

Bab II

SALURAN TRANSMISI KABEL LAUT.

A. KONSTRUKSI DASAR KABEL LAUT.

Pada umumnya suatu kabel laut termasuk juga jenis kabel dibawah air, yakni kabel - kabel yang dipergunakan untuk dan keperluan dasar tenaga listrik antara lain :

Untuk menyalurkan daya listrik dipermukaan air, baik air laut, air sungai dan air danau, antara tempat - tempat yang dipisahkan oleh air, untuk mengirim sinyal komunikasi, kontrol atau penggunaan telemetri.

Dimana konstruksi dari kabel untuk penyaluran daya (power-transmisi) atau untuk telekomunikasi (signaling) pada umumnya sama. Dalam hal ini yang akan dibahas hanyalah masalah kabel laut yang dipergunakan untuk penyaluran daya listrik saja.

Pada dasarnya kabel laut yang digunakan sebagai penyaluran tenaga listrik dibawah air adalah sama dengan kabel tanah (under ground cable), hanyalah disini perbedaannya terletak pada karakteristiknya saja terutama pada penggunaan bahan - bahan isolasinya.

Dimana cara - cara pembangunannya dan penambahan sistim pe-

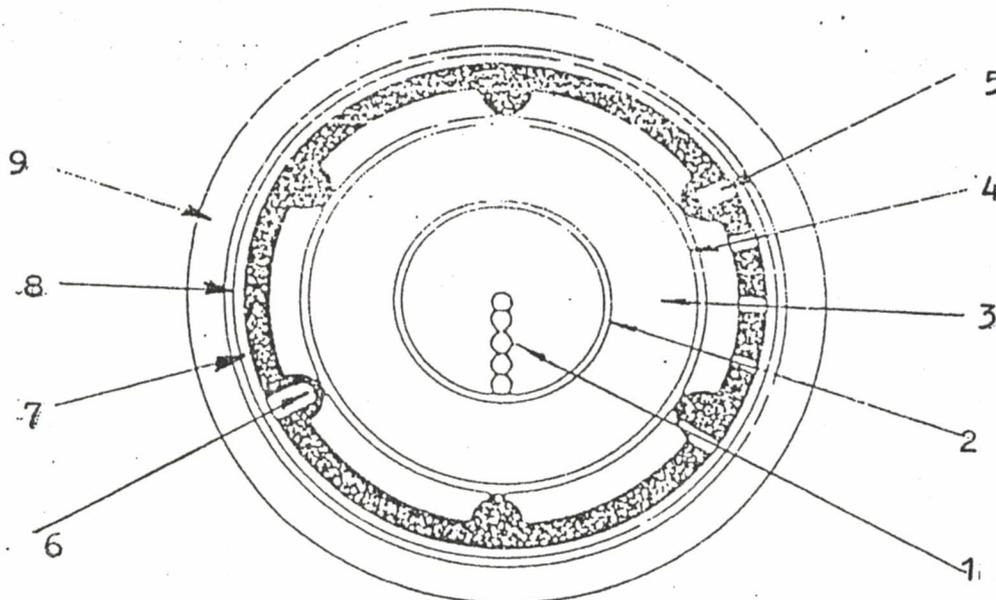
ngaman dalam pemasangannya, atau selama pengoperasiannya tidaklah dapat diramalkan atau diketahui dengan pasti kondisi yang terjelek sehingga untuk itu membutuhkan pengukuran - pengukuran sebagai tindakan pencegahan.

Suatu perencanaan yang teliti serta mempelajari untuk memberikan methoda - methoda yang sebenarnya dan perlengkapan - perlengkapan yang sepatutnya, dimana faktor biaya pemasangannya atau pembangunannya juga sangat saling bergantung. Untuk itu kabel akan memberikan umur operasi yang panjang secara memuaskan, bila direncanakan dan dibuat dengan syarat - syarat teknis yang dapat digunakan untuk perencanaan dan pembangunannya untuk digunakan pada berbagai keperluan. Suatu type kabel laut yang akan digunakan umumnya terdiri dari seperti yang terlihat pada gambar. 1 .

- Inti pusat (konduktor), umumnya tembaga, yang mempunyai luas permukaan yang memadai, yang akan memberikan rugi arus yang kecil atau karakteristik-karakteristik impedansi yang perlu dan juga logam-logam lainnya.
- Selubung isolasi, biasanya terdiri dari : rubber, polyvinylchloride, nylon, polyethylene.
- Lead sheath, terbuat dari timah hitam sebagai pelindung atau sarung terhadap efek medan listrik atau magnet.
- Protective armor (pita baja pelindung) , umumnya

diselubungkan secara spiral dan dibuat galvanized high strength steel, untuk melindungi konduktor dan mendapatkan kekuatan tarik yang tinggi.

- Penutup luar (out side cover), sebagai pelindung terbuat dari, terjeute textereserving, rubber atau thermo plastic



GAMBAR. 1.
TYPE KABEL LAUT. 1)

Keterangan Gambar :

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| 1. Conductor | 6. Flutes |
| 2. Screen Carbon Paper | 7. Bedding |
| 3. Insulation | 8. Reinforcement Binder |
| 4. Screen Carbon Paper dan Metal Tape | 9. Serving |
| 5. Binder Sheath | |

1). PLN ,Pembangkitan dan Penyaluran Jawa dan Bali

Didalam penggunaan suatu kabel laut, untuk menentukan diameter konduktor dan perencanaan isolasi adalah sangat berpengaruh terhadap diameter kabel laut secara keseluruhannya.

Suatu kabel laut yang dipergunakan untuk transmisi tenaga listrik yang sanggup menahan pembelokan, pelenturan dan pelekungan tertentu tanpa mengakibatkan kerusakan pada bagian-bagian isolasi. Hal yang paling penting dalam perencanaan suatu sistim untuk direalisasi adalah, bahwa kabel tenaga listrik adalah salah satu elemen sistim tenaga listrik yang paling penting.

Dimana dalam fungsinya kabel tersebut akan menentukan apakah sistim itu menjadi praktis, juga sering kali peralatan terminal kabel direncanakan bila suatu ketika kabel diinginkan untuk suatu perbaikan atau pemeliharaan dikemudian hari mendatang. Dari hasil - hasil tersebut salah satu dari perencanaan kabel laut adalah kenyataannya tidak mudahnya mendapatkan kompromi dalam perencanaan kabel dengan hal - hal yang merugikan keandalan sistim.

Merencanakan kabel ini akan selalu berhubungan dan berpautan dengan adanya perkembangan peralatan terminal (terminal equipment) yang akan menjamin hasil - hasil sistim yang baik.

B. SALURAN TRANSMISI KABEL LAUT.

1. Type - type Kabel.

Menurut penggunaannya kabel dapat dibedakan atas dua golongan yaitu :

- Kabel tenaga (power cable)
- Kabel telemonikasi (signal cable)

Dimana dalam hal ini yang akan dibicarakan selanjutnya hanya lah kabel tenaga saja.

Untuk menyalurkan suatu tenaga listrik dibawah permukaan air dibawah tanah sering digunakan kabel tenaga (under water atau ground cable). Jenis - jenis dari kabel tenaga banyak - sekali, namun dapat diklasifikasikan menurut kelompok - kelompok seperti berikut ini :

a. Kelompok menurut kulit pelindungnya (armor)

- Kabel bersarung timah hitam (lead sheathed)
- Kabel berkulit pita baja (steel tape armor)
- Kabel berkulit kawat baja (steel wire armor)
- Kabel berkulit kawat tembaga (copper wire armor)
- Kabel berkulit baja tahan karat (stainless steel armor)
- Kabel berkulit aluminium (aluminium wire armor)
- Kabel bersarung goni (jute) dan kabel tahan karat.

b. Kelompok menurut konstruksinya.

- Kabel plastik dan karet, jenis : BN , EV , CF.
- Kabel padat, jenis : Belt, H, SL, SA.
- Kabel jenis datar (flat type)
- Kabel minyak (oil filled - of)
- Kabel pipa (pipa type) misalkan yang berisi : gas, - gas filled, gas tekan, gas compression, berisi minyak - sama dengan oil filled.

- Kabel berisi gas tekanan rendah (lowpressure gas filled)

- Kabel tekan (self contained compression)

Klasifikasi berbagai type kabel sesuai dengan tegangan - yang diijinkan dapat dilihat pada tabel .1.

Demikian pula menurut konstruksi, suatu kabel dapat di-bedakan berdasarkan jumlah inti /kondutornya (core), - yaitu single core atau multicore.

c. Kelompok menurut penggunaan, misalnya kabel saluran(duct draw - in), kabel taruh (direct laying), kabel laut (submarine kabel), kabel corong utama (main shaf), kabel udara (overhead cable).

Kabel isolasi kertas yang diresapi minyak (oli impregnated) biasanya digunakan untuk saluran transmisi kabel, meskipun untuk tegangan dibawah 35 KV. Kabel plastik atau kabel karet butyl juga dipakai sebagai penghantar biasanya digunakan kawat tembaga berlilit (annesaled stranded), meskipun kawat alumunium berlilit karena ringan juga dipakai untuk kabel saluran udara.

Sebagai pembungkus sering digunakan timah hitam, meskipun almunium juga disukai sekarang, bukan saja untuk kabel udara tetapi juga untuk kabel minyak. Sebagai pelidung digunakan pita baja untuk kabel tiga kawat (triple core) yang diletakkan langsung dan kawat baja untuk kabel tiga kawat yang diletakkan didasar laut.

TABEL. 1.

2)

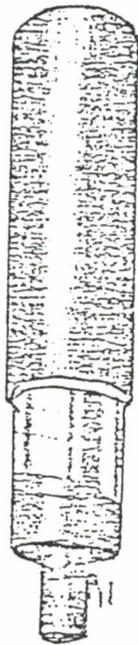
KLASIFIKASI KABEL DAN TEGANGAN YANG DITERAPKAN

Klasifikasi	Tegangan yang diterapkan	Catatan
belt	dibawah 10 KV	minyak harus diganti kabel dipasang miring (slope)
H	dibawah 35 KV	
SL		
butyl rubber	60 - 150 KV	sesuai untuk pasangan miring (slope)
polythylene		
tekanan gas rendah		
Jenis pipa di isi gas	60 - 200 KV	lebih murah dari jenis yang diisi minyak
jenis pipa di isi gas dengan tekanan	diatas 60 KV	sesuai untuk tegangan tinggi sekali (EHV)
jenis pipa di minyak	diatas 20 KV	
OF		

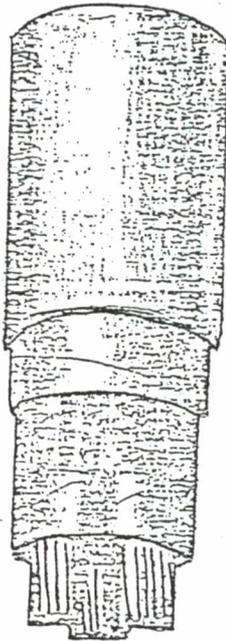
Kawat tembaga, kawat baja tahan karat dan kawat aluminium digunakan bila satu kawat (sigle core) dipasang dengan tarikan. Untuk macam - macam type kabel tenaga dapat dilihat pa-

2) A. Arismunandar, Teknik Tenaga Listrik, Jakarta, Pradnya Paramita, 1975, hal. 39.

da gambar. 2.



(a) Single-conductor solid, compact-round conductor.



(b) Three-conductor belted, compact-sector conductors.



(c) Three-conductor abdulsled, compact-sector conductors.



(d) Single-conductor oil-filled, hollow-stranded conductor.



(e) Three-conductor oil-filled, compact-sector conductors.



(f) -High-pressure pipe-type oil-filled cable.

Courtesy of the Okentis-Cullender Cable Company

GAMBAR. 2. 3).
MACAM-MACAM TYPE KABEL TENAGA

3). Beer RR and Mc. ILveen EE, Power Cable Standards and Industrial Application. Transaction On Proceeding of the IEEE Industry Application, Vol IA- 11, No.4, 1975 p.89.

2. Persyaratan Mekanis.

a. Strength.

Berat kabel selama pemasangan atau penggunaannya ditambah dengan perlengkapan lain yang bersangkutan, akan menentukan strength kabel yang diinginkan.

Presentase berat kabel terbesar terletak pada armornya. Untuk mendapatkan ratio strength atau berat kabel yang tinggi dapat dilakukan dengan jalan menggunakan logam yang mempunyai strength tinggi dengan memperhatikan kerugian sifat lentur, dan sering kali sifat ketahanan lelehnya. Breaking strength dan yield strength batas - batasnya ditentukan dibawah kondisi pelayanan yang diijinkan.

Jika kabel akan dioperasikan dibawah yield-strength bervariasi dari 50 % breaking strength - untuk baja lunak (mild steel) sampai 80 % untuk baja strength tinggi (high strength steel), maka faktor ini harus dianggap sebagai spesifikasi-breaking strength.⁴⁾

b. Torsi Kabel.

Armor atau bagian strength lain dibentuk - dari kawat yang dililit dengan sudut tertentu terhadap axis kabel untuk mendapatkan fleksibilitas - yang diinginkan,

⁴⁾ Syariffuddin.M, Diktat Kabel, Senat Mahasiswa FTE-ITS, Surabaya, 1974, hal 107.

Untuk mendapatkan fleksibilitas yang diinginkan untuk armor sudut tersebut adalah sebesar $18 - 20^{\circ}$. Lilitan armor tersebut menyebabkan torsi yang condong memutar - kabel ke arah yang berlawanan dengan lilitan armor, ini merupakan bagian sinus sudut lilitan dikalikan gaya tekan (tensile force) pada armor atau bagian strength-lain.

Jadi kabel armor tunggal akan mengalami putaran karena beban yaitu jika beban diberikan secara tiba - tiba, seperti ketika ujung kabel laut menyentuh dasar laut maka torsi yang ditimbulkan akan memaksa kabel untuk berbelit.

Untuk memperkecil pengaruh ini untuk penggunaan yang nyata, maka kabel dengan armor ganda yang dililitkan berlawanan adalah jalan yang terbaik untuk saling meniadakan. Dengan demikian besarnya torsi pada armor bagian dalam tidak sama dengan bagian luarnya. Bila strength maksimum harus dipertahankan, maka armor dengan tiga lapis kawat bisa digunakan (triple layer armor). Torsi pada dua lapis kawat paling dalam akan sebanding dengan torsi pada satu lapis kawat armor paling luar, akan didapatkan pada dasarnya bebas torsi. Torsi yang seimbang dengan strength yang terjamin, dapat diberikan dengan menggunakan kawat - kawat ukuran kecil dan dengan jumlah besar pada armor bagian luar

dengan ratio sudut lilit antara kedua lapis armor diamb~~il~~il mendekati dua

c. Bending Diameter (diameter pembelokan)

Diameter pembelokan untuk kabel armor ditentukan oleh panjang kawat yang dililit sebagai armor, ukuran dari masing - masing kawat, dan tegangan (tension) kawat yang didapat berdasarkan pengalaman. Jari - jari (radius) pembelokan minimum yang direkomendasikan untuk kabel tenaga yang berarmor adalah 12 kali dari diameter lu~~ar~~ar kabel tersebut. Untuk kabel yang digulung (pada drum dan yang menggunakan katrol untuk mengangkat kabel, maka radius arus ~~rum~~rum (gulungan) dan katrol minimum adalah sekitar 400 kali diameter kawat armor yang terbesar.⁵⁾

d. Elongation (pemanjangan)

Koefisien regangan (K = stretch coefficient) untuk kabel armor ganda ukuran kecil bervariasi dari $1,6 \times 10^{-4}$ sampai 10×10^{-4} , dimana regangan dalam feet (per 1000-ft) sama dengan $K \times$ tegangan dalam pounds. Koefisien ini ditentukan oleh sudut lilitan, pemanjangan elastis dari pada baja dan adanya perubahan pada diameter inti ketika pembebanan.⁶⁾

Hal yang mana terakhir adalah faktor yang paling penting, dan ini bervariasi banyak tergantung perencanaannya. Ketika bahan - bahan inti mengadakan ekspansi karena panas, perubahan temperatur juga mempengaruhi pemanjangan.

5) •Ibid. hal. 108.

6) •Ibid.

Dengan menganggap pemanjangan linier dengan beban (pendekatan yang baik), pemanjangan total akan dipilih beban rata $\frac{2}{3}$ untuk panjang dikalikan koefisien regangan.

e. Bonding Armor (perisai).

Suatu perencanaan kabel laut akan selalu mengandung penggunaan beberapa jenis logam pada anyaman perisai atau lajur pada pita perisai dan pada armor atau bagian - bagian strength. Jika kelembaman dapat menembus pembungkus luar (covering), hal ini penting sekali bahwa logam - logam yang berlainan jenisnya hendaknya diisolasi satu dengan lainnya, yang akan menjaga logam - logam tersebut dari peristiwa galvanis.

Hal lain yang sangat penting adalah semua perisai atau pembungkus yang ada dibawah lapisan armor harus dihubungkan secara elektris dengan armor tersebut - disetiap terminal atau sambungan kabel.

Hal ini penting terutama bila kabel dipakai untuk melintasi atau yang menghubungkan dua pulau yang melalui selat atau laut.

Ketika terjadi sambaran petir dan arus lompatan disekitarnya, maka potensial tanah pada suatu tempat akan naik beberapa ribu volt diatas tempat lain sekitarnya, sehingga akan terjadi kenaikan beda potensial pada kabel diantara pembungkus - pembungkus karena tidak ditanahkan pada tempat - tempat yang berlainan.

Begitu tegangan naik akan cukup dapat menembus pembungkus yang dipisahkan oleh dua buah rangkaian logam, yaitu salah satu pengrusakan atau masuknya air kedalam kabel.

3. Persyaratan Elektris.

a. Tahanan isolasi.

Tahanan isolasi arus searah dapat ditulis sebagai berikut : ⁷⁾

$$R_{dc} = k \log \frac{D_i}{D_e} \dots\dots\dots (1)$$

dimana : R_{dc} = tahanan isolasi (M / 1000 feet)

k = konstanta tahanan isolasi (lihat tabel 2)

D_i = diameter konduktor efektif (mm)

Harga k tersebut diatas untuk temperatur $60^{\circ} F$ sedang untuk pendekatan, yaitu harga tahanan isolasi akan menjadi dua kali untuk setiap $12^{\circ} F$ dibawah temperatur $60^{\circ} F$ dan menjadi setengahnya untuk setiap $12^{\circ} F$ di atas temperatur $60^{\circ} F$.

b. Kapasitansi.

Kapasitansi suatu kawat yang diisolasi adalah :⁸⁾

$$C = \frac{0,00736 k}{\log (D_i/D_2)} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

C = kapasitansi (F/1000 feet)

⁷⁾ Priaroggia PG and Maschio G, Continous Long Length AC and DC Summarine HV Power Cable Present State Of The. IEEE Pcs Winter Meeting New York, 1973, p.276.

⁸⁾ Ibid.

k = specific inductive capacitance(pada tabel. 2)

C. Induktansi

Induktansi dari konduktor paralel dapat ditulis dengan pendekatan sebagai berikut :⁹⁾

$$L = 0,1404 \log \frac{b}{a} + 0,015 \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

L = induktansi perkonduktor (mH/1000 feet)

b = Jarak antara pusat konduktor paralel (Cm)

a = jari-jari konduktor padat pada luasan yang sama (mm).

d. Pemilihan Tegangan.

Penentuan tegangan merupakan bagian dari perencanaan sistim secara keseluruhan. Di Jawa Timur tegangan transmisi yang digunakan adalah 30 KV, 70 KV, 150 KV dan 500 KV. Tegangan transmisi 30 KV hanya digunakan untuk daerah pelayanan dimana tegangan distribusi primer 20 KV tidak ada. Tegangan transmisi 70 KV adalah untuk memperkuat sistim 150 KV, sedangkan transmisi 150 KV adalah tegangan transmisi yang telah berkembang.

Saluran transmisi kabel laut antara Jawa- Madura memakai sistim tegangan 150 KV.

e. Analisa Rugi - Rugi.

Skin effect (efek mengulit) adalah suatu gejala (phenomena) yang terjadi didalam konduktor dimana terda

⁹⁾ Ibid, p.277.

Property	Rubbers		Polyvinyl chloride	Polyethylene		Polypropylene	Teflon	Nylon
	Ethylene propylene (EPDM)	Natural		Low density	High density			
Specific inductive capacitance.....	3.1	3.5	6.0	2.3	2.3	2.2	2.0	4.0
Dissipation factor.....	0.01	0.01	0.05	0.0005	0.0005	0.0005	0.0003	0.01
Max. operating temp., °C.....	80*	75	85	85	00	95	125	105
Softening temp. (chldt), °C.....	.....	.....	.....	88	121	150	260	105
Melting temp., °C.....	.....	.....	.....	88	131	168	285	207
Tensile strength, psi.....	950	2,500	2,000	3,000	3,000	5,000	2,700	10,000
Hardness.....	Shore A 75	Shore A 60-65	Shore 60A-70D	Shore 45D	Shore 07D	Shore 76D	Rockwell R25	Rockwell 297
Moisture resistance, mg/in. ² , 70°C.....	3.5	25	6-15	2	2	2	Nil	3.5% (by weight)
Dielectric strength, V/mil.....	450-500	400	500	600	600	600	800	.....
Ins. resis. constant (K).....	50,000	10,000	1,000	50,000	50,000	50,000	100,000	.....
IR = K log (D/d), 60°F.....	1.5	1.6	1	0.8	1	1	.47	.....
Relative cost per in. ³.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

TABEL. 2.
SIFAT-SIFAT BERBAGAI BAHAN ISOLASI YANG SERING DIGUNAKAN 10)

10) Electrical Wire and Cable Hand Book, United State Steel Corporation, 1956.

pat distribusi kerapatan arus yang tidak merata pada penampang konduktor kabel yang luas dialiri arus bolak balik. Hal ini terjadi fluks yang menyebabkan timbulnya induksi diri yang terjadi dipusat lebih besar dari pada permukaan.

Adapun distribusi kerapatan arus yang minimum pada pusat dan maksimum pada permukaan menghasilkan kenaikan tahanan efektif dan penurunan induksi efektif (seperti terlihat pada tabel.3.)

Pertambahan tahanan efektif ini bersama - sama dengan tahanan DC kabel meruokan kerugian tahanan pada konduktor kabel. Pengaruh skin effect terhadap pertambahan tahanan efektif kabel dapat dicari dari kurva pertambahan tahanan efektif (corection factor) sebagai fungsi luasan konduktor (lihat pada gambar.3), dimana besarnya efektif untuk kabel single konduktor adalah tahanan DC ditambah pertambahannya $(1 + y)$.¹¹⁾

- Proximity effect.

Proximity effect adalah rugi - rugi yang disebabkan adanya arus salinh distribusi oleh medan magnet gandeng pada konduktor yang diletakkan berdekatan dalam satu kabel (misalnya kabel tiga konduktor).

Pada gambar 4. dimana besarnya tahanan efektif akibat proximity effect adalah $(1 + y_1)$. Sedangkan gabungan antara skin effect dan proximity effect besarnya ada -

¹¹⁾ Syariffuddin, op, cit, hal. 51.

TABEL. 3. 12)
 KOEFISIEN SKIN EFFECT

Cir, mils X frekwensi	Koefisien	
	Tembaga	Aluminium
10.000.000	1,000	1,000
20.000.000	1,008	1,000
30.000.000	1,025	1,006
40.000.000	1,045	1,015
50.000.000	1,07	1,026
60.000.000	1,096	1,04
70.000.000	1,126	1,053
80.000.000	1,158	1,069
90.000.000	1,193	1,085
100.000.000	1,23	1,104
125.000.000	1,332	1,151
150.000.000	1,433	1,206
175.000.000	1,53	1,266
200.000.000	1,622	1,33

lah $(1 + y_1)$. Sedangkan gabungan antara skin effect dan proximity effect besarnya adalah $(1 + y + y_1)$ - dimana untuk frekwensi sistim tenaga besaran ini cukup kecil. 13)

- Charging Current.

Pada saluran udara charging current karelektro statatis capacity pada sistim frekwensi dan te

12). •Ibid. hal. 52.

13). •Ibid. hal. 51.

gangan dibawah 35 KV dianggap kecil atau dapat diabaikan. Sedang pada saluran kabel, kapasitansi menjadi nampak sekali pada tegangan diatas 20 KV atau terutama pada kabel yang diisolasi dengan impregnated paper karena jarak pisah yang kecil dan spesifik inductive-capacity dari isolasi adalah kira - kira sebesar 3,3 kalau untuk kabel saluran udara = 1, maka charging pada single konduktor adalah :¹⁴⁾

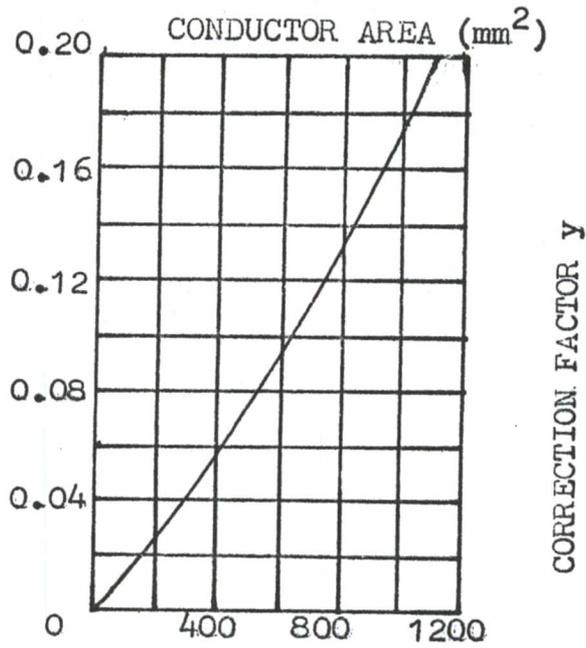
$$I = \frac{0,106 E f K}{1000 \ln \frac{D_i}{D_c}} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- I = charging current (A/ 1000 ft)
- f = frekwensi (Hz)
- K = konstanta dielektrik (1 - 3,5)
- D_i = diameter isolasi (mm)
- D_c = diameter konduktor (mm).

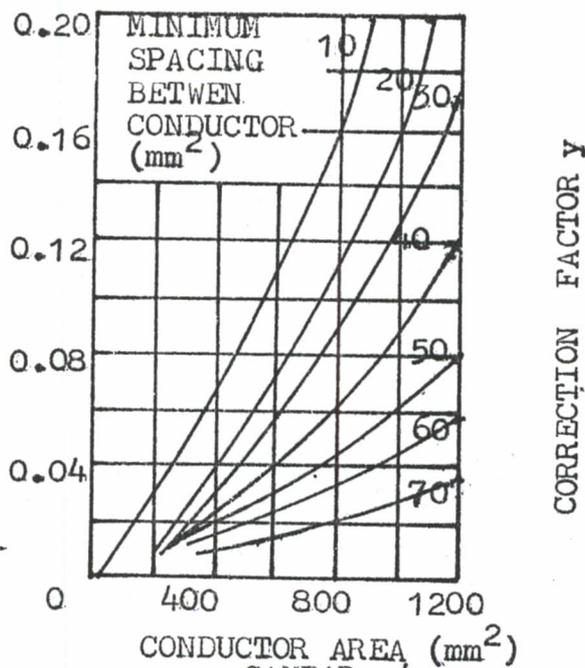
Charging current pada kabel tiga phasa (trippel konduktor) dipengaruhi oleh bentuk konduktor bulat atau sektor dan oleh tebal relatif isolasi T dan isolasi pita (belit - insulation) t. Oleh Simon dinyatakan hubungan tersebut dengan mengganti $\ln \frac{D}{d}$ dari persamaan (4) dengan bentuk "geometric" sehingga rumus charging current untuk kabel ti-

¹⁴⁾ Ibid. hal. 52,



GAMBAR. 3.

SKIN EFFECT PADA 50 HZ UNTUK KONDUKTOR STRANDED BULAT ¹⁵⁾



GAMBAR. 4.

PROXIMITY EFFECT PADA 50 HZ UNTUK KONDUKTOR STRANDED KABEL 3 INTI ¹⁶⁾

15). Ibid. hal, 51

16). Ibid.

ga phasa (trippel konduktor) menjadi .¹⁷⁾

$$I = \frac{3 \times 0,106 E f K}{1000 G_2} \text{ (A/ 1000 ft) } \dots\dots(5)$$

dimana :

G_2 = geometric factor untuk kabel dengan tiga konduktor (lihat pada tabel.4), dapat ditentukan pula geometric faktor untuk tiga konduktor yang berbentuk sektor.

Charging current pada kabel ini menyebabkan adanya kerugian dielektrik pada saluran kabel tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :¹⁸⁾

$$\begin{aligned} W_d = IE \cos \theta &= \frac{3 \times 0,106 E^2 f K \cos \theta}{1000 G_2} \dots\dots(6) \\ &= \frac{0,0462 E^2 f K \cos \theta}{1000 \log \frac{D_i}{D_c}} \end{aligned}$$

dimana :

W_d = rugi - rugi dielektrik (KW/ 1000 ft)

$\cos \theta$ = power factor bahan dielektrik (0,009 - 0,03)

- Sheath Loss.

Sheath loss disebabkan karena sheath pada kabel yang

17). Ibid. hal, 53.

18). Ibid.

terisolasi (tidak terarahkan) dikarenakan fluks dari rangkaian lain, sehingga terinduksi arus eddy pada sheath tersebut (lihat gambar.5) yang besarnya :¹⁹⁾

$$I_s = \frac{I X_m}{X_s^2 + X_m^2} \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

I_s = arus sheth (A)

I = arus konduktor yang berdekatan (A).

$$X_m = 0,2794 \frac{f}{60} \log \frac{2 S}{d_s + d_i} \text{ (ohm/ mile/ phasa)}$$

f = frekwensi (HZ)

S = jarak antara pusat konduktor, untuk kabel tidak simetris $S = GMD_{3c}$ (inc)

$$S = \sqrt[3]{S_{ab} \cdot S_{bc} \cdot S} \text{ (lihat gambar.6)}$$

d_s = jari - jari lead shesth terluar (inc)

d_i = jari - jari lead shaeth terdalam (inc)

$$r_s = \text{tahanan sheath} = \frac{0,200}{(r_o + r_i) (r_o - r_i)}$$

jadi besar sheath loss adalah :²⁰⁾

$$W_s = I_s^2 \cdot r_s = \frac{I^2 X_m^2}{r_s^2 + X_m^2} \cdot r_s \text{ (watt/mile/phasa)}$$

19).Ibid.

20).Ibid.

TABEL. 4.

FAKTOR GEOMETRI (G_2) UNTUK KABEL TIGA KONDUKTOR
TOR 21)

T=thickness of conductor insulation. t=thickness of belt insulation, d = diameter of conductor.

(T+t)/d	Round Conductor		Sector conductor	
	t/T = 0	t/T = 1	t/T = 0	t/T = 1
0,1	0,65	0,75	.....	.....
0,2	1,40	1,20	.....	.....
0,3	1,85	1,55	1,30	1,09
0,4	2,25	1,85	1,75	1,42
0,5	2,60	2,10	2,11	1,70
0,6	2,95	2,35	2,51	2,00
0,7	3,20	2,55	2,75	2,22
0,8	3,45	2,75	3,04	2,42
0,9	3,70	2,95	3,31	2,64
1,0	3,90	3,15	3,54	2,86
1,1	4,05	3,30	3,71	3,02
1,2	4,25	3,45	3,92	3,18
1,4	4,60	3,75	4,30	3,51
1,6	4,90	4,05	4,61	3,81
1,8	5,15	4,30	4,89	4,09
2,0	5,40	4,55	5,16	4,35
2,2	5,65	4,75	5,42	4,56
2,4	5,85	4,95	5,62	4,76

- Tahanan Panas (thermal resistance)²²⁾

Arus yang mengalir pada konduktor menyebabkan kenaikan temperatur karena adanya rugi - rugi $I^2 R$. Aliran

21). Electrical Wire and Cable Handbook, United State Steel Corporation, 1956.

22). Syarifuddin M, Diktat Kabel, Surabaya, Senat Mahasiswa FTE-ITS, 1974, hal. 53.

hat pada tabel .8)

L = Kedalaman kabel didalam tanah (feet)

TABEL . 5.

TAHANAN PANAS PADA ISOLASI KABEL (OHM / CM²)

Type of Insulation	Value of g_i Comm- Only Assumed in Calculatons
Asbestos, impregnated	500
Dry paper	770
Impregnated paper, solid type	700
Impregnated paper, fluid-filled type	550
Oil	330
Polyethylene	350
Rubber compounds	500
Varnished cambrie	600
Vinyl plastic	600

- Konduktor .

Perhitungan arus hubung singkat yang diperbolehkan dipakai untuk memilih penampang konduktor yang dapat menahan arus yang mengalir pada waktu terjadi hubung singkat, maka suhu penghantar yang diperbolehkan dibuat tinggi. Apabila panas yang ditimbulkan semuanya tersimpan dalam penghantar dan dalam minyak isolasi didalam penghantar ka

rena waktunya singkat sekali, maka arus hubung singkat yang diperbolehkan dapat dinyatakan sebagai berikut :²³⁾

$$I_{sc} = \frac{k a}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

I_{sc} = arus hubung singkat (KA)

k = Konstanta yang besarnya tergantung kapasitas - panas dari logam konduktor (lihat gambar.7)

a = luas penampang konduktor (mm²)

t = waktu short circuit duration (detik), biasanya 3 detik sesuai duration time circuit breaker.

Untuk menghitung luas penampang konduktor yang memenuhi dari rumus diatas dengan terlebih dahulu menentukan harga K apabila diketahui arus short circuit duration, dimana harga K dapat ditentukan dari (gambar.7).

Arus yang diperbolehkan melalui kabel adalah arus yang menyebabkan kenaikan suhu konduktor, sehingga suhunya haruslah lebih rendah dari suhu penghantar yang diijinkan. Sedangkan kenaikan suhu itu sendiri diakibatkan karena berbagai rugi - rugi daya antara lain : rugi kawat, rugi dielektrik, rugi kulit dan sebagainya.

Suatu kabel terdiri dari n inti, dengan tahanan masing - masing r persatuan panjang pada temperatur operasi maksimum yang diijinkan, dan masing - masing konduktor mengalir arus I,

23). Syariffuddin, op, cit, hal. 70.

maka panas yang dihasilkan persatuan panjang seluruhnya adalah sebagai berikut. 24)

$$P = n I^2 r \quad (\text{ watt }) \quad \dots\dots\dots (10.a)$$

Untuk kenaikan temperatur kontinyu tertinggi konduktor T_c sebesar diatas temperatur ambient T_a , maka :

$$P = \frac{Q}{G} - W_d = \left\{ \frac{T_c - T_a}{G} - W_d \right\} \quad (\text{ watt }) \quad \dots(10.b)$$

jadi : $n I^2 r = \frac{Q}{G} - W_d$

$$I = \sqrt{\frac{1}{nr} \left(\frac{T_c - T_a}{G} - W_d \right)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

I = arus yang ditanggung maksimum dalam keadaan steady state atau arus kontinyu (KA)

W_d = rugi - rugi dielektrik (KW)

T_c = temperatur konduktor ($^{\circ}$ C)

T_a = temperatur ambient ($^{\circ}$ C)

G = tahanan panas dari kabel.

24). Ibid, hal, 68.

TABEL. 6.

Geometric Factor, G, for Single-conductor and Three-conductor Belted Cables. 25)

T=Conductor-insulation thickness; f=belt-insulation; d=conductor diameter .

Ratio:	$\frac{T-t}{d}$ $\frac{T}{d}$	Three conductor Single conductor	single conductor	Three-conductor, Belted			
				Round Conductor		Sector Condu	
				t/T=1	t/T=1/2	t/T=1	t/T=1/2
0,1		0,19	0,57	0,57	.....	.....
0,2		0,34	0,85	0,85	.....	.....
0,3		0,47	1,08	1,08	0,76	0,76	
0,4		0,59	1,29	1,28	0,99	0,98	
0,5		0,70	1,46	1,43	1,18	1,16	
0,6		0,78	1,61	1,57	1,35	1,32	
0,7		0,88	1,74	1,69	1,51	1,47	
0,8		0,95	1,86	1,80	1,64	1,58	
0,9		1,03	1,98	1,90	1,76	1,69	
1,0		1,10	2,08	1,99	1,87	1,79	
1,1		1,16	2,15	2,06	1,95	1,88	
1,2		1,22	2,23	2,13	2,05	1,96	
1,4		1,34	2,36	2,27	2,20	2,11	
1,6		1,44	2,50	2,39	2,35	2,25	
1,8		1,52	2,61	2,50	2,48	2,37	
2,0		1,61	2,72	2,60	2,58	2,47	
2,2		1,69	2,81	2,68	2,70	2,57	
2,4		1,75	2,90	2,76	2,78	2,65	

25). Electric Wire and Cable Hand Book, United State Corporation, 1956.

TABEL. 7. ²⁶⁾
 TAHANAN PANAS PERMUKAAN.

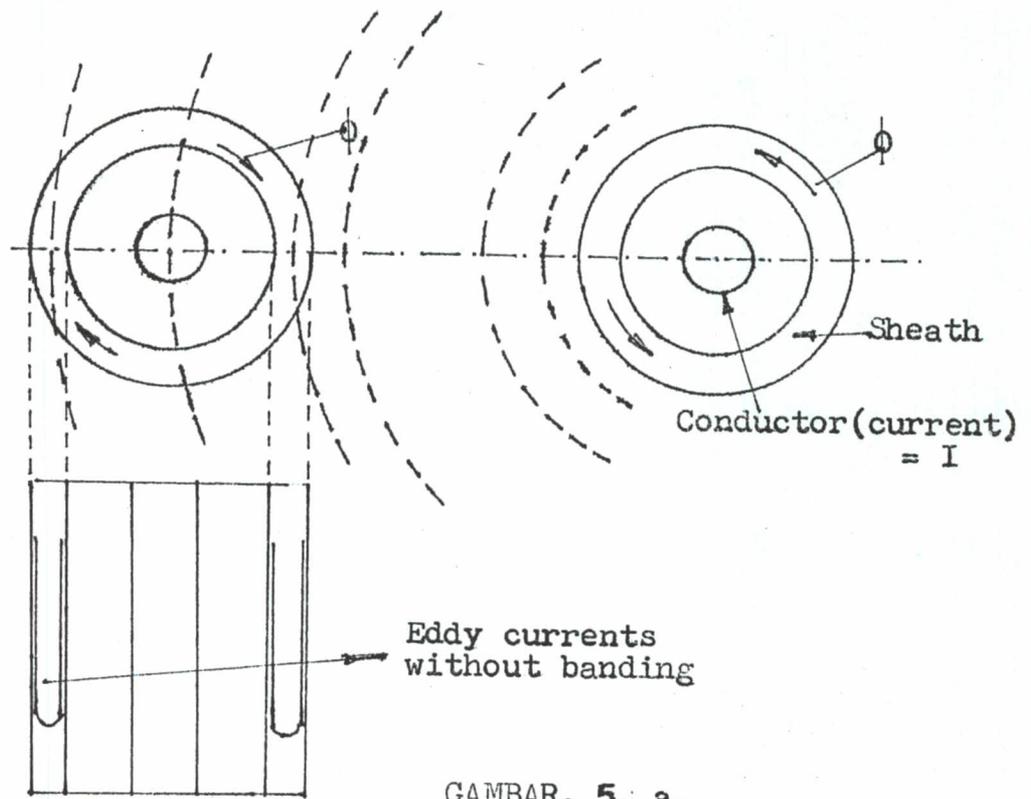
Outside Diameter of Cable, Inches	Surface Thermal Resistivity ρ_s C ⁰ Watt cm
0,5	805
1,0	951
1,5	1117
1,75 and over	1200

TABEL. 8.
 TAHANAN PANAS DARI TANAH (OHM/CM²) ²⁷⁾

ge	H ₂ O %		
	Sandy Loam	Heavy Clay	Chalky
340	0	1	2
180	5	17	10
120	10	.....	16
90	15	.....	20

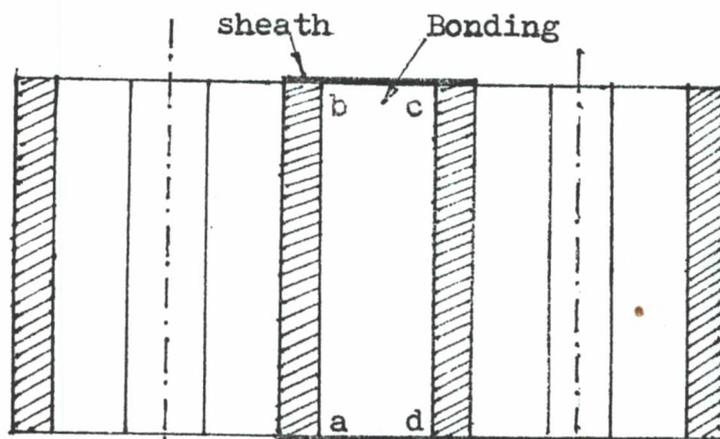
26).Ibid.

27).Ibid.



GAMBAR. 5. a.

ARUS DAN FLUKS PADA SHEATH TANPA BONDING UJUNG SHEATH 28)

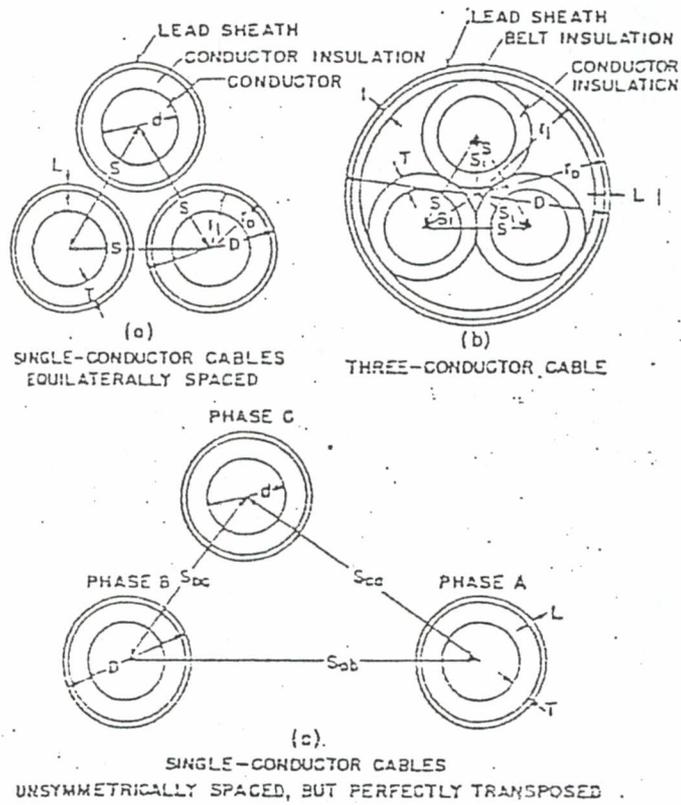


GAMBAR. 5. b.

LABEL DENGAN SHEATH DI BONDED 29)

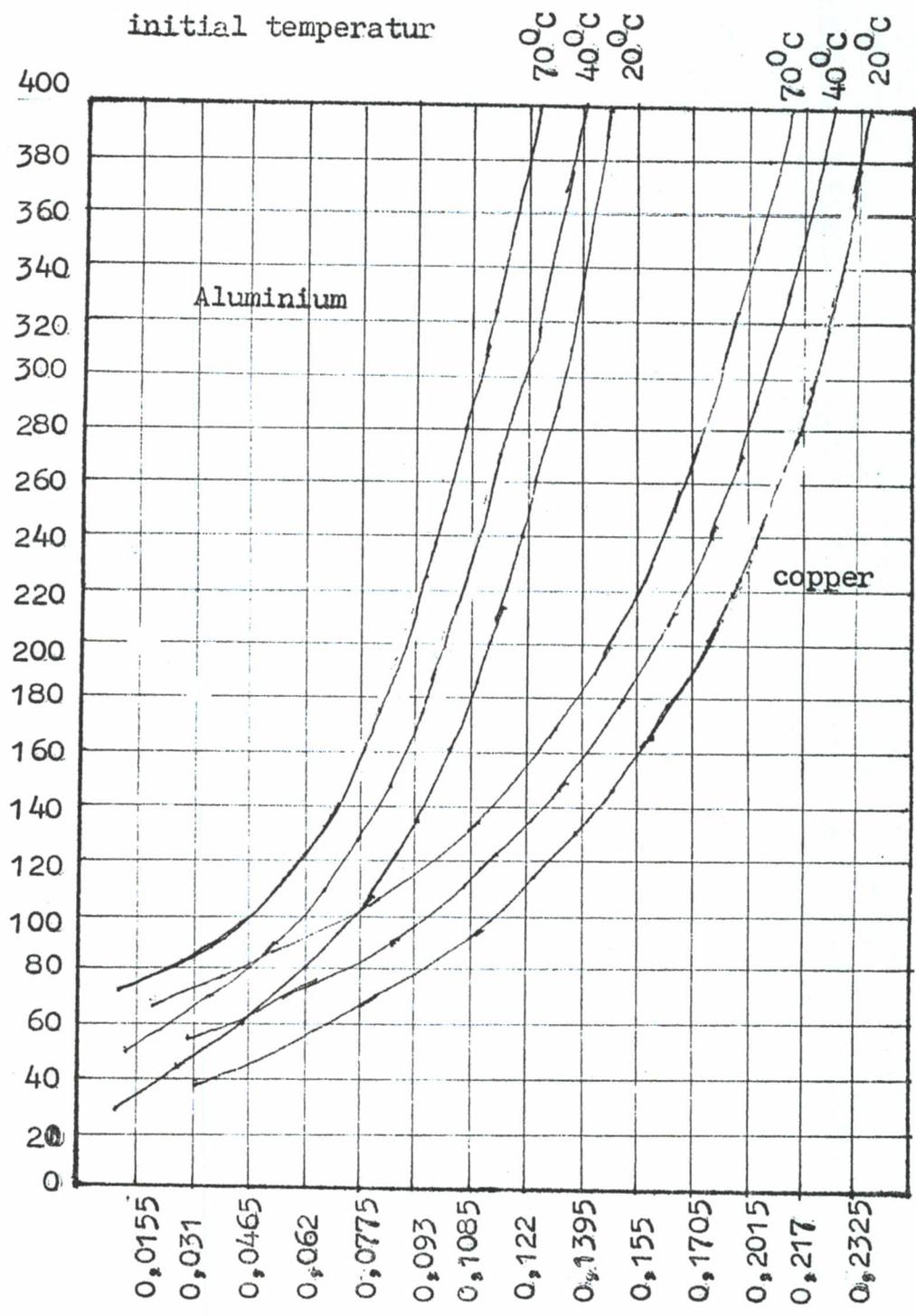
28). Syariffuddin, op.cit, hal. 47.

29). Ibid.



GAMBAR. 6.
KEDUDUKAN KABEL SECARA GEOMETRIS 30)

30). Ibid, hal. 48.



LEGEND
 I Current R.M.S. SYMMETRICAL. A SECTIONAL AREA OF CONDUCTOR (mm²)
 (KA) t TIME (s)

gambar. 7 31)
 MENENTUKAN BESARNYA K

31). Ibid.

- Saluran Transmisi Kabel Laut.

Kabel laut yang digunakan untuk mentransmisikan daya ke Madura dengan jarak 3,7 Km, dimana sebagian saluran berada didalam laut dan sebagian dipantai.

Jarak antara satu kabel dengan kabel lainnya adalah 50 meter untuk bagian laut yang dalam, sedangkan pada laut yang dangkal atau tepi pantai jarak tersebut menjadi lebih kurang 0,75 meter dengan konfigurasi flat (datar) sampai pada terminal (pashead) kabel masing - masing.

Pada bagian laut yang dalam, kabel laut diletakkan pada dasar laut tersebut dan kemudian ditutup dengan pipa baja (spesial quard pipe). Pada bagian laut yang dangkal di kedua sisi pantai kabel laut ditanam sedalam 1 meter.

Demikian pula pada bagian darat kabel laut ditanam minimal 1,5 meter dan pada bagian atasnya diberi pelindung (plat). Adapun konstruksi dari pada saluran transmisi kabel laut yang digunakan dapat dilihat pada gambar. 8.

Type kabel laut yang dipakai pada saluran transmisi antara Jawa - Madura dapat dilihat pada gambar. 9 , yang menghubungkan P.L.T.U. Gresik ke G.I. Gili Timur (Madura) mempunyai data sebagai berikut :³³⁾.

- Ukuran Konduktor.

Ukuran konduktor yang dipakai mempunyai ukuran luas penampang 300 mm^2 , terbuat dari kawat yang berlilit dan stranded konduktor yang berbentuk bulat menjadi satu.

33). PLN. Proyek Induk Jaringan, Jawa Timur, Tahun 1982.

Dengan rating daya sebesar 120 MVA! lebih lengkapnya dapat diterangkan sebagai berikut :

Temperatur konduktor maksimum 85⁰C

Tahanan panas tanah,

- bagaian dasar laut 70⁰C.cm/w

- bagaian tanah 120⁰C.cm/w

Temperatur soil ambient 25⁰C

Titik terendah untuk ukuran penanaman

kabel dari permukaan kabel,

- bagaian kabel laut 1,5 m

- bagaian tanah 1,0 m

Rating arus short circuit dari konduktor adalah sebesar 31 KA untuk satu detik.

- Tebal Isolasi.

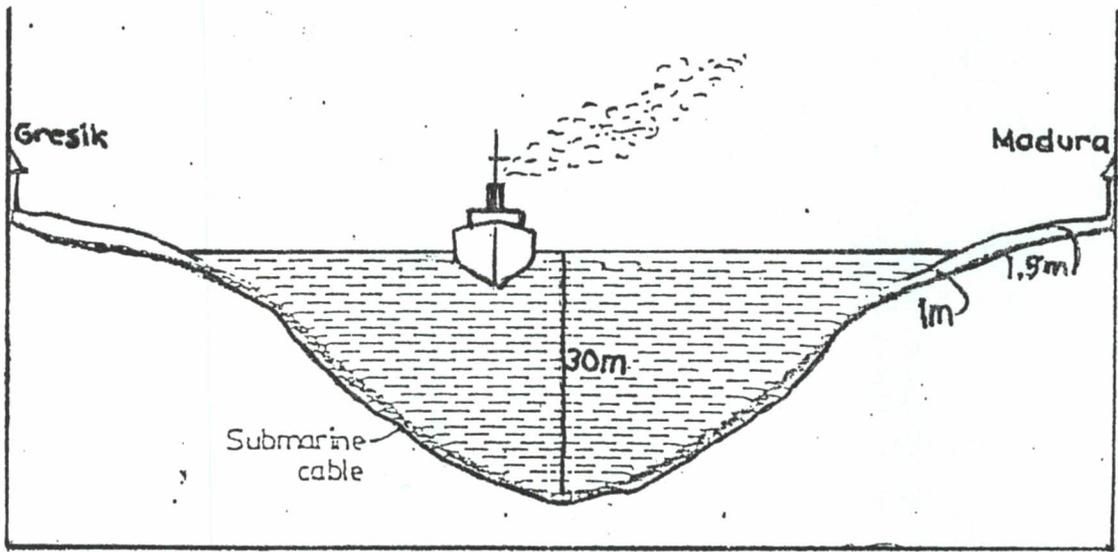
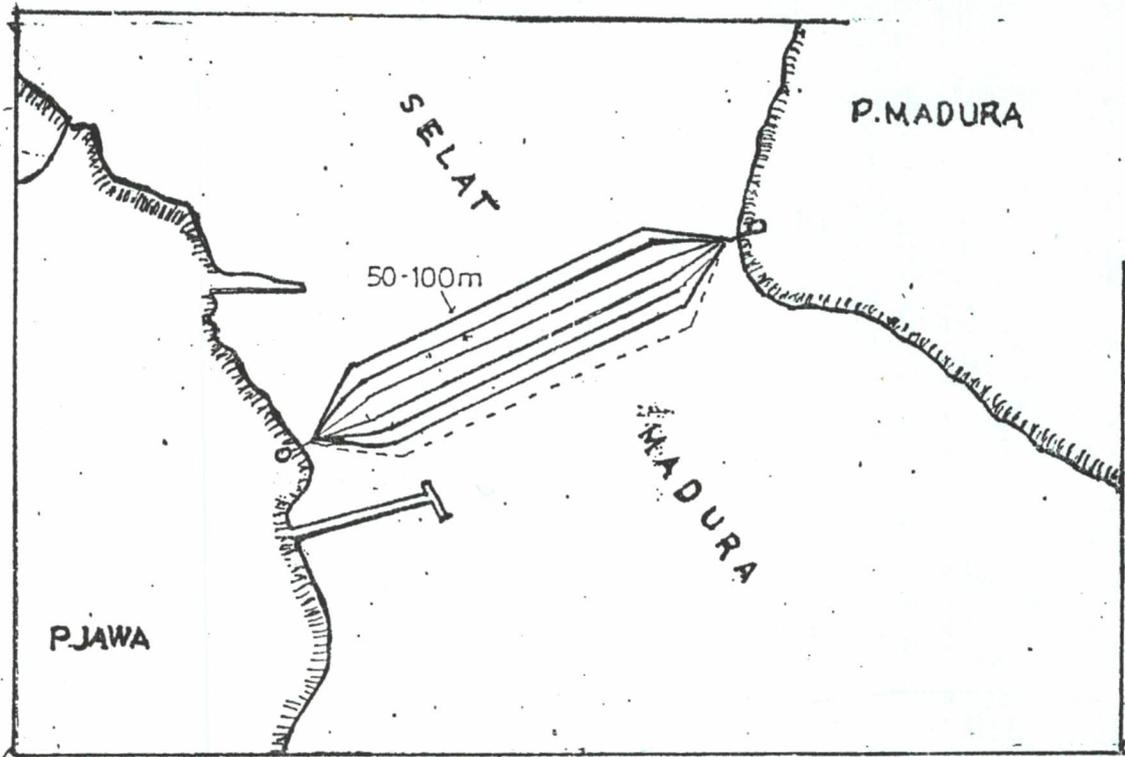
Dalam hal menentukan tebal isolasi juga harus diperhatikan mengenai stress dielektriknya yaitu dipilih tidak boleh melebihi 12 KV/mm pada tegangan AC.

- Lapisan Logam.

Lapisan logam sebagai pelindung dibuat dari campuran timah hitam 1/2 C lapisan dengan penguat baja anti karat, rating arus short circuit dari lapisan timah itu sebesar 34 KV untuk satu detik.

- Armor.

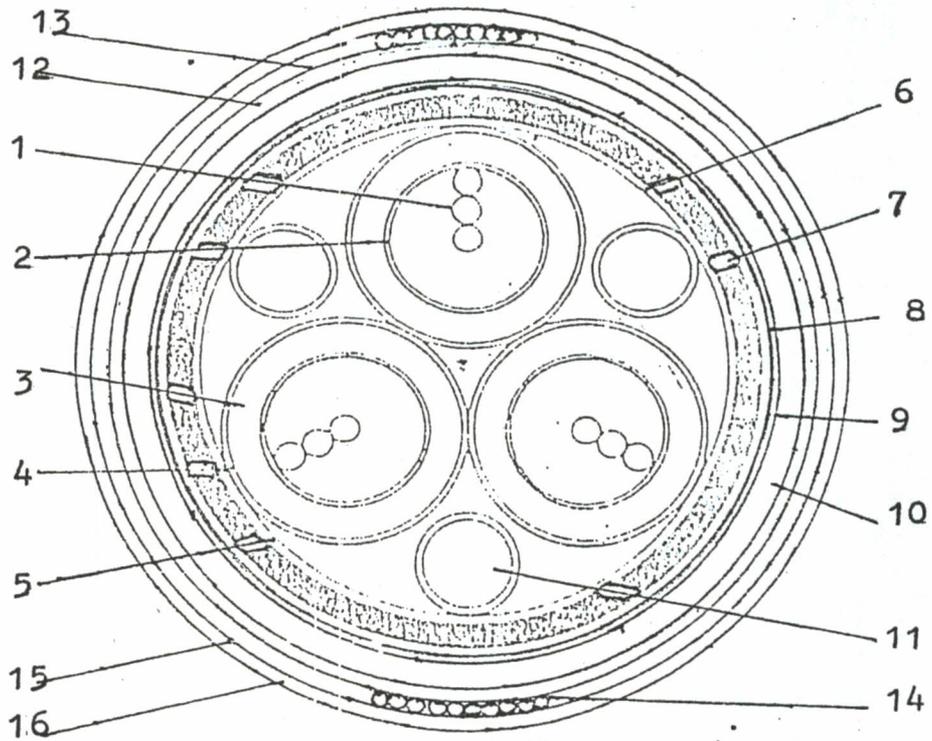
Terbuat dari satu lapisan armor kawat baja yang di galvanis dengan diameter 6 (enam) mm.



+ 3750 meter.

GAMBAR. 8. 35)
KONSTRUKSI KABEL LAUT.

35). Ibid.



GAMBAR. 9.

TYPE KABEL LAUT YANG DIGUNAKAN ³⁴⁾

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Copper Conductor. | 13. Bedding Tapes. |
| 2. Conductor Screen. | 14. Armour Hessian Tapes. |
| 3. Insulation Paper. | 15. Binder Fabric Tape. |
| 4. Insulation Screen. | 16. Serving Jute. |
| 5. Laid - Up Cores. | |
| 6. Binder Tape | |
| 7. Lead Sheath. | |
| 8. Bedding Tape. | |
| 9. Reinforcement Binder. | |
| 10. Anti-Corrosion Sheath. | |
| 11. Oil Duct. | |
| 12. Anti-Teredo Tapes Binder. | |

34). Ibid.