

STUDI TENTANG PROTEKSI KABEL SALURAN BAWAH TANAH PADA JARINGAN SISTEM TENAGA

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk memenuhi
Persyaratan Ujian Sarjana**

OLEH

**ROMY HARDIANSYAH
NIM : 99.812.0056**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2006**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 11/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)11/12/23

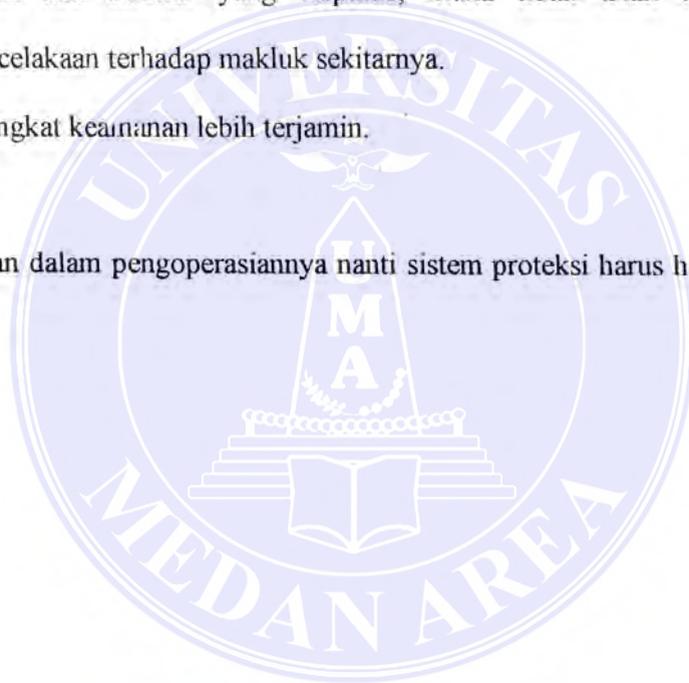
RINGKASAN

Saluran bawah tanah biasanya digunakan untuk kabel tenaga pada jaringan sistem tenaga pada tegangan menengah yaitu 20 kV.

Penggunaan saluran bawah tanah lebih menguntungkan dibandingkan saluran hantaran udara, antara lain :

1. Terhindar dari pengaruh cuaca buruk topan, angin, hujan dan bahaya petir.
2. Tidak mengganggu keindahan kota (lebih estetik).
3. Bila ada saluran yang terputus, maka tidak akan mengakibatkan kecelakaan terhadap makhluk sekitarnya.
4. Tingkat keamanan lebih terjamin.

Dan dalam pengoperasiannya nanti sistem proteksi harus handal dan lebih terjamin.



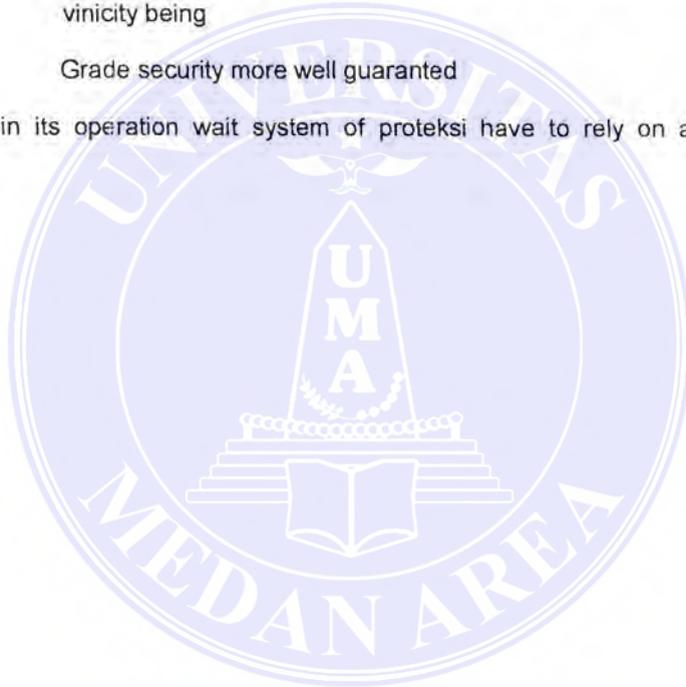
SUMMARY

Channel Underground is usually used for the cable of energy at energy system network at middle network that is 20 kV.

Usage of underground channel more beneficial from at air passing channel, for example :

1. Protected from influence of good weather of topan, wind, thunder danger and rain
2. Do not bother the beauty of town (More Estitis)
3. If there are any broken trouble, hence will not result accident to vicinity being
4. Grade security more well guaranted

And in its operation wait system of proteksi have to rely on and more well guaranted.



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
Bab I. Pendahuluan	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan dan Alasan Penulisan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
Bab II. Dasar-dasar Kabel	
2.1. Kontruksi Kabel	5
2.2. Jenis-jenis Kabel	13
2.3. Rating Kabel	20
2.4. Panas yang timbul pada Kabel	21
2.5. Kapasitas Pembawa Arus	23
2.6. Jatuh Tegangan pada Kabel	26
2.7. Koefisien induktansi sendiri yang timbul	27
2.8. Arus Kapasitif	28

Bab III . Karakteristik Listrik pada Kabel

3.1. Keadaan Geometri dari Kabel	29
3.2. Resistansi urutan positif dan negatif dari kabel	32
3.3. Reaktansi urutan positif dan negatif dari kabel	34
3.4. Resistansi dan reaktansi urutan nol dari kabel	35
3.5. Reaktansi kapasitif shunt dari kabel	35

Bab IV . Proteksi Kabel

4.1. Proteksi kabel terhadap arus hubung singkat	37
4.2. Proteksi kabel terhadap gangguan beban lebih	45
4.3. Proteksi kabel terhadap gangguan mekanis	50

Bab V . Kesimpulan dan Saran

Daftar Pustaka



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Penyaluran tenaga listrik untuk jaringan distribusi dan transmisi dapat juga dilakukan dengan menggunakan kabel saluran bawah tanah (*under ground cable*). Kabel saluran bawah tanah mempunyai konstruksi yang bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan dan penggunaannya. Penggunaan kabel saluran bawah tanah mempunyai beberapa keuntungan dan juga kelemahannya, jika dibandingkan dengan menggunakan saluran hantaran udara (*over head line*).

Keuntungan dengan menggunakan saluran kabel bawah tanah antara lain adalah :

1. Terhindar dari pengaruh cuaca buruk, topan, hujan, angin dan bahaya petir. Jadi sebagian dari gangguan yang sering terjadi pada saluran hantaran udara tidak akan terjadi pada saluran yang menggunakan kabel saluran bawah tanah.
2. Saluran tenaga listrik tidak akan mengganggu keindahan kota dan keadaan kota akan terlihat lebih rapi.
3. Bila ada saluran yang terputus, maka tidak akan mengakibatkan kecelakaan terhadap makhluk sekitarnya.

Tetapi selain dari keuntungan di atas, kabel saluran bawah tanah mempunyai beberapa kelemahan antara lain :

1. Biaya pembangunan yang jauh lebih mahal bila di bandingkan dengan saluran hantaran udara.

- 2. Sukar dalam perbaikan bila terjadi gangguan. Bila terjadi gangguan, maka kabel tersebut biasanya di ganti dan diadakan penyambungan yang benar-benar terjamin.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam bab ini penulis akan merumuskan tentang proteksi kabel saluran bawah tanah dari gangguan-gangguan yang dapat merusaknya antara lain yaitu gangguan hubung singkat, beban lebih dan gangguan mekanis.

1.3. Tujuan dan Alasan Penulisan

Telah kita ketahui bahwa biaya pembangunan suatu saluran tenaga listrik dengan menggunakan kabel saluran bawah tanah adalah sangat mahal. Oleh sebab itu penggunaan kabel haruslah dilindungi dari gangguan-gangguan yang dapat merusaknya. Baik itu terhadap gangguan elektris, seperti beban lebih dan arus hubung singkat maupun gangguan mekanis yang diakibatkan karena kesalahan waktu menanam, mengangkat, membenteng maupun gangguan lainnya. Dengan demikian kabel tersebut harus dapat dipergunakan dalam waktu relatif lama.

Disamping itu juga kita harus mempertimbangkan keadaan alam yang mungkin dapat merugikan terhadap penggunaan kabel tersebut, misalnya sering terjadi longsor, banjir, adanya penggalian dan pengeboran pada tempat tersebut dan juga temperatur tanah yang tinggi.

Oleh sebab itu gangguan-gangguan yang mungkin dapat merusak saluran kabel bawah tanah tersebut harus di proteksi dengan sebaik-baiknya. Hal itu yang

menyebabkan penulis merasa tertarik untuk mengadakan suatu studi tentang proteksi kabel saluran bawah tanah pada jaringan sistem tenaga.

1.4. Batasan Masalah

Saluran dengan menggunakan kabel bawah tanah dapat digunakan pada jaringan tegangan rendah, tegangan menengah dan tegangan tinggi. Dalam penulisan ini penulis hanya membahas tentang proteksi kabel pada jaringan tegangan menengah 20 KV. Begitu juga yang dimaksud dengan kabel pada tulisan ini adalah saluran daya listrik bawah tanah atau sering juga disebut dengan kabel tenaga (*power cable*).

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada sebuah skripsi sering juga disebut dengan gambaran dari isi, dimana dalam sistematika penulisan ini akan diuraikan materi-materi pembahasan yang akan dibahas dalam setiap bab.

- BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai pengertian dan penegasan judul, tujuan dan alasan penulisan, pembatasan masalah, sistematika penulisan.

- BAB II : DASAR-DASAR KABEL

Dalam bab ini akan diuraikan penjelasan mengenai konstruksi, jenis-jenis, rating, panas yang timbul, kapasitas pembawa arus, jatuh tegangan, koefisien induktansi dan arus kapasitif pada kabel.

- BAB III : KARAKTERISTIK LISTRIK DARI KABEL

Dalam bab ini akan menjelaskan tentang karakteristik dari kabel yaitu keadaan geometri, resistansi dan reaktansi dari kabel.

- BAB IV : PROTEKSI KABEL

Dalam bab ini akan dibahas tentang proteksi kabel terhadap arus hubung singkat, beban lebih dan proteksi kabel terhadap mekanis.

- BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini penulis akan berusaha untuk menarik kesimpulan dan memberi saran sebagai masukan dari pembahasan yang telah di uraikan.



BAB II

DASAR-DASAR KABEL

2.1. Kontruksi Kabel

Secara sederhana yang dimaksud dengan kabel adalah suatu penghantar yang diselubungi dengan bahan isolasi. Dan pada kabel bawah tanah (*under ground cable*) selain diselubungi dengan bahan isolasi juga diselubungi dengan lapisan-lapisan pelindung yang gunanya untuk melindungi kabel terhadap gangguan fisik.

Sebagai penghantar berisolasi, konstruksi kabel tenaga dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

a. Bagian Utama

Yaitu bagian yang harus ada pada setiap kabel tenaga antara lain :

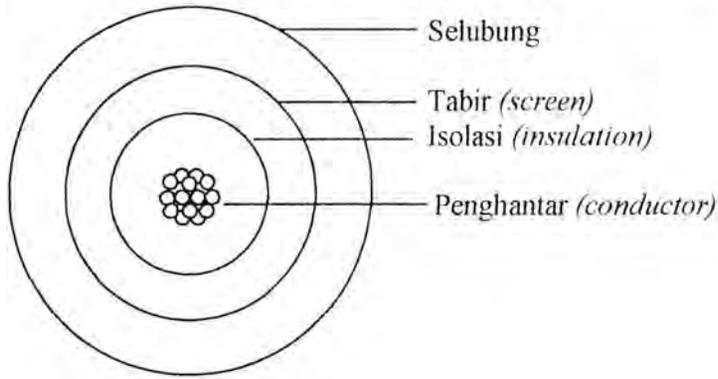
1. Penghantar (*conductor*)
2. Isolasi (*insulation*)
3. Tabir (*screen*)
4. Selubung (*sheath*)

b. Bagian Pelengkap

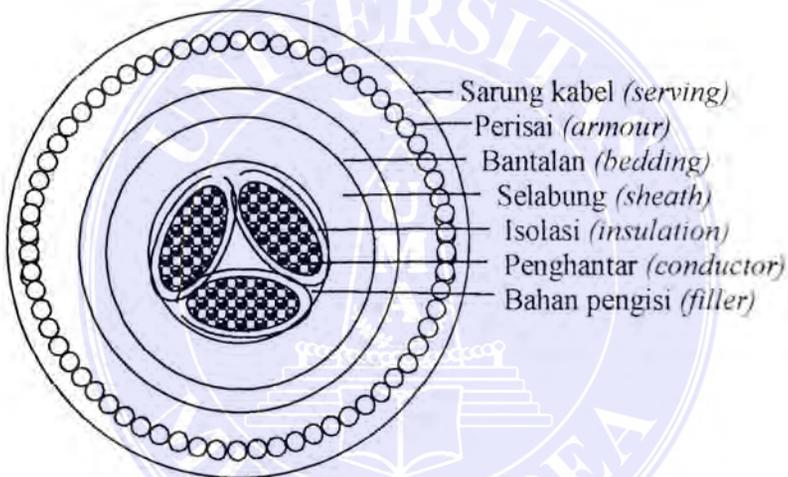
Bagian yang hanya dipergunakan untuk memperkuat dan memperbaiki sifat-sifat kabel tenaga atau untuk melindungi kabel tenaga seperti berikut :

1. Bantalan (*Bedding*)
2. Perisai (*Armour*)
3. Bahan Pengisi (*Filler*)
4. Sarung Kabel (*Serving*)

Konstruksi seperti ini dapat kita lihat pada gambar 2.1. dan 2.2.



Gbr.2.1. Bagian Utama Kontruksi Kabel



Gbr. 2.2. Bagian Pelengkap dari Kontruksi Kabel

2.2.1. Penghantar (*conductor*)

Dilihat dari inti kabel (*core cable*), maka kabel dapat dibedakan dengan mempunyai satu inti (*single core*), tiga inti (*three core*) dan sebagainya. Dimana pada setiap inti kabel merupakan penghantar dan bentuknya dapat direncanakan sesuai kebutuhan.

Bahan konduktor yang banyak dipakai untuk kabel tenaga listrik ialah :

1. Tembaga

Ada dua macam tembaga yang dipergunakan untuk penghantar yaitu:

- a. Kawat tembaga polos (*plain wire*) tanpa lapisan
- b. Kawat tembaga berlapis timah putih (*tinned copper wire*)

2. Aluminium

Aluminium dengan kemurnian 99,3 % dalam penggunaannya pada kabel, bentuk penghantar terdiri dari :

- a. Penghantar bulat tanpa rongga
- b. Penghantar bentuk seltoral
- c. Penghantar bulat berongga

2.1.2. Isolasi

Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik beberapa buah penghantar yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus. Bahan isolasi sering juga dikenal dengan bahan dielektrik atau bahan semikonduktor.

Adapun syarat yang harus dipenuhi oleh suatu bahan yang digunakan sebagai isolasi kabel antara lain :

1. Tahanan isolasi yang tinggi
2. Kekuatan dielektrik yang tinggi
3. Sifat mekanis yang baik, misalnya liat dan elastis
4. Tidak bereaksi terhadap asam dan alkali pada suhu kerja
5. Tidak mengisap lembab atau digunakan penutup kedap air
6. Tidak terlalu mahal dan mudah dikerjakan di pabrik dan di lapangan

Untuk tipe kabel tertentu, maka ia mempunyai kelebihan dan kekurangan terhadap syarat-syarat di atas.

Menurut jenis isolasi padat yang dipakai pada kabel dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Isolasi Karet

Yaitu suatu isolasi yang mempergunakan karet alam yang didapat dari pohon karet. Karet dalam keadaan murni tidak dapat digunakan sebagai isolasi karena :

- Tidak tahan terhadap temperatur tinggi
- Terlalu lunak sehingga tidak dapat digunakan pada benda keras dan kasar

Agar karet dapat dipergunakan sebagai bahan isolasi maka karet harus dicampur dengan bahan lain, misalnya dengan oksida zinc, timbel dan belerang.

2. Isolasi Kertas

Bahan dasar umumnya adalah kayu yang melalui proses kimia, dimana kertas terdiri dari serat-serat panjang berbentuk pipa-pipa rambut yang halus.

Sifat-sifat kertas sebagai bahan isolasi haruslah mempunyai :

- a. Faktor rugi dielektrik (*dielektrik loss factor*) antara 0,0009 sampai dengan 0,004.
- b. Temperatur kerja 65⁰C.
- c. Ketahanan dielektrik yang tinggi.

Untuk memperbaiki sifat-sifat isolasi, kertas haruslah diresapi (*impregnated*) dengan minyak isolasi atau campuran khusus (*non draining compound*). Fungsi minyak isolasi atau campuran tersebut adalah sebagai bahan isolasi yang

menggantikan udara yang terdapat pada pori-pori kertas dan diantara lapisan-lapisan kertas, sehingga kertas tidak akan menghisap air.

3. Isolasi Sintetis

Bahan isolasi sintetis mempunyai sifat listrik, sifat mekanis dan sifat thermis yang baik untuk isolasi kabel. Isolasi sintetis dapat dibagi atas 3 bagian sebagai berikut :

a. Elastomer

Ini merupakan bahan isolasi yang dibuat secara sintetis yang menghasilkan bahan yang mempunyai sifat-sifat seperti karet dengan beberapa perbaikan-perbaikan.

Sifat-sifat elastomer yang terpenting adalah :

- Tahan terhadap minyak
- Tidak terpengaruh terhadap perubahan cuaca
- Dapat bekerja baik untuk temperatur rendah maupun temperatur tinggi

b. Thermoplastik

Yang termasuk thermoplastik banyak sekali macamnya, tapi untuk keperluan isolasi kabel yang sering di pakai ialah :

- Polyvynil chloride (PVC)
- Polyethylene (PE)

Keuntungan penggunaan PVC adalah :

- Tidak terpengaruh oleh uap air, asam dan alkali
- Tahanan jenis cukup tinggi
- Kekuatan mekanis tinggi

Kelemahannya :

- Faktor rugi dielektriknya besar, sehingga rugi-rugi akan menjadi besar pula.
- Pada temperatur tinggi akan mencair / meleleh

Keuntungan menggunakan PE

- Mempunyai sifat dielektrik yang baik
- Tidak mengisap air

Kelemahannya :

- Mudah terbakar
- Tidak dapat bekerja pada temperatur tinggi

c. Thermosetting

Thermosetting terdiri dari beberapa golongan diantaranya adalah sebagai berikut :

- Ethylene Propylene Rubber (EPR)
- Cross Linked Polyethylene (XLPR)

Thermosetting diperoleh dengan jalan mengalirkan bahan dasar (*polymer*) ke dalam cetakan (*mold*) disertai dengan pemanasan dan tekanan sehingga terjadi perubahan kimia yang sempurna, dimana perubahan kimia lebih berpengaruh pada perubahan fisiknya.

2.1.3. Tabir (*screen*)

Tabir adalah sejenis lapisan yang ada pada kabel tenaga yang dipasang sesudah bahan isolasi, dimana tabir itu bisa di jumpai pada kabel tenaga dengan tegangan kerja yang tinggi. Tabir dibuat dari bahan semikonduktor.

2.1.4. Selubung (*sheath*)

Selubung (*sheath*) digunakan untuk melindungi inti kabel dari pengaruh luar dan juga berfungsi sebagai :

- a. Pelindung terhadap korosi
- b. Penahan gaya mekanis
- c. Mencegah keluarnya minyak (*impregnated paper*) dan mencegah masuknya uap air/cairan kedalam kabel.

Bahan selubung dapat dibagi menjadi 3 golongan :

- Selubung logam, misalnya timbel, aluminium
- Selubung karet (sintetis) misalnya karet silikon (*silicon rubber*), polychloroprene
- Selubung plastik misalnya PVC

2.1.5. Bantalan (*Bedding*)

Bantalan adalah lapisan yang dibuat dari serat-serat beberapa bahan dari bantalan :

- a. Pita katun (*cotton tape*)
- b. Pita kertas (*paper*)
- c. Goni (*jute*)

Sebelum dipasang, bantalan harus dikeringkan dan direndam dalam minyak atau campuran kedap air. Dengan adanya campuran kedap air, maka bantalan akan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- Tidak bereaksi dengan selubung dan perisai
- Tidak mudah berubah dengan adanya perubahan temperatur
- Melekat dengan sempurna pada selubung dan perisai
- Tidak mudah sobek jika terkena getaran

2.1.6. Perisai (*Armour*)

Untuk melindungi bahan isolasi dari kerusakan mekanis diperlukan suatu lapisan, yang mana lapisan ini disebut perisai (*armour*).

Umumnya perisai digolongkan menjadi dua jenis yaitu :

- a. Perisai pita baja (*steel tape armour*)
- b. Perisai kawat baja (*steel wire armour*)

2.1.7. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi digunakan untuk konstruksi kabel berinti tiga yaitu pada ruang (celah) yang tertinggal sewaktu pemasangan ketiga intinya. Dengan demikian akan didapat bentuk kabel yang bulat.

2.1.8. Sarung Kabel (*Serving*)

Sarung kabel adalah suatu lapisan bahan serat yang diresapi dengan campuran kedap air. Sarung kabel ini biasanya dipasang di atas *armour*, dimana fungsinya adalah selain sebagai bantalan bagi perisai juga sebagai komponen yang

berhubungan langsung dengan tanah, sehingga sarung kabel adalah bagian yang pertama berhubungan dengan pengaruh luar.

Tabel 2.1. Perbandingan berbagai bahan sarung kabel

Bahan	Timbal	Aluminium	Vinil	Khloroprene	Polyethylene
Tahanan jenis (Ω cm)	—	—	10^{12-15}	10^{7-12}	10^{15}
Teg. tarik (kg/mm^2)	1,5	8 – 18	1,0 – 2,5	– 2,0	– 1,0
Muai panjang	5,5	2,0 – 3,0	100 – 300	300 – 1000	– 350
Ketahanan lengkung	△	△	⊙	⊙	○
Ketahanan panas	⊙	⊙	△	⊙	△
Ketahanan dingin	⊙	⊙	△	⊙	⊙
Ketahanan cuaca	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Ketahanan ozon	—	—	○	○	⊙
Ketahanan api	⊙	⊙	○	○	△
Ketahanan minyak	⊙	⊙	⊙	△	⊙
Ketahanan asam	X	X	⊙	△	⊙
Ketahanan alkali	X	X	○	○	⊙
Ketahanan air	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Berat jenis	11, 34	2,7	1,4	1,5	0,92

- ket :
- ⊙ = Paling baik
 - = Ada kerusakan tetapi tidak berarti dalam kenyataan
 - △ = Kerusakan lebih besar tetapi dapat dipakai
 - X = Tidak layak digunakan

2.2. Jenis-jenis Kabel

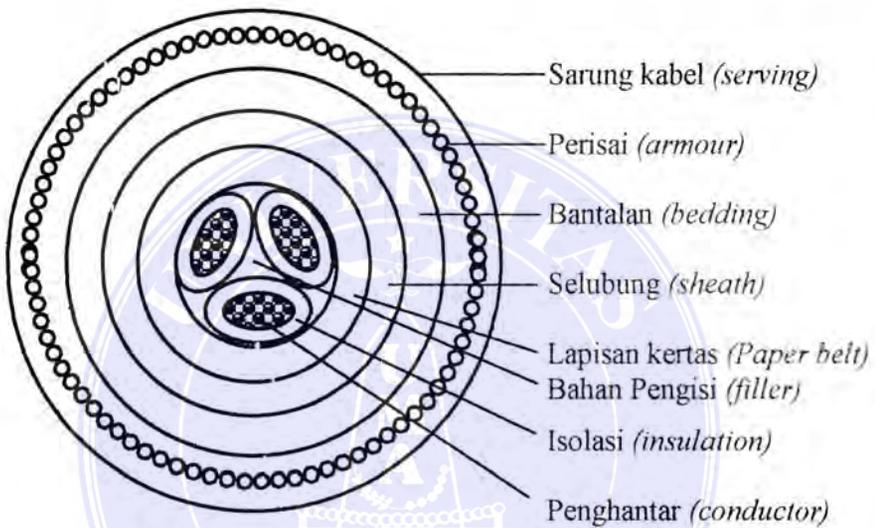
Jenis-jenis kabel yang sering digunakan pada sistem saluran distribusi yaitu pada tegangan kerja (6 KV – 30 KV) dan saluran subtransmisi pada tegangan kerja (30 KV – 220 KV) adalah :

1. Kabel Ikat (*Belted Cable*)
2. Kabel H (*Hochstaster, Screened Cable*)

4. Kabel isolasi minyak (*oil filled cable*)
5. Kabel SL dan SA (*Seperated Lead, Seperated Aluminium Cable*)
6. Kabel HSL.

2.2.1. Kabel Ikat (*Belted Cable*)

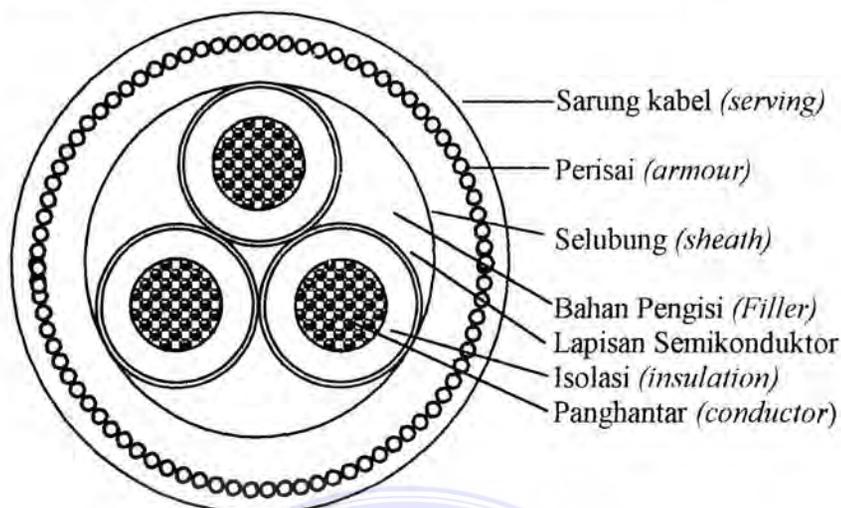
Kabel ikat adalah kabel yang mempunyai saluran lapisan kertas pengikat (*paper belt*). Kontruksi dari kabel ikat dapat kita lihat pada gambar 2.3.



Gbr 2.3. Kontruksi dari kabel ikat

2.2.2. Kabel H

Konstruksi jenis kabel H ini dapat kita lihat pada gambar 2.4.



Gbr 2.4. Kontruksi Kabel H

Pada jenis kabel H, kertas isolasi ikat (*paper insulation belt*) tidak ada, pada setiap isolasi inti dipasang suatu lapisan yang disebut tabir (*screen*) yang dibuat dari bahan kertas logam (*metalizer paper*) yang berlubang-lubang atau *semi konduktif*. Dengan adanya kertas yang berlubang-lubang ini akan membantu peresapan minyak menjadi merata disamping itu juga menghindarkan pembentukan gelembung udara atau celah udara.

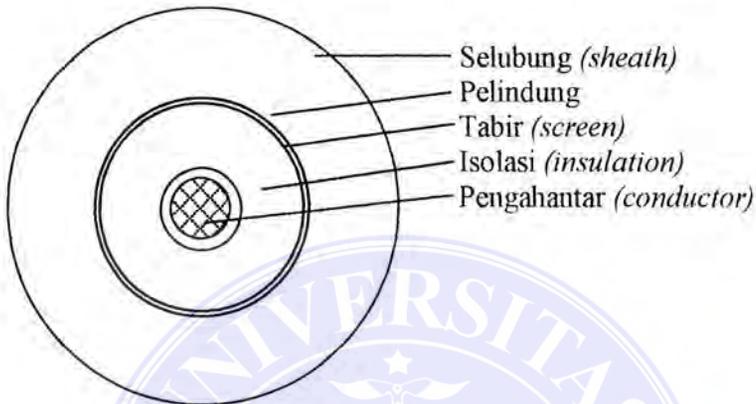
Keuntungan penggunaan kabel H ini adalah adanya peningkatan penyebaran panas yang terjadi pada penghantar, akibatnya akan menaikkan kemampuan pembawa arus.

Kabel jenis H ini biasanya digunakan pada tegangan kerja dari 10 KV-66 KV.

2.2.3. Kabel Isolasi Sintetis (Isolasi Padat)

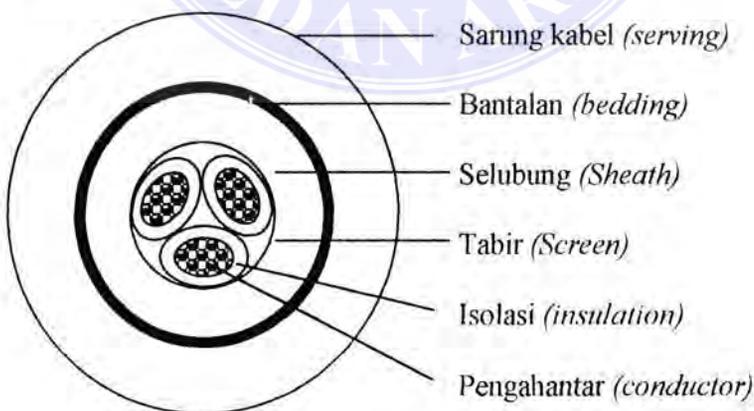
Kabel isolasi padat adalah isolasi yang terbuat dari bahan sintetis, misalnya : *Cross linked Polyethylene (XLPE)*, *Ethylene Propylene Rubber (EPR)*. Di dalam

kabel isolasi padat, setiap penghantar diberi lapisan *semiconducting*, kemudian diberi isolasi, kemudian dipasang tabir *semiconducting* dan setelah itu dipasang selubung pelindung (*sheath*) atau kadang-kadang *shield* yang biasanya terbuat dari tembaga atau kawat tenaga (*wire copper*). Pada kabel inti tunggal shield berfungsi sebagai kawat netral, ini dapat kita lihat pada gambar 2.5.



Gbr. 2.5. Kabel sintetis inti tunggal

Sedangkan untuk kabel berinti tiga, dimana tiga buah intinya diberi pelindung (pita tembaga) dipasang bersama lalu diberi bahan pengisi yang biasanya terdiri dari bahan sintetis, sering juga dipasang perisai (*armour*) jika diperlukan (gambar 2.6.)



Gbr. 2.6. Kabel sintetis inti tiga.

2.2.4. Kabel Isolasi minyak (oil filled cable)

Kabel isolasi minyak (*oil filled cable*) adalah suatu kabel yang isolasinya menggunakan minyak .

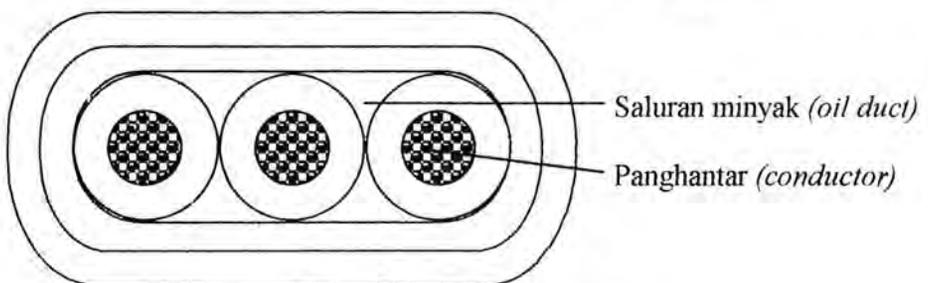
Kabel isolasi minyak ini mempunyai beberapa bentuk diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Kabel minyak berbentuk bulat, dapat kita lihat pada gambar 2.7. dimana terletak saluran minyak terdapat pada pusat konduktor.



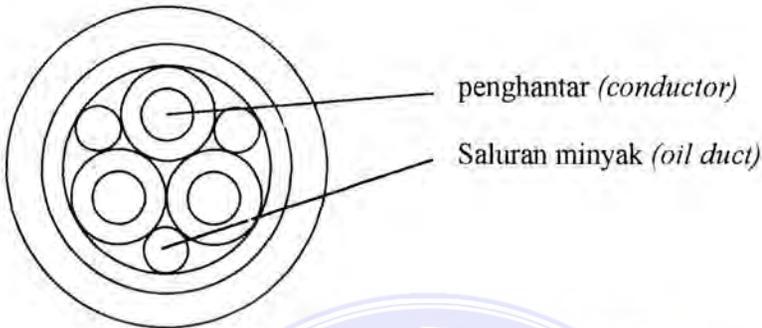
Gbr. 2.7. Kabel isolasi minyak berbentuk bulat

2. Kabel minyak datar (*flat oil filled cable*) dimana tiga inti kabel dengan selubung timbel diletakkan dengan membuat susunan dan ruangan diantara intinya digunakan sebagai saluran minyak (gambar 2.8.)

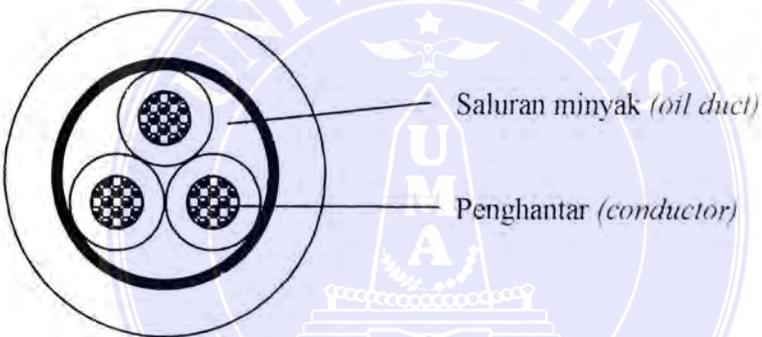


Gbr. 2.8. Kabel minyak datar (*flat oil filled cable*)

3. Kabel minyak dengan saluran minyak diletakkan pada ruang antara intinya (gambar 2.9) untuk menghemat ruang minyak dialirkan tanpa menggunakan saluran, tetapi melalui celah antara inti kabel saja (gambar 2.10).

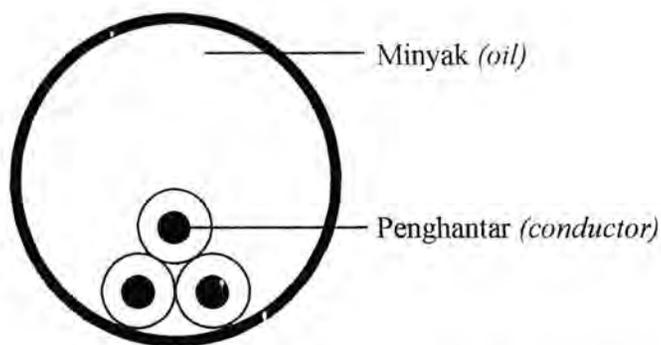


Gbr.2.9. Kabel minyak dengan saluran minyak



Gbr. 2.10. Kabel minyak tanpa saluran minyak

4. Kabel minyak dengan tahanan didalam pipa, tetapi dalam hal ini tiga buah inti kabel yang telah diberi lapisan tabir (*screen*) diletakkan kedalam pipa baja yang diisi minyak (gambar 2.11.)

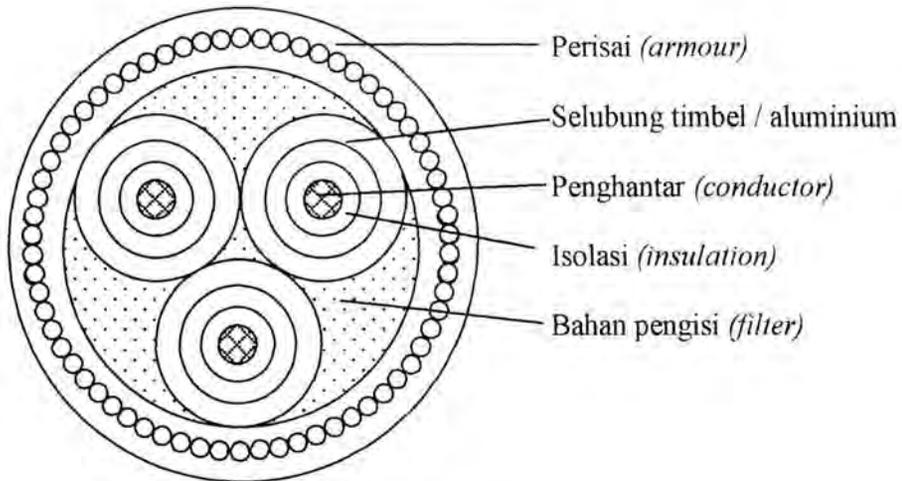


Gbr. 2.11. Kabel minyak dengan tahanan di dalam pipa

Cara kerja minyak sebagai isolasi adalah sebagai berikut : jika pada penghantar (konduktor) temperturnya naik (temperatur penghantar) maka minyak akan mengembang, ini akan mengalir ke dalam tabung minyak, dan bila temperatur turun maka minyak kembali ke dalam kabel dengan demikian tidak pernah terjadi gelembung udara, sehingga dapat mencegah proses ionisasi/kerusakan kabel.

2.2.5. Kabel SL dan SA.

Kabel jenis SL dan SA pada setiap intinya diisolasi dengan kertas kemudian dipasang selubung timbel untuk kabel SL dan selubung aluminium untuk kabel SA. Ketiga inti tersebut ekuvalen dengan tiga buah kabel inti tunggal lalu inti tersebut dipasang bersama-sama dan dilengkapi dengan bahan pengisi (*filler*), bantalan (*bedding*) dan lain sebagainya. Tetapi pada jenis ini tidak diperlukan selubung logam lagi (*metal sheath*). (gambar 2.12.).



Gbr.2.12. jenis kabel SL dan SA

2.2.6. Kabel HSL

Kabel SL adalah merupakan gabungan antara kabel H dan SL, di mana setiap penghantar (konduktor) diisolasi dengan kertas dan lalu dilapisi dengan kertas logam atau semikonduktor lalu diberi selubung timbel kemudian ketiga intinya dipasang bersama-sama dan dilengkapi dengan pelengkap kabel.

2.3. Rating Tegangan Pada Kabel

Yang dimaksud dengan rating tegangan dari suatu kabel adalah rating isolasinya. Pemilahan rating tegangan dari isolasi kabel dibuat berdasarkan tegangan fasa ke fasa dari sistem tersebut, baik itu sistem yang ditanahkan. Sedangkan gangguan ke tanah pada sistem tersebut dapat di-clear oleh peralatan proteksi yang ada. Hal ini memungkinkan untuk memproteksi kabel pada saat gangguan satu fasa ke tanah.

Jadi dapat disimpulkan bahwa kabel yang digunakan pada sistem yang tidak ditanahkan harus mempunyai ketebalan isolasi yang lebih besar dari pada sistem

yang ditanahkan. Maka dari itu rating tegangan kabel yang kecil memungkinkan digunakan pada sistem yang ditanahkan, sedangkan untuk sistem yang ditanahkan dibutuhkan rating kabel yang besar. Dan untuk kedua keadaan ini dibutuhkan proteksi yang dapat meng-clear gangguan tanah

2.4. Panas Yang Timbul Pada Kabel

Kenaikan panas pada kabel dalam kondisi kerja tergantung pada beberapa faktor antara lain :

1. Produksi panas di dalam kabel
2. Penyaluran panas ke lapisan luar kabel
3. Penyaluran panas oleh medium sekitarnya
4. Karena adanya arus yang mengalir pada kabel
5. Faktor pembebanan yang *kontiniu* (terus menerus) atau *intermitten* (sesaat) dan juga karena keadaan hubung singkat.

Panas yang timbul di dalam kabel dihasilkan oleh :

1. Rugi-rugi tembaga pada konduktor sebesar $I^2 R$
2. Rugi-rugi pada elektrik
3. Rugi-rugi pada selubung metal

1. Rugi-rugi tembaga pada konduktor

Besarnya rugi-rugi tembaga pada konduktor adalah $I^2 R$. sedangkan besarnya tahanan yang menghasilkan panas tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$RH = R_A + \alpha_A \times 50 \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

R_H = Tahanan penghasil panas

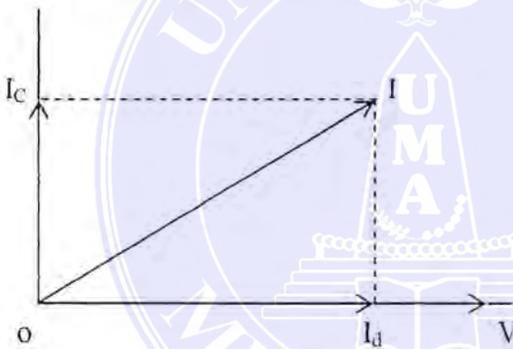
R_A = Tahanan pada temperatur sekitarnya

α_A = Koefisien yang bersesuaian dengan temperatur sekitarnya

2. Rugi-rugi pada dielektrik

Untuk menentukan besarnya rugi-rugi pada dielektrik, maka lebih dahulu kita kenal adanya dua komponen arus yaitu arus kapasitansi (I_c) dan arus rugi-rugi dielektrik (I_d) Resultan dari kedua arus disebut arus pengisian (I).

Hal ini dapat kita lihat pada gambar 2.13.



Gbr. 2.13. arus rugi-rugi dielektrik

Apabila tegangan pada kabel adalah V dan kapasitansi kabel sebesar C , maka arus pengisiannya adalah sebesar :

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{V}{1/\omega C} = V\omega C \dots \dots \dots (2.2)$$

Jika θ_d adalah faktor daya pada kabel, maka :

$$I_d = I \cos \theta_d \dots \dots \dots (2.3)$$

$$Pd = V \cdot I_d$$

$$= V \cdot I \cos \theta_d$$

$$= V \cdot V \cdot C \omega \cos \theta_d$$

$$= \omega C V^2 \cos \theta_d$$

3. Rugi-rugi pada selubung metal

Rugi-rugi pada selubung metal untuk kabel berinti tiga tidak begitu besar dibandingkan dengan rugi-rugi yang lain (hanya sekitar 5 % dari rugi-rugi tembaga), sehingga sering diabaikan. Tetapi untuk kabel berinti tunggal, besarnya rugi-rugi selubung metal ini dapat diperhitungkan dari persamaan 2.5.

$$P_s = I^2 \left[\frac{78 W^2 (r_m)^2}{R_s d} \times 10^{-9} \right] \text{ Watt / fasa} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

P_s = Rugi-rugi pada selubung metal

I = Arus pada konduktor

r_m = jari-jari selubung

$W = 2\pi f$ = Frekwensi

R_s = Tahanan selubung metal

d = Jarak antar konduktor kabel dengan konduktor kabel lainnya.

Jadi, rumus daya pada kabel bawah tanah adalah :

$$P_{rec} = P_{send} - P_{rugi}$$

$$= P_{send} - P_{cu} - P_d - P_s$$

$$P_{rec} = P_{send} - I^2 R - V \cdot I_d - I^2 \frac{78 W^2 (r_m)^2}{R_s d} \times 10^{-9} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

P_{rec} = Daya Penerima

P_{send} = Daya Pengirim

P_{cu} = rugi-rugi tembaga

P_s = Rugi-rugi metal

2.5. Kapasitas Pembawa Arus

Kapasitas pembawa arus (*current carrying capacity*) adalah kemampuan dari suatu kabel untuk dialiri arus listrik, dan sering juga disebut rating arus (*current*

rating). Kapasitas pembawa arus dari suatu kabel ditentukan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Tahanan konduktor dan rugi-rugi yang berasal dari arus (rugi-rugi ohm)
2. Tahanan panas dari kabel
3. Temperatur konduktor dan temperatur sekitarnya (perbedaan temperatur)
4. Keadaan pemasangan

Untuk menentukan besarnya temperatur sekitarnya tidak mungkin dilakukan pada setiap saat. Harga yang di pakai dalam perencanaan boleh hanya diambil beberapa hari saja untuk satu tahun atau beberapa jam untuk suatu hari. Berdasarkan pengalaman maka untuk gudang-gudang di bawah tanah diambil 20 °C, untuk ruangan dalam keadaan normal adalah 25-30 °C. Dalam keadaan tertentu panas yang ditimbulkan oleh rugi-rugi dalam kabel dapat mengakibatkan kenaikan temperatur ruangan.

Pada pemasangan kabel bawah tanah, penentuan kapasitas pembawa arus dari kabel tidak dapat dipindahkan secara bebas dari permukaan kabel sekitarnya, sebab lingkungan sekitarnya adalah tanah yang mempunyai suhu dasar.

Kenaikan suhu itu disebabkan oleh berbagai rugi daya, antara lain rugi kawat, rugi dielektrik, rugi kulit, rugi bahan pipa dan lain sebagainya. Arus yang diperbolehkan terbagi tiga macam menurut lamanya arus mengalir : kontiniu, singkat dan hubung singkat. Oleh karena kenaikan suhu itu analog dengan jatuh tegangan dalam rangkaian listrik, maka arus kontiniu yang diperbolehkan dapat ditulis sebagai berikut :

$$I = \sqrt{\frac{1}{nr} \left(\frac{T_c - T_g}{Rt_h} \right)} - Wd \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :

- T_c = Suhu continiu tertinggi diperbolehkan ($^{\circ}C$)
 T_g = Suhu dasar tanah ($^{\circ}C$) dimana kabel diletakkan
 n = Jumlah inti (kawat) kabel
 r = Tahanan efektif penghantar (ohm)
 R_{th} = Tahanan thermis keseluruhan
 W_d = Rugi-dielektrik (W /cw)

Arus singkat yang diperbolehkan adalah arus beban lebih pada keadaan saluran normal untuk waktu yang singkat dan salah satu rumus arus singkat diperbolehkan adalah :

$$\frac{1}{n r_{ac}} \left(\frac{T_1 - T_2}{R_{th} (1 - \epsilon^{-\beta t})} + I_0^2 n r_{aco} \right) \dots (2.8)$$

dimana :

- n = Jumlah inti (kawat) kabel
 r_{ac} = Tahanan efektif penghantar pada suhu maksimum yang diperbolehkan dalam waktu singkat (Ω)
 T_1 = Suhu penghantar maksimum yang diperbolehkan dalam waktu yang singkat ($^{\circ}C$)
 T_2 = Suhu penghantar sebelum arus maksimum yang diperbolehkan dalam waktu singkat mengalir ($^{\circ}C$)
 R_{th} = Tahanan thermis dari kabel
 B = Kebalikan dari konstanta waktu kabel (kira-kira 0,6)
 I_0 = Arus sebelum arus diperbolehkan mengalir (A)
 r_{aco} = Tahanan efektif penghantar sebelum arus yang diperbolehkan mengalir (Ω)

Arus hubung singkat yang diperbolehkan dipakai untuk memilih penghantar yang dapat menahan arus yang mengalir pada waktu terjadi hubung singkat, maka rumus adalah :

$$I^2 = \frac{C_1 S_1 + C_2 S_2}{\alpha r_{20} t} \int^n \frac{243 + \theta_2}{243 + \theta_1} \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana :

C_1 = Kapasitas panas persatuan isi tembaga ($3,4 \text{ W-}^{\circ}\text{C/cm}^3$)

C_2 = Kapasitas panas persatuan isi minyak ($1,9 \text{ W-}^{\circ}\text{C/cm}^3$)

S_1 = Isi tembaga dalam penghantar panjang (cm^3/cm)

S_2 = Isi minyak dalam penghantar panjang (cm^3/cm)

α = Koefisien suhu dari tahanan penghantar

r_{20} = Tahanan penghantar pada 20°C (per-cm)

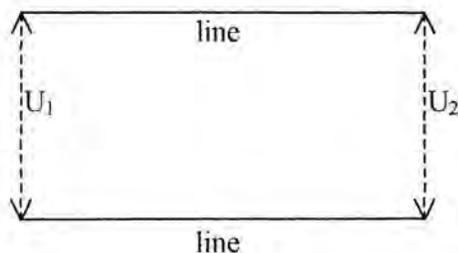
t = Waktu berlangsung (detik)

θ = Suhu penghantar sebelum arus mengalir ($^{\circ}\text{C}$)

θ = Suhu penghantar yang diperbolehkan pada hubung singkat ($^{\circ}\text{C}$)

2.6. Jatuh tegangan pada kabel

Jatuh tegangan pada kabel adalah perbedaan antara tegangan (fasa ke fasa atau fasa ke tanah) masuk pada kabel dan tegangan keluarannya. Harga ini selalu dinyatakan dalam persentase dari tegangan masuk.



Gbr. 2.17. Jatuh tegangan pada kabel

$$U = \frac{|U_1| - |U_2|}{U_1} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana : U_1, U_2 = Tegangan fasa 1 dan 2

Jika R adalah tahanan linier pada frekwensi sistem pada temperatur kerja, L adalah induktansi sendiri dari suatu kabel dengan panjang L maka :

- Pada arus searah

$$\Delta U = 2.R.I.L$$

- Pada satu fasa

$$\Delta U = 2\sqrt{R^2 + L^2 + w^2}.I.L$$

- atau

$$\Delta U = 2(R \cos \phi + Lw \sin \phi).I.L$$

- Pada tiga fasa

$$\Delta U = \sqrt{3}.\sqrt{R^2 + L^2 w^2}.I.L$$

- Atau

$$\Delta U = \sqrt{3}(R \cos \phi + Lw \sin \phi).I.L$$

dimana : ϕ adalah perbedaan fasa antara I dan U

2.7. Koefisien Induktansi Sendiri Yang Timbul

Untuk kabel dengan medan radial, tiga ntí, induktansi sendiri adalah ;

$$L = 0,13 \left(0,5 + 2I_n \frac{d}{a} \right) \text{ mH/km} \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana :

a = Jari-jari konduktor (mm)

d = Jarak antara pusat konduktor (mm)

Untuk kabel-kabel tanpa pelindung mekanis harga tersebut dikurangi dengan 23% dari harganya.

2.8. Arus Kapasitif

Arus ini akan terdapat pada saat kabel diberi tegangan yang berhubungan dengan adanya kapasitansi antara konduktor dengan layar metalik. Pada keadaan bekerja akan bersuperposisi dengan arus beban. Harga arus kapasitif adalah :

$$I_c = \frac{Uc}{3} \frac{l}{1000} (A) \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

U = Tegangan antara fasa

C = Kapasitansi (F/km)

L = Panjang konduktor (m)

Untuk tegangan rendah arus ini biasanya diabaikan, tetapi untuk tegangan menengah dan tegangan tinggi harus diperhitungkan. Kapasitansi kabel dengan medan radial adalah :

$$C = \frac{E}{18Lw} \frac{D}{d} \times \text{Farad/km} \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana :

E = konstanta dielektrik dari isolasi

D = diameter Isolasi

d = diameter inti konduktor

BAB III

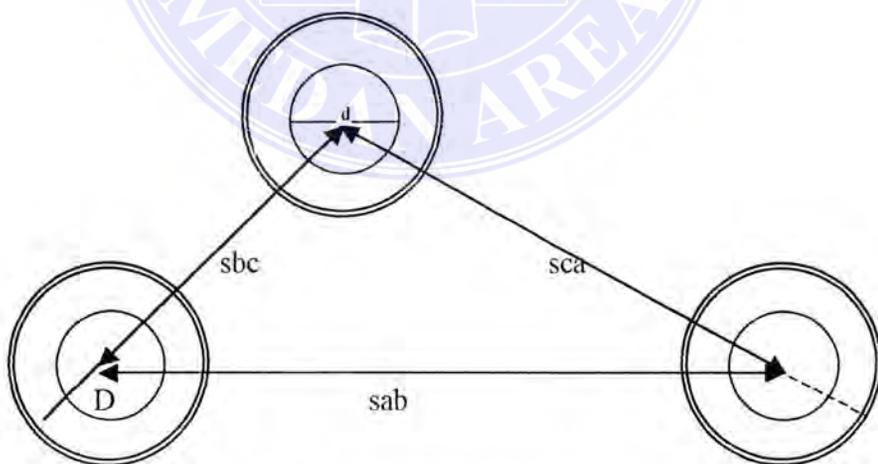
KARAKTERISTIK LISTRIK DARI KABEL

3.1. Keadaan Geometri Dari Kabel

Pada suatu kabel tenaga (*power cable*) ada beberapa gejala yang dapat dihitung antara lain : reaktansi, kapasitansi, arus pengisian, resistansi isolasi, rugi-rugi dielektrik, panas pada kabel dan lain-lain. Tetapi sebelumnya kita harus mengetahui bagaimana keadaan geometri dari kabel tersebut. Ada tiga komponen yang menentukan keadaan geometri dari suatu kabel yaitu radius rata-rata geometri (*Geometri Mean Radius Distance = GMD*), dan faktor geometrinya (*Geometri factor*).

3.1.1. Geometri Mean Radius

Geometri Mean Radius (GMR) adalah suatu faktor jarak yang terdapat dalam satu saluran. Gambar 3.1 memperlihatkan tiga buah kabel dengan konduktor tunggal tersusun dengan jarak yang tidak simetris.



Gbr. 3.1 Tiga buah kabel dengan konduktor tunggal yang tersusun tidak simetris.

Besarnya GMR untuk keadaan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

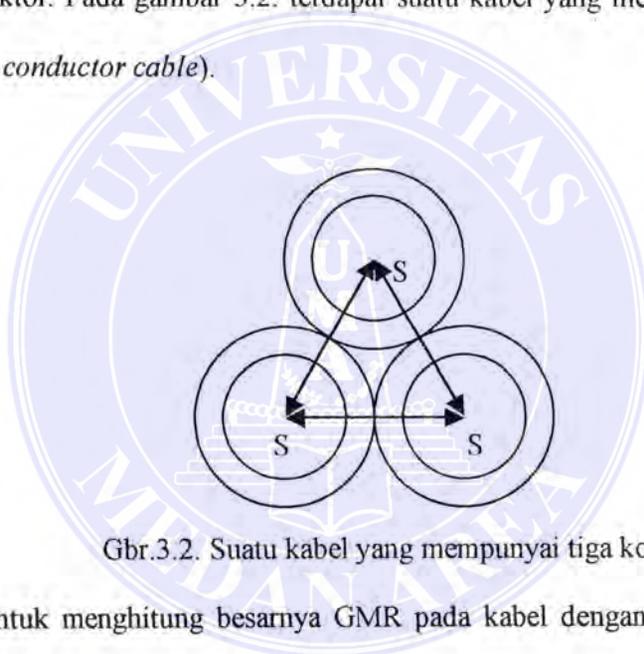
$$GMR = \sqrt[3]{S_{aa} S_{ab} S_{ac} S_{ba} S_{bb} S_{bc} S_{ca} S_{cb} S_{cc}} \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana :

S_{aa} = Jarak konduktor a ke konduktor itu sendiri

S_{ab} = Jarak konduktor a ke konduktor b (dan seterusnya)

Kabel yang lainnya adalah suatu kabel yang didalamnya terdapat beberapa konduktor. Pada gambar 3.2. terdapat suatu kabel yang mempunyai 3 konduktor (*three conductor cable*).



Gbr.3.2. Suatu kabel yang mempunyai tiga konduktor

Untuk menghitung besarnya GMR pada kabel dengan tiga konduktor dapat digunakan persamaan 3.2.

$$GMR_{3K} = \sqrt[3]{(GMR_{1k})(s)^2} \dots \dots \dots (3.2)$$

dimana :

GMR_{3k} = GMR diantara 3 konduktor

GMR_{1k} = GMR dari konduktor tunggal

s = Jarak antara pusat konduktor

3.1.2. Geometri Mean Distance

Secara sederhana yang dimaksud dengan Geometri mean distance (GMD) adalah jarak antara pusat-pusat dari kabel. Untuk kabel-kabel dengan konduktor tunggal seperti yang tersusun pada gambar 3.1, maka besarnya GMD dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$GMD = \sqrt[3]{S_{ab} S_{bc} S_{ca}}$$

Tetapi jika jarak antara S_{ab} , S_{bc} , dan S_{ca} adalah sama (tersusun simetris) maka persamaan menjadi.

$$GMD = \sqrt[3]{S^3}$$

$$GMD = S \dots\dots\dots (3.4)$$

Persamaan 3.4. tadi juga dapat digunakan untuk menghitung besarnya GMD untuk kabel dengan 3 konduktor (gbr 3.2)

3.1.3. Faktor Geometri

Faktor geometri adalah hubungan antara bentuk permukaan sheath sebelah dalam dengan permukaan konduktor sebelah luar pada suatu kabel dengan konduktor tunggal. Faktor ini berguna dalam perhitungan karakteristik kabel seperti kapasitansi, arus pengisian, rugi-rugi dielektrik, arus bocor dan perubahan panas. Karena karakteristik kabel tergantung pada medan atau pola aliran antara konduktor dan sheath. Faktor geometri disimbolkan dengan G dan secara matematik dapat di tulis sebagai berikut :

$$G = 2,303 \text{ Log } 10 \frac{2r_i}{d} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana :

r_i = Jari-jari sheath sebelah dalam

d = diameter konduktor

3.2. Resistansi Urutan Positif Dan Urutan Negatif Dari Kabel

Resistansi suatu konduktor arus bolak-balik lebih besar dari resistansi konduktor arus searah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Skin effect (efek kulit)
2. Proximity effect
3. Arus sheath pada kabel

3.2.1. Skin Effect

Pada arus bolak-balik sebaran arus di seluruh bagian konduktor tidak seragam, dimana kerapatan arus dipermukaan konduktor lebih besar dari pada bagian dalamnya. Gejala ini disebut dengan *skin effect* (efek kulit). Hal inilah yang merupakan salah satu penyebab harga resistansi pada arus bolak-balik lebih besar dari pada resistansi arus searah.

3.2.2. Proximity Effect

Fluks magnetik bolak-balik pada konduktor yang disebabkan oleh karena adanya arus yang mengalir di dekat konduktor akan memberikan kenaikan pada arus sirkulasi. Hal ini juga merupakan penyebab bertambahnya harga resistansi konduktor. Gejala ini disebut dengan *Proximity effect*. Proximity effect dapat berpengaruh bila kabel dipasang paralel logam, dinding dan lain-lain.

3.2.3. Arus sheath pada kabel.

Arus bolak-balik yang mengalir pada konduktor dari kabel dengan konduktor tunggal (*single core cable*) akan menyebabkan timbulnya tegangan induksi pada

sheath kabel tersebut. Jika ujung-ujung sheath kabel disatukan, maka akan mengalir arus yang menyebabkan bertambahnya rugi-rugi (I^2R) pada sheath. Untuk pengoperasian kabel dengan konduktor tunggal dalam sistem 3 fasa, pertambahan ini dapat dihitung :

$$r = \frac{X_m^2 m r_s}{X_m^2 m + r_s} \text{ ohm / fasa / mile} \dots\dots\dots (3.7)$$

dimana :

X_m = Reaktansi bersama antara konduktor dan sheath

r_s = Resistansi sheath

kedua besaran diatas dapat dihitung dengan persamaan 3.7 dan 3.8

$$X_m = 0,2794$$

$$r_s = \frac{0,2}{(r_0 + r_1)(r_0 + r_1)} \text{ ohm / fasa / mile} \dots\dots\dots (3.8)$$

dimana :

s = jarak antara pusat-pusat konduktor (inci)

r_0 = Jari-jari sebelah luar dari lead sheath (inci)

r_1 = Jari-jari sebelah dalam dari lead sheath (inci)

Sehingga resistansi total (r_a) untuk arus urutan positif atau urutan negatif dari kabel dengan konduktor tunggal yang dipengaruhi oleh arus *sheath* adalah :

$$r_a = r_c + \frac{X_m^2 m r_s}{X_m^2 m + r_s^2} \text{ ohm/ fasa/ mile} \dots\dots\dots (3.9)$$

dimana :

r_c = Tahanan arus bolak-balik dari konduktor itu sendiri.

Rugi-rugi karena adanya aruas sheath pada kabel tiga konduktor (*three conductor cable*) biasanya diabaikan, kecuali untuk kabel-kabel yang sangat besar.

Dalam kabel-kabel yang sangat besar rugi-rugi sheath kira-kira 3 sampai 5%.

3.3. Reaktansi urutan positif dan urutan negatif dari kabel

3.3.1. Kabel dengan konduktor tunggal

Reaktansi urutan positif dan urutan negatif dari kabel dengan urutan tunggal yang mempunyai pelindung (*lead sheath*) dapat dihitung dengan persamaan

berikut : $X_1 = X_2 = 0,2794 \frac{f}{60} \text{Log} \frac{GMD}{GMR_{1k}} - \frac{x^3 m}{x^2 m + r^2 s} \dots\dots\dots (3.10)$

Atau

$$X_1 = X_2 = X_a = X_d - \frac{x^3 m}{x^2 m + r^2 s} \text{ ohm/fase/ mile} \dots\dots\dots (3.11)$$

dimana :

X_a = Komponen Konduktor dari reaktansi

$$= 0,2794 \frac{f}{60} \text{Log} 10 \frac{12}{GMR_{1k}}$$

X_d = komponen terpisah dari reaktansi

$$= 0,2794 \frac{f}{60} \text{Log} 10 \frac{GMD}{12}$$

3.3.2 Kabel dengan tiga konduktor

Pada kabel dengan tiga konduktor maka reaktansi urutan positif dan urutan negatif dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$X_1 = X_2 = 0,2794 \frac{f}{60} \text{Log} 10 \frac{GMD}{12} \dots \dots \dots (3.12)$$

Atau

$$X_1 = X_2 = X_a + X_d \text{ ohm / fase/ mile.} \dots \dots \dots (3.13)$$

3.4 Resistensi dan reaktansi urutan nol dari kabel

Apabila ada arus urutan nol yang mengalir sepanjang konduktor kabel 3 fase, arus tersebut harus kembali melalui tanah, *sheath* atau kombinasi paralel keduanya.

Hal ini akan menimbulkan adanya reaktansi urutan nol pada jalur tersebut. Arus urutan nol yang mengalir pada salah satu fasa akan menyebabkan naiknya harga reaktansi.

Pada pemasangan kabel ada tiga yang harus diperhatikan :

1. Arus balik melalui *sheath* dan tanah secara paralel
2. Arus balik melalui *sheath* dan tidak melalui tanah
3. Arus balik melalui tanah dan tidak melalui *sheath*

3.5 Reaktansi kapasitas shunt dari kabel

Untuk kabel dengan konduktor tunggal dan kabel shield dengan tiga konduktor shunt dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini :

$$C_1 = C_2 = C_0 = \frac{0,0892}{G} \text{ F/fase/mile} \dots \dots \dots (3.14)$$

$$X_1^1 = X_2^1 = X_0^1 = \frac{1,70}{G} \text{ m } \Omega \text{ /fase/mile} \dots \dots \dots (3.15)$$

$$I_1^1 = I_2^1 = I_0^1 = \frac{0,323 \text{ fk kv}}{1000} \text{ A/Fasa/mile} \dots \dots \dots (3.16)$$

Untuk kabel jenis *belted* dengan tiga konduktor (tidak mempunyai *sheath*), maka harga reaktansi kapasitif shunt dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_1 = C_2 = \frac{0,267k}{G_1} \text{ F/ Fasa/mile} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$C_o = \frac{0,0892 k}{G_o} \text{ F/ Fasa/mile} \dots\dots\dots(3.18)$$

$$X_1^1 = X_2^1 = \frac{0,597G_1}{fk} \text{ M/fasa/mile} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$X_o^1 = \frac{1,79G_o}{fk} \text{ M/fasa/mile} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$I_1^1 = I_2^1 = \frac{0,97 fk kv}{1000fk} \text{ A/ fasa/ mile} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$I_o^1 = \frac{0,323 fk kv}{1000G_o} \text{ A/ fasa/ mile} \dots\dots\dots(3.22)$$

Dimana : C1, C2 dan Co = Kapasitas urutan positif, negatif dan nol

X11, X21, Xo1 = Reaktansi kapasitif urutan positif negatif dan nol

I11, I21, Io1 = Arus pengisian urutan positif, negatif dan nol

KV = tegangan sistem line to line

K = konstanta dielektrik

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melihat uraian dan penjelasan pada bab-bab terdahulu, maka dapatlah ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan kabel tenaga sebagai penyaluran tenaga listrik untuk jaringan distribusi mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan saluran hantaran udara. Walaupun ditinjau dari segi ekonomisnya penggunaan kabel tenaga masih relatif mahal. Hal ini disebabkan karena suatu kabel tenaga sekurang-kurang harus terdiri dari konduktor, isolasi, tabir dan selubung (*sheath*) dan untuk memperkuat dan memperbaiki sifat-sifat kabel biasanya dilengkapi dengan bantalan, perisai, bahan pengisi dan sarung kabel yang semuanya ini juga berfungsi sebagai proteksi fisik dan mekanis dari kabel.
2. Dalam merencanakan suatu proteksi kabel perlu diperhitungkan gejala-gejala yang ada pada kabel seperti reaktansi, resistansi, kapasitansi, rugi-rugi dielektrik panas pada kabel dan sebagainya.
3. Karena penggunaan kabel tenaga relatif mahal maka setiap kabel tenaga harus diproteksi terhadap gangguan-gangguan yang dapat merusaknya antara lain :
 - a. Proteksi kabel terhadap arus hubung singkat
 - b. Proteksi kabel terhadap beban lebih dan
 - c. Proteksi kabel terhadap mekanis

5.2. Saran

Pemakaian kabel saluran bawah tanah adalah sangat baik dan lebih terjamin, baik ditinjau dari segi keamanan, gangguan sambaran petir, cuaca buruk, pengaruh gangguan manusia, penyilangan didaerah padat penduduk dan memperindah struktur jaringan listrik dari pandangan juga sistem akan lebih baik dan handal. Pada kabel tanah biaya perawatan lebih rendah dibandingkan dengan kabel hantaran udara, tetapi biaya pemasangan jauh lebih besar

Untuk itu penulis menyarankan agar penyaluran tenaga listrik pada jaringan distribusi hendaknya menggunakan kabel saluran bawah tanah.



DAFTAR PUSTAKA

1. A.S. Pabla; “Sistem Distribusi Daya Listrik”, Ir.Abd. Hadi, penerbit Erlangga.
2. Dr.Ing. K.T. Sirait, Ir.Parauli Pakpahan; “Proteksi Sistem Tenaga” penerbit ITB Bandung
3. Dr. A. Arismunandar, Dr. S. Kuwahara; “Teknik Tenaga Listrik” jilid II, Saluran Transmisi, Jakarta
4. Stervenson, William D. Jr.; “Analisa Sistem Tenaga”, terjemahan Budiono Mismail, penerbit UNBRAW-Malang 1982
5. Sinisuka, Ngapuli Innea; “Kabel Tenaga”, Badan Pelaksana Proherma PLN-ITB
6. “Supreme Cable Manufacturing Corp.”, PT. Power Catalogue Jakarta 1974
7. Uppal S.L.; “Electrical Power”, Khanna Publishers-New Delhi, 1981