

Analisa Kemampuan Hantar Arus Kabel Bawah Tanah Dari GI Titi Kuning ke GI Jln. Listrik

Fitra Hendra¹⁾, Yusmartato²⁾, Ramayulis Nasution³⁾, Zulfadli Pelawi⁴⁾

¹⁾Alumni, ^{2,3,4)}Dosen Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISU-Medan

yusmartato@ft.uisu.ac.id; ramayulis@ft.uisu.ac.id;

Abstrak

Kemampuan hantar arus kabel bawah tanah dipengaruhi oleh bahan dan dimensi hantaran kabel, komponen penyusun kabel, instalasi dan kondisi lingkungan sekitar saluran kabel bawah tanah. Untuk mengetahui kemampuan hantar arus pada kabel berdasarkan temperatur kerja diperlukan perhitungan dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Di dalam pengerjaan skripsi ini penulis menggunakan metode studi literatur dan mengadakan diskusi dan konsultasi. Salah satu masalah pada transmisi saluran kabel bawah tanah adalah adanya rugi-rugi pada kabel yaitu rugi-rugi penghantar, rugi-rugi dielektrik dan rugi-rugi selubung. Transmisi daya dengan menggunakan saluran kabel bawah tanah, untuk kondisi tertentu lebih menguntungkan dibandingkan dengan transmisi hantaran udara. Perubahan temperatur sangat mempengaruhi nilai tahanan arus searah, pada suhu standar (20°C) dan suhu pada saat operasi (85°C) seperti yang terlihat pada analisa data, didapat selisih tahanan arus sebesar $0,5475 \times 10^5$ ohm/m, yang mana hasil kali tahanan arus searah dengan faktor efek kulit dan faktor efek beredampingan juga menentukan besarnya nilai tahanan arus bolak-balik pada suhu operasi. Kemampuan hantar arus pada kabel dipengaruhi oleh suhu sekitar kabel, yang mana bila semakin tinggi temperatur sekitar kabel maka kemampuan hantar arus pada kabel semakin berkurang.

Kata-Kata Kunci : Arus, Kabel Bawah Tanah, Rugi-Rugi, Suhu, Tahanan, Transmisi

I. PENDAHULUAN

Di kota-kota besar, transmisi dengan menggunakan saluran bawah tanah kini semakin banyak digunakan, terutama untuk daerah perkotaan yang padat penduduknya. Banyaknya gedung bertingkat tinggi di kota besar ini menyebabkan pemakaian saluran bawah tanah lebih cocok jika dilihat dari faktor keamanan dan keindahan. Akan tetapi biaya untuk transmisi bawah tanah ini relatif lebih mahal jika dibanding dengan transmisi udara, maka transmisi bawah tanah ini hanya digunakan pada daerah-daerah tertentu.

Transmisi daya dalam menggunakan saluran kabel bawah tanah, untuk kondisi tertentu lebih menguntungkan dibandingkan dengan hantaran udara. Namun dengan memperhatikan suhu sekitar kabel akan mempengaruhi kemampuan daya hantar arus kabel dan disamping itu juga terdapat pembatasan pada temperatur maksimal pada kabel.

Dalam penyaluran energi listrik melalui kabel bawah tanah perlu diperhatikan adanya rugi-rugi pada kabel, disamping rugi-rugi pada kabel pengaruh temperatur tanah sangat mempengaruhi sekitar saluran kabel. Selama proses penyaluran kemampuan daya hantar arus pada kabel bawah tanah juga dipengaruhi bahan dan dimensi jantaran kabel, instalasi dan kondisi lingkungan. Dengan menggunakan parameter kemampuan daya hantar arus yang mana telah ditentukan temperaturnya maka akan didapat kesinambungan antara besarnya daya hantar dengan temperatur kerja kabel bawah tanah tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konstruksi Kabel Bawah Tanah

Konstruksi kabel sangat mempengaruhi hasil perhitungan kemampuan membawa arus kontiniu kabel tersebut. Konstruksi yang ada sangat beragam bentuknya, tetapi secara umum konstruksi kabel terdiri atas :

A. Bagian utama, yaitu bagian yang harus ada pada kabel.

- a. Hantaran (*Conductor*)
- b. Isolasi (*Insulation*)
- c. Tabir (*Screen*)
- d. Selubung atau Mantel (*Sheath*)

B. Bagian pelengkap, yaitu bagian yang bersifat melengkapi bagian utama, yang dipergunakan untuk memperkuat atau memperbaiki sifat-sifat kabel atau untuk melindungi kabel.

- a. Bantaran (*Bedding*)
- b. Perisai (*Armmor*)
- c. Bahan Pengisi (*Filler*)
- d. Sarung Kabel

Instalasi kabel meliputi susunan peletakan kabel, pentanahan selubung logam (*sheath*) / pelindung (*shield*), jarak antara kabel dan pemilihan lingkungan kabel. Faktor lingkungan dimana kabel yang diletakkan akan mempengaruhi kemampuan membawa arus ini.

Umumnya kabel dapat diletakkan pada :

- a. Udara bebas (terkena langsung / terlindungi dari sinar matahari)
- b. Di saluran tiang
- c. Penanaman langsung di tanah

2.1.1 Bagian Utama Kabel

Bagian utama kabel tenaga adalah bagian yang harus dimiliki oleh kabel, yang terdiri dari :

- a. Hantaran (*Conductor*)
- b. Isolasi (*Insulation*)
- c. Tabir (*Screen*)
- d. Selubung atau Mantel

Hantaran

Dilihat dari intinya, kabel dapat dibedakan atas kabel berinti satu (*Singlecore*) dan kabel berinti banyak (*Multicore*).

Bahan hantaran yang banyak digunakan adalah :

- a. Tembaga, yaitu kawat tembaga polos (*plain wire*) atau kawat tembaga berlapis timah putih (*tinned copper wire*).
- b. Alumunium, dengan kemurnian 99,3 %.

Isolasi (*Insulation*)

Isolasi adalah bahan yang menyekat antara inti kabel dengan bagian-bagian atau material lainnya. Isolasi merupakan bagian kabel yang paling penting karena mendapat pembebanan medan elektrik yang paling besar. Selain itu, kemampuan temperatur bahan isolasi merupakan salah satu faktor penentu kemampuan membawa arus suatu kabel. Isolasi padat, yang umum dipakai pada kabel, dapat digolongkan ke dalam dua kategori, yaitu :

1. isolasi kertas impregnasi
2. isolasi polimer

Isolasi kertas impregnasi menggunakan kertas yang diresapi (*impregnated*) dengan minyak isolasi atau bahan khusus (*void*) pada kertas dan diantara lapisan-lapisan kertas, sehingga dapat mempertinggi ketahanan dielektrik kertas secara keseluruhan.

Material isolasi polimer yang paling banyak digunakan adalah :

- PVC (*Poly Vinyl Choride*)
- PE (*Poly Ethylene*)
- EPR (*Ethylene Propylene Rubber*)
- XLPE (*Chross Linked Poly Ethylene*)

Tabir (*Screen*)

Tabir terbuat dari bahan semi konduktor, misalnya kertas impregnasi berlapis logam dan komponen granit terletak antara hantaran dan isolasi serta antara isolasi dan selubung-selubung.

Fungsi Tabir adalah :

- Untuk memperoleh distribusi medan elektrik yang radial dan seragam, sehingga tidak terjadi penumpukan tegangan.
- Untuk melindungi / mengamankan manusia terhadap bahaya elektrik.

- Mencegah interferensi gelombang elektromagnetik dengan kabel telekomunikasi yang berada didekatnya.

Selubung (*Sheath*)

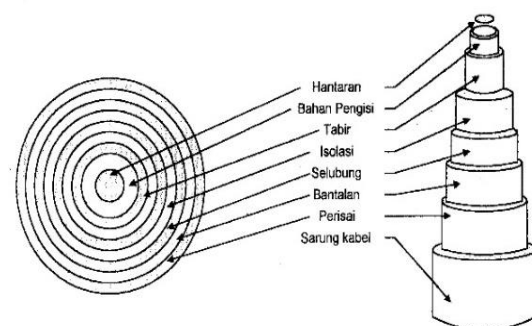
Selubung mempunyai fungsi sebagai berikut :

- Pelindung terhadap korosi
 - Penahanan gaya mekanik
 - Pelindung / pengaman terhadap gaya elektrik
 - Mencegah keluarnya minyak pada kabel isolasi kertas yang diresapi minyak
 - Mencegah masuknya air / cairan kedalam kabel.
- Bahan selubung dapat berupa :
- Logam, misalnya timbal (Pb) dan alumunium (Al)
 - Karet, misalnya karet silikon dan poly chloroprene
 - Plastik, misalnya PVC

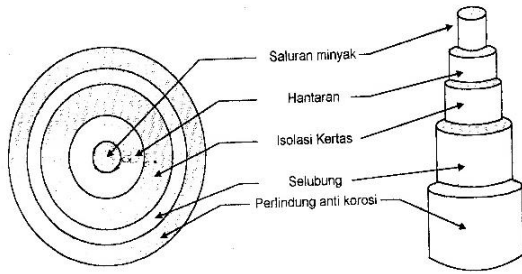
2.2. Kabel Diisi Minyak Dengan Isolasi Kertas Impregnasi

Untuk kabel dengan tegangan kerja 150 kV saat ini banyak digunakan kabel diisi minyak dengan isolasi kertas impregnasi. Kabel diisi minyak mempunyai saluran minyak di dalam penghantar sehinggaminyak dapat dialirkan didalamnya.

Pada kabel bawah tanah tegangan tinggi 150 kV yang berada di PLN GI Titi Kuning-GI Jln Listrik, menggunakan kabel diisi minyak dengan isolasi kertas impergnasi. Kertas impregnasi adalah suatu komposit antara kertas dengan minyak. Isolasi kertas dibuat dengan bahan dasar kayu melalui proses kimia dimana untuk mendapatkan sifat-sifat isolasi yang lebih baik kertas diresapi dengan minyak isolasi atau bahan campuran khusus hingga bahan peresap tersebut mengisi ruang-ruang kodong pada kertas. Kemudian kertas tersebut digulung berbentuk spiral disekitar konduktor yang akan diisolasi.



Gambar 1. Konstruksi Kabel Lengkap



Gambar 2. Kabel Diisi Minyak

2.3. Instalasi Kabel Tenaga

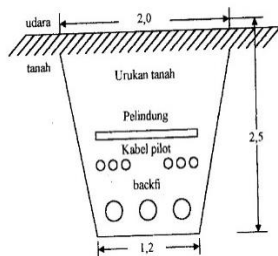
Pemasangan kabel dalam tanah dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu penanaman melalui saluran dan penanaman melalui secara langsung.

2.3.1. Dalam Saluran

Kabel diletakkan dalam saluran yang ditanam langsung atau saluran udara terbuka setiap rongga, biasanya berisi satu kabel. Saluran umumnya berbentuk bulat dan memanjang seperti pipa dengan diameter tertentu. Bahan saluran yang banyak digunakan adalah metal, fiber, semen asbes atau tembikar. Besar diameter saluran dan jenis bahan saluran ditentukan dengan mempertimbangkan besar kabel, faktor ekonomis dan faktor pemanasan antara kabel dan saluran.

Fungsi utama saluran adalah sebagai pelindung terhadap tekanan mekanis yang sangat besar. Jadi saluran ini banyak dipergunakan pada instalasi kabel tanah yang melintasi jalan raya, dan bangunan yang cukup besar. Selain itu penggunaan saluran ini dapat memudahkan pemeliharaan dan penggantian kabel.

Umumnya instalasi kabel dengan mempergunakan saluran ini dilaksanakan dengan cara menanam beberapa saluran di dalam campuran semen atau beton yang berbentuk bak. Bak beton yang berisi saluran tersebut bisa ditanam langsung di dalam tanah atau ditanam di dalam lapisan semen pada bangunan. Saluran yang di tanam dalam bak beton berperisai jumlahnya, sesuai dengan kebutuhan pemakai. Tidak semua rongga saluran tersebut berisi kabel, untuk kasus tertentu selain berisi kabel, saluran lainnya berisi zat cair atau gas yang mudah mengalir untuk menurunkan tahanan panas ekuivalen luar kabel.



Gambar 3. Kabel ditanam langsung dalam tanah

2.3.2. Ditanam Langsung

Kabel ditanam langsung dalam tanah tanpa melalui saluran pelindung (*duck* ataupun pipa) ke dalam penanaman bervariasi antara 0,8 sampai 1,5 m. Pada PLN GI Titi Kuning – GI Jln Listrik. PLN melakukan penanaman dengan kedalaman 2 meter.

Tahanan jenis panas tanah (*Soil Thermal Resistiviti*) merupakan sifat yang berhubungan dengan ukuran kemampuan tanah untuk menyalurkan panas. Besarnya tahanan panas ini bergantung pada kandungan air dalam tanah. Harga pada saat tahanan jenis berkisar antara 0,7 sampai 3,0 m/W (tahanan jenis tanah).

2.7. Kemampuan Hantar Kabel

Kemampuan hantar arus kabel tenaga ditentukan oleh beberapa besar kenaikan temperatur maksimum yang dapat ditahan oleh kabel yang bersangkutan. Kenaikan temperatur yang disebabkan oleh rugi-rugi elektrik dari bagian-bagian kabel, khususnya isolasi memiliki harga tertentu. Dengan kata lain, kenaikan maksimum temperatur pada kabel berpedoman pada batas maksimum temperatur isolasi, agar kontinuitas pelayanan tetap terjaga.

Parameter lain yang ikut menentukan kemampuan hantar arus kabel seperti kondisi tanah, peletakan kabel, temperatur sekeliling kabel, terlebih dahulu diperhitungkan.

Untuk suatu analisa yang sederhana diambil asumsi bahwa :

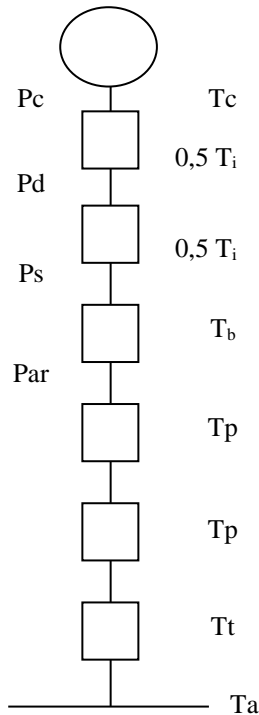
- Kabel dianggap mempunyai sumber panas yang terdiri dari rugi-rugi penghantar, rugi-rugi dielektrik, rugi-rugi mantel/selubung, rugi-rugi logam penguat, dan rugi-rugi perisai.
- Tahanan panas pada bagian logam diabaikan sehingga tahanan panas yang diperhitungkan hanya tahanan dielektrik dan tanah.
- Panas pada penghantar, selubung, logam penguat dan perisai timbul pada permukaannya.
- Rugi-rugi dielektrik dianggap terpusat pada bagian tengah isolasi.

Rangkaian ekuivalen panas dapat dilihat pada Gambar 2.7. Dari rangkaian panas tersebut dapat diperoleh besarnya arus yang dihantarkan kabel, yaitu:

$$T_c - T_a = P_c 0,5 T_1 + (P_c + P_d) 0,5 T_1 + (P_c + P_d + P_s) T_b + (P_c + P_d + P_s = P_{ar})(T_p + T_{pl} + T_t)$$

Dimana :

- T_c = temperatur penghantar ($^{\circ}C$)
- T_a = temperatur permukaan tanah ($^{\circ}C$)
- T_i = tahanan panas isolasi (K.m/W)
- T_b = tahanan panas bantalan (K.m/W)
- T_p = tahanan panas sarung (K.m/W)
- T_t = tahanan panas tanah (K.m/W)
- T_{pl} = tahanan panas pelindung luar (K.m/W)



Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen Panas Kabel

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan akan didapatkan persamaan :
 $T_c - T_a = I^2 R (1 + \lambda_1) T_{b1} + I^2 R (1 + \lambda_1 + \lambda_2) (T_p + T_{p1} + T_t) + P_d (0,5 T_t + T_b + T_p + T_{p1} + T_t)$

Sehingga arus yang mengalir pada penghantar menjadi :

$$I = \left(\frac{T_c - T_a - P_d (0,5 T_t + T_s + T_{pt} + T_p + T_t)}{R_{ac} T_t + R_{ac} T_s (1 + \lambda_1) + R_{ac} (T_p + T_{pt} + T_t) (1 + \lambda_1 + \lambda_2)} \right)^{0,5}$$

Dimana :

- λ_1 = faktor rugi-rugi pada selubung
- λ_2 = faktor rugi-rugi pada perisai
- T_c = temperatur penghantar ($^{\circ}\text{C}$)
- T_a = temkperatur tanah ($^{\circ}\text{C}$)
- R = tahanan arus bolak-balik penghantar pada temperatur kerja maximum (Ω/m)
- P_d = rugi-rugi elektrik isolasi (W/m)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Kabel

Untuk perhitungan kapasitas arus hubung singkat dengan kabel diresapi minyak, diambil data dari saluran kabel bawah tanah PLN GI Titi Kuning – GI Jln Listrik.

Kabel yang digunakan mempunyai ukuran jari-jari mulai dari yang terdalam sampai yang terluar masing-masing adalah:

- Kabel tipe Cu = 240 mm²; 240 MVA; 150 kV
- Panjang saluran L = 7,9317 Km

- Suhu maksimum penghantar $T_c = 85^{\circ}\text{C}$
- Diameter saluran minyak $D_{sm} = 12,2 \text{ mm}$
- Diameter luar penghantar, $D_c = 35,7 \text{ mm}$
- Diameter luar konduktor screen, $D_{cs} = 36 \text{ mm}$
- Diameter luar isolasi, $D_{oi} = 48 \text{ mm}$
- Diameter luar selubung, $D_{os} = 51,5 \text{ mm}$
- Diameter luar penguat, $D_{or} = 52 \text{ mm}$
- Diameter luar pelindung anti korosi $D_{op} = 60,2 \text{ mm}$
- Diameter luar pelindung luar $D_{pl} = 88 \text{ mm}$
- Kedalaman penanaman kabel dalam tanah $h = 200 \text{ cm}$
- Jarak aksial kabel di dalam tanah $s = 20 \text{ cm}$
- Tahanan jenis panas tanah = $1,0^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$
- Tahanan jenis panas kertas = $5,0^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$
- Tahanan jenis panas PE = $3,5^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$
- Tahanan jenis panas PVC = $7,0^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$
- Tahanan jenis tembaga = $1,7241 \times 10^{-8} \Omega/\text{m}$
- Tahanan jenis timah hitam = $2,14 \times 10^{-8} \Omega/\text{m}$
- Faktor daya dielektrik $\tan \delta = 0,004$
- Permittivitas relatif dielektrik = 3,3
- Suhu permukaan bebas $T_a = 30^{\circ}\text{C}$ dan 32°C

IV. ANALISIS DAN EVALUASI HASIL

4.1. Analisa Perhitungan

Untuk menghitung besarnya temperatur kerja dan hilang daya pada kabel maka perlu sekali diadakan perhitungan sebagai berikut :

4.1.1. Perhitungan Tahanan Arus Bolak-Balik Penghantar

Perhitungan tahanan arus searah pada suhu 20°C dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_{20^{\circ}} &= \frac{k(\rho_{\text{tembaga}})}{D_{\text{kabel}}} \Omega/\text{m} \\ &= \frac{(1,02)(1,7241 \times 10^{-8})}{240 \times 10^{-6}} \Omega/\text{m} \\ &= 2,1982 \times 10^{-5} \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

Sedangkan tahanan arus searah pada suhu 85°C dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_{dc} &= R_{20^{\circ}} \frac{k + T_c}{T} \\ &= 2,1982 \times 10^{-5} \frac{(241 + 85^{\circ})}{(241 + 20^{\circ})} \Omega/\text{m} \\ &= 2,7457 \times 10^{-5} \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

Perhitungan faktor efek kulit (y_s) adalah sebagai berikut :

Koefisien K_s untuk penghantar dengan rongga menurut persamaan :

$$K_s = \frac{D_c - D_{sm}}{D_c + D_{sm}} \left[\frac{D_c + (2xD_{sm})}{D_c + D_{sm}} \right]^2$$

$$K_s = \frac{35,7 - 12,2}{35,7 + 12,2} \left[\frac{35,7 + (2 \times 12,2)}{35,7 + 12,2} \right]^2$$

$$= 0,8193$$

Dengan demikian menurut persamaan :

$$X_s^2 = \frac{8\pi f \cdot 10^{-7}}{R_{dc}} \cdot K_s$$

$$= \frac{8\pi 50 \cdot 10^{-7}}{2,5457 \cdot 10^{-5}} \cdot 0,8193$$

$$= 3,7497$$

Jadi faktor efek kulit adalah sebesar :

$$Y_s = \frac{(X_s)^2}{192 + 0,8(X_s)^2}$$

$$= \frac{(3,7497)^2}{192 + 0,8(3,7497)^2}$$

$$= 6,917 \cdot 10^{-2}$$

4.1.2. Perhitungan Kapasitansi Kabel

Pada persamaan (II-10) diketahui bahwa untuk menentukan besarnya kapasitansi diperlukan data-data sebagai berikut :

- Jari-jari luar isolasi : $R_{dc} = 0,5 \cdot D_c = 0,5 \cdot 35,7 = 17,87 \text{ mm}$
- Jari-jati dalam isolasi : $R_{di} = 0,5 \cdot D_{di} = 0,5 \cdot 12,2 = 6,1 \text{ mm}$

Maka :

$$C = \frac{(5,56 \cdot 10^2) k_r}{\ln \left(\frac{r_{ot}}{r_c} \right)}$$

$$C = \frac{(5,56 \cdot 10^2)(3,3)}{\ln \left(\frac{17,85}{6,1} \right)}$$

$$C = 1,7088 \cdot 10^{-10} \text{ F/m}$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang dilakukan, maka dalam tulisan ini dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Perubahan temperatur sangat mempengaruhi nilai tahanan arus searah, pada suhu standar (20^0 C) dan suhu pada saat operasi (85^0 C) seperti yang terlihat pada analisa data. Didapat selisih

tahanan arus sebesar $0,5475 \times 10^5 \text{ ohm/m}$, yang mana hasil kali tahanan arus searah dengan faktor efek kulit dan faktor efek berdampingan juga menentukan besarnya nilai tahanan arus bolak-balik pada suhu operasi.

2. Kemampuan hantar arus pada kabel dipengaruhi oleh suhu sekitar kabel, yang mana bila semakin tinggi temperatur sekitar kabel maka kemampuan hantar arus pada kabel semakin berkurang.
3. Oleh karena kabel tanah beroperasi di dalam tanah, maka kabel tanah harus memiliki persyaratan isolasi yang khusus untuk melindunginya dari segala bentuk kelembaban serta pengaruh-pengaruh lain yang terdapat di dalam tanah. Isolasi merupakan hal yang sangat penting pada sistem tenaga listrik dalam penyaluran tenaga listrik dengan mempergunakan kabel. Dan fungsi isolasi di sini sangat penting, yaitu :
 - a. Untuk mendapatkan distribusi medan listrik yang lebih baik
 - b. Untuk melindungi atau mengamankan manusia terhadap bahaya listrik
 - c. Mencegah Interprensi gelombang elektromagnetis dengan kabel lain yang berada di dekatnya.
4. Besar arus yang mengalir pada kabel jauh lebih kecil dari kemampuan hantar arus kabel, hal ini dimaksudkan agar kabel tersebut dapat digunakan untuk beberapa tahun kedepan sesuai dengan kebutuhan beban yang terus meningkat.
5. Berdasarkan perhitungan kemampuan hantar arus kabel, besar arus yang diperoleh adalah 891,2347 ampere. Sedangkan perhitungan data tertinggi, besarnya arus yang dikirim dari Gi Titi Kuning – GI Jln. Listrik besarnya 101,74 ampere.

5.2 Saran

Pemasangan atau penyambungan kabel di dalam tanah harus dilakukan dengan benar sesuai dengan instruksi pemasangan, sehingga kabel tersebut cukup terlindung terhadap kerusakan mekanis dan kimiawi yang dapat menimbulkan kerusakan pada kabel bawah tanah tersebut dipasang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Pabla, 1994, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, (alih Bahasa Abdul Hadi) Erlangga, Jakarta.
- [2] Abdul Kadir, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, EdisiRevisi
- [3] Bambang Trisno MK, *Kabel dan Teknik Penyambungan*, http://www.file.upi.edu/Direktori/FPTK/Bambang_Trisno/kabel.pdf

- [4] Bruce S Bernstein and William A. Thue, 1999, *Historical Perspective of Electrical Cables*, Marcel Dekker.
- [5] Daman Suwanto, 2009, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Edisi Pertama
- [6] <http://www.meinhart.at>, 2009, *Cable and Wires*, Price List & Technical Catalogue
- [7] Standar Nasional Indonesia, 1989, *Kabel berisolasi XLPE dan berselubung PVC*, SNI 04-0854-1
- [8] Standar Nasional Indonesia, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, SNI 04-0225-2000
- [9] Siemens, *Power Cable*.
- [10] Sulasno, 1993, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Satya Wacana, Semarang.
- [11] Sudeshi Uppal B.A., *Electrical Power*, Khanna Publisher New Delhi.
- [12] Turan Gonen. 1986, *Electrical Power System Engineering*, MC. Graw-Hill. Book Company: New York.
- [13] Tobing L. Bonggas, 2003, *Peralatan Tegangan Tinggi*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- [14] Valkenburg M.E. Van. 1988, *Analisis Jaringan Listrik*, Alih Bahasa Ir. Sofyan H. Nasution, M.Sc, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [15] William D. Stevenson, Jr., 1996, *Analisa Sistem Tenaga*, (Alih Bahasa Ir. Kamal Idris) Erlangga, Jakarta.
- [16] William D. Cooper, 1994, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Erlanga Jakarta
- [17] W. A.Thue, adapted from class notes for, 1997, *Power Cable Engineering Clinic*, University of Wisconsin -- Madison