

ANALISA KELAYAKAN SISTEM INSTALASI LISTRIK MELALUI PENGUJIAN NILAI TAHANAN ISOLASI DAN TAHANAN BUMI

Oleh :

Agustini Rodiah Machdi

Abstrak

Instalasi kabel listrik baik itu untuk rumah maupun gedung haruslah memenuhi standar-standar yang sudah ditentukan oleh standarisasi, kabel merupakan komponen listrik yang digunakan untuk mengalirkan energi listrik pada peralatan listrik, pemilihan kualitas suatu kabel sangatlah penting. Isolasi kabel merupakan bagian penting suatu kabel yang tidak dapat diabaikan. Bahan isolasi kabel ini terbuat dari PVC yang tidak tahan panas karena panas dapat menurunkan tahanan isolasi pada kabel. Oleh karena itu nilai standarisasi dari tahanan isolasi harus dipenuhi dalam setiap instalasi listrik. Selain tahanan isolasi, ada satu komponen lagi yaitu tahanan bumi atau biasa disebut sistem pentanahan (*grounding system*), Tujuan utama pentanahan adalah menciptakan jalur yang *low impedance* (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan *transient voltage*. Penerangan, arus listrik, *circuit switching* dan *electrostatic discharge* adalah penyebab umum dari adanya sentakan listrik atau *transient voltage*. Sistem pentanahan yang efektif akan meminimalkan efek tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengukur dan mengetahui degradasi tahanan isolasi kabel saat mengalirkan arus listrik dan mengukur kualitas dari suatu sistem pentanahan agar nilai-nilai standar tahanan bumi terpenuhi.

Kata kunci : *Instalasi Listrik, Tahanan Isolasi, Tahanan Bumi, Pentanahan, Grounding*

1. LATAR BELAKANG

Kualitas suatu sistem instalasi listrik rumah akan mengalami penurunan kualitas seiring bertambahnya umur bahan-bahan instalasi listrik yang digunakan dan ditambah dengan penambahan penggunaan alat-alat listrik yang membebani, meningkatnya arus yang diserap oleh alat-alat listrik dan durasi yang lama (lebih 5 tahun) meningkatkan kadar resiko rugi-rugi yang tinggi pada penghantar dan dapat melewati kemampuan hantar arus (KHA) rata-rata penghantar yang digunakan. Rugi-rugi panas pada penghantar dalam waktu yang cukup lama akan terakumulasi dan menyebabkan kerapuhan pada isolasinya. Isolasi yang telah mengalami perjalanan daya yang tinggi akan menurunkan nilai kemampuan isolasinya. Pada batas nilai tertentu dengan alat ukur isolasi (*megger*) kondisi suatu instalasi dapat dinyatakan layak atau tidak.

Peralatan lainnya seperti sakelar dan kotak kontak, usia pemakaian yang lama akan timbul karat dan korosi, demikian juga untuk batang pentanahan (*grounding*) yang tertanam di dalam tanah. Karat dan korosi tersebut dapat menghambat aliran listrik

yang akan disalurkan ke tanah, sehingga dapat menyebabkan terhambatnya aliran arus listrik yang akan di bumikan.

Dalam PUIL 2000 (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) dipersyaratkan instalasi yang telah berumur diatas 5 tahun perlu diperiksa kembali kelayakannya.

Penelitian mengenai analisa kelayakan instalasi listrik pada gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pakuan, dimana gedung ini sudah dibangun lebih dari 5 tahun, memiliki tujuan antara lain :

1. Mengetahui nilai resistansi isolasi penghantar yang menunjukkan kondisi nilai kualitas instalasi listrik di gedung Laboratorium Elektro Universitas Pakuan.
2. Didapatkannya data-data yang akurat sebagai bahan analisa penurunan kualitas isolasi dan gangguan lain pada jaringan listrik.

2. LANDASAN TEORI

Instalasi listrik adalah saluran listrik beserta gawai maupun peralatan yang terpasang baik di dalam maupun di luar bangunan untuk menyalurkan arus listrik. Rancangan instalasi listrik harus memenuhi ketentuan

PUIL 2000 dan peraturan yang terkait dalam dokumen seperti UU NO 18 Tahun 1999 tentang jasa konstruksi, Peraturan Pemerintah NO 51 Tahun 1995 tentang Usaha Penunjang Tenaga Listrik dan peraturan lainnya.

Pemasangan instalasi listrik harus lebih diutamakan pada keselamatan manusia terhadap bahaya sentuhan serta kejutan arus, keamanan instalasi listrik beserta perlengkapannya dan keamanan gedung serta isinya terhadap kebakaran akibat listrik [PUIL:2000].

Dalam terminologi instalasi dikenal istilah antara lain;

1. Instalasi sirkit utama yaitu Instalasi antara titik pasok milik perusahaan listrik atau panel generator sampai panel hubung bagi utama. Instalasi sirkit cabang yaitu instalasi antara panel hubung bagi utama dengan panel hubung bagi berikutnya dan seterusnya.
2. Instalasi sirkit akhir yaitu instalasi antara panel hubung bagi akhir sampai titik pemakaian [Subagyo Heru, 2007a]

Dalam pemilihan jenis penghantar yang akan digunakan dalam suatu instalasi dan luas penghantar yang akan di pakai dalam instalasi tersebut ditentukan berdasarkan 6 pertimbangan :

1. Kemampuan Hantar Arus
Untuk menentukan luas penampang penghantar yang diperlukan maka, harus ditentukan berdasarkan atas arus yang melewati penghantar tersebut. Arus nominal yang melewati suatu penghantar dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Untuk arus bolak balik satu fasa :

$$I = \frac{P}{Vx \cos \varphi} A$$

Untuk arus bolak balik tiga fasa :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}x V x \cos \varphi} A$$

Dimana :

- I = Arus nominal (A)
- P = Daya aktif (W)
- V = Tegangan (V)
- Cos φ = Faktor daya

Kemampuan hantar arus yang dipakai dalam pemilihan penghantar adalah 1,25 kali dari arus nominal yang melewati penghantar tersebut. Apabila kemampuan hantar arus sudah diketahui maka tinggal menyesuaikan dengan tabel untuk mencari luas penampang yang diperlukan.

KHA kabel dapat diketahui dengan mengikuti arus maksimal pada circuit breaker atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$KHA = 1,2 \times I_{\text{breaker}}$$

Dimana :

KHA = Kuat Hantar Arus

I_{breaker} = Arus maksimal pada circuit breaker

Setelah didapat kapasitas KHA, untuk mengetahui kabel yang harus digunakan dapat melihat tabel berikut ini :

Tabel 1. Kuat Hantar Arus Kabel NYY

| Jenis kabel | Luas penampang mm ² | KHA terus menerus | | | | | |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------|-----|----------------------|-----|---------------------------------|------|
| | | Beranti tunggal di udara | | Beranti dua di udara | | Beranti tiga dan empat di udara | |
| | | A | A | A | A | A | A |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | 1,5 | 40 | 26 | 31 | 20 | 26 | 18,6 |
| | 2,5 | 54 | 35 | 41 | 27 | 34 | 25 |
| | 4 | 70 | 46 | 54 | 37 | 44 | 34 |
| | 6 | 90 | 58 | 68 | 48 | 56 | 43 |
| NYF | 10 | 122 | 79 | 92 | 66 | 75 | 60 |
| NYBY | 16 | 160 | 105 | 121 | 89 | 98 | 80 |
| NYFGbY | 25 | 206 | 140 | 153 | 118 | 128 | 106 |
| NYRGOY | 35 | 249 | 174 | 187 | 145 | 157 | 131 |
| NYCY | 50 | 296 | 212 | 222 | 176 | 185 | 159 |
| NYCwY | 70 | 368 | 269 | 273 | 224 | 228 | 202 |
| NVCEY | 95 | 438 | 331 | 328 | 271 | 275 | 244 |
| NVSEY | 120 | 499 | 386 | 375 | 314 | 313 | 282 |

Tabel 2. Kuat Hantar Arus Kabel NYM

| Jenis kabel | Luas penampang mm ² | KHA terus menerus | | KHA pengenal gawai proteksi | |
|---|-----------------------------------|-------------------|-----|-----------------------------|-----|
| | | A | A | A | A |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| | 1,5 | 18 | 10 | 10 | 10 |
| | 2,5 | 26 | 20 | 20 | 20 |
| | 4 | 34 | 25 | 25 | 25 |
| | 6 | 44 | 35 | 35 | 35 |
| NYIF | 10 | 61 | 50 | 50 | 50 |
| NYIFY | 16 | 82 | 63 | 63 | 63 |
| NYPLYw | 25 | 108 | 80 | 80 | 80 |
| NYM/NYM-0 | 35 | 135 | 100 | 100 | 100 |
| NYRAMZ | 50 | 168 | 125 | 125 | 125 |
| NYRUZY | 70 | 207 | 160 | 160 | 160 |
| NHYRUZYr | 95 | 250 | 200 | 200 | 200 |
| NHYRUZYr | 120 | 292 | 250 | 250 | 250 |
| NYBUY | 150 | 335 | 290 | 290 | 290 |
| NYLRZY, dan Kabel fleksibel bersolasi PVC | 185 | 382 | 315 | 315 | 315 |
| | 240 | 453 | 400 | 400 | 400 |

2. Drop Tegangan (Susut Tegangan)
Susut tegangan antara PHB utama dan setiap titik beban, tidak boleh lebih dari 5 % dari tegangan di PHB utama. Adapun pembagian penentuan drop tegangan pada suatu penghantar dapat digolongkan menjadi beberapa jenis :
 1. Untuk arus bolak-balik satu fasa
 2. Untuk arus bolak-balik tiga fasa
Rugi tegangan biasanya dinyatakan dalam satuan persen (%) dalam tegangan kerjanya yaitu :

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V \times 100 \%}{V}$$

Besarnya rugi tegangan (%) yang diijinkan dapat dilihat pada table 1.1 berikut ini.

Tabel 3. Rugi Tegangan

| ΔV (%) | Penggunaan Jaringan |
|----------------|---|
| 0.5 | Dari jala-jala ke KWh meter |
| 1.5 | Dari KWh meter ke rangkaian penerangan |
| 3.0 | Dari KWh meter ke motor atau rangkaian daya |

3. Kondisi Suhu

Setiap penghantar memiliki suatu resistansi (R), jika penghantar tersebut dialiri oleh arus maka terjadi rugi-rugi I^2R , yang kemudian rugi-rugi tersebut berubah menjadi panas, jika dialiri dalam waktu t detik maka panas yang terjadi ialah I^2Rt , jika dialiri dalam waktu yang cukup lama ada kemungkinan terjadinya kerusakan pada penghantar tersebut, oleh karena itu dalam pemilihan penghantar faktor koreksi juga diperhitungkan. (PUIL 2000, 4.1.2.)

4. Kondisi Lingkungan

Didalam pemilihan jenis penghantar yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi dan tempat penghantar tersebut akan ditempatkan atau dipasang. Apakah penghantar tersebut akan ditanam di dalam tanah atau di udara.

5. Kekuatan Mekanis

Penentuan luas penampang penghantar kabel juga harus diperhitungkan apakah kemungkinan adanya tekanan mekanis ditempat pemasangan kabel itu besar atau tidak, dengan demikian dapat diperkirakan besar kekuatan mekanis yang mungkin terjadi pada kabel tersebut.

6. Kemungkinan Perluasan

Setiap instalasi listrik dirancang dan dipasang dengan perkiraan adanya penambahan beban dimasa yang akan datang, oleh karena itu luas penampang penghantar harus dipilih lebih besar minimal satu tingkat diatas luas penampang sebenarnya, tujuannya adalah jika dilakukan penambahan beban maka penghantar tersebut masih mencukupi dan susut tegangan yang terjadi akan kecil.

2.1. Kabel Instalasi

Jenis penghantar yang banyak digunakan pada suatu instalasi rumah tinggal ialah kabel NYA dan NYM seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Ketentuan yang harus diperhatikan di dalam pemasangan kabel NYA sebagai berikut: (Harten P. Van dan Ir.E.Setiawan, 1981: 114)

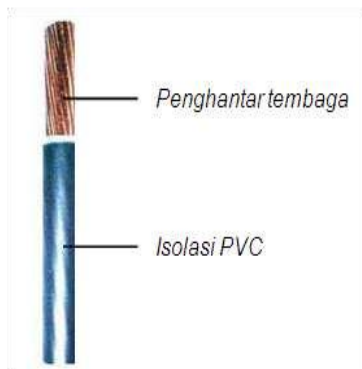
- Untuk pemasangan tetap dalam jangkauan tangan, kabel NYA harus dilindungi dengan pipa instalasi.
- Diruang lembab, kabel NYA harus dipasang dalam pipa PVC untuk pemasangannya.
- Kabel NYA tidak boleh dipasang langsung menempel pada plesterran atau kayu, tetapi harus dilindungi dengan pipa instalasi.
- Kabel NYA boleh digunakan di dalam alat listrik, perlengkapan hubung bagi dan sebagainya.
- Kabel NYA tidak boleh digunakan diruang basah, ruang terbuka, tempat kerja atau gudang dengan bahaya kebakaran atau ledakan.

Sedangkan ketentuan-ketentuan untuk pemasangan kabel NYM adalah sebagai berikut:

- Kabel NYM boleh dipasang langsung menempel atau ditanam pada plesteran, di ruang lembab atau basah dan ditempat kerja atau gudang dengan bahaya kebakaran atau ledakan.
- Kabel NYM boleh langsung dipasang langsung pada bagian-bagian lain dari bangunan, konstruksi, rangka dan lain sebagainya. Dengan syarat pemasangannya tidak merusak selubung luar kabel.
- Kabel NYM tidak boleh dipasang di dalam tanah.

Dalam hal penggunaan, kabel instalasi yang terselubung memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan instalasi di dalam pipa, yaitu

- Lebih mudah dibengkokkan
- Lebih tahan terhadap pengaruh asam, uap atau gas
- Sambungan dengan alat pemakai dapat ditutup lebih rapat



Gambar 1. Konstruksi kabel NYA



Kabel NYM

Gambar 2. Konstruksi kabel NYM

3. PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI INSTALASI LISTRIK

Berikut ini merupakan spesifikasi kabel instalasi jaringan yang diuji dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4. Spesifikasi kabel yang diuji

| Luas Penampang (mm ²) | Diameter kabel (mm) | Tebal Isolasi | Arus maksimum pada 30 °C |
|-----------------------------------|---------------------|---------------|--------------------------|
| 1,5 | 1,38 | 0,7 | 23 |

3.1. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menyalakan beban agar mengalir arus pada kabel dengan arus konstan hingga isolasi kabel menurun.

Tabel 5. Pengujian Arus Normal (11A)

| Lama | Temp Konduktor (°C) | Temp Isolasi (°C) | Tahanan Isolasi (Gohm) |
|--------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| 1 jam | 28 | 28 | 20 |
| 8 jam | 28,8 | 28 | 20 |
| 16 jam | 29 | 28,3 | 20 |
| 25 jam | 29,2 | 28,5 | 20 |
| 34 jam | 29 | 28 | 20 |
| 43 jam | 29 | 28 | 20 |
| 52 jam | 29 | 28 | 20 |

Tabel 6. Pengujian Arus Max(23A)

| Lama | Temp Konduktor (°C) | Temp Isolasi (°C) | Tahanan Isolasi (Gohm) |
|--------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| 1 jam | 39,2 | 38,2 | 20 |
| 8 jam | 40 | 38,7 | 20 |
| 16 jam | 40 | 39 | 20 |
| 24 jam | 40 | 39 | 20 |

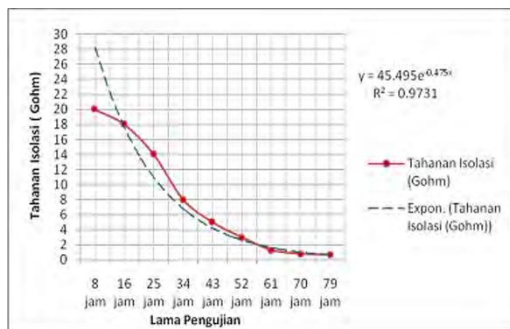
Pada tabel 5 pengujian dengan arus normal dapat dilihat bahwa tidak terjadi degradasi tahanan isolasi kabel dan isolasi kabel masih tetap seperti keadaan awal sebelum diuji. Pada pengujian dengan menggunakan arus maksimum seperti pada tabel 6 dapat terlihat bahwa temperatur konduktor naik sekitar 11-12°C dari temperatur awal. Sedangkan temperatur isolasinya naik sekitar 10 °C. Walaupun mengalami kenaikan temperatur, isolasi kabel masih belum mengalami degradasi karena temperatur yang dicapai masih dalam ambang batas ketahanan isolasi kabel.

Tabel 7. Pengujian 1,5 xArusMax(35A)

| Lama Pengujian | Temp Konduktor (°C) | Temp Isolasi (°C) | Tahanan Isolasi (Gohm) | % Penurunan |
|----------------|-----------------------|---------------------|------------------------|-------------|
| 8 jam | 5 | 42 | 2 | 0 |
| 16 jam | 52, | 42 | 1 | 10 |
| 25 jam | 5 | 42 | 1 | 30 |
| 34 jam | 52, | 41,9 | 8 | 60 |
| 43 jam | 5 | 42 | 5 | 75 |
| 52 jam | 5 | 42,2 | 3 | 85 |
| 61 jam | 5 | 42,2 | 1 | 93.5 |
| 70 jam | 5 | 42,2 | 0 | 96 |
| 79 jam | 52, | 42 | 0 | 96.5 |

Tabel 8. Pengujian 2 xArusMax(47A)

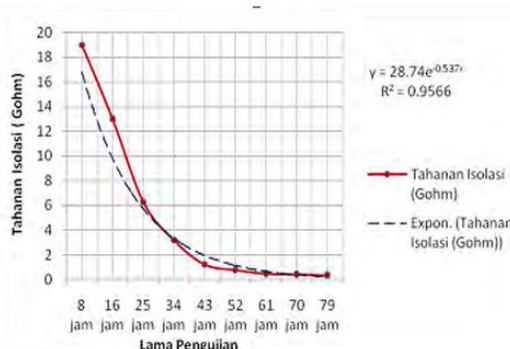
| Lama Pengujian | Temp Konduktor (°C) | Temp Isolasi (°C) | Tahanan Isolasi (Gohm) | % Penurunan |
|----------------|-----------------------|---------------------|------------------------|-------------|
| 8 jam | 69 | 51 | 19 | 5 |
| 16 jam | 68 | 50,5 | 13 | 35 |
| 25 jam | 68,8 | 51 | 6.3 | 68.5 |
| 34 jam | 68,8 | 51 | 3.2 | 84 |
| 43 jam | 69 | 51 | 1.25 | 93.75 |
| 52 jam | 69 | 51 | 0.8 | 96 |
| 61 jam | 69 | 51 | 0.5 | 97.5 |
| 70 jam | 69 | 51 | 0.45 | 97.75 |
| 79 jam | 69 | 51 | 0.375 | 98.125 |



Gambar 3. Grafik Pengujian dengan 1,5 x arus maksimum

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa saat pengujian dimulai selama 8 jam, tahanan isolasi masih tinggi dengan nilai yang ditunjukkan pada Megaohmmeter yaitu 20 GΩ. Setelah pengujian mencapai 16 jam baru terlihat sedikit penurunan tahanan isolasinya menjadi 18 GΩ. Pengujian berlangsung hingga 79-80 jam sampai tahanan isolasi kabel menunjukkan nilai 0,7 GΩ atau 700 MΩ. Nilai tahanan isolasi kabel ini sangat kecil dibandingkan dengan saat tahanan isolasi pada awal pengujian, dimana terjadi penurunan tahanan isolasi sebesar 96,5% dari nilai awal pengujian.

Garis berwarna biru putus-putus merupakan grafik arah gejala (trendline) dari pengujian yang dilakukan. Dapat dilihat pada saat pengujian mencapai 25 jam, grafik berwarna merah mengalami sedikit penyimpangan. Hal ini disebabkan jarum Megaohmmeter sedikit bergerak-gerak sehingga diperlukan pengambilan rata-rata nilai tahanan isolasinya.



Gambar 4. Grafik Pengujian dengan 2 x arus maksimum

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa saat pengujian dimulai selama 8 jam, tahanan isolasi sudah sedikit menurun tetapi masih cukup tinggi dengan nilai yang ditunjukkan pada Megaohmmeter yaitu 20 GΩ. Setelah pengujian mencapai 16 jam baru terlihat penurunan tahanan isolasinya menjadi 13

GΩ. Saat pengujian mencapai 25 jam, tahanan isolasi telah mencapai nilai 6,3 GΩ. Jika dilihat dari grafik, penurunan tahanan isolasi ini memiliki gradien kecuraman yang tertinggi dimana persentase tahanan isolasi langsung menurun sebesar 68,5%.

Setelah pengujian berlangsung antara 43-79 jam, tahanan isolasi kabel mengalami penurunan yang tidak terlalu besar dibandingkan pada saat pengujian mencapai 25 jam. Nilai akhir tahanan isolasi kabel yang didapat menjadi 375 MΩ, dimana terjadi penurunan tahanan isolasi sebesar 98,125% dari nilai awal pengujian. Dari tabel 7 dan tabel 8 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin lama waktu pengujian, dengan temperatur konduktor dan temperatur isolator yang tetap, dapat menyebabkan kabel mengalami degradasi tahanan isolasi.

Grafik – grafik pengujian diatas menunjukkan sifat yang hampir mirip dengan sifat eksponensial, dimana penurunan tahanan isolasi yang besar terjadi di awal pengujian dan makin lama penurunannya menjadi mengecil. Sifat grafik ini disebut mirip dengan sifat eksponensial tetapi tidak dapat disebut bersifat eksponensial karena pada grafik eksponensial, nilai akhirnya adalah tak terhingga sedangkan tahanan isolasi kabel tidak mungkin memiliki nilai akhir tak terhingga.

3.2. Temperatur dengan tahanan isolasi

Pada prinsipnya bahwa semakin tinggi temperatur isolasi kabel diatas titik leburnya maka semakin besar pula kecenderungan penurunan tahanan isolasinya, dimana penurunan tahanan isolasi ini bersifat mendekati sifat eksponensial. Di dalam skripsinya ditunjukkan grafik yang menunjukkan hubungan antara tahanan isolasi kabel dengan temperatur yang terus naik akibat pemanasan. Temperatur pelat diasumsikan sebagai temperatur konduktor pada kenyataan. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan degradasi tahanan isolasi kabel jenis NYM 1,5 mm².

Tabel 9. Pengukuran degradasi tahanan isolasi kabel NYM 1,5 mm²

| Waktu detik (s) | Tahanan (M. Ohm) | Pelat (°C) | Konduktor (°C) | Selisih (M. Ohm) | % Selisih (%) |
|-----------------|------------------|------------|----------------|------------------|----------------|
| 33 | 20000 | 180.8 | 38 | 0 | 0 |
| 34 | 20000 | 184.9 | 38.7 | 0 | 0 |
| 35 | 19000 | 191.9 | 40.1 | 1000 | 5 |
| 36 | 16500 | 194.2 | 40.9 | 2500 | 13.2 |
| 37 | 14000 | 196.4 | 42.1 | 2500 | 15.2 |
| 38 | 10000 | 200.9 | 43 | 4000 | 28.6 |
| 39 | 8000 | 206.1 | 43.8 | 2000 | 20 |
| 40 | 6000 | 211.4 | 45 | 2000 | 25 |
| 41 | 4000 | 216.5 | 45.9 | 2000 | 33.3 |
| 42 | 2000 | 216.5 | 47.4 | 2000 | 50 |
| 43 | 1800 | 224 | 48.5 | 200 | 10 |
| 44 | 1200 | 227.4 | 49.9 | 600 | 33.3 |
| 45 | 950 | 231.1 | 50.9 | 250 | 20.8 |
| 46 | 750 | 233.6 | 52.6 | 200 | 21.1 |
| 47 | 500 | 235.7 | 53.7 | 250 | 33.3 |
| 48 | 400 | 239.5 | 55.5 | 100 | 20 |
| 49 | 330 | 249.8 | 56.5 | 70 | 17.5 |
| 50 | 300 | 245.9 | 57.6 | 30 | 9.1 |
| 51 | 250 | 249.5 | 59.4 | 50 | 16.7 |
| 52 | 200 | 258.3 | 60.7 | 50 | 20 |
| 53 | 130 | 259.4 | 63.9 | 70 | 35 |
| 54 | 100 | 261.2 | 65.8 | 30 | 23.1 |
| 55 | 80 | 261.2 | 66.5 | 20 | 20 |
| 56 | 65 | 263.8 | 67.9 | 15 | 18.8 |
| 57 | 55 | 266.3 | 69.2 | 10 | 15.4 |
| 58 | 48 | 270.6 | 70.7 | 7 | 12.7 |
| 59 | 40 | 272.8 | 72.9 | 8 | 16.7 |
| 60 | 35 | 275 | 74.4 | 5 | 12.5 |
| 61 | 30 | 278 | 77.4 | 5 | 14.3 |
| 62 | 27 | 278 | 78.8 | 3 | 10 |
| 63 | 22 | 282.5 | 79.6 | 5 | 18.5 |
| 64 | 20 | 283.7 | 82 | 2 | 9.1 |
| 65 | 13.5 | 284 | 85.1 | 6.5 | 32.5 |
| 66 | 12 | 288.3 | 86.5 | 1.5 | 11.1 |
| 67 | 10 | 288.2 | 88 | 2 | 16.7 |
| 68 | 8.5 | 287.4 | 89.6 | 1.5 | 15 |
| 69 | 8 | 287.4 | 91.3 | 0.5 | 5.9 |
| 70 | 7.7 | 288.2 | 92.9 | 0.3 | 3.8 |
| 71 | 7.5 | 288.5 | 93.7 | 0.2 | 2.6 |
| 72 | 7 | 291.5 | 97.6 | 0.5 | 6.7 |
| 73 | 4 | 292 | 101 | 3 | 42.9 |
| 74 | 0.05 | 292.3 | 102.4 | 3.95 | 98.8 |
| 75 | 0.000000001 | 294.1 | 105 | 0.05 | (hampir) 100.0 |

Pada pengujian dengan 1,5 x arus maksimum selama 16 jam, tahanan isolasi mulai mengalami penurunan menjadi 18 GΩ. Sedangkan pada pengujian dengan 2 x arus maksimum selama 8 jam, tahanan isolasi sedikit mengalami penurunan menjadi 19 GΩ. Berarti saat konduktor mencapai suhu 40,9 °C, isolasi kabel mencapai titik kritis ketahanannya dan memiliki kecenderungan penurunan tahanan isolasinya.

Biasanya kabel dipasang pada plafon rumah dimana suhu ruang diatas plafon mencapai 45°C. Suhu tersebut lebih tinggi 18°C dari suhu ruang sehingga memengaruhi degradasi tahanan isolasi kabel tersebut. Berikut merupakan tabel hasil pengujian tahanan

isolasi dengan temperatur ruang 45°C. Pengujian dibawah ini hanya dilakukan selama 15 menit untuk setiap nilai nominal arus yang diberikan pada kabel.

Tabel 10. Pengujian Tahanan Isolasi dengan Suhu Ruang 45°C

| Arus (A) | Temperatur Konduktor (°C) | Temperatur Isolasi (°C) |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| 2 | 46,6 | 46,1 |
| 4 | 48,4 | 47,5 |
| 6 | 49,3 | 48,2 |
| 8 | 51,5 | 50,4 |
| 10 | 54,4 | 53,3 |
| 11 | 56,1 | 54,6 |
| 23 | 75,9 | 65,7 |

Jika hasil pengujian pada tabel 10 dibandingkan dengan hasil pengujian pada tabel 5, saat kabel diberikan arus 2A pada temperatur ruang 45°C, temperatur isolasi mencapai 46,1°C. Temperatur isolasi ini lebih tinggi dibanding pada pengujian tabel 5 dimana temperatur isolasi mencapai 42°C, sehingga dapat diperkirakan pada saat diberi arus 2A, tahanan isolasi kabel telah mengalami degradasi dimana nilai tahananannya berada pada rentang 18 GΩ sampai 14GΩ.

Jika hasil pengujian pada tabel 10 dibandingkan dengan hasil pengujian pada tabel 6, saat kabel diberikan arus 8A pada temperatur ruang 45°C, temperatur isolasi mencapai 50,4°C. Temperatur isolasi ini mendekati nilai temperatur pada pengujian tabel 6 dimana temperatur isolasi mencapai 51°C, sehingga dapat diperkirakan pada saat diberi arus 8A, tahanan isolasi kabel telah mengalami degradasi dimana nilai tahananannya berada pada rentang 6,3 GΩ sampai 3,2 GΩ dan persentase penurunannya mencapai 84%.

Saat kabel dialiri arus 11 A, temperatur isolasi meningkat sampai 56,1 °C. Sedangkan dengan arus 23 A, temperatur isolasi kabel menjadi 65,7°C. Temperatur isolasi tersebut telah melampaui temperatur isolasi pada saat pengujian dengan 2 x arus maksimum pada suhu ruang dan jika melihat tabel 2.2 maka isolasi kabel tersebut berada pada batas ketahanan panasnya yang dapat

menyebabkan isolasi kabel mengalami deformasi.

Berarti pada rentang nilai arus tersebut, suatu isolasi kabel akan mengalami degradasi tahanan isolasi pada kabel lurus saat temperatur ruang 45 °C.

Saat kabel dialiri arus sebesar 2 x arus maksimum yaitu 47A pada temperatur 45°C maka dalam waktu kurang dari 2 menit, isolasi kabel mengeluarkan asap yang cukup banyak dan isolasi kabel menjadi lunak tetapi belum meleleh. Hal ini menunjukkan bahwa dengan arus kurang dari 2 x arus maksimum, dengan suhu ruang mencapai 45°C akan menyebabkan kabel mengalami degradasi tahanan isolasi yang sangat besar.

3.3. Pengujian Tahanan Bumi Instalasi Listrik

Berikut ini merupakan kondisi pengukuran Tahanan Bumi yang dilakukan disekitar gedung laboratorium fakultas teknik :

- a) Jenis tanah = Tanah merah (kering)
- b) Lokasi = halaman gedung laboratorium fakultas teknik
- c) Jenis Elektroda = Batang tembaga 5/8"

Tabel 11. Kondisi Pengukuran Tahanan Bumi

| Jumlah Elektroda (buah) | Kedalaman (cm) | Tahanan (Ω) |
|-------------------------|----------------|-------------|
| 1 | 30 | 280 |
| | 40 | 200 |
| | 50 | 125 |
| | 60 | 100 |
| | 70 | 88 |

Dari kondisi pengujian diatas maka didapat nilai secara analisis teori sebagai berikut :

$$d = 5/8 \text{ inc} \times 2.54$$

$$= 1.5875 \text{ cm}$$

$$a = 0,794 \text{ cm}$$

3.3.1. Tahanan jenis satu elektroda (ρ_i)

Dari tabel 11 didapat nilai-nilai tahanan jenis (ρ) didapat nilai-nilai sebagai berikut :

$$\rho_1 = 2 \times 3,14 \times 0,794 \times 280$$

$$= 1396,16 \Omega\text{-cm}$$

$$\rho_2 = 2 \times 3,14 \times 0,794 \times 200$$

$$= 997,26 \Omega\text{-cm}$$

$$\rho_3 = 2 \times 3,14 \times 0,794 \times 125$$

$$= 623,29 \Omega\text{-cm}$$

$$\rho_4 = 2 \times 3,14 \times 0,794 \times 100$$

$$= 498,63 \Omega\text{-cm}$$

$$\rho_5 = 2 \times 3,14 \times 0,794 \times 9$$

$$= 438,79 \Omega\text{-cm}$$

$$\rho_{rata-rata} = \frac{\sum \rho_i}{n}$$

$$\rho_{rata-rata} = \frac{1396,16 + 997,26 + 623,29 + 498,63 + 438,79}{5}$$

$$= 790,8 \Omega\text{-cm}$$

3.3.2. Penghitungan Tahanan Bumi (Pentanahan) Berdasarkan Rumus Teori

Rumus teori yang digunakan untuk mencari nilai tahanan bumi (pentanahan) adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{A} \right) - 1 \right]$$

di mana:

R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L = Panjang elektroda (meter)

A = Diameter elektroda (meter)

Dari table 11 dan penghitungan tahanan jenis (ρ) yang didapat pada bahasan sebelumnya didapat nilai-nilai sebagai berikut :

$$R_1 = \frac{1790,8}{2 \times 3,14 \times 30} \left(\ln \frac{4 \times 30}{1,5875} - 1 \right) = 40,90 \Omega$$

$$R_2 = \frac{1790,8}{2 \times 3,14 \times 40} \left(\ln \frac{4 \times 30}{1,5875} - 1 \right) = 32,7 \Omega$$

$$R_3 = \frac{1790,8}{2 \times 3,14 \times 50} \left(\ln \frac{4 \times 30}{1,5875} - 1 \right) = 27,48 \Omega$$

$$R_4 = \frac{1790,8}{2 \times 3,14 \times 60} \left(\ln \frac{4 \times 30}{1,5875} - 1 \right) = 23,81 \Omega$$

$$R_5 = \frac{1790,8}{2 \times 3,14 \times 70} \left(\ln \frac{4 \times 30}{1,5875} - 1 \right) = 21,02 \Omega$$

3.3.3. Perbandingan Hasil Pengukuran Tahanan Tanah dengan Teori

Setelah dilakukan penghitungan nilai-nilai penghitungan tahanan bumi berdasarkan teori maka dilakukan pengukuran di lapangan dengan menggunakan earth meter, dengan kondisi sebagai berikut :

- Jenis tanah = Tanah merah (kering)
- Lokasi = halaman gedung laboratorium fakultas teknik
- Jenis Elektroda = Batang tembaga 5/8"

Hasil pengukuran di lapangan menggunakan earth meter tersebut dicatat, dimasukkan ke dalam table dan kemudian dibandingkan, seperti yang terlihat pada table 12 berikut ini.

Tabel 12. Perbandingan Nilai Hasil Pengukuran dengan Teori (Rumus)

| Jumlah Elektroda (buah) | Kedalaman (cm) | Tahanan (Ω) | |
|-------------------------|----------------|------------------------------|---------------------------------|
| | | Hasil Pengukuran di Lapangan | Hasil Penghitungan Secara Teori |
| 1 | 30 | 280 | 40,90 |
| | 40 | 200 | 32,7 |
| | 50 | 125 | 27,48 |
| | 60 | 100 | 23,81 |
| | 70 | 88 | 21,02 |

Dari tabel 12 terlihat perbedaan yang cukup signifikan dari nilai yang didapat pada saat pengukuran di lapangan dengan teori (rumus).

4. KESIMPULAN

- Dari data yang sudah didapat dalam pengujian dan setelah dibuatkan grafik ternyata penurunan tahanan isolasi bersifat eksponensial terhadap waktu.
- Tahanan isolasi dari jenis kabel yang diuji pada penelitian ini didapat titik kritis temperature isolasi dengan nilai 40,9 °C pada suhu ruang 27°C dan kabel mengalami penurunan tahanan isolasinya.
- Sedangkan untuk nilai tahanan bumi akan semakin kecil bila semakin dalam elektroda ditanamkan.

- Nilai tahanan bumi yang diperoleh dari data dilapangan berbeda dengan analisis teori hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti tidak sempurnanya lagi bentuk elektroda batang karena sering digunakan yang menyebabkan berubahnya luas penampang elektroda yang berpengaruh pada perhitungan.
- Nilai tahanan jenis bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. makin tinggi suhu makin tinggi tahanan jenisnya. Sebaliknya makin lembab tanah itu makin rendah tahanan jenisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Proyek Pengembangan Pendidikan Berorientasi Keterampilan Hidup, Instalasi Listrik Dasar, Dirjen Dikdasmen - Diknas, Jakarta, 2003
- DR. Soedjana Sapiie Dan DR.Osamu Nishino, Pengukuran Dan Alat Alat Ukur Listrik, Pradya Paramita, Jakarta, 1979
- M.E. Van Valkenburg & S.H.Nasution, Analisis Jaringan Listrik (Edisi Ketiga), Erlangga, Jakarta, 1994
- BSN, Peraturan Umum Instalasi Listrik, Yayasan PUIL, Jakarta 2000.
- Darsono dan Panidjo, A., Petunjuk Praktek Listrik 2, Depdikbud, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta 1980
- V dan E. Setiawan, Instalasi Arus kuat I, Bina Cipta, Bandung, 1986.

PENULIS :

Agustini Rodiah Machdi, ST., MT. Staf Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan - Bogor

