan rendah termasuk juga dapat merusak saluran transmisi maupun Gardu Induk.

b. Tegangan Lebih Surja Hubung (*Switching Overvoltage*)

Tegangan lebih surja hubung merupakan peristiwa munculnya tegangan lebih yang bisa diakibatkan karena proses pensaklaran (*switching*) dalam keadaan bertegangan. Tegangan lebih ini merupakan tegangan lebih transien.

c. Tegangan Lebih Sementara (*Temporary Overvoltage*)

IEEE standard 1.313 , 1_ 1996 yang berisi tentang cara mendefinisikan tegangan lebih sementara sebagai isolasi tegangan fasa ke tanah ataupun tegangan fasa ke fasa yang memiliki isolasi pada lokasi tertentu dan memiliki durasi yang relative lama dan tidak dapat teredam dengan baik atau dengan kata lain hanya dapat teredam dengan lemah .Tegangan lebih sementara biasanya terjadi karena proses pensaklaran (*switching*) atau penyebab lainnya yaitu penghilang gangguan (*fault clearing*) misalnya seperti pelepasan beban , efek harmonic , gangguan fasa tunggal atau gangguan pada sistem pentanahan dan tahanan tinggi maupun pada system yang tidak dapat ditanahkan.

d. Tegangan Lebih Transien (*Transien Overvoltage*)

Tegangan lebih transien merupakan tegangan lebih sementara menurut Kyle G. King (2004) yang juga mengacu pada standar *IEEE (Insitute of Electrical and Electronic Engineers)* No. 1313 .1-1996 adalah tegangan transien teredam yang mengalami osilasi serta memiliki durasi yang sangat singkat, hanya sekitar beberapa milidetik atau bisa juga tidak sampai beberapa milidetik.

Durasi Tegangan lebih transien dapat dibagi menjadi 2, yaitu tegangan transien dengan durasi singkat dan durasi yang lebih lama. Tegangan transien yang berdurasi lebih singkat

ini dapat mensimulasikan efek surja petir. Jenis tegangan pengujian ini besarnya menuju nilai puncak selama 1,2 mikrodetik dan akan berkurang menjadi sekitar setengahnya (50 %) dari nilai puncaknya selama 50 mikrodetik, sehingga dapat disebut sebagai gelombang uji ini biasa disebut dengan *Basic Impuls Insulation (BIL)*.

Sedangkan untuk tegangan lebih transien dengan durasi waktu yang lebih lama akan mensimulasikan efek surja hubung (*switching*). Tegangan pengujian ini akan naik menuju nilai puncak dalam waktu 250 mikrodetik dan akan berkurang menjadi sekitar setengahnya atau sebesar 50 % dari nilai puncak selama 2500 mikrodetik. Tingkat ketahanan tegangan terhadap bentuk gelombang uji ini biasa disebut *Basic Switching Impuls Insulation Level (BSL)*.

Terjadinya Arus Bocor

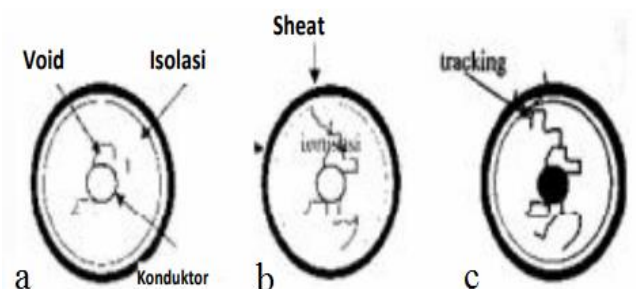
Pada proses terjadinya arus bocor pada kabel memiliki proses yang panjang. Karena untuk kabel pada saat ini diciptakan agar memiliki nilai ketahanan yang sangat baik agar mudah perawatannya dan ekonomis, tetapi dengan begitu kabel tidak luput dari adanya proses pemburukan kinerja atau lebih tepatnya pemburukan isolasi pada kabel. Berikut akan dijelaskan beberapa proses hingga dapat terjadinya arus bocor dalam kabel bawah tanah tegangan tinggi sebagai berikut:

a. Timbulnya Rongga pada Kabel

Pada jaringan kabel terdapat rongga – rongga yang berisi udara atau gas. Rongga udara di dalam kabel ini sendiri terbentuk ketika pada waktu kabel ini dibuat, pada waktu pemasangan kabel atau juga dapat terjadi ketika pemakaian kabel. Seperti yang diketahui bahwa kabel itu

sendiri memiliki beberapa lapisan yang bahan dasarnya memiliki sifat yang berbeda – beda dan hal ini juga akan berpengaruh terhadap muai koefisien setiap lapisan yang tentunya pasti memiliki sifat muai sesuai jenisnya. Kabel sendiri pasti akan mengalami anomaly cuaca yaitu pendinginan maupun pemanasan yang hal ini kabel juga dapat mengalami proses pemuaian dan penyusutan. Dan pada saat kabel digunakan pasti juga akan mengalami pemuaian dan penyusutan karena di bebani oleh arus dan pada dasarnya proses pemuaian dan penyusutan setiap lapisan akan berbeda – beda. Hal ini yang mengakibatkan terbentuknya rongga – rongga yang berisi udara diantara lapisan – lapisan kabel, rongga – rongga berisi udara ini memiliki kekuatan dielektrik yang lebih kecil dari bahan – bahan isolasi berjenis padat. Selain pada proses penggunaan kabel dan pemasangan kabel rongga – rongga udara ini dapat juga terjadi waktu pembuatan kabel.

Rongga berisi udara merupakan lubang dengan udara yang memiliki tekanan rendah dan juga memiliki kekuatan dielektrik isolasi, merupakan salah satu titik lemah isolasi karena permivitas yang lebih rendah, hal ini akan berakibat terjadinya peningkatan medan listrik di dalam rongga udara melebihi kekuatan tembus udara.



Gambar 1 Proses terjadinya kerusakan pada kabel

b. Proses terjadinya Kegagalan Isolasi

Makna dari kegagalan isolasi dalam system transmisi adalah dimana isolasi tidak dapat mengantisipasi atau mencegah keadaan dimana isolasi itu sendiri sudah melebihi batas kemampuan yang dimilikinya. Kegagalan isolasi ini disebabkan banyak faktor yaitu jenis bahan elektroda, konfigurasi medan listrik, tekanan, besar tegangan, dan umur dari bahan isolasi itu sendiri.

c. Kegagalan Thermal

Kegagalan thermal merupakan kegagalan yang terjadi jika kecepatan pembangkitan panas pada suatu titik dalam bahandapat melebihi laju kecepatan pembuangan panas keluar. Akibatnya akan terjadi kegagalan sehingga tidak stabil dan pada suatu saat akan mengalami kegagalan. Mekanisme kegagalan thermal sendiri mengikuti hokum konversi energi, yaitu panas yang dibangkitkan sam dengan panas yang dapat disalurkan keluar melalui elektroda pada medium disekelilingnyadan ditambah dengan panas yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan.

Menurut *Whitehead*, tegangan kegagalan thermal minimum V_{min} adalah:

$$V_{min} = \int_{T_m}^{T_o} \left| \frac{(8k)}{\sigma} \right| dt$$

Dimana:

V_{min} = Tegangan kegagalan thermal minimum (V)

T_o = Suhu pada permukaan bahan ($^{\circ}C$)

T_m = Suhu dimana bahan gagal ($^{\circ}C$)

σ = Konduktivitas listrik ($\Omega meter$)

K = Konduktivitas thermal (J /m.s $^{\circ}C$)

d. Arus bocor pada kabel

Arus bocor merupakan arus yang dapat mengalir menembus atau dapat melewati permukaan isolasi. Isolasi memiliki fungsi komponen yang dapat memisahkan antara dua penghantar atau lebih yang letaknya saling berdekatan secara elektrik, sehingga dapat menghindarkan terjadinya kebocoran arus. Kebocoran arus juga dapat terjadi ketika proses pembuatan kabel yang disebabkan kesalahn pada prosedur pembuatannya. Tahanan isolasi dapat mempengaruhi besarnya arus bocor. Pada dasarnya semakin panjang kabel maka harus diiringi dengan besarnya tahanan isolasi juga. Persamaan dari tahanan isolasi adalah sebagai berikut:

$$I_b = \frac{V_m}{R}$$

Dimana:

I_b = Arus bocor (A)

V_m = Tegangan kegagalan thermal minimum (V)

R = Resistansi panas (Ω)

e. Kebocoran Isolasi

Arus listrik secara normal akan melewati konduktor pada kabel, sedangkan arus bocor yang tidak diinginkan akan mengalir secara radial dari konduktor melalui dielektrik menuju lapisan pelindung dalam kabel. Makastruktur kabel jika kabel berawalan dari konduktor mak kabel tersebut memiliki dimensi yang lebih besar.

3. Macam macam Pengujian pada Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Tinggi

Pada saat pemeliharaan rutin saluran kabel bawah tanah tegangan tinggi pada umumnya dilakukan beberapa macam pengetesan fungsinya untuk menilai kinerja dari komponen tersebut. Jika terjadi kerusakan maka dapat diketahui secara dini sebelum merusak komponen lainnya, dan pada saat pemeliharaan terdapat beberapa macam pengujian yang dapat dijelaskan seperti dibawah ini:

a. Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi merupakan tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran dengan tanah. Pengujian tahanan isolasi memiliki fungsi sebagai standar acuan apakah komponen tersebut masih layak atau tidak layak lagi untuk digunakan. Pengujian tahanan isolasi ini sendiri merupakan salah satu pengujian tegangan tinggi yang dimana pada proses pengukurannya menggunakan tegangan injeksi hingga 5 kV. Dalam pengujian perlu dilakukan pemadaman pada saluran. Untuk pengujian tahanan isolasi sendiri menggunakan alat bernama megger yang dimana pada saat pengujian tegangan injeksi megger di tempatkan di skala yang sudah ditentukan hingga nanti terdapat hasil seberapa besar tahanan isolasi yang terdapat pada komponen tersebut. Standar yang digunakan adalah standar yang ditentukan pada PUIL tahun 2011 yang dimana memiliki batasan minimum tahanan isolasi sebesar 1 MΩ ketika dinjeksi menggunakan tegangan 1 kV.

Voltase Sirkuit Normal (V)	Voltase Uji (V)	Resistans Insulasi (MΩ)
Tegangan Ekstra Rendah	250	≥ 0.5
Sampai Dengan 500 kV	500	$\geq 1,0$
Diatas 500 kV	1000	$\geq 1,0$

Tabel Tahanan Isolasi PUIL Tahun 2011

b. Pengujian Arus Bocor

Pada pengujian arus bocor ini memiliki fungsi untuk melihat seberapa besar arus yang bocor melalui isolator. Pada pengujian ini untuk cara penngujiannya dengan cara menginjeksikan tegangan 2,5 kV hingga 5 kV untuk dapat melihat seberapa arus bocor yang terdapat pada komponen tersebut. Dalam pengujian arus bocor ini terdapat dua komponen yang diuji yaitu sebagai berikut:

1. Pengujian *Anti Corrosion Covering* (ACC)

Pada pengujian ini untuk mengetahui apakah kondisi *crossbonding* masih layak atau tidak. *Anti Corrosion Covering* sendiri memiliki fungsi sebagai pelindung karat pada susunan kabel dan akan menjadi jalan balik pada saat arus gangguan apabila terjadi kebocoran arus konduktor utama menuju tanah. Tujuan dari pemasangan komponen ini dalam system *crossbonding* disebabkan kaena pada saat kondisi kabel bertegangan maka akan timbul tegangan induksi pada komponen ini dan pemasangan komponen ini mendukung dari system *crossbonding* yaitu susunan flat formation tidak sama, yaitu kabel yang

berada ditengah akan lebih tinggi dibandingkan dua kabel disebelahnya.

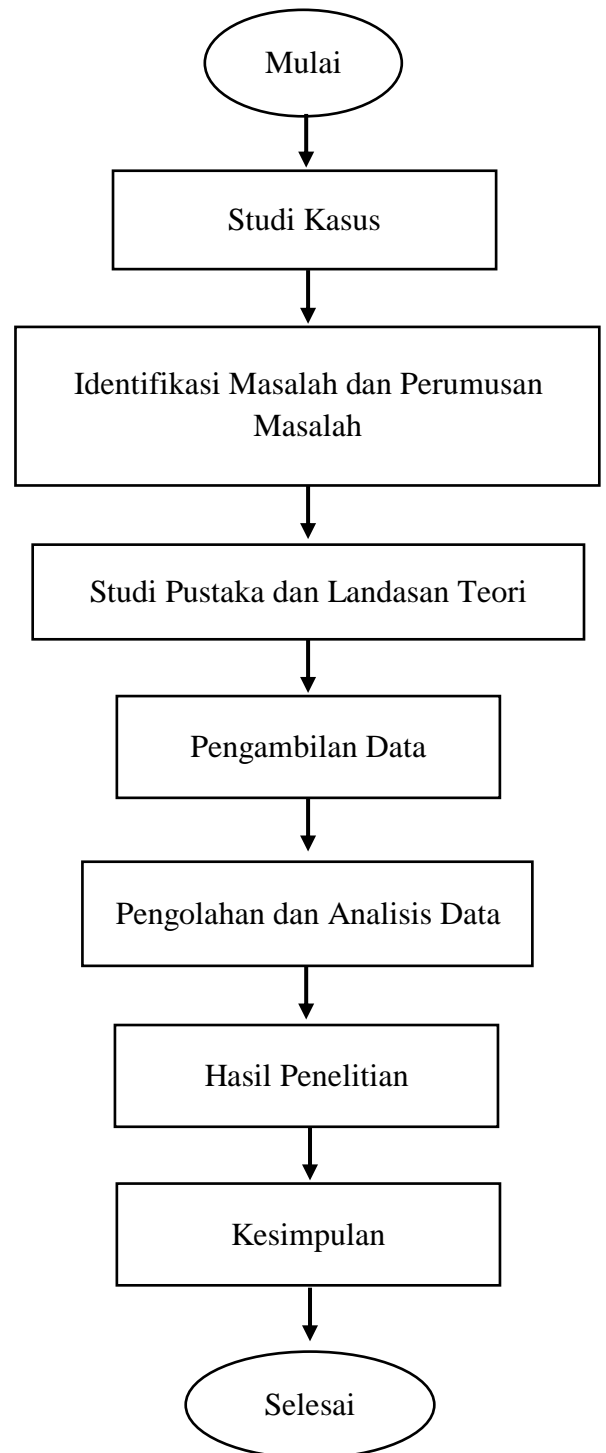
Pada pengujiannya sendiri dilakukan dengan menggunakan standar kepdir PLN nomor 113 dan 114 tahun 2014 dan cara pengujiannya adalah dengan cara menginjeksikan tegangan hingga sebesar 5 kV dan hasil dari arus bocornya sendiri tidak boleh melebihi dari 1 mA.

2. Pengujian *Cable Covering Protection Unit*

Komponen ini memiliki fungsi sebagai pengaman kabel ketika adanya tegangan lebih transien yang dapat merusak system *crossbonding*. Prinsip kerja dari komponen ini menggunakan prinsip kerja dari *arrester* yaitu dengan menggunakan prinsip tahanan tak linier, yaitu pada saat tegangan normal memiliki fungsi sebagai isolator dan pada kondisi ada tegangan lebih transien maka komponen ini akan menjadi bahan yang bersifat konduktor. Dalam pengujian komponen ini sama seperti komponen *Anti Corrosion Covering* yaitu dengan cara menginjeksikan tegangan hingga 3 kV selama satu menit dan selanjutnya akan tampil arus bocor yang terdapat pada alat ukur. Pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi 3 kV arus bocornya tidak boleh melebihi dari 1 mA. Standar pengujian *Cable covering protection unit* ini mengacu pada standar IEC 61643-1 Edition 2.0 yang dalamnya berisi tentang standar arus bocor maksimal pada pengujian adalah 1 mA.

III. Metodologi Penelitian

Pengukuran dilakukan menggunakan alat bernama megger dan perhitungannya sendiri menggunakan metode kegagalan thermal. Secara Umum Metodologi penelitian dapat dilihat pada *flowchat* berikut ini:



IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Tabel 1 Hasil Pengukuran tahanan isolasi kabel di *joint box 1*

PHASA R (MΩ)		PHASA S (MΩ)		PHASA T (MΩ)	
Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang
3,5	3,3	3,9	5,1	5,1	8,6

Tabel 2 Hasil pengukuran tahanan isolasi *arrester* di *joint box 1*

PHASA R (MΩ)	PHASA S (MΩ)	PHASA T (MΩ)
78,5	213	274

Tabel 3 Hasil pengukuran tahanan isolasi kabel di *joint box 2*

PHASA R (MΩ)		PHASA S (MΩ)		PHASA T (MΩ)	
Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang
9	3,5	12,3	3,9	7,6	5,1

Tabel 4 Hasil pengukuran tahanan isolasi *arrester* di *joint box 2*

PHASA R (MΩ)	PHASA S (MΩ)	PHASA T (MΩ)
365	28,7	513

Tabel 5 Hasil Pengukuran tahanan isolasi kabel di *joint box 3*

PHASA R (MΩ)		PHASA S (MΩ)		PHASA T (MΩ)	
Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang
11,4	9,2	7,5	8,8	5,8	11

Tabel 6 Hasil pengukuran tahanan isolasi *arrester* di *joint box 3*

PHASA R (MΩ)	PHASA S (MΩ)	PHASA T (MΩ)
592	361	525

Tabel 7 Hasil pengukuran tahanan isolasi kabel di *joint box 4*

PHASA R (MΩ)		PHASA S (MΩ)		PHASA T (MΩ)	
Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang	Arah Depan	Arah Belakang
NA	11,4	NA	7,5	NA	5,8

Tabel 8 Hasil pengukuran tahanan isolasi *arrester* di *joint box 4*

PHASA R (MΩ)	PHASA S (MΩ)	PHASA T (MΩ)
234	421	196

Berdasarkan dari hasil pengujian tahanan isolasi kabel dan *arrester* di setiap masing – masing *joint box* yaitu *joint box 1* sampai *joint box 4* didapatkan hasil yang berbeda beda hal ini tergantung dengan performa dari setiap kabel dan *arrester* pada masing – masing *joint box*. Dan dapat

dilihat bahwa semua nilai besarnya tahanan isolasi pada *arrester* dan kabel pada saluran kabel bawah tanah yang menghubungkan antara GI Gejayan dan GI Kentungan tidak terdapat nilai dibawah 1 M Ω . Karena menurut PUIL tahun 2011 bahwa nilai standar minimum dari tahanan isolasi adalah 1 M Ω , jika nilai tahanan isolasi kurang dari itu perlu dilakukan pengukuran ulang dan jika masih dengan hasil yang sama maka diperlukannya penggantian komponen dikarenakan komponen tersebut sudah tidak bekerja secara optimal.

4.2 Pengujian Arus Bocor

a. Hasil Pengukuran arus bocor di *joint box 1*

Tabel 9 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2015

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,14	0,03	0,025

Tabel 10 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2017

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,38	0,39	0,16

b. Hasil Pengukuran arus bocor di *joint box 2*

Tabel 11 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2015

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,045	0,12	0,014

Tabel 12 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2017

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,15	0,06	0,045

c. Hasil Pengukuran arus bocor di *joint box 3*

Tabel 13 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2015

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,01	0,16	0,012

Tabel 14 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2017

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,52	0,72	0,34

d. Hasil Pengukuran arus bocor di *joint box 4*

Tabel 15 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2015

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,02	0,013	0,028

Tabel 16 Hasil pengukuran arus bocor *arrester* tahun 2017

PHASA R (mA)	PHASA S (mA)	PHASA T (mA)
0,064	0,18	0,012

Berdasarkan hasil dari pengujian arus bocor pada *arrester* dapat dilihat bahwa semuanya masih bekerja secara optimal dikarenakan nilai pada semua fasa pada setiap *joint box* masih di bawah standar yang ada, standar yang digunakan untuk mengukur arus bocor pada *arrester* adalah standar dari IEC yaitu nilai maksimal dari arus bocor hanya diperbolehkan maksimal 1 mA, jika nilai melebihi dari 1 mA maka komponen tersebut perlu diadakannya pergantian karena *arrester* ini

merupakan komponen yang penting dalam system proteksi pada jaringan transmisi.

4.3 Perhitungan arus bocor menggunakan metode kegagalan thermal

Pada perhitungannya kali ini akan menggunakan metode perhitungan kegagalan thermal untuk mendapatkan nilai besarnya arus bocor yang ada pada kabel. Dengan menggunakan metode ini diharapkan mampu mendeteksi secara dini nilai arus bocor yang terdapat di isolasi agar dapat mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius pada bahan isolasi. Pada perhitungan arus bocor kabel menggunakan metode perhitungan kegagalan thermal yang hanya perlu mengamati suhu pada isolasi itu sendiri untuk mendapatkan besarnya nilai arus bocor dan berikut akan di jelaskan perhitungan besarnya arus bocor menggunakan metode perhitungan kegagalan thermal.

Untuk menentukan arus bocor pada *lightning arrester* di setiap joint box terlebih dahulu harus menentukan nilai dari tegangan gagal thermal minimum dengan mempertimbangkan standar dari PUIL 2000 yaitu:

$$\text{Suhu dimana bahan gagal (Tm)} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Konduktivitas thermal (k)} = 380 \text{ J/m.s } ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Konduktivitas listrik } (\sigma) = 10^6$$

$$V_{\min} = \int_{T_m}^{T_o} \left| \frac{(8 k)}{\sigma} \right| dt$$

$$V_{\min} = \int_{90}^{33} \left| \frac{(8 \cdot 380)}{10^6} \right| dt$$

$$V_{\min} = \int_{90}^{33} \left| \frac{(2880)}{10^6} \right| dt$$

$$V_{\min} = \int_{90}^{33} |0,0029| dt$$

$$V_{\min} = |(0,0029 \cdot 90)| - |(0,0029 \cdot 33)|$$

$$V_{\min} = 0,261 - 0,096$$

$$V_{\min} = 0,165 \text{ V}$$

Setelah mendapatkan nilai tegangan gagal thermal minimum pada fasa R joint box 1 yaitu sebesar 0,165 V, langkah selanjutnya menentukan resistansi panas dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Hambatan Jenis } (\rho) = 1,68 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Panjang kawat (L)} = 500 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang (A)} = 240 \text{ mm} = 24 \cdot 10^{-3}$$

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

$$R = \frac{1,68 \cdot 10^{-6} \cdot 500}{24 \cdot 10^{-3}}$$

$$R = 0,00035 \Omega$$

Setelah menghitung tegangan gagal thermal minimum (V_m) dan tahanan penghantar kabel bawah tanah (R) yang didapatkan hasil sebesar 0,00035 Ω selanjutnya bisa menentukan arus bocor yang terdapat pada kabel bawah tanah yang menghubungkan antara GI kentungan ke GI Gejayan, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_b = \frac{V_m}{R}$$

$$I_b = \frac{0,165}{0,00035}$$

$$I_b = 471,42 \text{ A}$$

$$I_b = 0,47 \text{ mA}$$

Hasil diatas merupakan contoh perhitungan arus bocor pada kabel fasa R pada *joint box* 1 adalah 0,47 mA. Untuk dapat mendapatkan selisih antara hasil pengujian dan dari hasil perhitungan

maka kita perlu menghitung dengan cara berikut ini kita contohkan perbedaan besarnya arus bocor pada fasa T *joint box* 1:

$$\text{Selisih} = I_b \text{ perhitungan} - I_b \text{ Pengujian}$$

$$\text{Selisih} = 0,45 - 0,3$$

$$\text{Selisih} = 0,15 \text{ mA}$$

$$\text{Selisih (\%)} = \text{Hasil dalam bentuk decimal} \times 100$$

$$\text{Selisih (\%)} = 0,15 \times 100$$

$$\text{Selisih (\%)} = 15 \%$$

Jadi selisih nilai antara hasil perhitungan dengan hasil pengujian pada fasa T di *joint box* 1 sebesar 15 %.

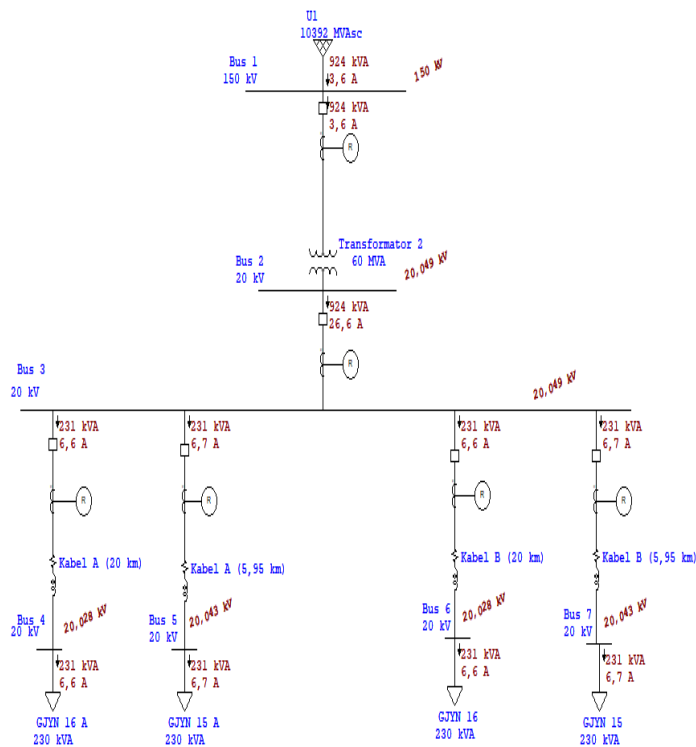
Untuk perhitungan arus bocor pada fasa lain maupun *joint box* lainnya dapat dilihat pada tabel 17:

Tabel 17 Hasil perhitungan arus bocor

Joint Box	Suhu (°C)	Fasa	Perhitungan		Pengkuran (I _b) (mA)	Selisih (%)
			(V _{min}) (v)	(I _b) (mA)		
1	33	R	0,16	0,47	0,28	19
	31	S	0,17	0,49	0,36	13
	35	T	0,15	0,45	0,3	15
2	25	R	0,18	0,53	0,16	37
	23	S	0,19	0,55	0,008	54
	28	T	0,17	0,51	0,22	29
3	37	R	0,15	0,44	0,18	26
	34	S	0,16	0,46	0,14	32
	32	T	0,16	0,48	0,22	26
4	28	R	0,17	0,51	0,28	23
	29	S	0,17	0,5	0,3	20
	31	T	0,17	0,49	0,18	31

4.4 Simulasi Pengaruh Panjang Kabel dan Jenis Kabel Terhadap Besarnya Arus Hubung Singkat

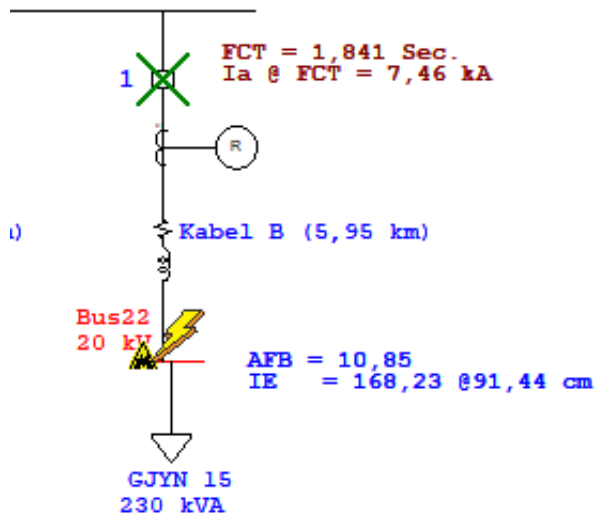
a. Simulasi Dalam Keadaan Normal



Gambar 2 Simulasi dalam keadaan normal

Berdasarkan dengan simulasi pengaruh panjang kabel dan jenis kabel terhadap arus bocor dengan menggunakan software ETAP 12.6 untuk mengetahui kinerja dari performa kabel tersebut. Dan dalam keadaan simulasi tersebut untuk melihat daya yang menuju ke beban dan arus yang menuju ke beban dalam keadaan normal. Dalam keadaan normal kabel dapat mengalirkan arus sesuai standar yang telah disediakan ataupun setting yang telah ditetapkan, dalam simulasi menggunakan ETAP 12.6 kabel bekerja secara optimal dan tidak terdapat gangguan.

b. Simulasi Ketika Terjadi Hubung Singkat



Gambar 3 Simulasi ketika terjadi hubung singkat

Pada saat terjadinya hubung singkat pada setiap kabel yang memiliki spesifikasi dari panjang dan jenis yang berbeda maka juga akan menghasilkan arus hubung singkat yang terbaca pada relay akan berbeda juga. Hal ini dapat kita lihat pada tabel 18:

Tabel 18 Hasil pengujian pengaruh panjang kabel dan jenis kabel terhadap hubung singkat

Jenis Kabel	Panjang Kabel (km)	Arus Hubung Singkat (kA)	Waktu Relay Bekerja (Second)
A	5,95	7,34	0,69
	20	3,37	0,068
B	5,95	7,46	1,841
	20	3,44	0,69

Pada tabel 18 dapat diperhatikan bahwa ketika terjadi hubung singkat pada setiap kable yang memiliki spesifikasi yang berbeda beda, baik dari panjangnya maupun jenisnya. Dan bisa dilihat bahwa kabel yang memiliki jarak yang lebih panjang ketika terjadinya hubung singkat pada saluran tersebut maka arus hubung singkat yang terbaca akan lebih kecil, karena kabel sendiri memiliki resistansi yang dapat meredam arus hubung singkat tersebut sehingga semakin jauh terjadinya arus hubung singkat maka akan semakin besar juga arus yang dapat diredam oleh kabel tersebut dan hal ini akan berakibat dengan pembacaan arus hubung singkat yang terdapat pada relay dan pastinya arus hubung singkatnya akan semakin kecil. Hal ini akan terjadi sebaliknya jika kabel memiliki jarak yang pendek maka arus hubung singkat akan dekat dengan relay yang dimana kabel tidak dapat meredam banyak arus hubung singkat yang melewati jaringan tersebut dan arus hubung singkat yang terbaca pada relay akan besar. Dapat dilihat bahwa Kabel jenis A dengan panjang 5,95 kM arus hubung singkat yang terbaca pada relay yaitu 7,34 kA dan pada kabel yang sama dengan jarak yang berbeda yaitu dengan jarak 20 km arus hubung singkat yang terbaca pada relay adalah 3,34 kA, dapat dilihat bahwa perbedaan peredaman kabel dengan jenis yang sama tetapi memiliki panjang yang berbeda memiliki hasil pembacaan pada relay terhadap hubung singkat dapat berpengaruh juga terhadap hasilnya.

V. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai Tahanan isolasi kabel yang terdapat pada saluran transmisi kabel bawah tanah 150 kV yang menghubungkan antara Gardu Induk Kentungan dan Gardu Induk Gejayan memiliki nilai tahanan isolasi yang memenuhi standar karena standar menurut PUIL tahun 2011 yang membahas batas minimal untuk tahanan isolasi kabel adalah 1 M Ω dan hasil pengukuran didapatkan nilai tahanan isolasi paling rendah yaitu pada fasa R *joint box* 1 yaitu sebesar 3,3 M Ω dan yang memiliki nilai tahanan isolasi terbesar yaitu pada fasa S *joint box* 2 yaitu sebesar 12,3 M Ω .
2. Nilai tahanan isolasi *arrester* yang terdapat pada saluran transmisi kabel bawah tanah 150 kV yang menghubungkan Gardu Induk Kentungan dan Gardu Induk Gejayan didapatkan hasil pada semua fasa di setiap *joint box*nya sudah memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu lebih dari 10 M Ω . Pada fasa S di *joint box* 2 memiliki nilai tahanan isolasi yang paling kecil hanya sebesar 28,7 M Ω dan pada fasa T di *joint box* 3 memiliki nilai tahanan isolasi yang paling tinggi yaitu sebesar 525 M Ω .
3. Pada pengukuran arus bocor kabel yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa pada setiap tahunnya besarnya nilai arus bocor semakin bertambah, hal ini dikarenakan banyak faktor dan penyebab utamanya adalah pemburukan isolasi. Hal ini wajar karena pada setiap saat kabel dialiri arus sehingga akan menyebabkan panas dan ini akan beakibat dengan isolator yang semakin lama akan semakin memburuk. Pada penelitian ini didapatkan peningkatan arus bocor tertinggi terjadi pada fasa S di *joint box* 3 yaitu pada tahun 2015 arus bocornya

sebesar 0,16 mA dan pada tahun 2017 nilai arus bocornya sebesar 0,72 mA dalam hal ini mengalami peningkatan sebesar 0,56 mA dan yang memiliki peningkatan arus bocor paling kecil yaitu pada fasa T *joint box* 1 yaitu pada tahun 2015 nilai arus bocornya sebesar 0,014 dan pada tahun 201 nilai arus bocornya sebesar 0,045 yang dalam artian ini hanya mengalami peningkatan arus bocor sebesar 0,031 mA.

4. Pada perbandingan arus bocor pada kabel yang terdapat pada saluran kabel bawah tanah tegangan tinggi yang menghubungkan Gardu Induk Kentungan dan Gardu Induk Gejayan dengan menggunakan perhitungan metode kegagalan thermal dan dengan melakukan pengukuran secara langsung dapat dilihat perbedaannya, pada fasa T di *joint box* 1 pada proses perhitungan metode kegagalan thermal hasilnya adalah 0,45 mA dan pada saat pengujian nilai arus bocornya sebesar 0,3 mA, terdapat perbedaan sebesar 0,15 mA. Hal ini dapat terjadi karena tegangan yang mengalir pada kabel berbeda yang hal ini akan sangat berpengaruh pada suhu yang terdapat disekeliling isolasi kabel.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan yang telah didapatkan pada penelitian tugas akhir ini, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Pada saluran kabel bawah tanah yang menghubungkan antara Gardu Induk Gejayan dan Gardu Induk Kentungan perlu diadakannya pemeliharaan yang lebih rutin secara berkala terutama pengecekan pada setiap *joint box*nya. Hal ini dikarenakan ketika

terdapat gangguan pada komponen itu dapat diketahui sedini mungkin agar tidak menyebabkan kerusakan pada komponen lainnya.

2. Perlu adanya *Single Line Diagram* saluran kabel bawah tanah yang menghubungkan anatar Gardu Induk Kentungan dan Gardu Induk Gejayan dengan menggunakan software ETAP 12.6, hal ini bertujuan ketika adanya gangguan dapat diatasi dengan cepat ketika PLN sudah memiliki *Single Line Diagram* dalam bentuk software ETAP 12.6

DAFTAR PUSTAKA

Bari Zen. (2011). “Analisis Kondisi Pengukuran IBT 500/150 kV Dalam keadaan Padam Pada GITET Gandul”. Universitas Indonesia

Erhaneli dan Musnadi. (2012).” Pengaruh Arus Bocor Terhadap Perubahan Temperatur Pada Kabel bawah Tanah 20 kV”. Jurnal Fakultas Teknik Elektro ITP. Padang.

Fadly A,M dan Ika H. (2012). “Analisis Aliran Daya dan Gangguan Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa 5 Di PT Semes Tonasa Menggunakan ETAP”. Universitas Hasanuddin.

PT PLN (Persero). (2010). “Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT/SKLT) (No. Dokumen: 11-22/HARLUR-PST/2009)”. SK DIR No. 114.K/DIR/2010. Jakarta.

PUIL 2011. (2014), “Persyaratan Umum Instalasi Listrik”, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Sofwandan A. (2018). “Pendeteksian Dini Arus Bocor Kabel Tegangan Menengah pada Transformator 150/20 kV”. Jurusan Teknik Elektro ISTN.

Suwarti Diah, “Dampak Pemberian Impuls Arus Terhadap Ketahanan Arrester Tegangan Rendah”. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.

Syahir M, dan Bidayatul “Analisis Kapasitas Hubung Singkat Saluran Kabel Bawah Tanah Berisolasi *XLPE*”. Universitas Atmajaya Makassar.

Syahputra, R., (2016), “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016

Widodo Agus. (2013). “Pengujian tegangan Tembus dan Arus Bocor Terhadap Tegangan Isolasi Kabel Tegangan Rendah”. Universitas Mercu Buana Jakarta.

