

KABEL

1. PENDAHULUAN

1.1.1. Pengertian Kabel

Kabel di dunia elektronika atau kelistrikan sudah tidak asing lagi, kabel yang digunakan dalam teknik elektronika dan kelistrikan banyak sekali ragamnya. Karena bahan-bahan isolasi plastik masih terus berkembang, selalu ada saja tambahan jenis kabel yang baru.

Kawat dan kabel listrik merupakan media penghantar tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke peralatan yang menggunakan tenaga listrik atau menghubungkan suatu peralatan listrik ke peralatan listrik lainnya.

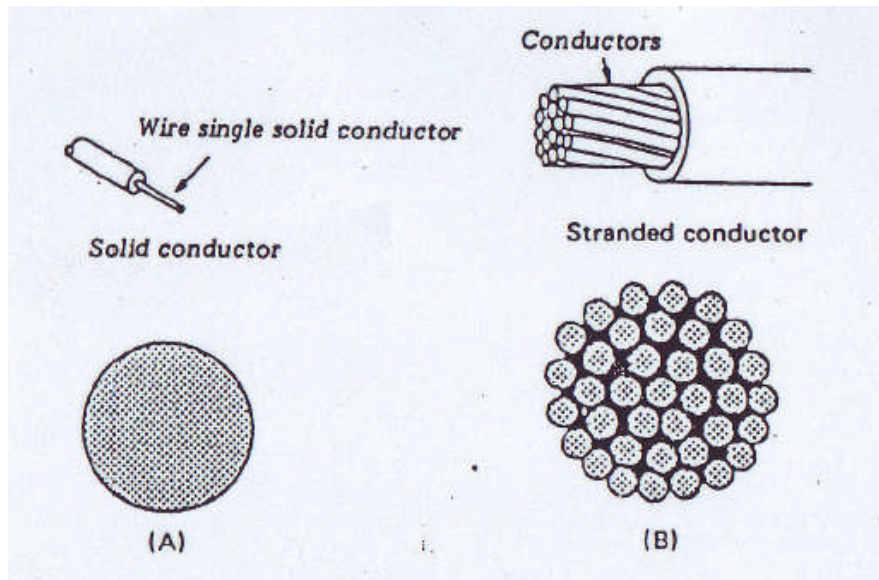
Pengertian:

Kawat

- Sebuah penghantar masif (single solid conductor) atau beberapa buah yang tergabung menjadi satu dan terbungkus oleh bahan isolasi.

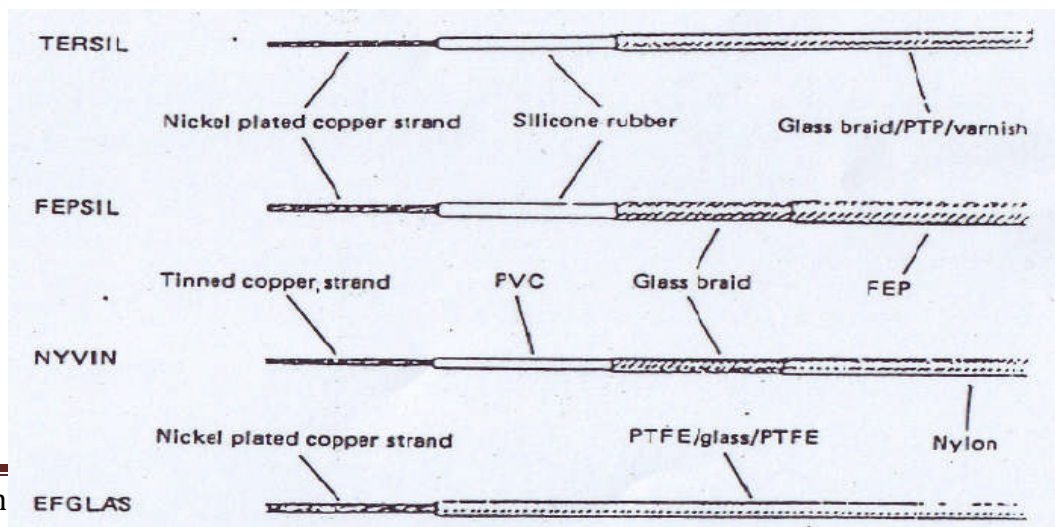
Kabel

- Penghantar listrik 2 atau lebih yang masing masing terbungkus bahan isolasi yang terpisah satu sama lainnya, kemudian bersama sama terbungkus isolasi (multi conductor cable).
- Penghantar listrik 2 atau lebih yang masing masing terbungkus bahan isolasi yang terpisah satu sama lainnya, kemudian dipilin bersama.



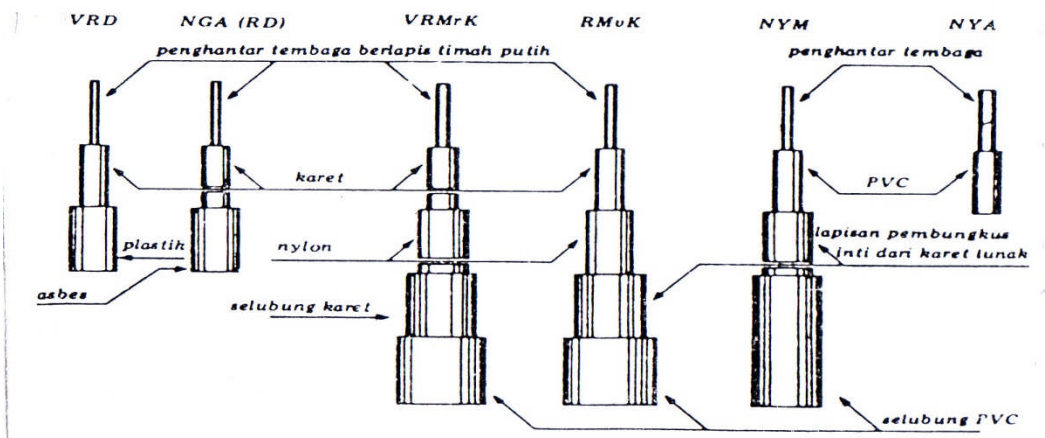
1.1.2. Type type kawat dan kabel

Kawat dan kabel dibuat dan dirancang sesuai dengan kondisi pemakaiannya. Tujuannya adalah untuk memperkecil bahaya yang timbul dan kerusakan terhadap kawat atau kabel tersebut. Tipe dari kabel berdasarkan atas bahan dan isolasinya seperti kabel kabel buatan inggris diantaranya "NYVIN" singkatan dari Nylon Polyvinyl Chloride (PVC), TERSIL singkatan dari (Tersilicon (polyester silicon), TRINIVIN dari kata Three Single Nyvin Cables dan METSHEAT dari kata Metal Braided Sheath. Gambar macam macam type kabel;



Jenis-jenis kabel dinyatakan dengan singkatan-singkatan, terdiri dari sejumlah huruf, dan kadang juga angka. Karena banyaknya jenis kabel yang ada sering tidak mudah untuk mengenali konstruksi suatu kabel hanya dari nama dan singkatannya saja tanpa keterangan tambahan, sekalipun nama singkatan itu disusun suatu sumber tertentu.

Kabel adalah panjang dari satu atau lebih inti penghantar (urat), baik yang berbentuk solid maupun serabut yang masing-masing dilengkapi dengan isolasinya sendiri dan membentuk suatu kesatuan. Lihat PUIL PASAL 110-113;110-K1 S/D K4 penyatuan atau penggabungan satu atau lebih inti-inti pada umumnya dilengkapi dengan selubung, atau mantel pelindung. Lihat gambar dibawah ini:



Gambar 4.2 Gambar 4.1 Gambar 4.6 Gambar 4.5 Gambar 4.4 Gambar 4.3

Gambar 1.5 KABEL

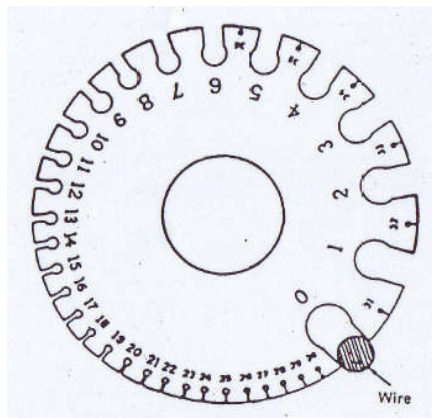
Dengan demikian ada tiga hal pokok dari kabel yaitu:

1. konduktor atau penghantar merupakan media untuk menghantarkan listrik
2. isolasi merupakan bahan dielektrik untuk mengisolir dari yang satu terhadap yang lain dan juga terhadap lingkungan-lingkungannya.
3. pelindung luar memberikan perlindungan terhadap kerusakan mekanis, pengaruh bahan kimia, elektrolisis, api atau gangguan dari pengaruh-pengaruh lainnya yang merugikan

1.1.3. Ukuran kawat dan kabel

Kawat atau kabel listrik dibuat seperti ketetapan ukuran seperti ketetapan AWG (American Wire Gage).dengna membesarnya ukuran diameter kawat atau kabel nomer ukurannya mengecil atau sebaliknya.

Gambar alat untuk menentukan ukuran kawat atau kabel:



Kawat atau kabel yang akan diukur dimasukanke dalam celah (slot) dengan syarat dapat bebas bergerak radial tanpa dipaksa, ukuran kawat atau kabel tersebut tertera pada slot.

Tabel ukuran kawat

Cross section			Ohm per 1,000 ft		
Gage Number	Diameter (mils)	Circular mils	Square inches	25° C (77°f)	65° C (149° f)
0000	460.0	212.000.0	0.166	0.0500	0.0577
000	410.0	168.000.0	0.132	0.0630	0.0727
00	365.0	133.000.0	0.105	0.0795	0.0917
0	325.0	106.000.0	0.0829	0.100	0.116
1	289.0	83.700.0	0.0657	0.126	0.146
2	258.0	66.400.0	0.0521	0.159	0.184
3	229.0	52.600.0	0.0413	0.201	0.232
4	204.0	41.700.0	0.0328	0.253	0.292
5	182.0	33.100.0	0.0260	0.319	0.369
6	162.0	26.300.0	0.0206	0.403	0.465
7	144.0	20.800.0	0.0164	0.508	0.586
8	128.0	16.500.0	0.0130	0.641	0.739
9	114.0	13.100.0	0.0103	0.080	0.932
10	102.0	10.400.0	0.00815	1.02	1.18
11	91.0	8.230.0	0.00647	1.28	1.48
12	81.0	6.530.0	0.00513	1.62	1.87
13	72.0	5.180.0	0.00407	2.04	2.36
14	64.0	4.110.0	0.00323	2.58	2.97
15	57.0	3.260.0	0.00256	3.25	3.75
16	51.0	2.580.0	0.00203	4.09	4.73
17	45.0	2.050.0	0.00161	5.16	5.96
18	40.0	1.620.0	0.00128	6.51	7.51
19	36.0	1.290.0	0.00101	8.21	9.48
20	32.0	1.020.0	0.000802	10.4	11.9

21	28.5	810.0	0.000636	13.1	15.1
22	25.3	642.0	0.000505	16.5	19.0
23	22.6	506.0	0.000400	20.8	24.0
24	20.1	404.0	0.000317	26.2	30.2
25	17.9	320.0	0.000252	33.0	38.1
26	15.9	254.0	0.000200	41.6	38.0
27	14.2	202.0	0.000158	52.5	60.6
28	12.6	160.0	0.000126	66.2	76.4
29	11.3	127.0	0.0000995	83.4	96.3
30	10.0	101.0	0.0000789	105.0	121.0
31	8.9	79.7	0.0000626	133.0	153.0
32	8.0	63.2	0.0000496	167.0	193.0
33	7.1	50.1	0.0000394	211.0	243.0
34	6.3	39.8	0.0000312	266.0	307.0
35	5.6	31.5	0.0000248	335.0	387.0
36	5.0	25.0	0.0000196	324.0	488.0
37	4.5	19.8	0.0000156	533.0	616.0
38	4.0	15.7	0.0000123	673.0	776.0
39	3.5	12.5	0.0000098	848.0	979.0
40	3.1	9.9	0.0000078	1.070.0	1.230.0

1.1.4. Faktor faktor dalam memilih ukuran kawat

Beberapa faktor pertimbangan dalam memilih ukuran kawat untuk transmisi dan distribusi tenaga listrik:

1. kehilangan atau kerugian tenaga (Power Loss), yang dirubah menjadi panas dalam kawat karena adanya tahanan kawat itu sendiri.

Besarnya power loss = I^2R .

Pemakaian kawat dengan ukuran besar, harga tahanan akan mengecil sehingga tenaga yang hilang diperkecil.

2. Kerugian tegangan. Tegangan listrik dari sumber akan turun disebabkan karena adanya pemakaian arus pada beban. Pemakaian arus menyebabkan adanya kehilangan / kerugian tegangan (I.R drop)
3. Batasan kuat arus yang boleh dialirkan pada kawat agar tidak menimbulkan panas yang berlebihan (kritis), dimana panas tersebut akan merusak bahan isolasi.

1.1.5. Faktor faktor dalam memilih bahan penghantar

Perak (silver) adalah bahan yang terbaik untuk penghantar tetapi bahan tersebut terlalu mahal. Bahan penghantar yang biasa digunakan adalah tembaga (copper) atau alumunium. Kedua bahan tersebut memiliki perbedaan sifat serta mempunyai keuntungan dan kerugian. Tembaga sifatn penghantarnya lebih baik dibanding alumunium, mudah dibentuk, tegangan tariknya tinggi, mudah disolder tetapi lebih berat dan lebih mahal dibanding alumunium.

Daya hantar alumunium adalah 60% daripada tembaga, sedang beratnya lebih ringan daripada tembaga. Untuk keperluan pengkabelan (wiring) yang memerlukan diameter besar digunakan kawat dari alumunium untuk mengurangi berat dan corona yang ditimbulkan oleh arus listrik potensial tinggi

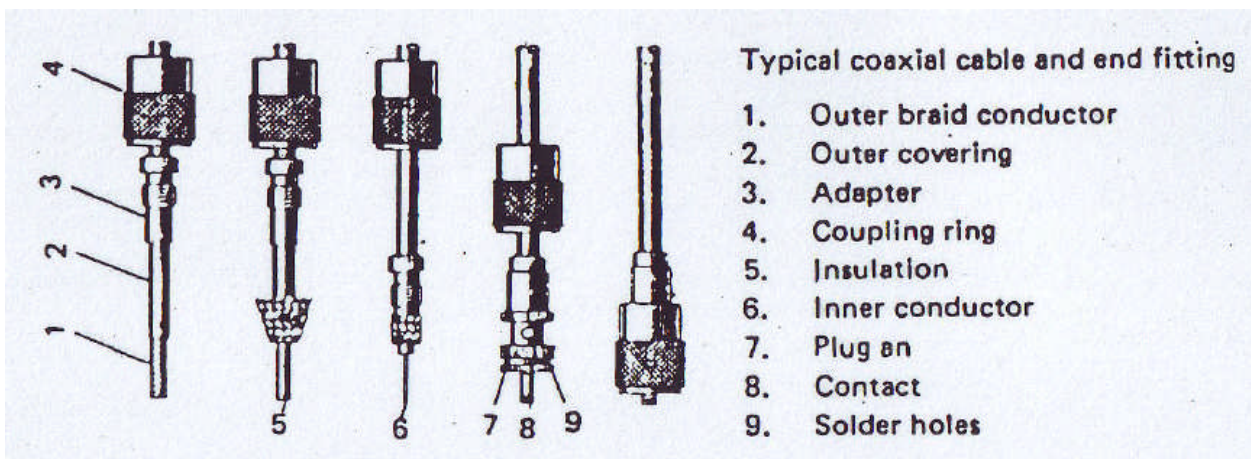
1.1.6. Kerugian tegangan (voltage drop) didalam kawat dan kabel

kerugian tegangan (voltage drop) yang diperbolehkan dalam sistem kabel antara sumber arus dan busbar, tidak boleh lebih dari 2% dari tegangan arus listrik generator yang besarnya telah diatur atau arus listrik dari baterai dalam kurun waktu 5 menit.

Tabel dibawah menunjukkan kerugian tegangan maksimum yang diperbolehkan didalam sirkuit menurut sifat operasinya.

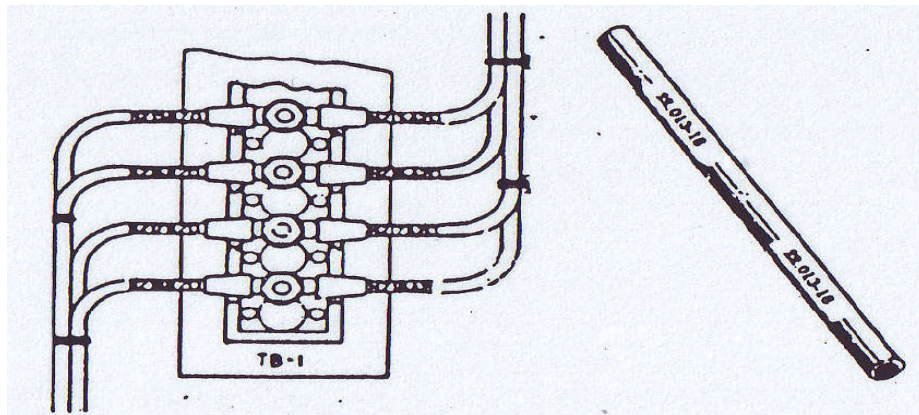
Nominal sistem voltage	Continuous operation	Intermittent operation
14	0.5	1
28	1	2
115	4	8
200	7	14

Gambar Cara instalasi coaxial kabel dengan alat penghubung



1.1.7. Tanda tanda kabel

Untuk keperluan instalasi dan perawatan, semua kabel diberi tanda dengan huruf dan angka pada jarak tertentu dengan tinta yang tidak dapat terhapus dan warna yang kontras dengan warna isolasinya. Contoh penandaan kabel pada pesawat terbang:



Keterangan:

keterangan	Simbol
AC Power	X
De-icing dan anti Icing	D
Engine control	K
Engin instrument	E
Flight control	C
Flight Instrument	F
Fuel and Oil	Q
Ground network	N
Heating and ventilating	H
Ignition	J
Inverter control	V
Lighting	L

Miscellaneous	M
Power	P
Radio navigation and komunikasi	R
Warning devices	W

Apabila di kabel tertulis : 2 P 281 C 20 N

- Tanda urutan pertama (2), menunjukkan bahwa mesin tersebut memiliki hubungan dengan mesin no 2
- Tanda urutan huruf ke dua (P), menunjukkan sistem yaitu Elektrik Power System
- Tanda angka urutan ke tiga (281), menunjukkan nomor kawat
- Tanda huruf urutan ke empat (C), menunjukkan dibagian mana kawa tersebut dihubungkan
- Tanda angka urutan ke lima (20), menunjukkan ukuran kawat
- Tanda huruf urutan ke enam (N), menunjukkan hubungan ke ground (disini dibubuhkan apabila kawat tersebut dihubungkan ke ground).

2. BAHAN PENGHANTAR (INTI) KABEL

Penghantar (inti) kabel biasanya terbuat dari bahan tembaga, baja, dan aluminium. Dalam kabel-kabel PVC terdapat penghantar-penghantar concentric yang berfungsi sebagai kawat netral yang digroundkan atau penghantar pengaman (PE dan PEN) dan juga sebagai pengaman kejut. Penghantar-penghantar concentric biasanya terletak dibawah selubung plastik kabel PVC, untuk melindungi dari karat akibat pengaruh lingkungan.

Dalam pemasangan instalasi listrik umumnya digunakan penghantar dari bahan tembaga (Cu) atau aluminium (Al) dan yang kemurniannya sekurang-kurangnya 99,9%. Tahanan jenis tembaga lunak atau penghantar listrik telah dibakukan secara internasional tidak boleh melebihi $0,017241 \text{ ohm mm}^2 / \text{m}$ dalam temperatur 20°C . Sedangkan aluminium mempunyai tahanan jenis secara baku tidak boleh melebihi $0,028264 \text{ ohm mm}^2 / \text{m}$.

Namun berat penghantar aluminium dan tembaga pada suhu 20°C dengan perbandingan masing-masing 2,7 dan 8,9. Untuk itu, konstruksi jaringan dengan menggunakan penghantar tembaga tentu harus lebih kokoh. Namun bila diperhatikan diameter aluminium lebih besar 28% dari tembaga akan diperlukan isolasi yang lebih besar dibandingkan dengan tembaga. Selain itu dalam sistem penyambungan dengan konduktor aluminium lebih sukar dibanding dengan tembaga.

Dari pertimbangan diatas, bahwa untuk hantaran saluran udara lebih menguntungkan menggunakan konduktor aluminium dibanding dengan tembaga karena pertimbangan berat dan tidak diperlukan isolasi kabel sehingga konstruksi jaringannya akan lebih murah.

2.2.1 Konsep dasar ilmu polimer

MAKROMOLEKUL adalah molekul raksasa (giant) dimana paling sedikit seribu atom terikat bersama oleh ikatan kovalen. Makromolekul ini mungkin rantai linear, bercabang, atau jaringan tiga dimensi.

Makromolekul dibagi atas dua material yaitu

1. Material biologis (makromolekul alam)

Contoh : karet alam, wool, selulosa, sutera dan asbes

2. Material non biologis (makromolekul sintetik)

Contoh : plastik, serat sintetik, elastomer sintetik

Material biologis dapat menunjang tersediaanya pangan dan dibahas dalam biokimia sedang material non biologis mencakup bahan sintetik. Banyak makromolekul sintetik memiliki struktur yang relatif sederhana, karena mereka terdiri dari unit ulangan yang identik (unit struktural). Inilah sebabnya mereka disebut polimer.

Polimer sangat penting karena dapat menunjang tersedianya pangan, sandang, transportasi dan komunikasi (serat optik). Saat ini polimer telah berkembang pesat. Berdasarkan kegunaannya polimer digolongkan atas :

a. Polimer komersial (commodity polymers)

Polimer ini dihasilkan di negara berkembang, harganya murah dan banyak dipakai dalam kehidupan sehari hari. Kegunaan sehari-hari dari polimer ini ditunjukkan dalam tabel 1.1

Contoh : Polietilen (PE), polipropilen (PP), polistirena (PS), polivinilklorida (PVC), melamin formaldehid

Tabel 1.1 Contoh dan kegunaan polimer komersial

Polimer komersial	Kegunaan atau manfaat
Polietilena massa jenis rendah(LDPE)	Lapisan pengemas, isolasi kawat, dan kabel, barang mainan, botol yang lentur, bahan pelapis
Polietilena massa jenis rendah(HDPE)	Botol, drum, pipa, saluran, lembaran, film, isolasi kawat dan kabel
Polipropilena (PP)	Tali, anyaman, karpet, film
Poli(vinil klorida) (PVC)	Bahan bangunan, pipa tegar, bahan untuk lantai, isolasi kawat dan kabel
Polistirena (PS)	Bahan pengemas (busa), perabotan rumah, barang mainan

b. Polimer teknik (engineering polymers)

Polimer ini sebagian dihasilkan di negara berkembang dan sebagian lagi di negara maju. Polimer ini cukup mahal dan canggih dengan sifat mekanik yang unggul dan daya tahan yang lebih baik. Polimer ini banyak dipakai dalam bidang transportasi (mobil, truk, kapal udara), bahan bangunan (pipa ledeng), barang-barang listrik dan elektronik (mesin bisnis, komputer), mesin-mesin industri dan barang-barang konsumsi

Contoh : Nylon, polikarbonat, polisulfon, poliester

c. Polimer fungsional (functional polymers)

Polimer ini dihasilkan dan dikembangkan di negara maju dan dibuat untuk tujuan khusus dengan produksinya dalam skala kecil

Contoh : kevlar, nomex, textura, polimer penghantar arus dan foton, polimer peka cahaya, membran, biopolimer

2.2.2 Definisi dan tata nama (nomenklatur)

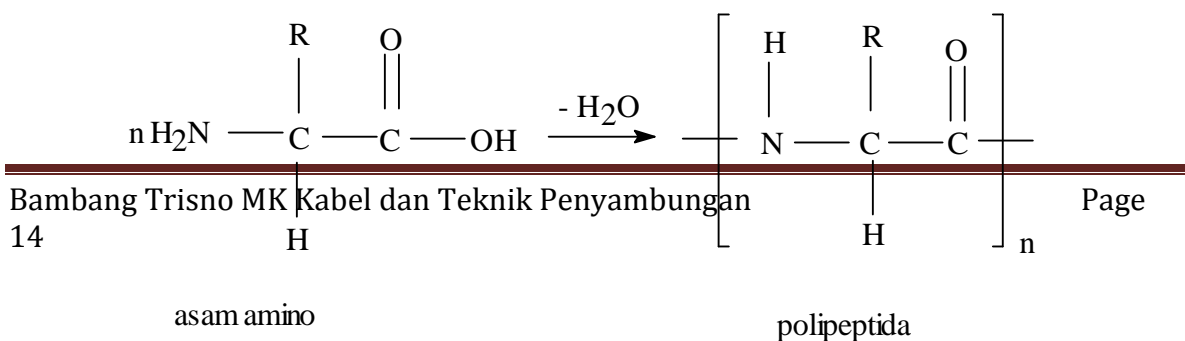
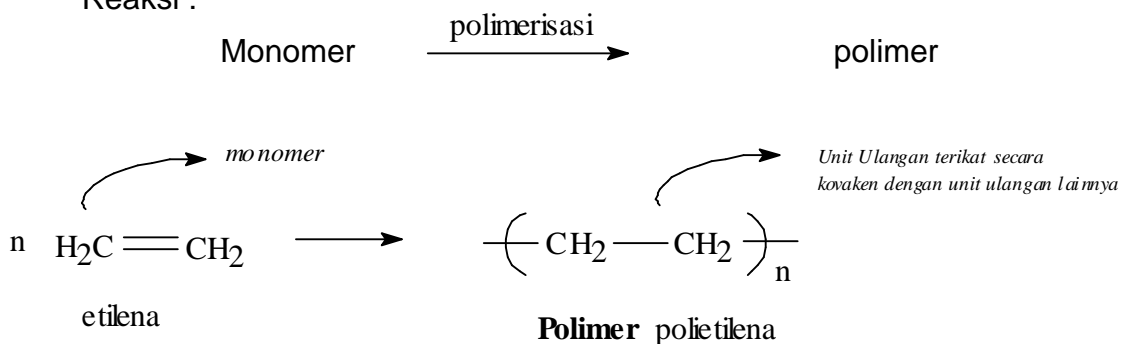
□ **Polimer**

Molekul besar (makromolekul) yang terbangun oleh susunan unit ulangan kimia yang kecil, sederhana dan terikat oleh ikatan kovalen. Unit ulangan ini biasanya setara atau hampir setara dengan monomer yaitu bahan awal dari polimer.

□ **Monomer**

Sebarang zat yang dapat dikonversi menjadi suatu polimer. Untuk contoh, etilena adalah monomer yang dapat dipolimerisasi menjadi polietilena (lihat reaksi berikut). Asam amino termasuk monomer juga, yang dapat dipolimerisasi menjadi polipeptida dengan pelepasan air

Reaksi :



Unit ulangan dapat memiliki struktur linear atau bercabang. Unit ulangan bercabang dapat membentuk polimer jaringan tiga dimensi. Tabel 1.2 menunjukkan beberapa contoh polimer, monomer, dan unit ulangannya.

Tabel 1.2 Polimer, monomer, dan unit ulangannya

Polimer	Monomer	unit ulangan
Polietilena	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	$-\text{CH}_2\text{CH}_2-$
poli(vinil klorida)	$\text{CH}_2 = \text{CHCl}$	$-\text{CH}_2\text{CHCl}-$
Poliisobutilena	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 = \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2 - \text{C} - \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
polistirena	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$
Polikaprolaktam (nylon-6)	$\begin{array}{c} \text{H} - \text{N}(\text{CH}_2)_5\text{C} - \text{OH} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} - \text{N}(\text{CH}_2)_5\text{C} - \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{O} \end{array}$

Poliisoprena (karet alam)	$\text{CH}_2 = \text{CH} - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH}_2$	$- \text{CH}_2\text{CH} = \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} - \text{CH}_2 -$

2.2.3 Tata nama (nomenklatur)

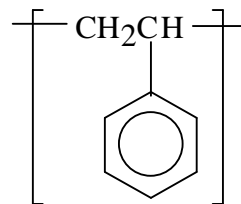
Jumlah yang sangat besar dari struktur polimer menuntut adanya sistem tata nama yang masuk akal. Berikut ini adalah aturan pemberian nama **polimer vinil** yang didasarkan atas *nama monomer* (nama sumber atau umum), *taktisitas* dan *isomer* :

- Nama monomer satu kata :

Ditandai dengan melekatkan awalan poli pada nama monomer

Contoh :

Polistirena



polietilena



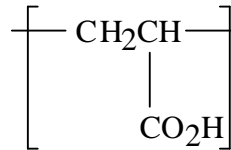
Politetrafluoroetilena
(teflon, merk dari du Pont)



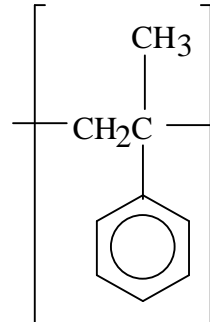
- Nama monomer lebih dari satu kata atau didahului sebuah huruf atau angka
Nama monomer diletakkan dalam kurung diawali poli

Contoh :

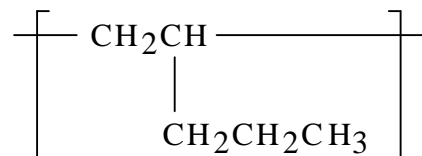
Poli(asam akrilat)



Poli(α -metil stirena)



Poli(1-pentena)

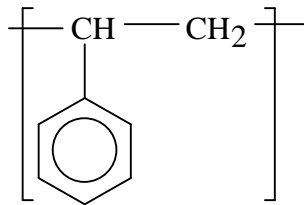


- Untuk taktisitas polimer
 - diawali huruf *i* untuk isotaktik atau *s* (sindiotaktik) sebelum poliContoh : *i*-polistirena (polimer polistirena dengan taktisitas isotaktik)

- Untuk isomer struktural dan geometrik
 - Ditunjukkan dengan menggunakan awalan *cis* atau *trans* dan 1,2- atau 1,4- sebelum poliContoh : *trans*-1,4-poli(1,3-butadiena)

IUPAC merekomendasikan nama polimer diturunkan dari struktur unit dasar, atau unit ulang konstitusi (CRU singkatan dari constitutional repeating unit) melalui tahapan sebagai berikut :

1. Pengidentifikasian unit struktural terkecil (CRU)
2. Sub unit CRU ditetapkan prioritasnya berdasarkan titik pengikatan dan ditulis prioritasnya menurun dari kiri ke kanan (lihat penulisan nama polistirena)



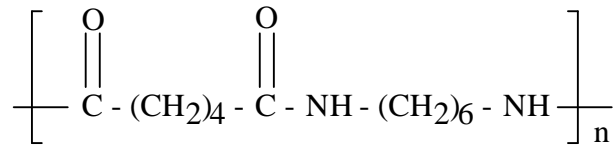
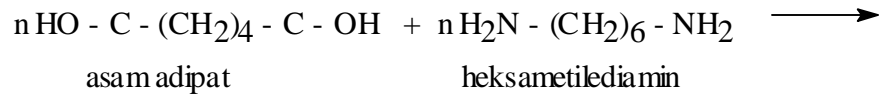
3. Substituen-substituen diberi nomor dari kiri ke kanan
4. Nama CRU diletakkan dalam kurung biasa (atau kurung siku dan kurung biasa kalau perlu), dan diawali dengan **poli**

Tabel 1.3 Contoh pemberian beberapa nama polimer menurut *sumber monomernya* dan *IUPAC*

Nama Sumber	Nama IUPAC
Poli(etilena)	Poli(metilena)
Politetrafluoroetilena	Poli(difluorometilena)
Polistirena	Poli(1-feniletilena)
Poli(asam akrilat)	Poli(1-karboksilatoetilena)
Poli(α -metilstirena)	Poli(1-metil-1-feniletilena)
Poli(1-pentena)	Poli[1-(1-propil)etilena]

Untuk tata nama polimer non vinil seperti polimer kondensasi umumnya lebih rumit daripada polimer vinil. Polimer polimer ini biasanya dinamai sesuai dengan *monomer mula-mula* atau *gugus fungsional dari unit ulangan*.

Contoh : nylon, umumnya disebut nylon-6,6 (66 atau 6/6), lebih deskriptif disebut poli(heksametilen adipamida) yang menunjukkan poliamidasi heksametilendiamin (disebut juga 1,6-heksan diamin) dengan asam adipat. Lihat gambar berikut



nylon-6,6

Mengikuti rekomendasi IUPAC, kopolimer (polimer yang diturunkan dari lebih satu jenis monomer) dinamai dengan cara menggabungkan istilah konektif yang ditulis miring antara nama nama monomer yang dimasukkan dalam kurung atau antara dua atau lebih nama polimer. Istilah konektif menandai jenis kopolimer sebagaimana enam kelas kopolimer yang ditunjukkan dalam tabel 1.4 berikut

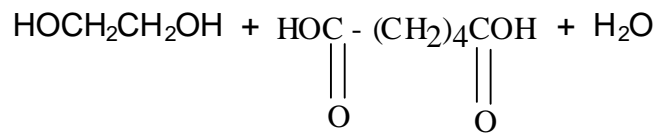
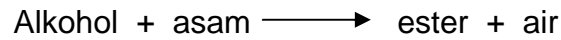
Tabel 1.4 Berbagai jenis kopolimer

Jenis kopolimer	Konektif	Contoh
Tak dikhususkan	- <i>co</i> -	Poli[stirena- <i>co</i> -(metil metakrilat)]
Statistik	- <i>stat</i> -	Poli(stirena- <i>stat</i> -butadiena)
Random/acak	- <i>ran</i> -	Poli[etilen- <i>ran</i> -(vinil asetat)]
Alternating (bergantian)	- <i>alt</i> -	Poli(stirena- <i>alt</i> -(maleat anhidrida)]
Blok	- <i>blok</i> -	Polistirena- <i>blok</i> -polibutadiena
Graft (cangkok/tempel)	- <i>graft</i> -	Polibutadiena- <i>graft</i> -polistirena

2.2.4 Proses polimerisasi

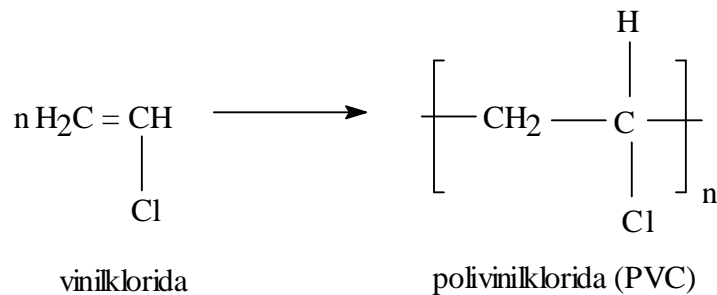
Polimerisasi kondensasi adalah polimerisasi yang disertai dengan pembentukan molekul kecil (H_2O , NH_3).

Contoh :



Polimerisasi adisi adalah polimerisasi yang disertai dengan pemutusan ikatan rangkap diikuti oleh adisi monomer.

Contoh :



2.2.5 Klasifikasi polimer

Polimer dapat diklasifikasikan atas dasar asalnya (sumbernya), dan strukturnya.

a. Asal atau sumbernya

1. Polimer Alam :

- tumbuhan : karet alam, selulosa
- hewan : wool, sutera
- mineral

2. Polimer Sintetik :

- hasil polimerisasi kondensasi
- hasil polimerisasi adisi

b. Struktur

Berdasarkan strukturnya polimer dibedakan atas :

1. Polimer linear

Polimer linear terdiri dari rantai panjang atom-atom skeletal yang dapat mengikat gugus substituen. Polimer ini biasanya dapat larut dalam beberapa pelarut, dan dalam keadaan padat pada temperatur normal. Polimer ini terdapat sebagai elastomer, bahan yang fleksibel (lentur) atau termoplastik seperti gelas).

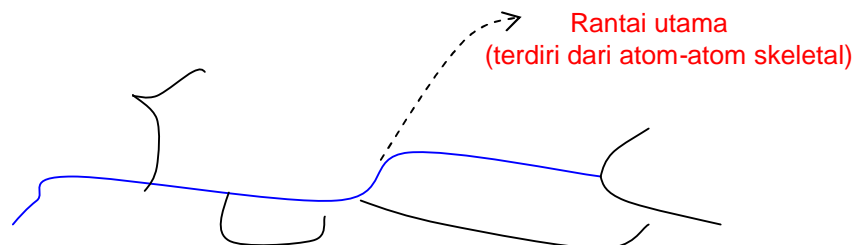


Contoh :

Polietilena, poli(vinil klorida) atau PVC, poli(metil metakrilat) (juga dikenal sebagai PMMA, Lucite, Plexiglas, atau perspex), poliakrilonitril (orlon atau creslan) dan nylon 66

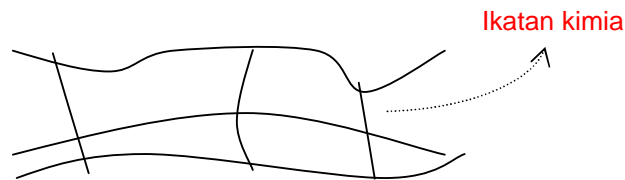
2. Polimer bercabang

Polimer bercabang dapat divisualisasi sebagai polimer linear dengan percabangan pada struktur dasar yang sama sebagai rantai utama. Struktur polimer bercabang diilustrasikan sebagai berikut



3. Polimer jaringan tiga dimensi (three-dimension network)

Polimer jaringan tiga dimensi adalah polimer dengan ikatan kimianya terdapat antara rantai, seperti digambarkan pada gambar berikut. Bahan ini biasanya di"swell" (digembungkan) oleh pelarut tetapi tidak sampai larut. Ketaklarutan ini dapat digunakan sebagai kriteria dari struktur jaringan. Makin besar persen sambung-silang (cross-links) makin kecil jumlah penggembungannya (swelling). Jika derajat sambung-silang cukup tinggi, polimer dapat menjadi kaku, titik leleh tinggi, padat yang tak dapat digembungkan, misalnya intan (diamond).



Polimer linear dan bercabang memiliki sifat :

1. Lentur
2. Berat Molekul relatif kecil
3. Termoplastik

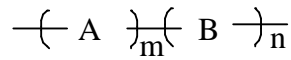
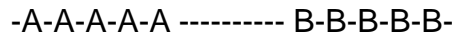
2.2.6 Kopolimer

Kopolimer adalah suatu polimer yang dibuat dari dua atau lebih monomer yang berlainan. Berikut ini adalah jenis jenis kopolimer yang terbentuk dari monomer pertama (A) dan monomer ke dua (B).

Jenis kopolimer :

1. Kopolimer blok

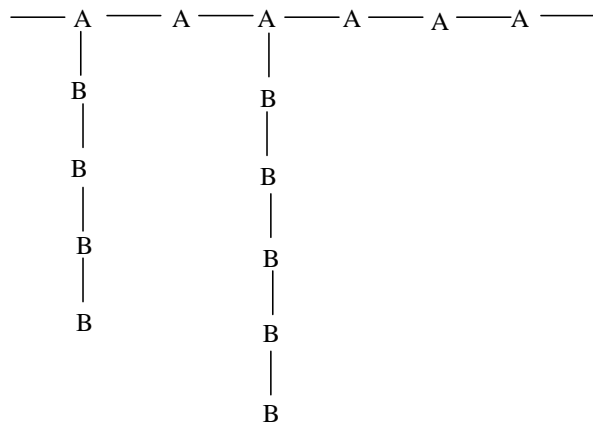
Kopolimer blok mengandung blok dari satu monomer yang dihubungkan dengan blok monomer yang lain. Kopolimer blok biasanya terbentuk melalui proses polimerisasi ionik. Untuk polimer ini, dua sifat fisik yang khas yang dimiliki dua homopolimer tetap terjaga.



Poli(A-b-B)

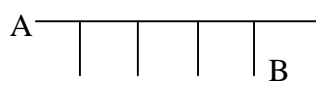
2. *Kopolimer graft* (tempel/cangkok)

Kopolimer graft biasanya dibuat dengan mengikatkan bersama dua polimer yang berbeda. Untuk contoh, homopolimer yang diturunkan dari monomer A dapat diinduksi untuk bereaksi dengan homopolimer yang diturunkan dari monomer B untuk menghasilkan kopolimer graft, yang ditunjukkan pada gambar berikut

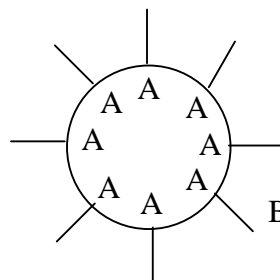


Poli(A-g-B)

Perkembangan selanjutnya ada yang berbentuk kopolimer sisir (comb copolymer) dan bintang (star copolymer).



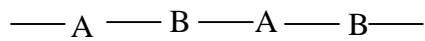
kopolimer sisir



kopolimer bintang

3. Kopolimer bergantian (alternating)

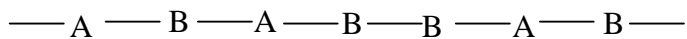
Kopolimer yang teratur yang mengandung sequensial (deretan) bergantian dua unit monomer. Polimerisasi olefin yang terjadi lewat mekanisme jenis ionik dapat menghasilkan kopolimer jenis ini.



Poli(A-alt-B)

4. Kopolimer Acak

Dalam kopolimer acak, tidak ada sequensial yang teratur. Kopolimer acak sering terbentuk jika jenis monomer olefin mengalami kopolimerisasi lewat proses jenis radikal bebas. Sifat kopolimer acak sungguh berbeda dari homopolimernya.



poli(A-co-B)

2.2.7 Berat molekular dan distribusi berat molekular

Berat molekular polimer merupakan salah satu sifat yang khas bagi polimer yang penting untuk ditentukan. Berat molekular (BM) polimer merupakan harga rata-rata dan jenisnya beragam yang akan dijelaskan kemudian. Dengan mengetahui BM kita dapat memetik beberapa manfaat.

1. Manfaat berat molekular rata-rata polimer

- Menentukan aplikasi polimer tersebut
- Sebagai indikator dalam sintesa dan proses pembuatan produk polimer

- Studi kinetika reaksi polimerisasi
- Studi ketahanan produk polimer dan efek cuaca terhadap kualitas produk

2 Sifat dan konsep Berat Molekular polimer

Hal yang membedakan polimer dengan spesies berat molekul rendah adalah adanya distribusi panjang rantai dan untuk itu derajat polimerisasi dan berat molekul dalam semua polimer yang diketahui juga terdistribusi (kecuali beberapa makromolekul biologis). Distribusi ini dapat digambarkan dengan Mem"plot" berat polimer (BM diberikan) lawan BM, seperti terlihat pada gambar 1.1.

Panjang rantai polimer ditentukan oleh jumlah unit ulangan dalam rantai, yang disebut derajat polimerisasi (\overline{DP}_n). Berat molekul polimer adalah hasil kali berat molekul unit ulangan \overline{M}_0 dan \overline{DP}_n .

$$\overline{M}_n = \overline{DP}_n \cdot M_0$$

\overline{M}_n = berat molekul rata-rata polimer

M_0 = berat molekul unit ulangan (sama dengan berat molekul monomer)

DP = derajat polimerisasi

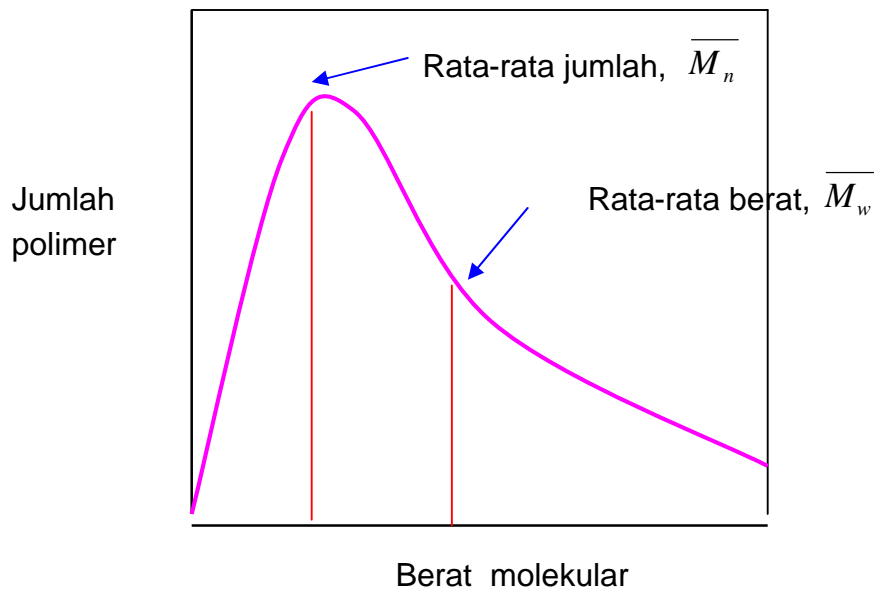
Contoh : polimer poli(vinil klorida), PVC memiliki $DP = 1000$ maka berat molekulnya (M_n) adalah

$$M_n = DP \times M_0$$

$$M_0 (-CH_2CHCl-) = 63, \quad DP = 1000$$

$$M_n = 63 \times 1000$$

$$= 63000.$$



Gambar 1.1 Distribusi berat molekular dari suatu jenis polimer

Karena adanya distribusi dalam sampel polimer, pengukuran eksperimental berat molekular dapat memberikan hanya harga rata-rata. Beberapa rata-rata yang berlainan adalah penting. Untuk contoh, beberapa metoda pengukuran berat molekular perlu perhitungan jumlah molekul dalam massa material yang diketahui. Melalui pengetahuan bilangan Avogadro, informasi ini membimbing ke berat molekular rata-rata jumlah \overline{M}_n sampel. Untuk polimer sejenis, rata-rata jumlah terletak dekat puncak kurva distribusi berat atau berat molekular paling boleh jadi (the most probable molecular weight). Jika sampel mengandung N_i molekul jenis ke i , untuk jumlah total molekul $\sum_{i=1}^{\infty} N_i$ dan setiap jenis molekul ke i memiliki massa m_i , maka massa total semua molekul adalah $\sum_{i=1}^{\infty} N_i m_i$. Massa molekular rata-rata jumlah adalah

$$\overline{m}_i = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} m_i N_i}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i} \quad (1-1)$$

dan perkalian dengan bilangan Avogadro memberikan berat molekul rata-rata jumlah (berat mol) :

$$\bar{M}_n = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} M_i N_i}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i} \quad (1-2)$$

Berat molekular rata-rata jumlah dari polimer komersial biasanya terletak dalam kisaran 10000 – 100000. Setelah berat molekular rata-rata jumlah \bar{M}_n , berat molekular rata-rata berat \bar{M}_w . Besaran ini didefinisikan sebagai berikut

$$\bar{M}_w = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i^2}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i} \quad (1-3)$$

Seharusnya dicatat bahwa setiap molekul menyumbang kepada \bar{M}_w yang sebanding dengan kuadrat massanya. Besaran yang sebanding dengan pangkat pertama dari M mengukur hanya konsentrasi dan bukan berat molekularnya. Dalam istilah konsentrasi $c_i = N_i M_i$ dan fraksi berat $w_i = c_i/c$, dimana $c = \sum_{i=1}^{\infty} c_i$,

$$\bar{M}_w = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} c_i M_i}{c} = \sum_{i=1}^{\infty} w_i M_i \quad (1-4)$$

Karena molekul yang lebih berat menyumbang lebih besar kepada \bar{M}_w daripada yang ringan, \bar{M}_w selalu lebih besar daripada \bar{M}_n , kecuali untuk polimer monodispers hipotetik. Harga \bar{M}_w terpengaruh sekali oleh adanya spesies berat

molekul tinggi, sedangkan \bar{M}_n dipengaruhi oleh spesies pada ujung rendah dari kurva distribusi BM .

Besaran indeks dispersitas, $I = \frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n}$ adalah ukuran yang bermanfaat dari lebarnya kurva distribusi berat molekular dan merupakan parameter yang sering digunakan untuk menggambarkan situasi (lebar kurva distribusi) ini. Kisaran harga $I = \frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n}$ dalam polimer sintetik sungguh besar, sebagaimana diilustrasikan dalam tabel 1.5.

Tabel 1.5 Kisaran indeks polidispersitas (I) berbagai macam polimer

Polimer	Kisaran I
Polimer monodispers hipotetik	1,00
Polimer "living" monodispers nyata	1,01 – 1,05
Polimer adisi, terminasi secara <i>coupling</i>	1,5
Polimer adisi, terminasi secara <i>disproporsionasi</i> , atau <i>polimer kondensasi</i>	2,0
Polimer vinil konversi tinggi	2 – 5
Polimer yang dibuat dengan autoakselerasi	5 – 10
Polimer adisi yang dibuat melalui polimerisasi koordinasi	8 – 30
Polimer bercabang	20 - 50

Pada umumnya berlaku hal berikut :

- $\bar{M}_n < \bar{M}_w < \bar{M}_v < \bar{M}_z$
- Bila distribusinya sempit maka $\bar{M}_n \cong \bar{M}_w$
- Bila distribusinya lebar maka $\bar{M}_n \ll \bar{M}_w$

- Indeks dispersitas (I)

$$I = \frac{\overline{M}_w}{\overline{M}_n}$$

1.2.3 Penentuan Berat molekular rata-rata

Berat molekular polimer dapat ditentukan dengan berbagai metoda. Metoda ini dapat disebutkan sebagai berikut :

- Analisis gugus fungsional secara fisik atau kimia
- Pengukuran sifat koligatif
- Hamburan cahaya
- Ultracentrifugasi
- Pengukuran viskositas larutan encer
- Gel Permeation chromatography



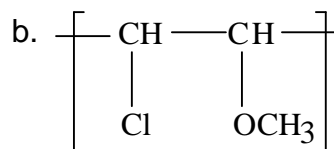
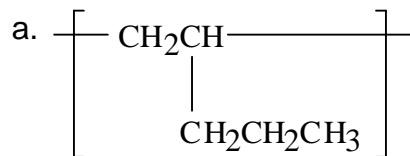
Metoda-metoda ini memiliki keunggulan dan keterbatasan dalam pemakaian. Beberapa dari metoda ini akan dijelaskan dalam bab tersendiri.

PERTANYAAN DAN SOAL-SOAL UNTUK LATIHAN

1. Tuliskan definisi singkat bagi istilah berikut :

- | | |
|-----------------------------------|--|
| a. Polimer | h. Kopolimer alternasi (selang-seling) |
| b. Monomer | i. Polimer sisir |
| c. Unit ulang | j. Plastik komoditi, teknik |
| d. Makromolekul | k. homopolimer |
| e. Jaringan 3-D | l. Monomer vinil |
| f. Derajat polimerisasi | m. Distribusi berat molekular polimer |
| g. Polimerisasi adisi, kondensasi | n. Indeks dispersitas |

2. Berapa \overline{DP}_n polistiren dengan berat molekul rata-rata 50000 dan poli(metil metakrilat) dengan berat molekul rata-rata 30000 ?
3. Tuliskan nama monomer dan struktur monomer serta berikan nama umum dan menurut IUPAC untuk polimer vinil berikut

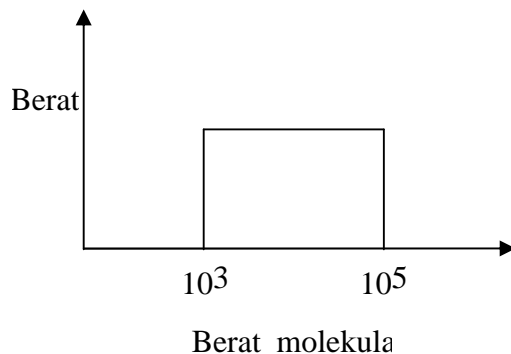


4. Berapa berat molekul rata-rata berat dan rata-rata jumlah dari sampel oligomer etilena yang terdiri dari 4 mol pentamer dan 8 mol heksamer ?
5. Suatu sampel polimer yang dibuat dari campuran tiga fraksi dengan massa molar 10000, 30000, dan 100000. Hitunglah \overline{M}_w dan \overline{M}_n untuk setiap campuran berikut
- Jumlah molekul (N) sama untuk setiap fraksi
 - Massa molekul (w) sama untuk setiap fraksi
 - Dua fraksi 10000 dan 100000 dicampur dalam rasio 0,145 (w_1) : 0,855 (w_2) (berdasar massa). Berikan komentar harga indeks dispersitas (I) untuk soal c!
6. Suatu sampel polistirena polidispers dibuat dengan mencampur *tiga sampel monodispers* dalam perbandingan sebagai berikut :

1 g	BM = 10.000
2 g	BM = 50.000
2 g	BM = 100.000

Dengan menggunakan informasi ini, tentukan : (a) BM rata-rata jumlah; (b) BM rata-rata berat; (c) BM rata-rata-z dari campuran.

7. Suatu polimer difraksinasi dan ditemukan memiliki distribusi berat molekul yang ditunjukkan di bawah ini. Untuk distribusi kontinu, hitunglah : (a) BM rata-rata jumlah; (b) BM rata-rata berat ; (c) BM rata-rata-z



8. Berapa berat molekular rata-rata jumlah dari polistirena yang diperoleh pada polimerisasi anionik yang sempurna (yaitu *living*), yang menggunakan 0,01 g *n*-butyllitium dan 10 g monomer stirena ? BM butyllitium dan stirena masing-masing adalah 64,06 dan 104,12.

9. Jelaskan manfaat yang dapat diperoleh dari data BM rata-rata polimer dan berikan contoh-contoh aplikasinya !

10. Jelaskan tentang klasifikasi polimer yang didasarkan pada asal atau sumber dan strukturnya dan berikan contoh-contohnya !

3. ISOLASI KABEL

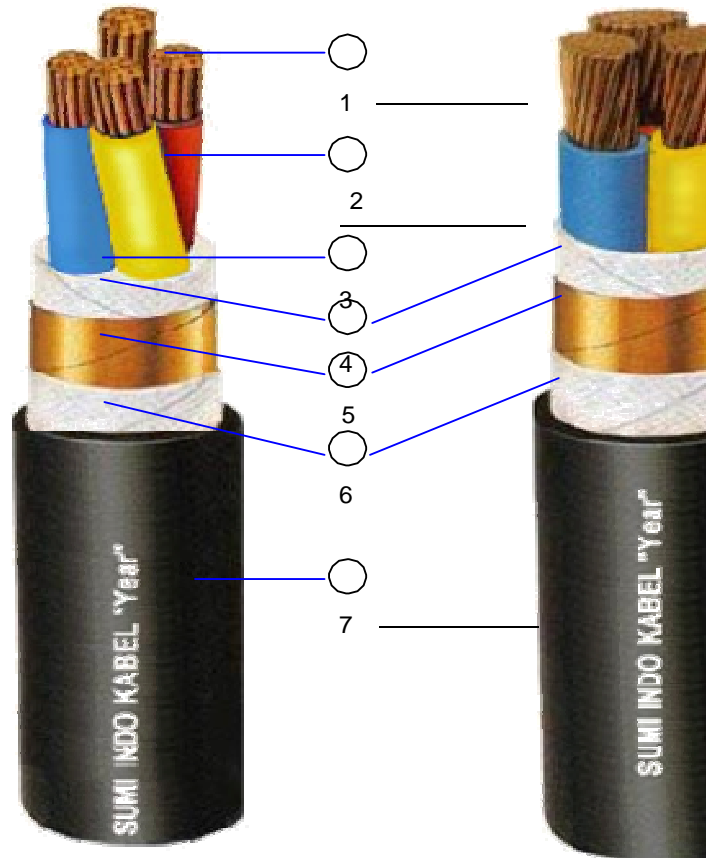
3.3.1 Bahan isolasi

Sifat-sifat dielektris yang penting untuk isolasi adalah: Tahanan isolasi yang tinggi, Kekuatan dielektris yang tinggi, Sifat mekanis yang baik, Tidak bereaksi terhadap asam dan lembab

Minyak Kabel dan Kompon

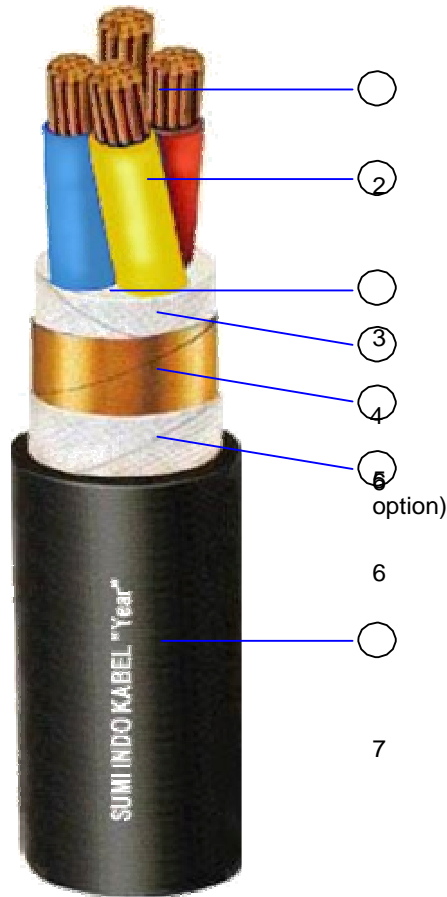
Mutu yang diinginkan adalah: Koefisien yang rendah, Kekentalan yang rendah pada suhu pencelupan (impregnasi), Kekentalan yang tinggi pada suhu kerja (hanya kabel padat), Titik beku dibawah suhu pelayanan, Agak bersifat melumasi, Koefisien suhu rendah dan ketahanan tinggi, Kekuatan dielektris tinggi, Mantap secara kimia dan bebas dari kandungan gas. Penyebab utama yang berkaitan dengan suhu atas kerusakan kabel adalah: Kemunduran isolasi kertas akibat suhu, Ketidakstabilan Termal Dielektris, Pembentukan kehampaan dan ionisasi, Kegagalan kelelahan dari sarung timbal.

Bahan isolasi yang digunakan dalam konduktor atau penghantar adalah bahan PVC (Polivinilclorida). Agar bahan ini fleksibel maka dicampur dengan bahan pelunak (plasticiser). Isolasi konduktor dengan bahan PVC tahan terhadap suhu sampai 70°C secara terus menerus dan ada juga kabel yang dibuat khusus isolasinya dengan ketahanan suhu 105°C. Beberapa bahan isolasi kabel dapat dilihat pada gambar



Constructions :

- ① Conductor (Annealed Copper)
- ② Insulation (PVC Compound)
- ③ Filler (Polypropylene yarn, or extruded filler up to request)
- ④ Binding tape (Manufacturer's option)
- ⑤ Copper Tape screen
- ⑥ Binding tape (Manufacturer's option)
- ⑦ Outer sheath (PVC Compound)



Constructions :

- ① Conductor (Annealed Copper)
- ② Insulation (XLPE Compound)
- ③ Filler (Polypropylene yarn, or extruded filler up to request)
- ④ Binding tape (Manufacturer's option)
- ⑤ Copper Tape screen
- ⑥ Binding tape (Manufacturer's option)
- ⑦ Outer sheath (PVC Compound)

Note : Special application upon request

- * Available product in accordance to : SPLN, ICEA/NEMA, AS standard or other requirement.
- * Flame retardant test acc to IEC 60332-3 Cat. A, B or C.
- * Anti termite performance.
- * Tin coated Copper conductor.
- * Copper wire screen.
- * Polyethylene / Low smoke Halogen Free sheathed

3.3.2 Selubung

Dalam isolasi kabel juga terdapat beberapa jenis selubung kabel diantaranya, sebagai berikut:

- Selubung plastik

Karena banyak kegunaan-kegunaan plastik PVC, yang tidak hanya digunakan sebagai bahan isolasi, tetapi digunakan sebagai bahan selubung kabel. Selubung PVC pada umumnya ditempatkan disekeliling inti bagian luar, untuk membentuk mantel pelindung yang baik di permukaan yang bersih dan halus. Selubung plastik digunakan pada kabel-kabel untuk instalasi tetap dan yang cukup lunak atau palstik-plastik yang fleksibel dengan kekuatan tarik yang ringan dan sedang. Kabel-kabel fleksibel ini digunakan untuk menghubungkan peralatan-peralatan rumah tangga.

- Selubung polymide dan polyurethane

Polymide dibuat dengan cara poly kondensasi yang terbuat dari asam karbon dan diamine atau asam amine. Polyurethane terbuat dari bahan socyanates atau polysocianates dan alkohol atau polyalkohol. Isolasi kabel dan isolasi fleksibel berada dibagian luar sebagai isolasi sehingga terkena tekanan mekanis, pengaruh kimia, minyak atau lainnya yang merusak sehingga dilindungi oleh polyamide atau polyurethane. Keuntungan dari bahan isolasi ini adalah dari segi mekanisnya baik sekali daya isolasinya tinggi, tahan minyak, katone, pelumas, ester, dan cholorinated rido carbon. Biasanya kabel-kabel yang menggunakan selubung jenis ini dipasang dilokasi pengeboran dan pengolahan minyak, instalasi pesawat terbang, dan untuk di lokasi yang mempunyai benturan yang besar dan tahan gores.

- Selubung karet

Karet digunakan untuk kabel fleksibel dan kabel senor juga untuk digunakan pada instalasi kapal bervariasi karet sintesis banyak digunakan untuk kebutuhan tertentu, contohnya: untuk lapisan tahan minyak pada nitril butadien (NER). Untuk lapisan tahan panas campuran pada karet silikon yang mempunyai isolasi tinggi, tahan lama, dan tahan terhadap cuaca sampai suhu 180°C dan 25°C bila digunakan terus menerus.

- Selubung logam

Bahan-bahan isolasi yang peka terhadap air adalah dilindungi oleh selubung logam, selubung logam terbuat dari timah hitam kemudian dibagian luar dilapisi PVC. Kabel-kabel yang menggunakan selubung timah hitam digunakan pada instalasi pompa bensin, ditempat yang terdapat bahaya api dan ditempat bahaya letusan.

Kabel-kabel yang berselubung aluminium atau seng, kabel jenis ini digunakan pada daerah yang terdapat getaran yang kuat seperti: jembatan dan sepanjang jalur kereta api, dsb. Untuk kabel-kabel yang penampangnya lebih besar 10 mm pada selubung logamnya boleh terjadi pengerutan dalam pembengkokkan yang lebih selama pekerjaan. Untuk melindungi selubung dari karat dilapisi dengan PVC dan bisa juga dilapisi dengan kertas yang dilapisi aspal dan dilapisi jute yang diimpregnasi permukaan yang paling luar dilapisi kapur atau bedak untuk menjaga terjadinya pelengketan pada saat menggulungnya.

- Amour

Amour melindungi kabel terhadap tekanan mekanis yang tinggi, amour biasanya terdiri dari kawat baja yang berbentuk plat. Amour adalah suatu kabel yang digroundkan untuk menghindari adanya tegangan sentuh yang tinggi, jika terdapat kebocoran isolasi pada kabel atau terjadi kerusakan mekanik.

3.3.3 Isolasi

Isolasi kabel tanah

Isolasi kabel tanah tegangan tinggi tidak saja berfungsi sebagai penyekat (isolator) atau pengaman, tetapi juga berfungsi sebagai pelengkap atau pendukung kerja transmisi tenaga listrik pada saluran kabel tanah itu sendiri. Isolasi kabel tanah umumnya terdiri dari jenis isolasi kertas, karena meresap minyak dan campuran biasanya digunakan pada kabel minyak isolasi sintesis dan isolasi mineral.

Isolasi kertas.

Kabel tanah berisolasi kertas dapat digunakan untuk tegangan tinggi sampai 400 KV, baik untuk kabel minyak bertekanan rendah (low pressure oilfilled– LPOF) yang terpadu dalam satu kabel (self contained) dan kabel berisolasi kertas yang dimasukan kedalam pipa, lalu diisi dengan minyak bertekanan tinggi (high pressure oil filed – LPOF).

Kertas sebagai isolasi dapat berupa kertas kering maupun kertas yang diresapi minyak. Pada saat dibuat dipabrik (oil impregnated paper), dimana kekuatan dielektrik kertas itu tergantung pada ketebalan, kepadatan ketahanan terhadap air (impermeabilitas), kekuatan tarik (tensile strength), kemuluran (elongation), permitivitas relative, faktor disipasi dan kekuatan tembus listriknya.

Peresapan kertas dengan minyak pada kabel tegangan tinggi (diatas 30 KV), dimaksudkan untuk menghindari agar serat-serat kertas tidak pecah karena terbentuknya kantong-kantong udara (void) atau gas dalam kertas isolasi yang dapat berkembang dan mengkerut menjadi bagian-bagian yang tidak sama, dengan bertambahnya panas pada siklus beban. Tekanan pada kantong udara ini adalah tinggi, sehingga terjadi pelepasan muatan (discharge) yang menimbulkan panas dan dapat menghanguskan kertas. Dengan kata lain kertas sebagai isolasi mengalami “partial discharge” yang mengakibatkan kegagalan isolasi (break down insulation).

Isolasi Campuran dan Diresapi Minyak.

Pada hakekatnya kabel dengan jenis isolasi campuran dan diresapi minyak adalah kabel yang berisolasi kertas yang diresapi minyak pada saat dibuat (oil impregnated paper), dimana didalam kabel tersebut dialiri dengan minyak yang bertekanan minyak. Dalam hal ini yaitu berfungsi sebagai: Isolasi listrik yang memperkuat dielektrik pada kertas isolasi, Media pendingin kabel.

4. JENIS-JENIS KABEL

Dalam pemasangan instalasi listrik ada beberapa jenis kabel yang sering digunakan yaitu kabel NGA, NYA, NYM, NAYA, NYY, NYFGbY dan NYRGbY. Untuk kabel instalasi yang dipasang ditempat yang aman dan dalam dinding atau inbow adalah kabel NGA, NYA, NAYA, sedangkan kabel yang ditanam dalam tanah adalah kabel jenis NYY, NYFGbY DAN NYRGbY.

4.4.1 Kabel Bawah Tanah

Sistem listrik dari saluran transmisi bawah tanah dengan kabel banyak ragamnya. Dahulu, sistemnya di Jepang adalah sistem tiga-fasa tiga kawat dengan netral yang tidak ditanahkan. Sekarang, sistem pembumiannya adalah dengan tahanan tinggi atau dengan reactor kompensasi, untuk mengkompensasikan arus pemuat pada kabel guna menjamin bekerjanya rele serta guna membatasi besarnya tegangan lebih. Di Eropa sistem pembumian dengan reactor banyak dipakai, sedang di Amerika sistem pembumian langsung atau sistem pembumian dengan tahanan yang kecil banyak digunakan. Juga di Jepang sekarang banyak terlihat sistem Amerika yang terakhir itu dipakai, terutama untuk saluran kabel diatas 66 kV.

Dalam sistem kelistrikan saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat-pusat pembangkit tenaga menuju pusat beban melalui gardu induk transmisi dan distribusi. Berdasarkan cara pemasangannya saluran sistem transmisi dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu: Saluran udara (overhead line), Saluran kabel bawah laut (submarine cable) dan Saluran kabel tanah.

Pada sistem saluran kabel bawah tanah, penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel seperti kabel bawah laut dengan berbagai macam isolasi pelindungnya. Saluran kabel bawah tanah ini dibuat untuk menghindari resiko bahaya yang terjadi pada pemukiman padat penduduk tanpa mengurangi keindahan lingkungan.

4.4.2 Klasifikasi Kabel Tenaga

Untuk penyaluran tenaga listrik dibawah tanah digunakan kabel tenaga (power cable). Jenis kabel tenaga banyak sekali, namun demikian dapat diklasifikasikan

menurut kelompok-kelompok berikut; Kelompok menurut kulit pelindungnya (armor) misalnya, kabel bersarung timah hitam (lead sheathed), kabel berkulit pita baja (steel-tape armored). Kelompok menurut konstruksinya misalnya: plastik dan karet (jenis BN, EV, CV) kabel padat (jenis belt, H, SL, SA), kabel jenis datar (flat-type), kabel minyak (oil-filled). Kelompok menurut penggunaan, misalnya, saluran (duct draw-in), kabel taruh (direct-laying), kabel laut (submarine), kabel corong utama (main shaft), kabel udara (overhead).

Kabel (isolasi) kertas yang diresapi minyak (oil impregnated) biasanya digunakan untuk saluran transmisi bawah tanah, meskipun untuk tegangan dibawah 35 KV kabel plastik atau kabel butyl juga dipakai. Sebagai penghantar biasanya digunakan kawat tembaga berlilit (annealed stranded), meskipun kawat aluminium berlilit (karena ringan) juga dipakai untuk kabel udara. Sebagai pembungkus sering digunakan timah hitam, meskipun aluminium sekarang juga disukai, bukan saja untuk kabel udara, tetapi juga untuk kabel minyak. Sebagai kulit pelindung digunakan pita baja untuk kabel tiga-kawat yang ditaruh langsung dan kawat baja untuk kabel tiga-kawat yang ditaruh didasar laut. Kawat tembaga, kawat baja tahan karat dan kawat aluminium digunakan bila kabel satu-kawat dipasang dengan tarikan Kabel tanah tegangan tinggi yang dipasang dilingkungan PT. PLN (persero), jika dilihat dari jumlah inti, penampang inti, jenis isolasi, dengan nilai tegangan nominal 30 KV, 70 KV, 150 KV terdapat beberapa jenis, yaitu:

Jumlah inti (core) kabel.

Kabel tanah berinti tunggal (single core cable), pada dasarnya kabel ini dapat dipakai untuk segala tegangan yang umumnya adalah tegangan tinggi., Kabel tanah berinti tiga (tree core cable) Kabel tanah ini terbatas pada tegangan 150KV yang disebabkan oleh terbatasnya dimensi kabel, terutama sekali untuk keperluan transportasi dan pemasangan.

Bentuk penampang inti pada konduktor, yaitu:

1. Pejal (Untuk ukuran kecil yang digunakan pada tegangan menengah dan tegangan rendah). Bentuk penampang pejal ada dua macam, yaitu: pejal bulat dan pejal segitiga.



Gambar 1. Kabel berinti tunggal dan kabel berinti tiga



Gambar 2. Kabel penampang pejal bulat dan pejal segi tiga

2. Pilin (stranded): Untuk ukuran konduktor besar.



Gambar 3. Inti Pilin Bulat dan Inti Pilin segitiga

3. Berongga: Terutama untuk tempat minyak pendingin dan dipakai pada kapasitas penyaluran yang besar. Ada yang berongga satu dan ada yang berongga banyak



Gambar 4. Kabel dengan inti penghantar berongga (berongga banyak dan satu)

5. TATA NAMA KABEL

5.5.1 Menurut PUIL 87

Menurut PUIL 87 tata nama untuk kawat berisolasi atau kabel yang berlaku di Indonesia adalah sebagai berikut:

- Penghantar
 - N - terbuat dari tembaga
 - NA - terbuat dari aluminium
- Isolasi
 - Y - isolasi dari PVC
 - 2Y - isolasi dari XLPE
- Selubung dalam
 - G - selubung dari karet
 - 2G - selubung dari karet buthil
 - K - selubung dari timah hitam
 - KL - selubung aluminium dengan permukaan licin
 - KKW - selubung dari pita tembaga
 - 2X - selubung terbuat dari XLPE
 - Y - selubung dari PVC
 - 2Y - selubung dari polyethiline
 - Z - selubung dari pita seng
- Perisai
 - B - perisai dari pita baja
 - F - perisai dari baja pipih
 - L - perisai dari jalinan kawat baja
 - Q - perisai dari kawat baja berlapis seng
 - R - perisai dari kawat baja bulat 1 lapis (RR-2 lapis)
 - S - perisai dari tembaga
 - Z - perisai dari kawat baja yang masing-masing berbentuk huruf Z
- Spiral
 - D - spiral anti tekan

- Gb - spiral anti baja
- Selubung luar
 - A - selubung dari yute
 - MK - selubung dari timah hitam
 - Y - selubung dari PVC
- Bentuk penghubung kabel
 - se - sector pejal
 - sm - sector srabut y
 - re - sector bulat pejal
 - rm - sector serabut

5.5.2 Secara standarisasi PUIL 2000

Secara standarisasi PUIL 2000 yang tertera dalam lampiran C pada halaman 475 sampai dengan 478 yang berjudul Nomenklatur kabel bahwa notasi huruf adalah sebagai berikut :

- A : Selubung atau lapisan perlindungan luar dari bahan serat
- AA : Selubung atau perlindungan luar dua lapis dari bahan serat juga
- B : Perisai dari perisai prtabaja
- C : Penghantar konsentris tembaga
- CE : Penghantar konsentris pada masing-masing inti dalam hal kabel berinti banyak
- CW : Penghantar konsentris pada masing-masing inti yang dipasang secara berlawanan arah
- D : Spiral antitekanan
- E : Kabel dengan masing-masing intinya berselubung logam
- F : Perisai kawat baja pipih
- G : Spiral dari kawat baja pipih
- G : Isolasi karet I selubung isolasi dari karet
- 2G : Isolasi karet butil dengan daya tahan lebih tinggi terhadap panas.
- cb : Spiral pita baja
- H : Lapisan penghantar di atas isoalsi, untuk membatasi medan listrik
- K : Selubung timbal
- KL : Selubung Alumunium
- KWK : Selubung dari pitatembaga yang terpasang dan di las memanjang
- L : Perisai dari jalan - kawat -bulat
- MK : kabel dengan selubung timbal hitam untuk pemasangan dalam kapal laut
- N : Kabel standar penghantar tembaga
- NA : Kabel standar penghantar alumunium
- NF : Kabel udara berisolasi di pilin
- NI : Kabel bertekanan gas
- NO : Kabel bertekanan minyak
- NP : Kabel dalam pipa bertekanan gas
- O : Perisai terbuka dari kawat-kawat baja
- a : Jalinan (braid) dari kawat-kawat baja berselubung seng(zing-coated)
- R : Perisai dari kawat-kawat baja bulat
- RR : Dua lapisan perisai dari kawat-kawat baja bulat
- S : Perisai dari tembaga
- SE : Pelindung listri dari pita tembaga yang melnyelubungi masing'masing inti Kabel
- T : tali penggantung dari pipa
- 2X : Selubung isolasi dari XLPE
- Y : Selubung isolasi dari PVC
- 2Y : Selubung isolasi dari Polyethylene
- Z :Perisaikawat-kawat bajayangmasing-masing mempunyai bentuk "Z"
- Z : Penghantarberisolasi bebantarik

6. PENGKABELAN

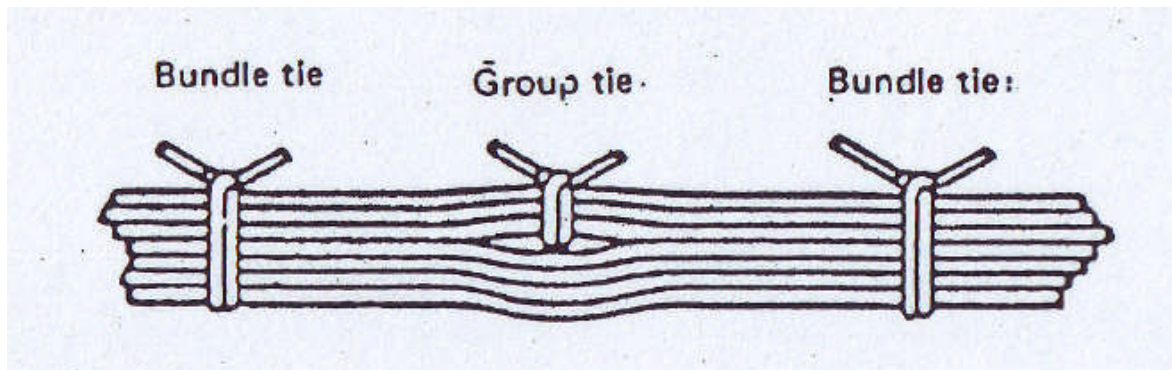
Pemasangan kabel harus disusun sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam merawat serta pertimbangan keselamatannya.

6.6.1 Group dan bundle kabel

Group : merupakan suatu kelompok kawat atau kabel yang jumlahnya 2 atau lebih yang menuju ke suatu tempat yang sama, diikat menjadi satu untuk menandai kelompoknya.

Bundle : merupakan beberapa kelompok kawat atau kabel yang jumlahnya 2 atau lebih yang menuju ke suatu tempat yang sama, diikat menjadi satu.

Gambar bundle kabel:



2.2

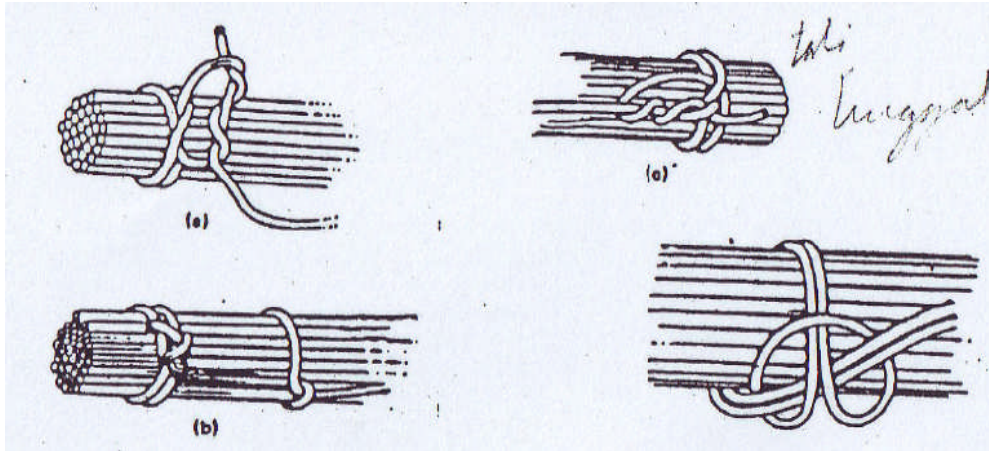
pengikatan bundle kabel

Group atau bundle diikat menjadi satu dengan tali nylon atau tali plastik PVC.

Ada dua cara pengikatan yaitu: lacing dan tying

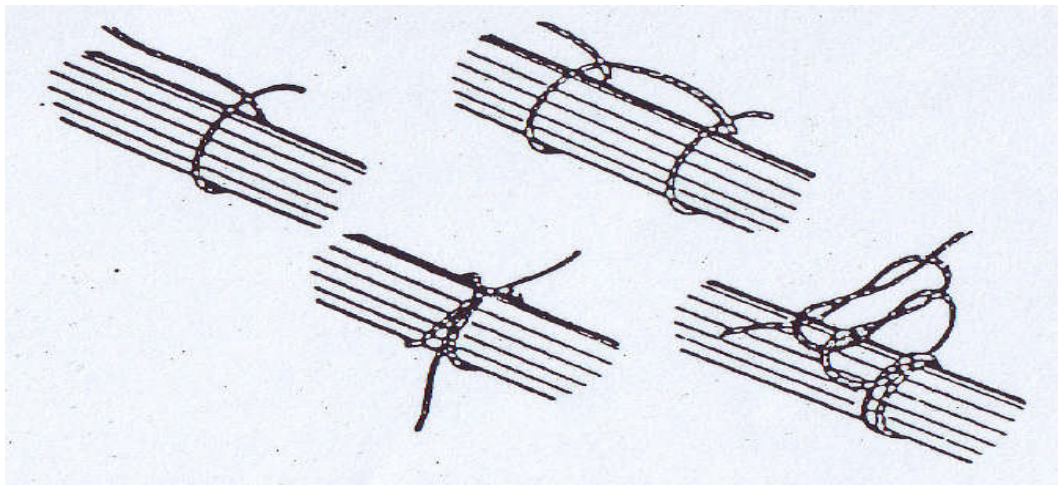
- Lacing

Group atau bundle diikat menjadi satu sepanjang bundle dengan tali yang panjang dan tak putus dimana pada jarak jarak tertentu diikatkan. Lacing ada dua cara sesuai dengan garis tengah penampang bundle yaitu: lacing dengan tali tunggal untuk pengikatan bundle yang mempunyai garis tengah penampang kurang dari 1 inci dan lacing dengan tali ganda untuk bundle dengan diameter lebih dari 1 inci. Cara cara pengikatan bundle:

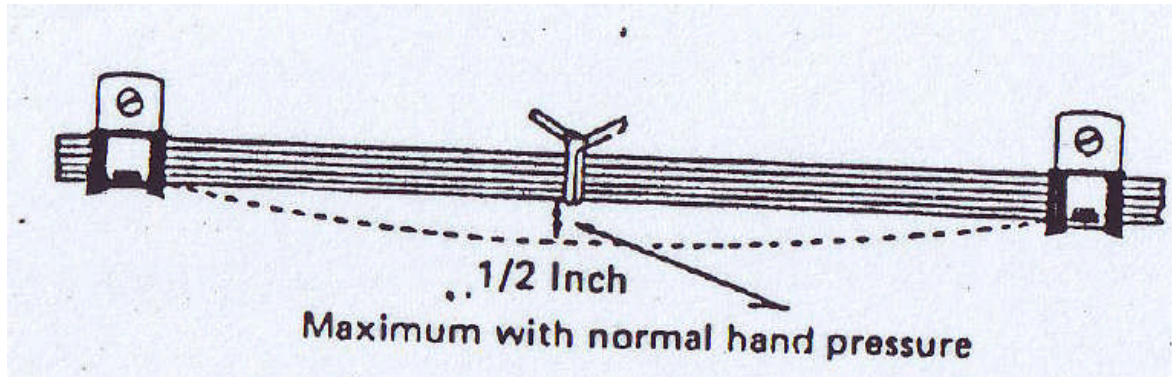


- tying

group atau bundle diikat menjadi satu pada jarak jarak tertentu dengan tali, cara cara pengikatannya;



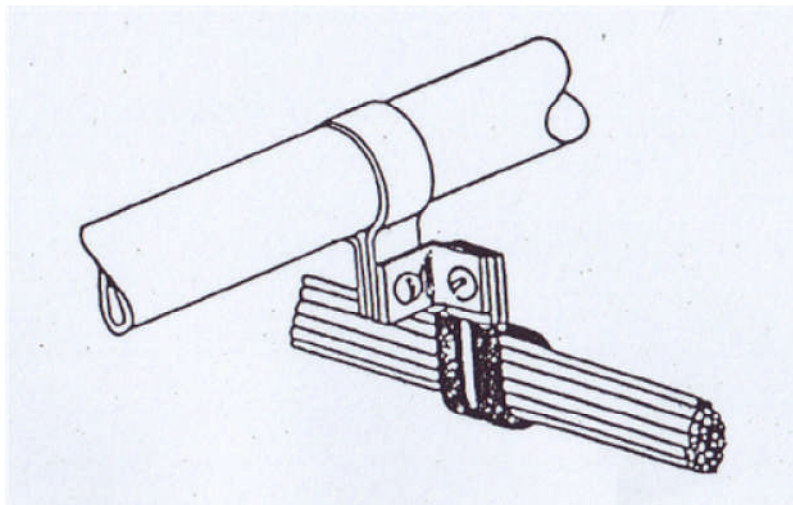
Didalam instalasi atau pengabelan kawat tunggal atau bundle tidak diperbolehkan dipasang dengan kekenduran yang berlebihan. Kekenduran yang diijinkan antara 2 klem penahan adalah 0,5 inch (12,5 mm) maksimum dengan penekanan tangan. Bila bundle diameternya kecil dan klem penahan jaraknya jauh, maka kekenduran tidak diperbolehkan terlalu besar untuk mencegah kawat atau kabel tergores oleh bagian bagian terdekat sewaktu ada getaran.



Persyaratan kekenduran tersebut untuk memenuhi hal hal sebagai berikut:

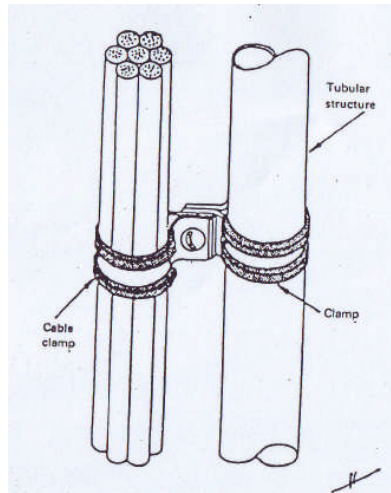
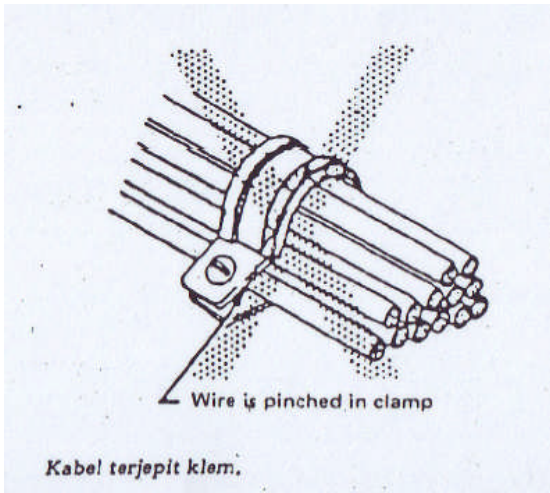
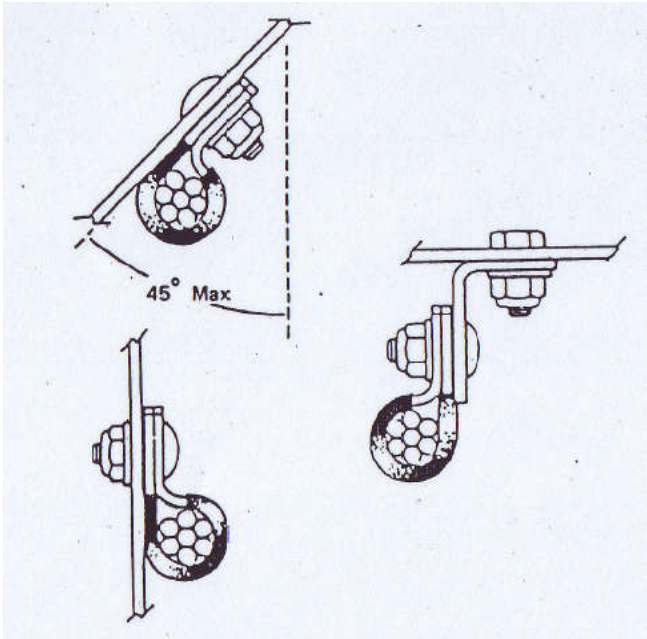
1. memudahkan perawatan
2. memudahkan penggantian terminal
3. mencegah ketegangan pada wire, wire junction, dan klem penahan
4. memberi kebebasan gerak terhadap peralatan yang terpasang apabila terjadi benturan dan getaran
5. memudahkan penggantian peralatan, yang diperlukan pada perawatan.

Kedudukan bundle kabel



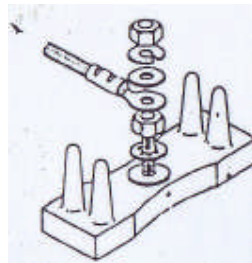
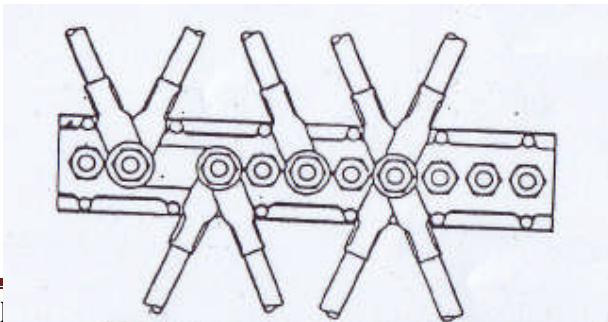
Instalasi klem kabel





Pemasangan kabel pada terminal strip

Terminal strip adalah alat penghubung kawat atau kabel bagian dengan bagian yang terpisah satu sama lainnya.



6.6.2 Penggunaan peralatan

Terminal LUG

Terminal LUG atau kabel terminal adalah alat untuk menghubungkan kawat atau kabel pada bushbar, terminal strip atau ke peralatan listrik.

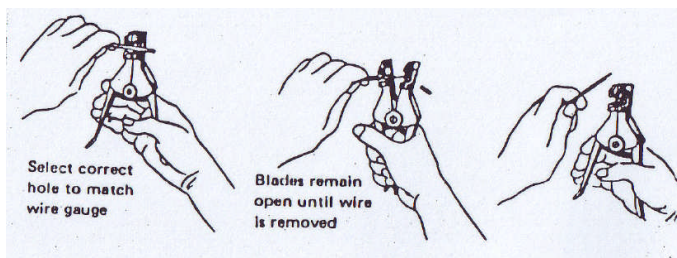
Pemasangan terminal LUG

Peralatan yang dipakai untuk pemasangan terminal LUG adalah:

- pengupas kabel (wire stripper)
- alat pengunci (crimping tool)

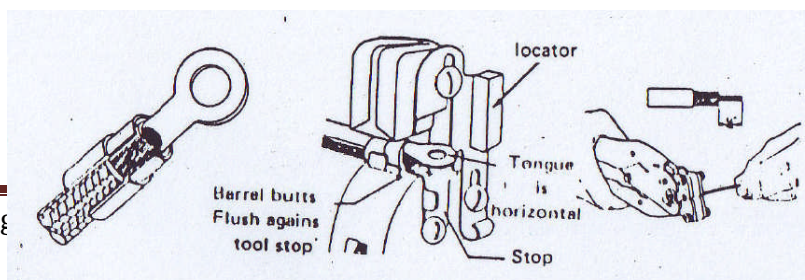
penggunaan wire stripper:

- pilihlah lubang yang sesuai dengan ukuran kawat atau kabel tersebut (ukuran kawat tertera pada lubang)
- pasang kawat dan perkirakan panjangnya yang akan dikupas isolasinya
- tekan handle-nya sampai isolasinya terlepas
- lepaskan handle-nya



Penggunaan alat pengunci (crimping tool)

- potonglah penghantar yang panjangnya sesuai dengan pangkal dari terminal lug
- masukan terminal lug pada gigi alat pengunci sampai batas penahan dengan kedudukan dari terminal lug horisontal
- masukan kawat yang sudah dikupas pada pangkal terminal lug sampai batas penahan
- tekan handle-nya sampai racket alat tersebut melepas atau membuka.



7. SAMBUNGAN KABEL

7.7.1 Jenis-Jenis Sambungan Kabel

Penyambungan yang dilakukan dalam sistem instalasi listrik secara umum dilakukan penyambungan jenis ekor babi, hal ini dikarenakan penyambungannya mudah dilakukan serta menghemat waktu dalam pekerjaannya karena penyambungan ini tidak terlalu rumit. Penyambungan antar penghantar harus dilakukan dengan baik dan kuat dengan cara sebagai berikut:

- a) Penyambungan selongsong dengan sekrup
- b) Penyambungan selongsong tanpa sekrup
- c) Penyambungan selongsong dipress
- d) Penyambungan solder(sambungan mati)
- e) Penyambungan dengan lilitan kawat
- f) Penyambungan las atau las perak(sambungan mati)
- g) Penyambungan puntiran kawat padat dengan memuntir dan las dop

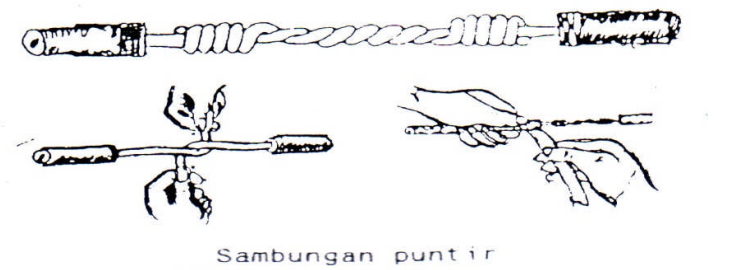
Penyambungan kabel hanya boleh dilakukan:

1. Di alam kotak tarik atau kotak hubung untuk instalasi pipa
2. Dalam kotak sambung atau move untuk kabel dan kabel tanah

Adapun jenis lain yang digunakan untuk penyambungan instalasi listrik arus kuat ialah:

- Sambungan Tarik

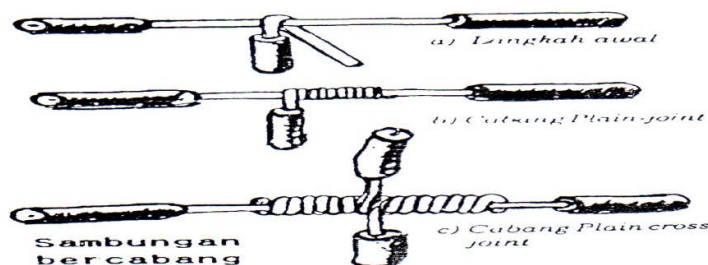
Sambungan tarik digunakan untuk sambungan dua penghantar yang terletak di luar kotak sambungan. Dengan cara melilitkan penghantar satu dengan yang lainnya sehingga saling mengikat kuat. Lihat gambar 2.1



Gambar 2.1

- Sambungan T

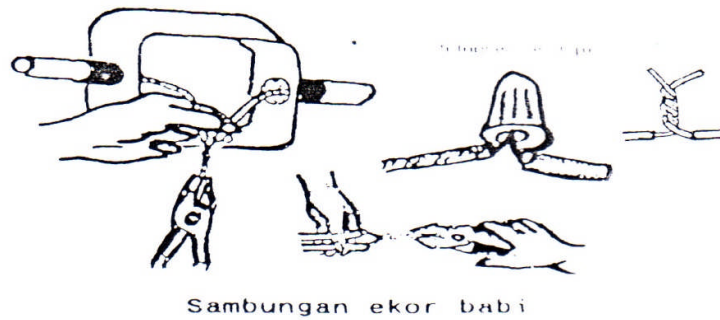
Sambungan T adalah sambungan yang digunakan pada jalur yang dibuat untuk percabangan dengan cara mengupas isolasi tanpa memotong penghantar tersebut. Lihat gambar 2.2



Gambar 2.2

- Sambungan Ekor Babi

Sambungan ekor babi adalah jenis sambungan dengan cara melilitkan diantara dua penghantar yang sambungannya mengarah keluar. pada sambungan ekor babi pada penghantarnya dipasang lasdop yang terbuat dari PVC. Lihat gambar 2.3



Gambar 2.3

7.7.2 Teknik Menyambung Kabel Instalasi

Dalam pemasangan instalasi listrik biasanya banyak berhubungan dengan teknik menyambung kabel. Yang perlu diperhatikan dalam menyambung kabel adalah hasil penyambungan harus kuat, rapih dan baik ditinjau dari segi teknisnya.

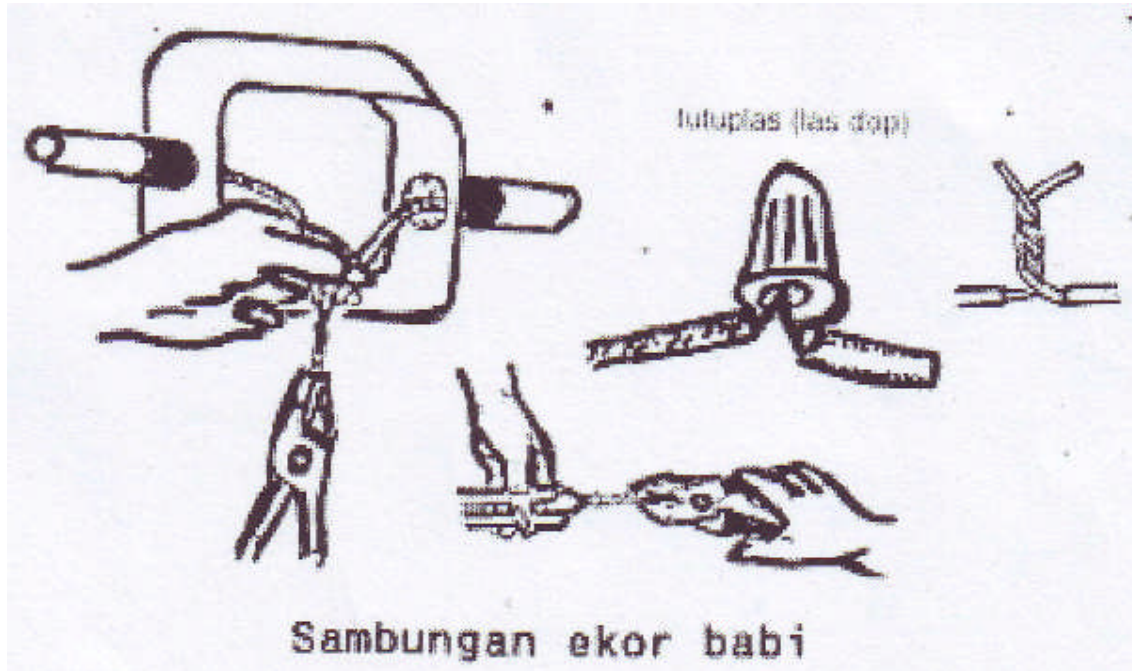
Dalam menyambung kabel, sebelum kabel disambung kabel terlebih dahulu dikupas isolasinya dan pengupasan kabel perlu dengan cara baik dan benar.



Setelah kabel dikupas baru dilakukan penyambungan kabel, teknik penyambungan kabel ada berbagai macam cara dan berdasarkan teknisnya ada berbagai macam cara penyambungan kabel diantaranya:

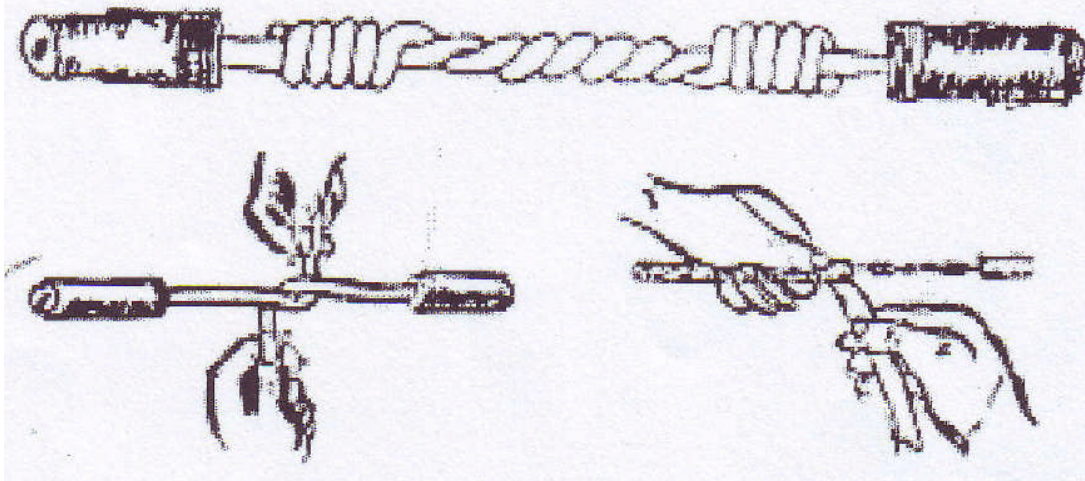
1. Sambungan Ekor Babi

Sambungan seperti ini merupakan teknik penyambungan kabel yang paling sederhana dan mudah dikerjakan. Sambungan ini pada umumnya banyak dilakukan pada penyambungan langsung yang dilakukan pada kotak sambung dan hasil penyambungannya diisolasi dengan lasdop.



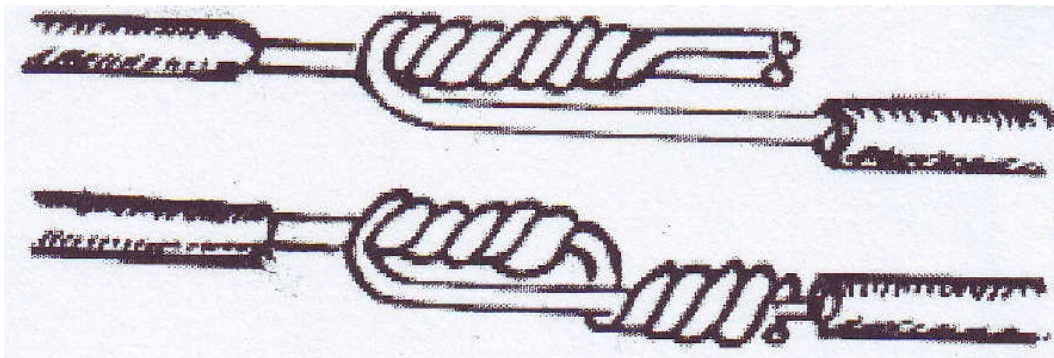
2. Sambungan Puntir

Sambungan puntir umumnya dilakukan untuk menyambungkan dua buah kabel yang akan direntangkan. Dalam pekerjaan instalasi adakalanya menyambungkan kabel yang akan direntangkan, karena adanya pertimbangan tertentu seperti untuk penghematan bahan atau karena adanya isolasi kabel yang cacat yang terpaksa harus dipotong dan disambung kembali dengan menggunakan sambungan puntir. Untuk menghasilkan hasil sambungan yang baik sebaiknya dilakukan dengan menggunakan tang kombinasi agar hasilnya kuat dan tidak longgar. Setelah penyambungan selesai, selanjutnya hasil penyambungan tersebut kemudian diisolasi dengan seal tape (isolasi band).



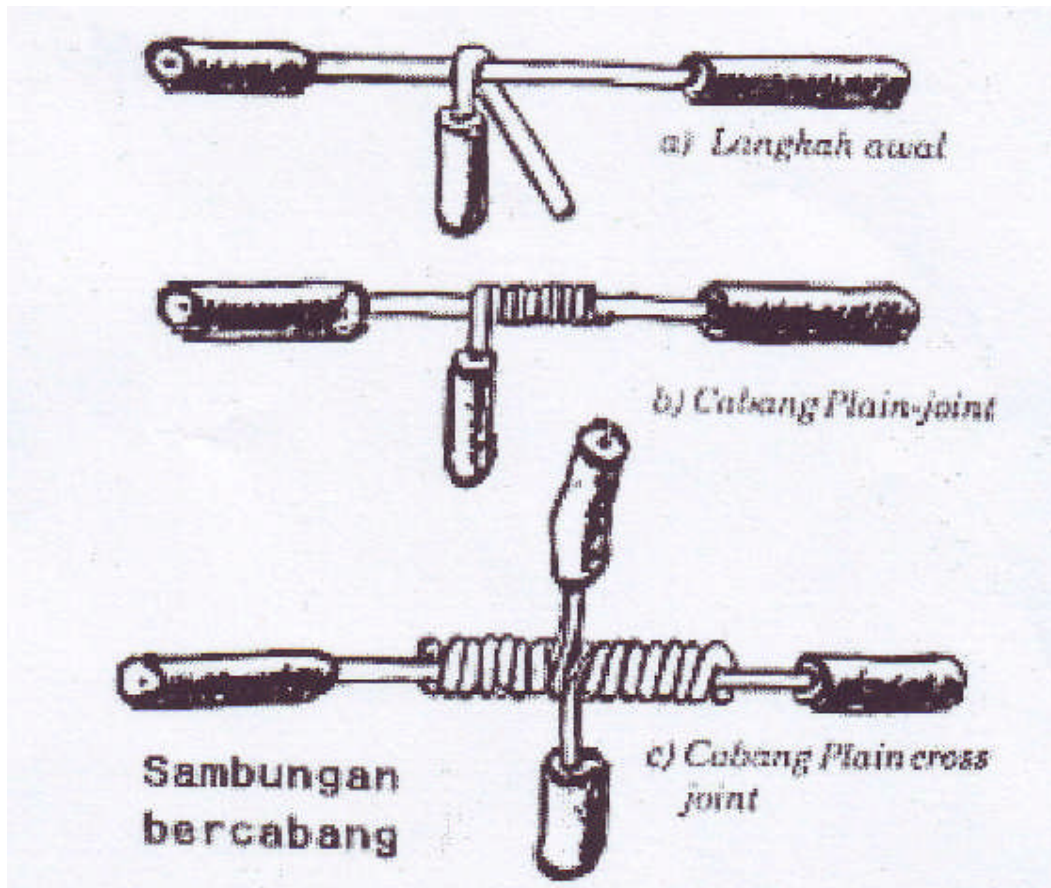
3. Sambungan Bolak-Balik

Tujuan dari penyambungan bolak-balik pada dasarnya sama dengan penyambungan puntir yaitu menghubungkan 2 kabel yang akan direntangkan. Cara penyambungan ini akan menghasilkan sambungan yang lebih kuat terhadap gaya rentang dan tarikan, setelah disambung kemudian sambungan diisolasi dengan seal tape.



4. Sambungan Bercabang

Dalam jaringan listrik sering ditemukan dalam penghantar yang panjang, selain sambungan lurus juga ditemukan sambungan cabang. Sambungan cabang biasanya dilakukan dengan maksud untuk mengambil jalan pintas agar menghemat penggunaan kabel dan praktis dalam pengerjaannya.



Dalam membuat sambungan cabang harus dilakukan dengan baik dan benar agar hasil penyambungan terjamin kekuatannya.

7.7.3 Teknik Menyambung Kabel Tegangan Menengah Dalam Tanah

Teknik menyambung atau pemasangan kabel tanah diatur dalam pasal 744. antara lain ditentukan sebagai berikut. Kabel tanah yang dipasang di dalam tanah harus dilindungi terhadap pengaruh atau terjadi gangguan mekanis dan kimiawi. Perlindungan terhadap gangguan mekanis pada umumnya dianggap cukup jika kabelnya ditanam minimum 80 cm di bawah permukaan tanah pada jalan yang dilalui kendaraan dan 60 cm di bawah permukaan tanah yang tidak dilalui kendaraan (ayat 744 A2). Kabelnya harus diletakkan diatas pasir atau tanah yang lembut atau bebas dari batu-batuan, di atas galian tanah yang

stabil, kuat dan rata. Sebagai perlindungan tambahan di atas timbunan pasir atau tanah lembut dapat dipasang beton, batu atau bata pelindung. (ayat 744 A4)

Teknik sambungan antar kabel tanah berperisai atau selubung logam harus dibuat dengan salah satu cara berikut ini:

- Dibuat didalam kotak sambung, kabel tanah perisai atau selubung logamnya harus ikut dimasukkan kedalam kotak sambung sampai suatu batas tertentu dan kotaknya harus diisi dengan komponen isolasi yang tahan lembab/basah.
- Dibuat dalam suatu tabung timbal tang diselubungkan pada selubung luar kabel
- Buat suatu torehan melingkar pada jarak 'x' dari tepi perisai kabel, jarak x ini harus sama dengan diameter luar kabel tetapi harus sekurang-kurangnya 30 cm. Torehan itu harus dibuat sedalam kira-kira setengah dari tebal selubung timbal, supaya tidak melukai isolasi pengikat dari kabel. Potonglah kemudian jalur timbel dan tarik jalur ini dari selubung timbel
- Bukalah sisa dari selubung timbel dengan hati-hati hingga ujung dari selubung timbel menyerupai sebuah terompet
- Kalau harus disisakan jalur timbel untuk pentanahan jalur ini harus dibuat cukup lebar dan dipotong dua jalur.torehan melingkar hanya dibuat sebagian saja.
Setelah dibuat torehan-torehan pertama jalur-jalur disingkirkan kemudian jalur timbel yang diperlukan unutm pentanahan ditinggalkan pada kabel. Supaya jalur timbel untuk pentanahan tidak mudah patah sudut-sudutnya harus dibulatkan.
- Ikatlah isolasi pengikat dari kabel pada jarak 'y' dari tepi selubung timbel dengan simpul mastworp
- Potonglah lapisan-lapisan kertas yang luar dari isolasi pengikat dan singkirkan lapisan-lapisan ini. Lapisan-lapisan kertas yang terakhir harus disobek
- Bengkokkanlah urat-urat dari kabel ke posisi yang dikehendaki tanpa mematahkan isolasi kertasnya. Untuk itu, panaskanlah sedikit isolasi kertas ini sebelum dibengkokkan.
- Potonglah masing-masing urat menurut panjang yang diperlukan. Urat-urat ini sebaiknya dipotong dan jangan sekali-kali serbuk kabel yang dipotong tidak boleh jatuh diisolasi urat.
- Ikatlah ujung dari isolasi urat dengan benang ikat dengan simpul masworp. Singkirkanlah isolasi ini sampai kira-kira 4 mm di luar terminal

Instruksi Pemasangan

Single Core Heatshrinkable Cable Joint



Karakteristik dan Aplikasi Produk :

INSTALASI	UNDER GROUND
ISOLASI KABEL	XLPE / PVC
TEGANGAN LISTRIK	24 KV
JUMLAH INTI	1 Core
UKURAN KONDUKTOR	16 s/d 300 sqmm

Instuksi Pemasangan Single core heatshrinkable cable Join

INSTRUKSI UMUM

1. Konektor harus terbuat dari bahan yang sama dengan penghantar / inti kabel .
2. Untuk mengencutkan, gunakan gas LPG, propane, atau butane.
3. Alat pembakar harus diatur sedemikian rupa hingga diperoleh api berwarna biru dan ujung berwarna kuning. Hindari pemakaian api berwarna biru yang runcing.
4. Api harus disapukan merata untuk menghindari pemanasan pada satu titik.
5. Bersihkan minyak / kotoran yang mungkin masih menempel pada bagian kabel atau selongsong.
6. Dilarang sama sekali melakukan pemotongan selongsong atau tubing yang disediakan dalam kit .
7. Pemanasan harus dilakukan dengan merata sekeliling titik awal pemanasan, baru kemudian secara bertahap berpindah kearea berikutnya, hindarkan terjadinya gelembung udara pada selongsong / tubing .
8. Pemanasan dinyatakan sempurna apabila seluruh permukaan selongsong / tubing mengencut merata .

No	Deskripsi	Qty
1	Konektor	optional
2	Pita mastik kuning panjang	6
3	Pita mastik kuning pendek	6
4	Minyak silikon	3
5	Pita mastik merah	9
6	Selongsong pengendali stress	3
7	Selongsong isolasi dalam (merah)	
8	Selongsong isolasi dengan semikon (merah dan hitam)	
9	Jaring screen tembaga	3
10	Pita anyaman tembaga lapis timah (untuk tape shield) Konektor u 35 (untuk wire shield)	3
11	Selongsong luar pelindung keseluruhan sambungan	3
12	Kawat pengikat screen tembaga	2
13	Pita Ampelas	3
14	Timah solder (untuk tape shield)	
15	Pita PVC	1
16	Cairan pembersih + lap	1
17	Instruksi pemasangan	1

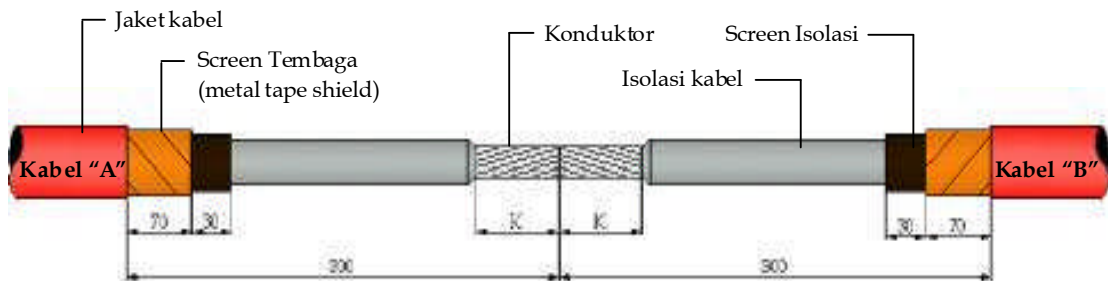
PERSIAPAN KABEL

- Atur kedudukan kedua ujung kabel yang akan disambung hingga masing - masing ujung saling melewati. Buat tanda garis di tengah bagian tumpang tindih, dan potong kedua kabel di titik ini.
- Bersihkan jaket kabel dari kotoran yang menempel, dengan cairan + lap pembersih.
- Kupas jaket kabel A dan B sesuai dengan ukuran pada gambar berikut :

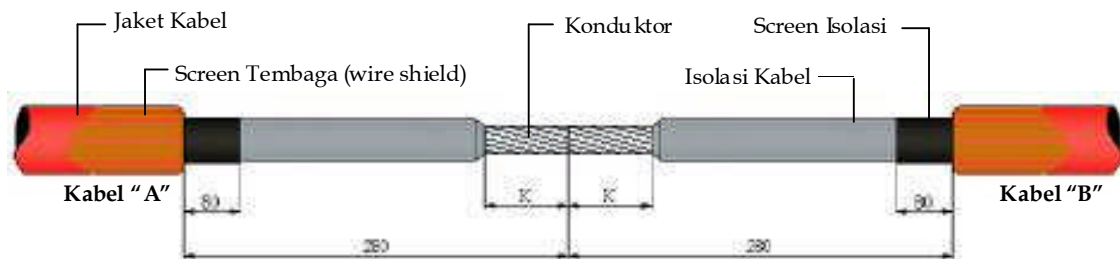
AGAR DIPERHATIKAN

- Pengupasan semikonduktif kabel harus rata dan jangan sampai menggores / melukai isolasi kabel.
- Pengupasan screen tembaga harus rata tidak boleh bergerigi atau ada bagian yang tajam.

a. Kabel dengan metal tape shield,



b. Kabel dengan wire shield, screen tembaga tidak dipotong, melainkan dipuntir tiap phasa nya.



Keterangan :

- Jarak Pengupasan Standar dalam (mm)
- K = Setengah ukuran panjang konektor ditambah 5 mm

LANGKAH – LANGKAH PEMASANGAN

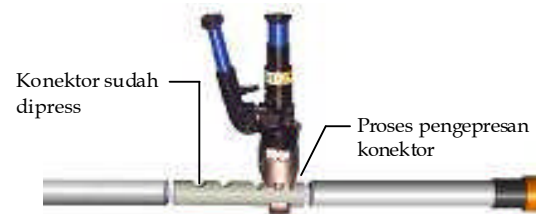
1. PENEMPATAN SELONGSONG/ TUBING.

Masukkan selongsong pengendali stress (hitam), selongsong isolasi (merah), selongsong isolasi-semikonduktif (merah/hitam) dan selongsong lapisan luar menyelimuti kabel.



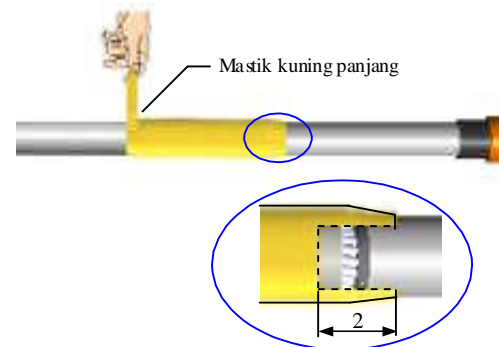
2. PEMASANGAN KONEKTOR.

Pasangkan konektor menghubungkan kedua ujung konduktor kabel. Press dengan menggunakan crimping tools. Setelah selesai bersihkan isolasi kabel dengan lap dan cairan pembersih yang telah disediakan.



3. PITA MASTIK KUNING PANJANG

Lilitkan pita mastik kuning panjang di atas permukaan konektor sampai menutupi isolasi kabel sepanjang 2 cm, dimulai dari salah satu ujung menuju ujung konektor yang lain, dan isi celah antara konektor dan isolasi sampai tebalnya sama dengan isolasi kabel.



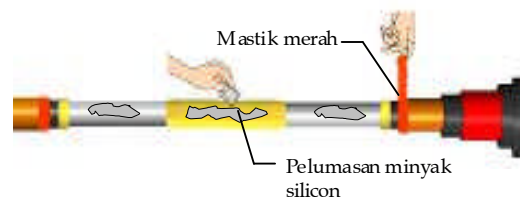
4. PITA MASTIK KUNING PENDEK

Lilitkan pita mastik kuning pendek pada masing-masing ujung potongan semi konduktif kabel, tidak perlu tebal, mulai dari posisi 1 cm sebelum ujung semi konduktif kabel hingga 1,5 cm melewati ujung semi konduktif kabel.



5. MINYAK SILIKON & MASTI MERAH PENDEK

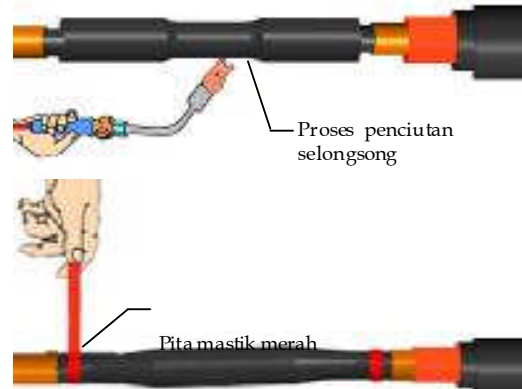
Lumasi isolasi kabel dan seluruh permukaan mastik kuning dengan minyak silikon yang telah disiapkan dalam kit Lilitan satu kali pita mastik merah pada ujung potongan screen tembaga disamping/sejajar pita mastik kuning pendek.



6. **SELONGSONG PENGENDALI STRESS (HITAM)**

Geser selongsong pengendali stress (hitam) hingga menutupi pita mastik merah, lalu ciutkan dari tengah secara rata keujung - ujungnya.

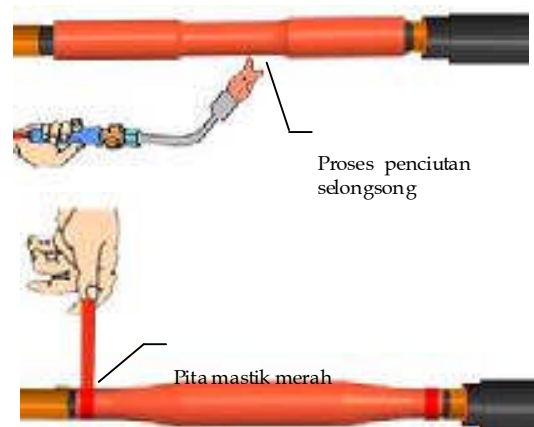
Kemudian lilitkan satu kali pita mastik merah pada ujung-ujung selongsong pengendali stress yang sudah diciutkan.



7. **SELONGSONG ISOLASI (MERAH)**

Geser selongsong isolasi dalam (merah) menutupi selongsong pengendali stress lalu ciutkan dari tengah secara rata keujung - ujungnya.

Kemudian lilitkan satu kali pita mastik merah pada ujung - ujung selongsong isolasi dalam (merah) yang sudah diciutkan.



8. **SELONGSONG ISOLASI SEMI-KONDUKTIF (MERAH/HITAM)**

Geserkan selongsong isolasi semi-konduktif (merah-hitam) menutupi selongsong isolasi dalam (merah) lalu ciutkan dari tengah secara rata keujung - ujungnya.



9. **a. KABEL DENGAN TAPE SHIELD**

Solderkan pita anyaman tembaga lapis timah pada screen tembaga, pastikan proses solder dilakukan secara sempurna sehingga pita anyaman tembaga menempel kuat pada screen tembaga kabel.



Proses penciutan selongsong

Solder pita anyaman
tembaga

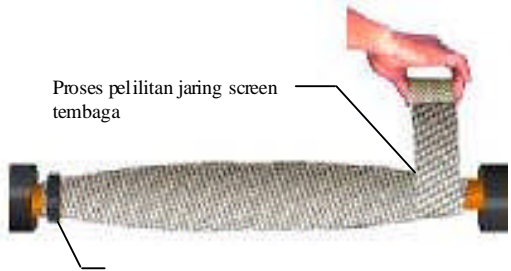
b. KABEL DENGAN WIRE SHIELD

Sambung kembali screen tembaga kabel dengan menggunakan konektor u-35. kemudian dipress sempurna.



10. JARING SCREEN TEMBAGA

Lilitkan jaring screen tembaga yang telah tersedia dalam kit, proses pelilitan dilakukan tumpang tindih menutupi komponen sebelumnya. Ikatlah kedua ujung screen tembaga dengan pita PVC.

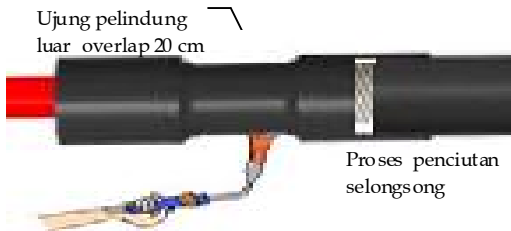


Pita PVC

11. SELONGSONG LAPISAN LUAR

Geser salah satu selongsong pelindung luar dan tempatkan bagian ujungnya tepat ditengah, kemudian ciutkan seperti proses penciutan sebelumnya.

Lakukan hal yang sama untuk pelindung luar yang satunya dengan menempatkan bagian ujungnya tumpang tindih (overlap) dengan jarak 20 cm di atas ujung pelindung yang pertama.



12. PROSES AKHIR

Biarkan sambungan dingin sendiri hingga mencapai temperature sama dengan temperature sekitarnya



Instruksi Pemasangan

Three Core Heatshrinkable Cable Joint



Karakteristik dan Aplikasi Produk :

TEGANGAN LISTRIK	24 kV
UKURAN KONDUKTOR	16 s/d 300 sqmm
ISOLASI KABEL	EPR / XLPE
JENIS KONDUKTOR	Copper & Alluminium
JUMLAH CORE	3 (Tiga) core

Instuksi Pemasangan Three core heatshrinkable cable Joint

INSTRUKSI UMUM

1. Konektor harus terbuat dari bahan yang sama dengan penghantar / inti kabel .
2. Untuk menciutkan, gunakan gas LPG, propane , atau butane.
3. Alat pembakar harus diatur sedemikian rupa hingga diperoleh api berwarna biru dan ujung berwarna kuning. Hindari pemakaian api berwarna biru yang runcing.
4. Api harus disapukan merata untuk menghindari pemanasan pada satu titik.
5. Bersihkan minyak / kotoran yang mungkin masih menempel pada bagian kabel atau selongsong.
6. Dilarang sama sekali melakukan pemotongan selongsong atau tubing yang disediakan dalam kit .
7. Pemanasan harus dilakukan dengan merata sekeliling titik awal pemanasan, baru kemudian secara bertahap berpindah kearea berikutnya , hindarkan terjadinya gelembung udara pada selongsong / tubing .
8. Pemanasan dinyatakan sempurna apabila seluruh permukaan selongsong / tubing menciut merata .

No	Deskripsi	Qty
1	Konektor	optional
2	Pita mastik kuning panjang	
3	Pita mastik kuningpendek	
4	Minyak silikon	1
5	Pita mastik merah	9
6	Selongsong pengendalistress (hitam)	
7	Selongsong isolasi(merah)	
8	Selongsong isolasi semi - onduktif	3
9	Pita ayaman tembaga	3
10	Jaring screen tembaga	3
11	Lembaran pelindung luar	1
12	Kawat pengikat screentembaga	2
13	Kawat pengikat armour	1
14	Kertas Pita ampelas	2
15	Timah solder	1
16	Cairan pembersih + lap	1
17	Armour pelindung mekanik	1
18	Klem pengikat armour	2
19	Pita PVC	1
20	Kanal penjepit rel selongsong luar	
21	Klip penyambung kanal	2
22	Instruksi pemasangan	1

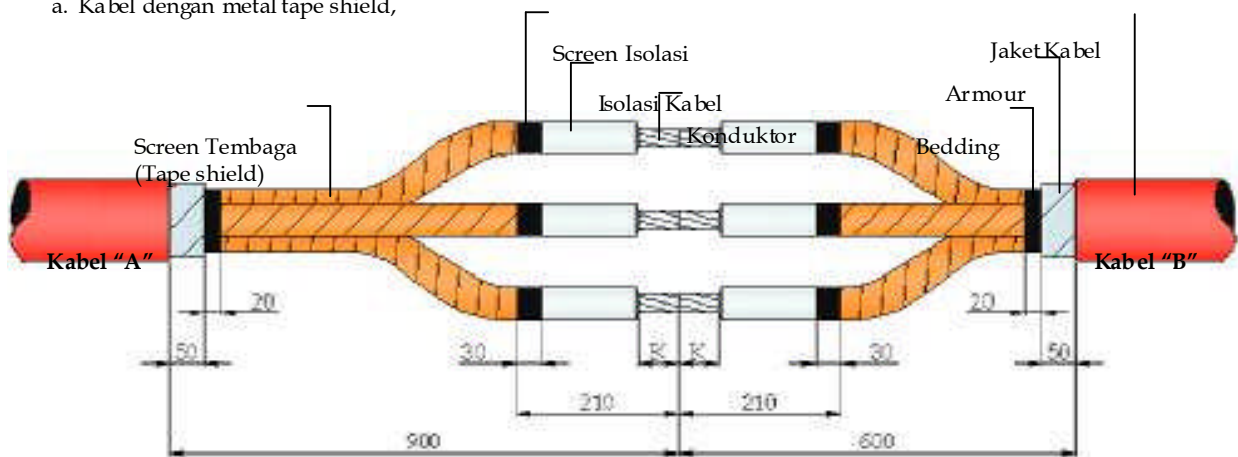
PERSIAPAN KABEL

- Atur kedudukan kedua ujung kabel yang akan disambung hingga masing - masing ujung saling melewati. Buat tanda garis di tengah bagian tumpang tindih, dan potong kedua kabel dititik ini.
- Bersihkan jaket kabel dari kotoran yang menempel, dengan cairan + lap pembersih.
- Kupas jaket kabel A dan B sesuai dengan ukuran pada gambar berikut :

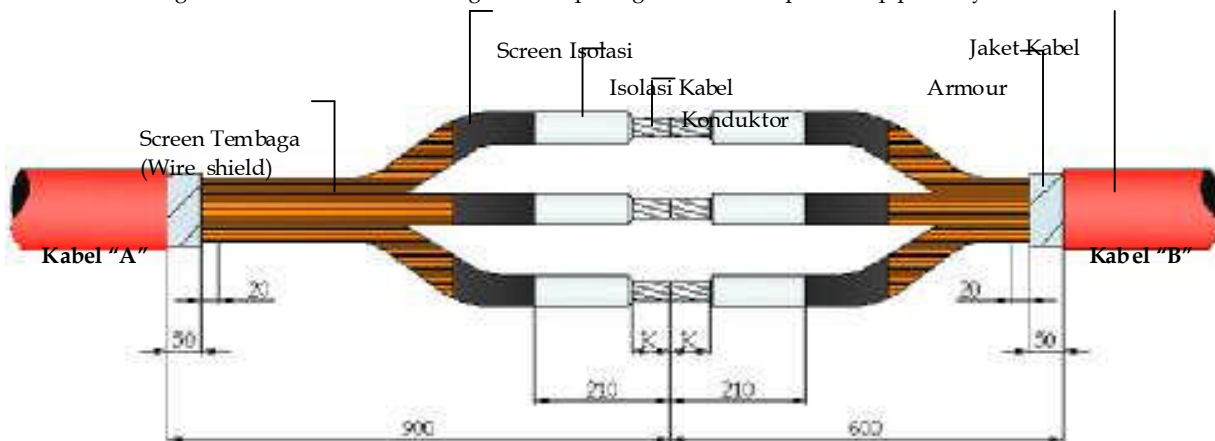
AGAR DIPERHATIKAN

- Pengupasan semikonduktif kabel harus rata dan jangan sampai menggores / melukai isolasi kabel.
- Pengupasan screen tembaga harus rata tidak boleh bergerigi atau ada bagian yang tajam.

a. Kabel dengan metal tape shield,



b. Kabel dengan wire shield, screen tembaga tidak dipotong, melainkan dipuntir tiap phasa nya.



Keterangan :

- Jarak Pengupasan Standar dalam (mm)

- K = Setengah ukuran panjang konektor ditambah 10 mm

LANGKAH – LANGKAH PEMASANGAN

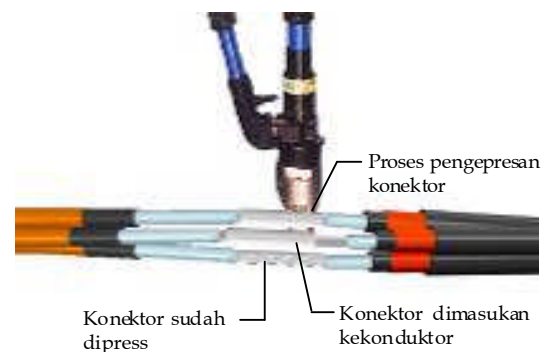
1. PENEMPATAN SELONGSONG/TUBING.

Masukkan selongsong pengendali stress (hitam), selongsong isolasi (merah), selongsong isolasi-semikonduktif (merah/hitam) ke masing - masing bagian inti kabel yang telah dikupas lebih panjang, (selongsong sudah diset dari pabrik).



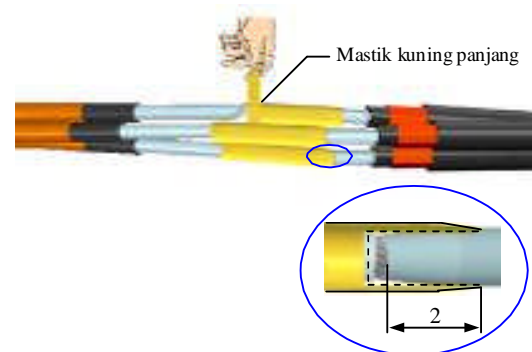
2. PEMASANGAN KONEKTOR.

Pasangkan konektor pada masing-masing konduktor kabel, kemudian dipress secara sempurna menggunakan hydraulic crimping tools. Disarankan memakai alat press system tonjok (deep indent) untuk konduktor aluminium atau jenis hexagonal untuk konduktor tembaga. Setelah selesai bersihkan isolasi kabel dengan lap dan cairan pembersih yang telah disediakan.



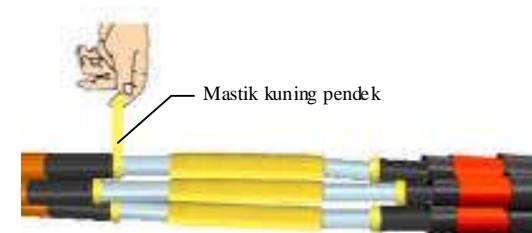
3. PITA MASTIK KUNING PANJANG

Lepas kertas pada mastik kuning panjang, kemudian lilitkan mastik tersebut, langkah pertama yaitu mengisi celah antar konektor dan bagian lubang hasil pengepresan, berikutnya lilitkan mastik ini di atas permukaan konektor, dengan kedudukan sejauh 2 cm dari kedua ujung konektor, dimulai dari ujung kiri ke ujung kanan. Harus diupayakan ketebalan akhir sama dengan isolasi kabel.



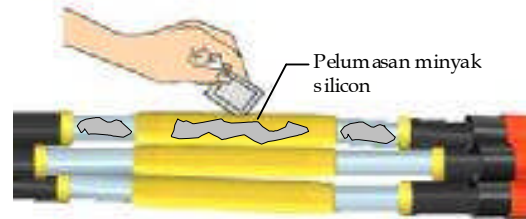
4. PITA MASTIK KUNING PENDEK

Lilitkan pita mastik kuning pendek pada masing - masing ujung potongan semi konduktif kabel, tidak perlu tebal, mulai dari posisi 1 cm sebelum ujung semi konduktif kabel hingga 1,5 cm melewati ujung semi konduktif kabel.



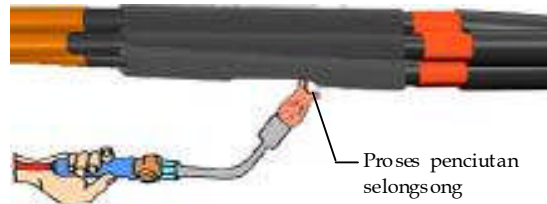
5. MINYAK SILIKON

Lumasi isolasi kabel dan seluruh permukaan mastik kuning dengan minyak silikon yang telah disiapkan dalam kit.



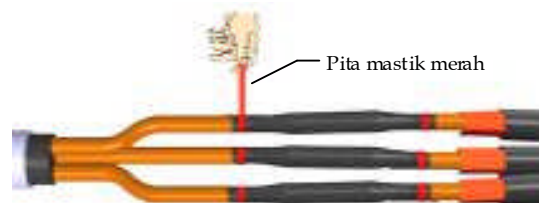
6. SELONGSONG PENGENDALI STRESS (HITAM)

Geser selongsong pengendali stress (hitam) menutupi bagian semi konduktif kabel, kemudian ciutkan dimulai dari bagian tengah secara merata ke arah ujung - ujungnya. Lakukan hal yang sama pada phasa - phasa yang lainnya.



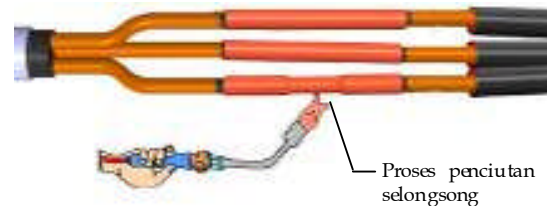
7. PITA MASTIK MERAH

Lilitkan satu kali pita mastik merah pada masing-masing ujung seluruh selongsong pengendali stress (hitam), lakukan langkah yang sama untuk ketiga buah selongsong pengendali stress tersebut.

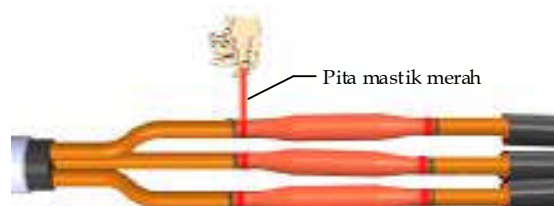


8. SELONGSONG ISOLASI (MERAH)

Geser selongsong isolasi (merah) menutupi selongsong pengendali stress (hitam), kemudian ciutkan dari tengah secara merata ke masing-masing ujung. Lakukan hal yang sama pada selongsong isolasi merah yang lainnya.

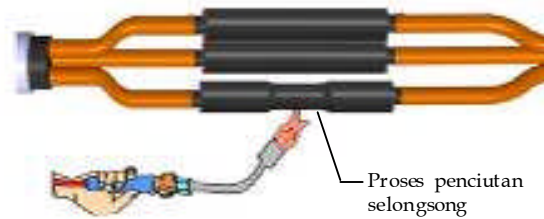


Lilitkan satu kali pita mastik merah pada kedua ujung masing-masing selongsong isolasi (merah).



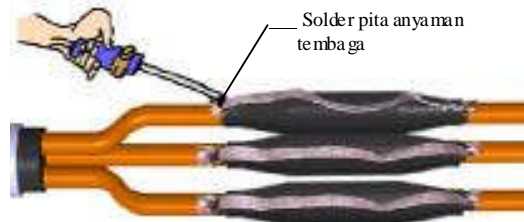
9. SELONGSONG ISOLASI SEMI-KONDUKTIF (MERAH/HITAM)

Geser selongsong isolasi semi-konduktif (merah/hitam) menutupi selongsong isolasi (merah), kemudian ciutkan dari tengah secara merata ke ujung - ujungnya. Lakukan hal yang sama pada fasa - fasa yang lainnya.



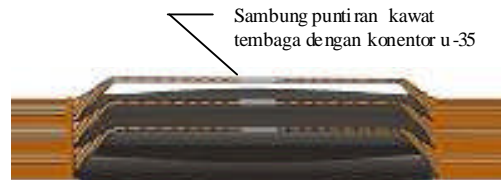
10. a. KABEL DENGAN TAPE SHIELD

Solderkan pita anyaman tembaga pada screen tembaga masing - masing fasa, pastikan proses solder dilakukan secara sempurna sehingga pita anyaman tembaga menempel kuat pada screen tembaga masing - masing fasa kabel .



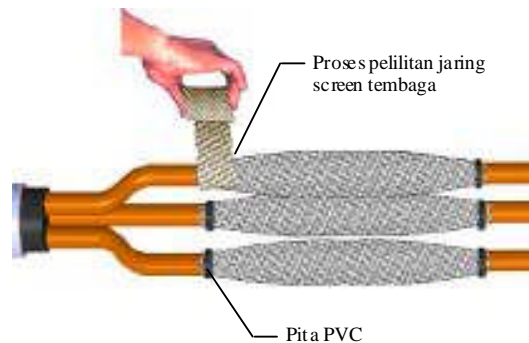
b. KABEL DENGAN WIRE SHIELD

Sambung kembali screen tembaga kabel dengan menggunakan konektor u-35. kemudian dipress sempurna.



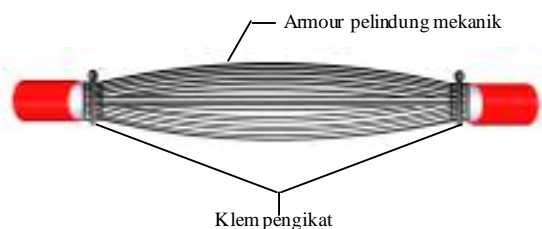
11. JARING SCREEN TEMBAGA

Lilitkan jaring screen tembaga yang telah tersedia dalam kit, proses pelilitan dilakukan tumpang tindih menutupi komponen sebelumnya. Lakukan proses ini untuk masing-masing fasa. Kemudian ikatlah ujung-ujung dari jaring screen tembaga dengan pita PVC.



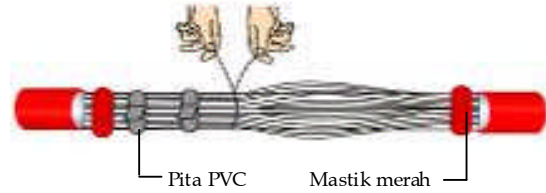
12. ARMOUR PELINDUNG MEKANIK

Pasang armour pelindung mekanik menutupi sambungan kabel, dengan lembaran aluminium berada pada bagian dalam. Ujung - ujungnya harus diposisi tumpang tindih dengan armour kabel. Ikat ujung - ujungnya dengan klem pengikat armour.



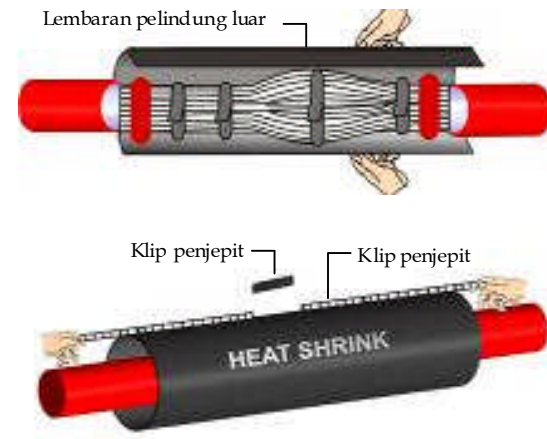
13. PITA PVC

Lilitkan pita PVC pada klem pengikat armour dan dua tempat lainnya di tengah armour pelindung mekanik hingga bentuk sambungan rapat secara rapi. Tutup ujung - ujung armour pelindung mekanik dengan mastik merah.



14. LEMBARAN PELINDUNG LUAR

Selubungkan lembaran pelindung luar kemudian jepit dengan kanal penjepit rel yang tersedia dan jangan lupa pasang juga klip penyambung kanal.



15. TAHAP AKHIR INSTALASI

Ciutkan lembaran pelindung luar kabel yang telah terpasang. Penciutannya dimulai dari tengah kemudian perlahan secara merata penciutan dilakukan kearah ujung - ujungnya.



16. Biarkan sambungan dingin sendiri hingga mencapai temperature yang sama dengan temperatur sekitarnya, dan baru setelah itu boleh ditimbun tanah atau diletakkan pada kabel tray (tergantung tempat penyambungan dilaksanakan).



8. KERUGIAN DAYA PADA PENGHANTAR

8.8.1 Arus

Besaran listrik pertama yang dibahas adalah kuat arus, besaran ini sering disimbolkan sebagai $I(i)$ yang selanjutnya kita sebut saja sebagai arus yang didefinisikan sebagai **"jumlah muatan (elektron) yang mengalir melalui suatu penampang kawat penghantar persatuanwaktu"**.

Besar aliran muatan yang melewati suatu penghantar adalah ukuran dari arus yang mengalir. Muatan yang berpindah adalah elektron bebas yang terdapat dalam penghantar seperti tembaga, aluminium, emas, dan lain-lain. Elektron bebas adalah elektron yang kehilangan ikatan dengan atom induknya dimana muatan ini akan dapat dipindahkan dengan arah tertentu tergantung sumber luar yang diterapkan, semisal baterai.

Rumus : $I = Q / t$ **Ket :** $Q = \text{Muatan}$
 $T = \text{Waktu}$

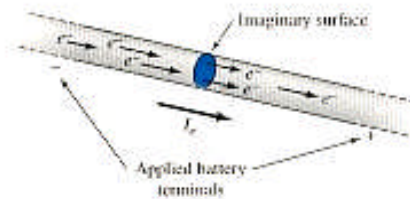


FIG. 2.1
Charge flow in a conductor.

Gambar 1.1 Aliran muatan pada suatu penghantar

Contoh 1.1.

Tentukan arus yang melewati kawat pada gambar 1.1 jika 18.726×10^{18} elektron menembus permukaan penghantar selama 0.02 menit!

Jawaban:

$$\text{Muatan (C)} = \frac{18.726 \times 10^{18} \text{ elektron}}{6.24 \times 10^{18} \text{ elektron/Coulomb}}$$

$$\text{dengan waktu } t(\text{detik}) = 0.02 \text{ menit} \left(\frac{60 \text{ detik}}{1 \text{ menit}} \right) = 1.2 \text{ detik}$$

sehingga :

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{3C}{1.2 \text{ detik}} = 2.5 \text{ A}$$

Pengukuran arus dilakukan dengan cara merangkai seri alat ukur dengan kawat penghantar dimana arus akan diukur. Alat yang digunakan untuk mengukur arus sering disebut sebagai amperemeter (ammeter).

8.8.2 Tegangan (gaya gerak listrik)

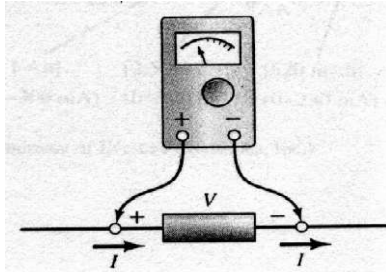
Tidak seperti pada besaran arus, dimana diukur untuk suatu titik, nilai tegangan (seringkali disebut dengan beda potensial, gaya gerak listrik, beda tegangan) adalah melibatkan dua titik yang berlainan. Secara umum penerapan tegangan adalah untuk memastikan aliran muatan tetap berlangsung. Beda potensial dari dua titik, selanjutnya disebut tegangan, ditentukan dengan persamaan 1.2.

$$V = \frac{W}{Q}$$

Dimana : V adalah tegangan dalam satuan Volt

W adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan Q antara dua titik, dalam satuan joule dan

Q adalah muatan dalam satuan coulomb



Gambar 1.2 Ilustrasi Pengukuran Tegangan

Contoh 1.2.

Tentukan energi dari suatu baterai yang diperlukan untuk memindahkan 20×10^{18} elektron dari kutub-kutubnya!

Jawaban:

$$20 \times 10^{18} \text{ elektron} \left(\frac{1 \text{ C}}{6.24 \times 10^{18} \text{ elektron}} \right) = 3.204 \text{ C}$$

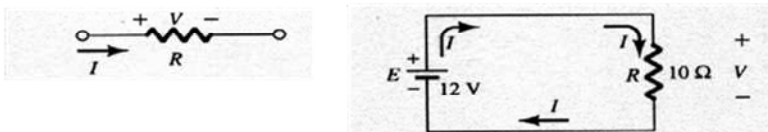
$$W = QV = (3.204 \text{ C}) (12 \text{ V}) = 38.45 \text{ J}$$

8.8.3 Hambatan dan hukum ohm

Hubungan antara tegangan, arus dan hambatan pada suatu konduktor dapat diterangkan dengan hukum Ohm, **"Dalam suatu rangkaian listrik, arus berbanding lurus dengan tegangan antara kedua ujung-ujungnya dan berbanding terbalik dengan besarnya hambatan"**.

Tahanan

Tahanan/Resistansi & Hukum Ohm



I = E/R (ohm's law)

I arus, ampere (A)
 E sumber tegangan (V)
 R tahanan (Ω)

Gambar 1.3 Sebuah resistor dan polaritasnya

Contoh 1.3.

Tentukan besarnya tegangan jatuh sepanjang resistor 2.2 kΩ jika arus yang mengalir adalah 8 mA!

Jawaban:

$$V = IR + (8 \times 10^{-3} \text{ A})(2.2 \times 10^3 \Omega) = (8)(2.2) \times (10^{-3})(10^3) \text{ V} \\ = 17.6 \times 10^0 \text{ V} = 17.6 \text{ V}$$

Contoh 1.4.

Tentukan arus yang mengalir ke suatu setrika listrik jika mempunyai hambatan sebesar 22 Ω, sementara tegangan listriknya sebesar 120 V!

Jawaban:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120 \text{ V}}{22 \Omega} = 5.45 \text{ A}$$

Besarnya hambatan dari suatu bahan konduktor ditentukan oleh empat faktor yaitu: bahan, panjang, luas permukaan (besar kecilnya) dan suhu. Hubungan keempat faktor tersebut dinyatakan (pada suhu T=20oC) dalam persamaan 1.5 berikut:

$$R = \rho L/A$$

R tahanan (Ω)

ρ Tahanan jenis (Ωm)

A luaspermukaan (m²)

L Panjang (m)

Pada umumnya, seiring kenaikan temperatur akan menyebabkan bertambahnya aktifitas atom-atom dalam kawat yang menyebabkan sulitnya pembawa muatan untuk lewat, ini berujung dengan kenaikan hambatan kawat

penghantar. Grafik hambatan terhadap temperatur untuk suatu konduktor memenuhi hubungan seperti ditunjukkan pada gambar 1.4.

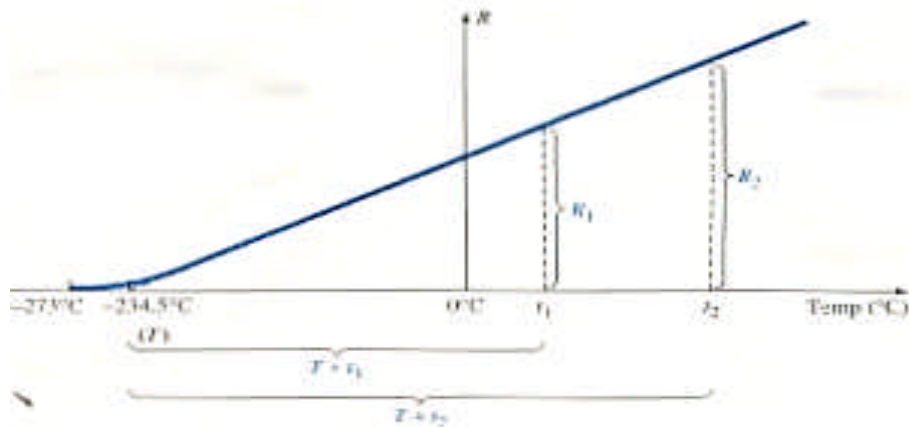


FIG. 2.17

Change in resistance of copper as a function of temperature.

Gambar 1.4 Perubahan hambatan tembaga sebagai fungsi

$$\frac{T + t_1}{R_1} = \frac{T + t_2}{R_2} \quad \mathbf{R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]}$$

Dimana T adalah suhu mutlak bahan (tanpa memperhatikan tanda negatif) R1 hambatan pada suhu t1, R2 hambatan pada suhu t2. Jika hambatan R1 diketahui pada suhu t1, hambatan R2 pada suhu t2 dapat ditentukan. Tanda minus (untuk T) tidak dipakai. Untuk hal serupa α_1 adalah koefisien temperatur hambatan yang menunjukkan laju perubahan hambatan suatu bahan atas perubahan suhunya. Semakin besar nilai α_1 suatu bahan berarti bahan tersebut akan mengalami perubahan hambatan yang lebih besar persatuan perubahan suhu.

Contoh 1.6.

Hambatan suatu penghantar pada suhu ruang 20°C adalah $0,3\Omega$. Tentukan hambatan konduktor tersebut pada air panas dengan suhu 100°C !

Jawaban:

$$\frac{T + t_1}{R_1} = \frac{T + t_2}{R_2} \quad \begin{matrix} 9. \\ 10. \end{matrix}$$

$$\frac{234,5^{\circ} + 20^{\circ}}{0,3} = \frac{234,5^{\circ} + 100^{\circ}}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{(234,5^{\circ}) + (0,3\Omega)}{254,5^{\circ}} = 0,394\Omega$$

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$$

$$= (0,3\Omega) [1 + 0,00393 (100^{\circ} - 20^{\circ})]$$

$$= (0,3\Omega) [1 + 0,3144]$$

$$= 0,394\Omega$$

8.8.4 Daya, energi, kalor dan efisiensi

Daya diukur menggunakan alat yang sering disebut dengan wattmeter. Alat ini mempunyai dua terminal yang digunakan untuk mengukur tegangan dan dua terminal yang digunakan untuk mengukur arus.

- Daya (watt)

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

- Energi

$$W = Pt \text{ (joule / watt-detik)}$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ watt}$$

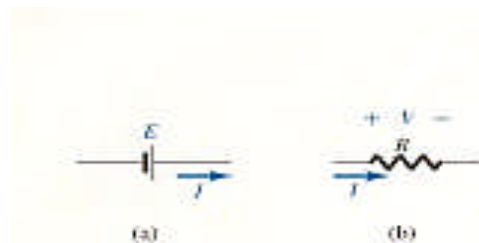


FIG. 2.26

Power: (a) supplied by a battery; (b) absorbed by a resistor.

Dalam menyalurkan atau mendistribusikan daya listrik dari pusat-pusat pembangkit atau PHB menggunakan penghantar berupa konduktor tembaga, aluminium dan lain sebagainya. Seperti kita ketahui arus listrik yang mengalir dalam konduktor mengalami hambatan (R). Yang menyebabkan terhambat arus listrik adalah karena adanya konduktor mempunyai konstanta hambatan jenis bahan (ρ).

Besarnya hambatan/resistansi pada konduktor tergantung pada faktor sebagai berikut:

- Panjang konduktor
- Berbanding terbalik dengan luas penampang (A) konduktor
- Bergantung dari pada kemurnian bahan dan tahanan jenis bahan
- Bergantung pada temperatur konduktor

Pada butir 4 diatas maka R dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$R = \rho l/A \text{ atau } \rho = AR/l.$$

Efek temperatur dalam resistansi adalah dengan menaikannya temperatur atau suhu mengakibatkan bertambahnya nilai dari resistansi dari pada logam atau konduktor dan menurunnya nilai resistansi dari elektrolit, isolator (mika, kertas, karet, gelas, dsb).

8.8.5 rugi/susut teknis pada sistem distribusi tenaga listrik

Dalam proses penyaluran tenaga listrik ke para pelanggan (dimulai dari pembangkit, transmisi dan distribusi) terjadi rugi-rugi teknis (losses) yaitu rugi daya dan rugi energi. Rugi teknis adalah pada penghantar saluran, adanya tahanan dari penghantar yang dialiri arus sehingga timbullah rugi teknis (I^2R) pada jaringan tersebut. Misalnya pada mesin-mesin listrik seperti generator, trafo dan sebagainya, adanya histerisis dan arus pusar pada besi dan belitan yang dialiri arus sehingga menimbulkan rugi teknis pada peralatan tersebut. Rugi teknis

pada pembangkit dapat diperbaiki dengan meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemakain sendiri.

Rugi teknis pada sistem distribusi merupakan penjumlahan dari I^2R atau rugi tahanan dan dapat dengan mudah diketahui bila arus puncaknya diketahui. Rugi teknis dari jaringan tenaga listrik tergantung dari macam pembebanan pada saluran tersebut (beban merata, terpusat). Rugi teknis pada transformator terdiri dari rugi beban nol dan rugi pada waktu pembebanan. Rugi pada beban nol dikenal dengan rugi besi, dan tidak tergantung dari arus beban, sedangkan rugi pada waktu pembebanan dikenal dengan rugi tembaga yang nilainya bervariasi sesuai dengan kuadrat arus bebannya.

Rugi energi (rugi kWh) biasanya dinyatakan dalam bentuk rupiah. Biaya untuk mencatu kerugian ini dapat dibagi dalam 2 bagian yang utama :

- a. Komponen energi atau biaya produksi untuk membangkitkan kehilangan kWh.
- b. Komponen demand/beban atau biaya tahunan yang tercakup di dalam sistem investasinya yang diperlukan mencatu rugi beban rugi beban puncak.

Kedua komponen tersebut biasanya digabungkan menjadi satu, baik dalam bentuk Rp/kWh untuk rugi energi maupun dalam Rp/kW rugi daya puncak. Biasanya rugi teknis itu tergantung pada titik yang diamati dari sistem tersebut, titik yang terjauh dari sumber, sudah tentu biayanya lebih besar.

Ada beberapa permasalahan dalam menentukan rugi daya dan susut energi :

1. Rugi daya

Rugi daya lebih mudah dihitung daripada rugi energi karena pada rugi energi perlu diketahui kurva pembebanannya dan kondisi pengoperasiannya pada selang waktu pembebanan tersebut.

Perhitungan rugi daya dilakukan pertama-tama pada bagian sistem yang datanya sudah diketahui dengan pasti seperti saluran transmisi dan distribusi. Untuk bagian lainnya seperti transformator dan generator yang dikarenakan tidak adanya data pengujian, rugi daya dapat dihitung dengan teliti hanya oleh perancangannya saja, karena ia yang mengetahui seluk beluk mengenai komponen tersebut yang mencakup berat, kualitas, rugi besi, rapat fluks, dan sebagainya dan juga penghantara tembaga yang meliputi penampang, kerapatan arus, dan sebagainya.

Rugi daya dari turbin, turbin hidrolis, dan sebagainya tidak dapat dihitung secara teliti, bahkan oleh sipercancangpun menghitung berdasarkan rumus empiris yang didapat dari hasil-hasil pengujian dari jenis yang serupa.

Setelah generator, transformator atau turbin dibuat oleh pabrik, biasanya pengujian efisiensi dapat dilakukan di pabrik maupun di lapangan dimana alat tersebut dipasang. Sesudah dilakukan pengukuran efisiensi atau rugi daya menurut persyaratan pengujiannya, secara umum dapat dihitung efisiensi atau rugi dayanya pada setiap kondisi pembebanan dengan menggunakan beberapa karakteristik rugi-rugi yang ada dari berbagai komponennya. Inilah metoda yang paling banyak dipakai oleh para insinyur untuk menghitung rugi daya.

2. **Susut Energi**

Pada umumnya rugi-rugi teknis pada tingkat pembangkit dan saluran transmisi pemantauannya tidak menjadi masalah karena adanya fasilitas pengukuran yang dapat dipantau dengan baik. Hal yang sama juga terdapat pada gardu induk (GI), sehingga rugi-rugi teknis dari GI tidak menjadi masalah besar karena disinipun pengukuran dan pemantauan berjalan baik.

Lain halnya pada sisi distribusi, rugi-rugi teknis lebih kompleks dan sulit diketahui besarnya. Pada GI setiap penyulang yang keluar dari GI ini dilengkapi dengan alat pengukur, begitu pula pada sisi primer trafo tenaganya. Selepas ini tidak terdapat lagi alat pengukuran kecuali pada meteran pelanggan. Oleh karena itu, sangatlah sulit menentukan rugi energi secara tepat pada sistem distribusi.

Dengan menentukan rugi/susut energi pada saluran distribusi, cara yang dilakukan oleh beberapa perusahaan listrik adalah membandingkan energi yang disalurkan oleh gardu induk dan energi yang terjual dalam selang waktu tertentu, misalnya setahun.

Ada dua sumber kesalahan pokok dalam perhitungan susut energi :

Selisih kWh (energi) yang disalurkan GI dan kWh yang terjual atau energi yang dipakai oleh pelanggan tidak menggambarkan keadaan sebenarnya, Karena ada energi yang tidak terukur seperti pencurian listrik, meteran rusak, kesalahan pembacaan kWh meter dan sebagainya. Dari sini jelaslah selisih energi yang sebenarnya tidak dapat diukur secara pasti.

Pembacaan meteran pada GI mungkin dapat dilakukan pada hari yang sama, dengan demikian kWh (energi) yang diukur bebar-benar merupakan kWh yang disalurkan, sedangkan pembacaan meteran pelanggan tidak bersamaan waktunya sehingga hal ini akan merupakan kesalahan dalam analisis selanjutnya.

Jalan terbaik dalam menyiapkan informasi agar perhitungan rugi energi menjadi sederhana, ialah membuat terlebih dahulu kurva lamanya pembebanan dari kurva beban hariannya/tahunnya.

Untuk mendapatkan kurva rugi daya versus beban, perlu diketahui hubungan antara rugi daya (P) dan beban atau rugi daya/beban hariannya. Oleh karena rugi daya (I^2R) berbanding lurus dengan kuadrat beban maka, berdasarkan kurva lamanya pembebanan dapatlah dibuat kurva rugi daya versus waktu dan rugi daya rata-rata adalah harga rata-ratanya untuk suatu periode tertentu.

Dengan diketahuinya rugi daya rata-rata, rugi energi adalah seharga dengan rugi daya rata-rata untuk periode tertentu dikalikan dengan jumlah jam dari periode yang bersangkutan. Jadi rugi energi atau susut energi dapat dirumuskan sebagai berikut :

Rugi energi = rugi daya rata-rata dalam periode tertentu x jumlah jam periode tersebut

Rugi energi dalam persen adalah rugi energi yang dinyatakan dalam persentase dari energi yang dikirim/disalurkan dalam periode waktu yang sama. Energi yang dikirim atau disalurkan adalah sama dengan beban rata-rata untuk periode tertentu dikalikan jumlah jam dari periode tersebut.

energi yang disalurkan (energi output) = beban rata-rata dalam periode tertentu x jumlah jam periode tersebut.

Bila mesin atau bagian komponen dari sistem tenaga tidak beroperasi secara terus-menerus maka untuk hal seperti ini dipakai faktor operasi, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara lamanya waktu operasi sebenarnya dan lamanya waktu dalam periode yang diambil.

Rugi daya rata-rata dari suatu mesin yang beroperasi dikalikan dengan faktor operasi akan menghasilkan rugi daya untuk periode tersebut, dan bila dikalikan lagi dengan jumlah jam dari periode tersebut maka didapat rugi energi.

Rugi energi dalam periode tertentu = Rugi daya rata-rata selama periode operasi x faktor operasi x jumlah jam dari periode itu.

3. Rugi tembaga dan rugi kuadrat beban

Rugi tembaga atau rugi-rugi lainnya berbanding lurus dengan kuadrat beban dan dengan adanya kurva beban versus waktu atau kurva lamanya pembebanan, maka dapatlah dibuat kurva rugi daya/waktu atau kurva lamanya rugi daya dimana setiap ordinatnya berbanding lurus dengan kuadrat setiap ordinat.kurva bebannya. Dari kurva lamanya rugi daya, dapat pula ditentukan rugi daya rata-ratanya selama periode tersebut. Luas dari kurva lamanya rugi daya merupakan rugi energi selama periode tersebut. Jadi rugi daya rata-rata = rugi energi selama periode tersebut/lamanya periode tersebut.

Dalam perhitungan rugi energi sebaiknya dipakai faktor rugi yaitu perbandingan antara rugi daya rata-rata dan rugi daya pada beban puncak dalam periode tertentu.

Rugi energi = rugi daya pada beban puncak x faktor rugi x jumlah jam dari periode tersebut

Sebagai contoh, bila rugi tembaga 1200kW, faktor rugi 0,33 dan selang waktu 1 tahun maka rugi energi selama setahun = $1200 \times 0,33 \times 8760$ kWh.

Faktor rugi energi adalah sama dengan faktor rugi dibagi dengan faktor beban dalam periode yang sama dan untuk suatu bentuk kurva beban yang umum, terdapat hubungan antara faktor rugi energi dengan faktor beban.

Faktor rugi energi adalah sama dengan faktor rugi dibagi dengan faktor beban dalam periode yang sama dan untuk suatu bentuk kurva beban yang umum, terdapat hubungan antara faktor rugi energi dengan faktor beban.

Jadi faktor rugi energi dapat dinyatakan sebagai :

Faktor rugi energi = faktor rugi daya / faktor beban

Bila faktor rugi energi sudah diketahui atau sudah diasumsikan, persentase rugi (tembaga) pada beban puncak untuk periode tersebut didapat dari persamaan :

Rugi energi (%) = rugi daya pada beban puncak x faktor rugi energi

Sebagai contoh, bila rugi daya pada beban puncak 12 % dan faktor rugi energi sama dengan 0,66, maka rugi energi dalam persen untuk periode tersebut adalah $12\% \times 0,66 = 8\%$ dari energi keluarannya/yang disalurkan.

Rugi energi dalam persen = Rugi daya dalam persen pada beban nominalnya x faktor rugi energi x faktor kapasitas/faktor beban.

Sebagai contoh, bila rugi daya pada beban nominalnya 2 %, faktor beban 0,6 dan faktor kapasitas 0,5 dan faktor rugi energi 0,73, persentase rugi energi

untuk periode tersebut adalah $2 \times 0,73 \times 0,5/0,6$ atau 1,22% dari energi keluarannya.

4. Rugi-rugi yang konstan, rugi besi dan sebagainya

Besaran dari rugi daya konstan seperti rugi besi, rugi bantalan, gesekan dan gesekan angin pada ujung belitan dan sebagainya untuk bermacam bagian dari sistem tenaga biasanya diketahui dari hasil pengujian maupun pengujian di lapangan. Rugi energi yang konstan ini dapat dihitung dengan mengalikan konstanta rugi dayannya dengan jumlah jam dari selang yang diamati. Bila nilainya akan ditentukan dalam persen, maka konstanta rugi daya harus dalam persen dari nilai beban nominalnya, konstanta rugi energi dapat diturunkan dari pernyataan berikut ini :

Rugi energi (%) = Rugi daya dalam persen pada beban nominalnya / factor kapasitas

Sebagai contoh, bila rugi besi pada beban nominalnya 1 % dan faktor kapasitas 0,4 maka rugi besi dalam persen untuk periode tersebut adalah $1/0,4 = 2,5$ % dari energi keluarannya.

5. Rugi-rugi yang tidak langsung sebagai fungsi dari beban

Rugi pada turbin hidrolik, turbin uap dan bagian-bagian lainnya dari sistem tenaga ada yang berbanding lurus dengan kuadrat beban dan ada pula yang konstan. Bentuk kurva dari rugi versus beban untuk tipe pembangkit yang berlainan variasinya satu sama lain cukup besar, sehingga tidak mungkin membuat perhitungan rugi energi sederhana dengan menggunakan faktor tersebut di atas untuk rugi tembaga. Secara umum bentuk kurva dari rugi daya

versus beban dapat dibuat dari kurva efisiensi versus beban dan bial kurva beban harian atau bulana diketahui, diutamakan dari kurva lamanya pembebanan, maka kurva rugi daya/waktu dapat dibuat.

Pada PLTA, rugi turbin hidrolis biasanya merupakan rugi yang terbesar dari setiap peralatan sistem. Untuk alasan itulah hal ini perlu mendapat perhatian yan sebesar-besarnya.

8.8.6 Karakteristik listrik dari saluran transmisi

Yang dimaksud dengan karakteristik listrik dari saluran transmisi ialah konstanta-konstanta saluran yaitu; tahanan (R), induktansi (L), konduktansi (G), dan kapasitansi (C). Pada saluran udara konduktansi sangat kecil sehingga dengan mengabaikan konduktansi itu perhitungan-perhitungan akan jauh lebih mudah dan pengaruhnyapun masih dalam batas-batas yang dapat diabaikan.

1. Tahanan R

Tahanan dari suatu konduktor (kawat penghantar) diberikan oleh:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.1)$$

Dimana: ρ = resistivitas

l = panjang kawat

A = luas penampang kawat

Dalam tabel-tabel yang tersedia sering kita jumpai penampang kawat diberikan dalam satuan "Circular Mil" disingkat CM. Definisi CM ialah penampang kawat yang mempunyai diameter 1 mil (=1/1000 inch). Bila penampang kawat diberikan dalam mm², maka penampang kawat dalam CM adalah:

$$CM = 1973 \times (\text{Penampang dalam } mm^2)$$

atau

$$mm^2 = 5,067 \times 10^{-4} \times (\text{Penampang dalam CM})$$

Dalam sistem MKS satuan untuk resistivitas ρ diberikan dalam ohm-meter, panjang dalam meter dan luas dalam meter kuadrat. Sistem yang lain (CGS), ρ diberikan dalam mikro-ohm-centimeter, panjang dalam centimeter kuadrat (tabel 2.2).

Karena pada umumnya kawat-kawat penghantar terdiri dari kawat pilin (*stranded conductors*) maka sebagai faktor koreksi untuk memperhitungkan pengaruh dari pilin itu, panjang kawat dikalikan dengan 1,02(2% faktor koreksi).

Tahanan kawat berubah oleh temperatur, dalam batas temperatur 10°C sampai 100°C, maka untuk kawat tembaga dan aluminium berlaku rumus:

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1)] \quad (2.2)$$

dimana:

R_{t_2} = tahanan pada temperatur t_2

R_{t_1} = tahanan pada temperatur t_1

α_{t_1} = koefisien temperatur dari tahanan pada temperatur t_1 C⁰.

Jadi,

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = 1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1) \quad (2.3)$$

$$\frac{R_{t_2}}{R_1} = \frac{T_0 + T_1}{T_0 + t_1}$$

dimana:

$$\alpha_{t_1} = \frac{1}{T_0 + t_1}$$

atau

$$T_0 = \frac{1}{\alpha_{t_1}} - t_1 \quad (2.4)$$

Jelas kelihatan bahwa $-T_0$ adalah sama dengan temperatur dimana tahanan kawat akan menjadi nol, bila persamaan linear yang sama berlaku untuk daerah temperatur itu. Dan bila ini benar maka $-T_0$ adalah sama dengan temperatur absolut -273°C . Untuk tembaga (CU) yang mempunyai konduktivitas 100%, koefisien temperatur dari tahanan pada 20°C adalah:

$$\alpha_{20} = 0,00393 \quad -20 = 234,5^{\circ}\text{C}$$

Untuk konduktivitas yang lain dari tembaga, α berubah langsung dengan konduktivitasnya. Jadi untuk konduktivitas 97,5%.

$$\alpha_{20} = 0,00383 \quad \text{dan } T_0 = 241,0^{\circ}\text{C}$$

Untuk aluminium (Al) dengan konduktivitas 61%,

$$\alpha_{20} = 0,00383 \quad \text{dan } T_0 = 228,1^{\circ}\text{C}$$

Dalam tabel 2.1 di bawah ini diberikan harga-harga T_0 dan α untuk bahan-bahan konduktor standar.

Tabel 2.1. Harga-harga T_0 dan α untuk bahan-bahan konduktor standar

Material	T_0 °C	Koefisien temperatur dari tahanan x 10^{-3}						
			α_{20}	α_{25}	α_{50}	α_{75}	α_{80}	α_{100}
Cu	234,5	4,27	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	2,99
100%	241,0	4,15	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Cu	228,1	4,38	4,03	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05
97,5%								
Al 61%								

Dalam tabel 2.2 dibawah ini diberikan resistivitas dari bahan-bahan konduktor standar untuk berbagai temperatur.

Tabel 2.2. Resistivitas dari bahan-bahan konduktor standar untuk berbagai temperatur

Material	Mikro – Ohm - cm						
	ρ_0	ρ_{20}	ρ_{25}	ρ_{50}	ρ_{75}	ρ_{80}	ρ_{100}
Cu	1,58	1,72	1,75	1,92	2,09	2,12	2,26
100%	1,63	1,77	1,80	1,97	2,14	2,18	2,31
Cu	2,60	2,83	2,89	3,17	3,46	3,51	3,74
97,5%							
Al 61%							

Tahanan arus searah yang diperoleh dari perhitungan-perhitungan diatas harus dikalikan dengan faktor:

1,0 untuk konduktor padat (*solid wire*)

1,01 untuk konduktor pilin yang terdiri dari 2 lapis (*strand*)

1, 02 untuk konduktor pilin lebih dari dua lapis.

Contoh Soal:

1. Hitung tahanan DC dari konduktor 253 mm² (500.000 cm) dalam ohm per km pada 25⁰C. Misalkan Cu-97,5%. Dari tabel diperoleh:

$$\rho_{25} = 1,8 \text{ mikro - ohm - cm}$$

$$l = 1 \text{ km} = 10^5 \text{ cm}$$

$$A = 253 \text{ mm}^2 = 253 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$$

$$R_{25} = \rho_{25} \frac{l}{A} = 1,8 \times 10^{-6} \times \frac{10^5}{253 \times 10^{-2}} = 0,0711 \text{ ohm/km}$$

dengan memperhatikan pengaruh lapisan (umumnya konduktor terdiri dari 3 lapis).

$$R_{25} = 1,02 \times 0,0711 = 0,0726 \text{ ohm / km}$$

2. Tentukan tahanan DC dari ACSR 403 mm² (795.000 cm) pada 25⁰C. ACSR ialah konduktor aluminium yang mempunyai inti besi yang gunanya untuk mempertinggi kekuatan tarik. Penampang konduktor itu (403 mm²) tidak termasuk penampang baja, hanya penampang Al saja, sehingga untuk Al konduktivitas 61% maka tahanan DC menjadi:

$$R_{25} = 1,02 \times 2,89 \times 10^{-6} \frac{10^5}{403 \times 10^{-2}} = 0,0731 \text{ ohm/km}$$

2. Induktansi dan Reaktansi Induktif dari Rangkaian Fasa Tunggal

Dalam penurunan rumus-rumus untuk induktansi dan reaktansi induktif dari sesuatu konduktor biasanya diabaikan dua faktor, yaitu:

- a. Efek kulit (*skin effect*)
- b. Efek sekitar (*proximity effect*)

Efek kulit adalah gejala pada arus bolak-balik, bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut makin besar kearah permukaan kawat. Tetapi bila kita hanya meninjau frekuensi kerja (50 Herzt atau 60 Herzt) maka pengaruh efek kulit itu sangat kecil dan dapat diabaikan. Efek sekitar ialah pengaruh dari kawat lain yang berada disamping kawat yang pertama (yang ditinjau) sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi. Tetapi bila radius konduktor kecil terhadap jarak antara kedua kawat maka efek sekitar ini sangat kecil dan dapat diabaikan.

2a. Induktansi

Dua persamaan dasar membantu untuk menjelaskan dan mendefinisikan induktansi. Persamaan pertama menghubungkan tegangan imbas dengan kecepatan perubahan fluks yang meliputi suatu rangkaian. Tegangan imbas adalah

$$e = \frac{dr}{dt} \quad (2.5)$$

dimana e adalah tegangan imbas dalam volt dan r adalah banyaknya **fluks gandeng** (*fluks linkage*) rangkaian dalam weber-lilitan (weber-turn-wbt). Banyaknya weber lilitan adalah hasil kali setiap weber fluks dengan banyaknya lilitan rangkaian yang digandengnya.

Bila arus dalam suatu rangkaian berubah, medan magnetnya yang berhubungan harus juga berubah. Jika diandaikan medium dimana medan magnet

itu timbul mempunyai permeabilitas konstan, banyaknya fluk gandeng berbanding langsung dengan arus, sehingga tegangan imbas sebanding dengan kecepatan perubahan arus. Jadi persamaan dasar kita yang kedua adalah:

$$e = L \frac{di}{dt} \quad V \quad (2.6)$$

dimana:

L = Konstanta pembanding

L = Induktansi rangkaian, H

e = Tegangan imbas, V

di/dt τ = Kecepatan perubahan arus, A/s

$$L = \frac{d\tau}{di} \quad (2.7)$$

Jika fluk gandeng rangkaian berubah secara linear terhadap arus, yang berarti rangkaian magnetik itu mempunyai suatu permeabilitas konstan, sehingga timbul definisi induktansi sendiri suatu rangkaian listrik sebagai fluk gandeng rangkaian persatuan arus. Dalam suatu saluran dua kawat banyaknya fluk gandeng rangkaian adalah jumlah fluk gandeng pada masing-masing kawatnya. Dalam sistem SI, L dalam henry sama dengan weber-lilitan per ampere. Dalam istilah induktansi fluk gandeng adalah:

$$\tau = Li \quad \text{Wbt} \quad (2.8)$$

karena i adalah arus sesaat, τ mewakili fluk gandeng sesaat. Untuk arus bolak-balik berbentuk sinusoidal, fluk gandengnya juga berbentuk sinusoidal. Bila ψ merupakan pernyataan fasor untuk fluk gandeng:

$$\psi = LI \quad \text{Wbt} \quad (2.9)$$

karena ψ dan I sefasa, L merupakan bilangan nyata, tegangan jatuh fasor karena fluk gandeng adalah:

$$V = j\omega LI \quad V \quad (2.10)$$

$$V = j\omega\psi \quad V \quad (2.11)$$

Induktansi bersama antara dua rangkaian didefinisikan sebagai fluk gandeng pada salah satu rangkaian karena arus yang terdapat pada rangkaian kedua per ampere arus dalam rangkaian kedua itu. Jika arus I_2 menghasilkan ψ_{12} fluk gandeng dengan rangkaian 1, induktansi bersama adalah:

$$M_{12} = \frac{\psi_{12}}{I_2} \quad H \quad (2.12)$$

Tegangan jatuh fasor dalam rangkaian 1 yang disebabkan oleh fluk gandeng rangkaian 2 adalah:

$$V = j\omega M_{12} I_2 = j\omega\psi_{12} \quad V \quad (2.13)$$

Induktansi bersama ini penting dalam peninjauan pengaruh saluran daya pada saluran telepon dan gandeng (*coupling*) antara saluran-saluran daya sejajar.

2b. Induktansi Penghantar Karena Fluk Dalam

Untuk mendapatkan nilai yang tepat untuk induktansi suatu saluran transmisi, perlu kita tinjau fluk di dalam setiap penghantar seperti halnya juga dengan fluk diluar penghantar. Marilah kita tinjau penghantar silinder panjang yang penampang melintangnya.

Gaya gerak magnet ggm (*magnetomotive force – mmf*) dalam ampere lilitan sekeliling setiap jalur tertutup sama dengan arus dalam ampere yang diliputi oleh jalur itu. Ggm ini juga sama dengan integral komponen singgung kuat medan magnet sekeliling jalur tersebut.

$$mmf = \oint H \cdot ds = I \quad At \quad (2.14)$$

dimana: H = kuat medan magnet, At/m

s = Jarak sepanjang jalur, m

I = Arus, A, yang diliputi

Dengan mengintegrasikan dari pusat penghantar ke tepi luarnya untuk mendapatkan ψ_{int} , fluk gandeng keseluruhan didalam penghantar, kita dapatkan:

$$\psi_{\text{int}} = \int_0^r \frac{\mu I x^3}{\pi r^4} dx \quad (2.15)$$

$$\psi_{\text{int}} = \frac{\mu}{8\pi} \quad \text{Wbt/m} \quad (2.16)$$

Untuk suatu permeabilitas relatif 1, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m dan $\psi_{\text{int}} = 1/2 \cdot 10^{-7}$ Wbt/m
(2.17)

$$L_{\text{int}} = 1/2 \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \quad (2.18)$$

2c. Fluk Gandeng Antara Dua Titik di Luar Penghantar Yang terpisah

Sebagai suatu langkah untuk menghitung induktansi karena fluk diluar penghantar, diantara dua titik sejauh D1 dan D2 dari pusat penghantar, sedagkan P1 dan P2 terletak pada permukaan selinder sejauh x meter dari pusat penghantar kuat medannya adalah Hx, Ggm keliling unsur adalah:

$$2\pi x H_x = I \quad (2.19)$$

dengan menyelesaikan H_x dan mengalikannya dengan μ 1 menghasilkan kerapatan fluk B_x dalam unsur tersebut, sehingga:

$$B_x = \frac{\mu I}{2\pi x} \quad \text{Wb/m} \quad (2.20)$$

Fluk $d\phi$ dalam unsur tabung setebal dx adalah

$$d\phi = \frac{\mu I}{2\pi x} dx \quad \text{Wb/m} \quad (2.21)$$

Fluk gandeng $d\psi$ permeter menurut angka sama dengan fluk $d\phi$, karena fluk di luar penghantar menggandeng seluruh arus dalam penghantar. Fluk gandeng keseluruhan antara P1 dan P2 diperoleh dengan mengintegrasikan d dari $x = D_1$ ke $x = D_2$, maka didapatkan:

$$\psi_{12} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu I}{2\pi x} dx = \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ Wbt/m} \quad (2.22)$$

atau, untuk suatu permeabilitas relatif 1,

$$\psi_{12} = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ Wbt/m} \quad (2.23)$$

Induktansi hanya karena fluk yang meliputi P1 dan P2 adalah:

$$L_{12} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ H/m} \quad (2.24)$$

dengan mengubah H/m menjadi mH/mill dan dengan menggunakan logaritma dasar 10, kita dapatkan:

$$L_{12} = 0,7411 \log \frac{D_2}{D_1} \text{ mH/mill} \quad (2.25)$$

2d. Induktansi Suatu Saluran Dua Kawat Fasa-Tunggal

Induktansi rangkaian karena arus dalam penghantar 1 ditentukan oleh persamaan berikut, dengan jarak D antara penghantar-penghantar 1 dan 2 menggantikan D_2 dan jari-jari r_1 pada penghantar 1 menggantikan D_1 . Untuk fluk luar persamaan menjadi:

$$L_{1ext} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r1} \quad \text{H/m} \quad (2.26)$$

sedangkan untuk flik dalam:

$$L_{1int} = 1/2 \times 10^{-7} \quad \text{H/m} \quad (2.27)$$

Induktansi rangkaian keseluruhan karena arus dalam penghantar 1 saja adalah:

$$L_1 = \left(1/2 + 2 \ln \frac{D}{r1} \right) \times 10^{-7} \quad \text{H/m} \quad (2.28)$$

dengan menggabungkan suku-sukunya, kita dapatkan:

$$L_1 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \quad \text{H/m} \quad (2.29)$$

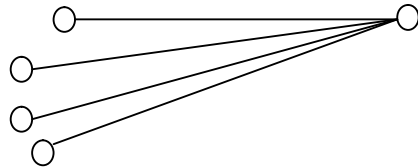
atau
$$L_1 = 0,741 \text{ llog} \frac{D}{r1} \quad \text{mH/mill} \quad (2.30)$$

karena arus dalam penghantar 2 mengalir dalam arah yang berlawanan dengan terdapat dalam penghantar 1 (berbeda fasa 180^0), fluk gandeng yang dihasilkan arus dalam penghantar 2 akan sama panjang dengan yang dihasilkan oleh penghantar 1. sehingga fluk hasilnya untuk dua penghantar tersebut ditentukan oleh jumlah ggm kedua pengnantar tersebut. Untuk permeabilitas konstan, fluk gandeng kedua penghantar yang ditinjau secara terpisah itu dapat dijumlahkan sehingga:

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \quad \text{H/m} \quad (2.31)$$

$$L = 1,482 \text{ log} \frac{D}{r} \quad \text{mH/mill} \quad (2.32)$$

2e. Fluk Gandeng Sebuah Penghantar dalam Kelompok



Gambar 2.1 Penampang melintang sekelompok

Jarak penghantar diwakili oleh D_{1p} , D_{2p} , D_{3p} , D_{4p} ,... D_{np} sejauh titik P, maka:

$$\psi_1 = 2 \times 10^{-7} \left(I_1 \ln \frac{1}{r_1} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} + \dots \dots \dots I_n \ln \frac{1}{D_n} \right)$$

Wbt/m (2.33)

Dengan memindahkan titik P menuju tempat yang jauh tak terhingga, telah melibatkan semua fluk gandeng penghantar 1. Jika arus itu timbul bolak balik, maka harus dinyatakan sebagai arus-arus sesaat untuk mendapatkan fluk gandeng sesaat atau sebagai nilai-nilai efektif kompleks untuk mendapatkan nilai efektif fluk gandeng sebagai suatu bilangan kompleks.

2f. Induktansi Saluran Penghantar Paduan

Kawat-kawat berlilit termasuk dalam klasifikasi umum sebagai penghantar paduan (*composite*), yang berarti penghantar-penghantar yang terdiri dari dua atau

lebih unsur atau lilit yang secara listrik paralel. Bila induktansi tersusun dari penghantar-penghantar paduan pada dua sisi X dan Y, maka:

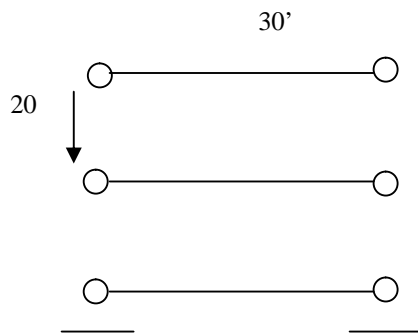
$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{Dm}{D_s} \quad \text{H/m} \quad (2.34)$$

$$L_y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{Dm}{D_s} \quad \text{H/m} \quad (2.35)$$

$$L = L_x + L_y \quad \text{H/m} \quad (2.36)$$

Contoh Soal:

1. Sebuah rangkaian pada suatu saluran transmisi terdiri dari tiga kawat pejal dengan jari-jari 0,1 inch. Rangkaian kembalinya terdiri dari dua kawat dengan jari-jari 0,2 inch. Susunan penghantar tersebut ditunjukkan oleh gambar berikut: Tentukan induktansi karena arus masing-masing sisi saluran dan induktansi saluran lengkap dalam milihendy/mill.



Sisi X

Sisi Y

Solusi:

- Menentukan GMD antara sisi X dan Y:

$$D_m = \sqrt[6]{D_{ad} D_{ae} D_{bd} D_{be} D_{cd} D_{ce}}$$

$$D_{ad} = D_{be} = 30 \text{ ft}$$

$$D_{ae} = D_{bd} = D_{ce} = \sqrt{20^2 + 30^2} = \sqrt{1300}$$

$$D_{cd} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ ft}$$

$$D_m = \sqrt[6]{30^2 \cdot 50^2 \cdot 1300^{3/2}} = 35,8 \text{ ft}$$

- Menentukan GMR untuk sisi X:

$$D_s = \sqrt[9]{D_{aa} D_{ab} D_{ac} D_{ba} D_{bb} D_{bc} D_{ca} D_{cb} D_{cc}}$$

$$D_s = \sqrt[9]{\frac{(0,1 \times 0,7788)^3}{12} \times 20^4 \times 40^2}$$

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{0,1 \times 0,7788}{12} \times 20^{4/9} \times (2 \times 20)^{2/9}}$$

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{0,1 \times 0,7788}{12} \times 20^{4/9+2/9} \times 2^{2/9}}$$

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{0,1 \times 0,7788}{12} \times 20^{2/3} \times 4^{1/9}} = 1,605 \text{ ft}$$

- Menentukan GMR untuk sisi Y:

$$D_s = \sqrt[4]{\frac{(0,2 \times 0,7788)^2}{12} \times 20^2} = 0,509 \text{ ft}$$

Maka Induktansinya:

$$L_x = 0,7411 \log \frac{35,8}{1,605} = 1,00 \text{ mH/mill}$$

$$L_y = 0,7411 \log \frac{35,8}{0,509} = 1,38 \text{ mH/mill}$$

$$L = L_x + L_y = 2,38 \text{ mH/mill}$$

2g. Penggunaan Daftar

Didalam penerapan ilmu dilapangan, perhitungan-perhitungan jarang dilakukan, karena semua nilai GMD (Dm) yang mewakili jarak antara kedua penghantar serta nilai GMR (Ds) yang memperhitungkan efek kulit yang cukup terasa untuk induktansi selalu tersedia pada daftar untuk semua jenis penghantar.

Contoh Soal :

1. Tentukan rekatansi induktif per mile suatu saluran fasa tunggal yang bekerja pada frekuensi 60 Hz. Penghantar yang dipakai adalah **Partridge** dan jarak pemisahannya adalah 20 ft antara pusat-pusatnya.

Solusi:

Untuk penghantar ini dilihat Datar A.1 pada lampiran memberikan $D_s = 0,0217$ ft

$$X_L = 4,657 \times 10^{-3} \times 60 \log \frac{20}{0,0217} = 0,828 \text{ ohm/mill}$$

2h. Induktansi Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak Pemisah Yang Sama

Penghantar-penghantar saluran tiga fasa membentuk ujung suatu segitiga sama sisi. Jika diandaikan tanpa kawat netral, atau jika kita andaikan arus-arus fasor tiga fasa setimbang $I_a + I_b + I_c = 0$, atau $I_a = -(I_b + I_c)$ sehingga;

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \quad \text{H/m} \quad (2.37)$$

$$L_a = 0,7411 \log \frac{D}{r} \quad \text{mH/mill} \quad (2.38)$$

untuk penghantar lilit r' menggantikan D_s .

2i. Induktansi Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak Pemisah Tak Simetris

Penghantar-penghantar yang mempunyai jarak tidak simetris, persoalan untuk mencari induktansinya lebih sukar, karena fluk gandeng dan induktansi setiap fasanya menjadi tidak sama, pada setiap fasa menghasilkan suatu

rangkaian yang tidak seimbang. Kesimbangan ketiga fasa itu dapat pulih dengan mempertukarkan kedudukan penghantar-penghantar pada selang jarak tertentu sepanjang saluran sedemikian hingga setiap penghantar akan menduduki kedudukan semula penghantar yang lain pada suatu jarak yang sama (*transposisi*). Sehingga induktansi rata-rata perfaasa adalah:

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{r'} \quad \text{H/m}$$

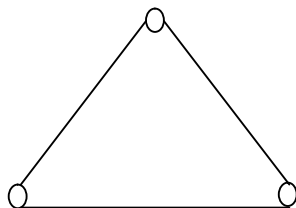
$$L_a = 0,7411 \log \frac{D_{eq}}{r'} \quad \text{mH/mill} \quad (2.39)$$

dimana:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$$

Contoh Soal:

1. Suatu saluran tiga fasa rangkaian tunggal bekerja pada 60 Hz dengan susunan seperti pada gambar berikut, Penghantar-penghantarnya adalah ACSR Drake jarak 20,20, 38 ft (segi tiga sama kaki). Tentukan induktansi dan reaktansi induktif perfasa per mile.



Solusi:

Menurut Daftar A.1, $D_s = 0,0373$ ft

$$D_{eq} = \sqrt[3]{20 \times 20 \times 38} = 24,8 \text{ ft}$$

$$L = 0,7411 \log \frac{24,8}{0,0373} = 2,09 \text{ mH/mil/fasa } X_L = 2\pi fL = 2 \times 3,14 \times 60 \times 2,09 = 0,7788$$

ohm/mil/f

2j. Penghantar Berkas

Pada tegangan extra tinggi diatas 230 kV, pada umumnya menggunakan penghantar berkas yaitu; menggunakan 2 tau lebih penghantar perfasa yang disusun berdekatan dibanding dengan jarak pemisah antar fasanya atau disebut juga (*bundled conductors*). Harga D_s untuk masing-masing penghantar berbeda-beda, tergantung dari jumlah penghantarnya. Sehingga:

- Untuk suatu berkas dua penghantar

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s \times d)^2} = \sqrt{D_s \times d}$$

- Untuk suatu berkas tiga penghantar

$$D_s^b = \sqrt[3]{(D_s \times d \times d)^3} = \sqrt[3]{D_s \times d^2}$$

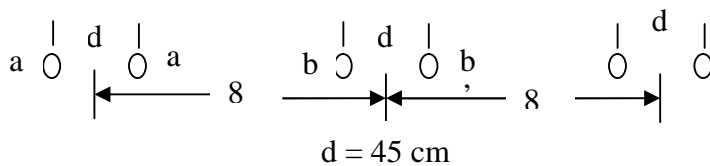
- Untuk suatu berkas empat penghantar

$$D_s^b = \sqrt[16]{(D_s \times d \times d \times d \times 2^{1/2})^4} = 1,09 \sqrt[4]{D_s \times d^3}$$

Pada penghantar berkas, nilai D_s^b menggantikan nilai D_s pada penghantar tunggal. Sedangkan untuk menghitung D_{eq} , jarak dari pusat suatu berkas ke pusat berkas yang lain cukup tepat untuk, D_{ab} , D_{bc} , D_{ca} . Mendapatkan GMD yang sebenarnya antara penghantar-penghantar pada suatu berkas dan penghantar pada berkas yang lain hampir tidak adabedanya dengan jarak antara pusat-pusat untuk jarak pemisah yang sama.

Contoh Soal:

1. Masing-masing penghantar pada saluran dengan penghantar berkas seperti terlihat pada gambar berikut:



2k. Saluran Tiga Fasa Rangkain Paralel

Dua rangkaian tiga fasa yang identik susunannya dan secara elektrik terhubung paralel mempunyai reaktansi induktif yang sama. Reaktansi induktif rangkaian ekuivalen tunggal hanya setengah dari yang dimiliki oleh masing-masing rangkaian rangkaian yang ditinjau secara tersendiri jika rangkaian itu terpisah sangat jauh sehingga induktansi timbal balik diantaranya dapat diabaikan. Jika kedua rangkaian tersebut terletak pada menara yang sama, metode GMD dapat dipakai untuk mendapatkan induktansi perfasa dengan menganggap bahwa

semua penghantar pada setiap fasa tertentu sebagai lilitan-lilitan atau serat-serat suatu penghantar terpadu.

Untuk menghitung D_{eq} , metoda GMD mensyaratkan pemakaian D_{ab}^p , D_{bc}^p , dan D_{ca}^p dimana superscripts menunjukkan bahwa kuantitas-kuantitas ini sendiri adalah GMD antara penghantar fasa a dan fasa b.

Contoh Soal:

1. Suatu saluran tiga fasa rangkian gabda terdiri dari penghantar-penghantar ACSR *Ostrich* 300.000 cmill 26/7 yang disusun seperti dalam rangkaian berikut, Tentukan reaktansi induktif dalam ohm per mil perfasa untuk 60 Hz.

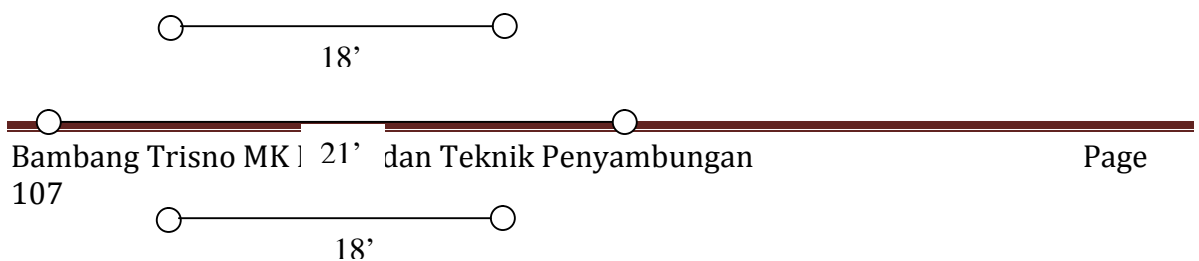
Solusi:

Menurut tabel A.1 untuk *Ostrich*

$D_s = 0,0299$ ft

Jarak a ke b : Posisi asli = $\sqrt{10^2 + 1,5^2} = 10,1$ kaki

Jarak a ke b' : Posisi asli = $\sqrt{10^2 + 19,5^2} = 21,9$ kaki



GMD anantara fasa-fasa adalah

$$D_{ab}^p = D_{bc}^p = \sqrt[4]{(10,1 \times 21,9)^2} = 14,88 \text{ ft}$$

$$D_{ca}^p = \sqrt[4]{(20 \times 18)^2} = 18,97 \text{ ft}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{14,88 \times 14,88 \times 18,97} = 16,1 \text{ ft}$$

GMR untuk saluran rangkaian paralel diperoleh setelah lebih dahulu mendapat nilai-nilai GMR untuk ketiga posisi. Jarak sebenarnya dari a ke a' adalah $\sqrt{20^2 + 18^2} = 26,9 \text{ ft}$.

Maka GMR untuk masing-masing fasa adalah

$$\text{Pada posisi a - a'} : \sqrt{26,9 \times 0,0229} = 0,785 \text{ ft}$$

$$\text{Pada posisi b - b'} : \sqrt{21 \times 0,0229} = 0,693 \text{ ft}$$

$$\text{Pada posisi c - c'} : \sqrt{26,9 \times 0,0229} = 0,785 \text{ ft}$$

Karena itu

$$D_s^p = \sqrt[3]{0,785 \times 0,693 \times 0,785} = 0,753 \text{ ft}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{16,1}{0,753} = 6,13 \times 10^{-7} \text{ H / m per fasa}$$

$$X_L = 2\pi 60 \times 1609 \times 6,13 \times 10^{-7} = 0,37 \text{ } \Omega / \text{mi per fasa}$$

8.8.7 Pendahuluan kalkulasi tegangan jatuh listrik

Pendahuluan kalkulasi tegangan jatuh listrik

Apa arti praktis kalkulasi tegangan jatuh listrik bagi seorang perencana listrik ketenagaan? Kalkulasi ini adalah sama artinya dengan perencanaan ukuran-ukuran kabel daya dan sistem proteksi listrik ketenagaan yang aman suatu bangunan atau utilitas plant. Contohnya jika seorang insinyur listrik diminta untuk merancang ukuran kabel 3-fasa untuk suatu pompa submersible listrik 150 HP, 380 V yang akan digunakan sebagai pompa banjir(katakan banjir lumpur Porong Sidoarjo). Pompa tersebut berjarak 125 meter dari sumber listriknya(atau panel induknya), berapa ukuran kabel yang aman, tidak panas tetapi ekonomis, kemudian berapa ukuran rating pemutus tenaga (Circuit Breaker atau Fuse) agar dapat memproteksi kabel secara aman terhadap beban lebih.

Seorang mahasiswa calon insinyur atau ahli madya yang serius belajar disiplin ilmunya seharusnya menguasai program spread-sheet excel sehingga kalkulasi kelistrikan secara umum akan lebih cepat difahami, dilatih, dan diingat terus sebagai pegangan bagi seorang praktisi listrik ketenagaan. Karena variabel-variabel ukuran kabel yang banyak, dan pembebanan arus yang juga bervariasi tergantung dari kebutuhan beban listrik, maka menggunakan program excel adalah merupakan keharusan. Berikut ini bentuk formulasi dasar tegangan jatuh dalam bentuk format excel/ppt yang dapat dikembangkan lebih jauh untuk aplikasi yang berbeda.

Kalkulasi tegangan jatuh listrik sebenarnya berdasarkan hukum Ohm kemudian ditambahkan faktor reaktansi (induktif atau kapasitif) dan faktor daya, maka formulasinya untuk aplikasi tegangan rendah sampai tegangan menengah 20 KV dapat ditulis sbb :

$$\text{Tegangan jatuh} = 1.732 \cdot R \cdot I \cdot \cos \phi + 1.732 \cdot X \cdot I \cdot \sin \phi$$

dimana 1.732 adalah hasil akar 3 (beban 3-fasa), I adalah arus beban, R adalah resistansi arus bolak-balik AC (bukan arus searah DC) , X adalah reaktansi induktif, dan $\cos \phi$ adalah faktor daya.

Kemudian data-data resistansi kabel dapat dicari dari buku katalog spesifikasi kabel seperti Supreme, Kabel Metal, Kabelindo, Tranka, Voksel yang bisa diminta langsung ke pabrikannya atau produk luar negeri untuk industri perminyakan seperti Pirelli atau Okonite. Data resistansi kabel pada umumnya disajikan dalam bentuk satuan Ohm per-kilometer sebagai resistansi arus searah DC, artinya resistansi terbaca jika kita mengukur dengan alat ukur Ohm-meter. Yang kita

perlu adalah resistansi AC (arus bolak-balik), kalau ditampilkan resistansi AC pada suhu 90 derajat Celsius maka resistansinya menjadi lebih besar. Umumnya suhu inti konduktor kabel yang diizinkan adalah 70 derajat Celsius, jadi resistansinya lebih kecil dari tabel.

Rumus tegangan jatuh diatas dapat diaplikasikan untuk arus searah DC maka faktor daya = 1 sehingga formulasinya untuk kabel 2 jalur adalah Tegangan jatuh = $2 \cdot R \cdot I$ dimana R adalah resistansi DC (hasil pengukuran alat Ohm-meter) dan I adalah arus searah DC.

Berapa jatuh tegangan kerja yang diizinkan. Jika tegangan rumah 220 Volt dan misalnya kita menerima dari sumber PLN hanya 200 Volt berarti jatuh tegangan 10%, maka hal ini akan mengganggu performance motor listrik mesin pendingin (Air Conditioner atau Kulkas) atau pompa air. Jatuh tegangan maksimum 5% dari sumber ke beban konsumen masih dapat diterima sistem (misalnya sumber 400 Volt dan kita sebagai konsumen menerima tegangan kerja setelah dibebani sebesar 380 Volt), tetapi untuk perencanaan terkadang ada yang menetapkan 2,5 %, tergantung untuk aplikasi dimana dan semuanya akan mempengaruhi total biaya instalasi listrik.

Sebagai referensi online, pembaca dapat meng-click link-link situs [Okonite](#) atau [General Electric](#) untuk studi perbandingan aplikasi tegangan jatuh, tetapi ingat rating tegangan listrik Amerika berbeda dengan Indonesia, jadi kita harus mengkonversikan dahulu dan pula mereka menggunakan standar ukuran kabel AWG(lihat tabel konversi AWG dan mm² dibawah). Silahkan pembaca melatih formulasi tegangan jatuh ini dengan excel dengan data dari berbagai sumber dan silahkan dikembangkan lebih jauh.

TEGANGAN JATUH KABEL TEMBAGA (Sumber data kabel produk 4 besar, Okonite, Pirelli)

Ukuran kabel tembaga			RDC 20 C	RAC 90 C	XAC 50 Hz	Tegangan jatuh susunan kabel trefoil di udara	Rating Amp maks pd 30 C kabel trefoil di udara	Tegangan jatuh L=100mtr, l=80% rating kabel trefoil di udara	Tegangan jatuh = $1.732 \cdot R \cdot I \cdot \cos \phi$ $1.732 \cdot X \cdot I \cdot \sin \phi$
mm	AWG	wire	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	mV/Amp/mtr	Amp	Volt	Volt
Multicore 380 VAC, 3-fase 50 Hz									
1.5	#14	1/1.38	11.9	15.232	0.012	27.0	18	39	30
2.5	#12	1/1.78	7.14	9.139	0.099	16.0	25	32	25.5
4	#10	1/2.25	4.47	5.722	0.093	10.0	34	27	21.8
6	#8	1/2.76	2.97	3.802	0.088	6.80	44	24	18.9
10	#6	1/3.57	1.77	2.266	0.084	4.00	60	19	15.5
16	#4	7/1.70	1.13	1.446	0.081	2.50	80	16	13.4
25	#2	7/2.14	0.712	0.911	0.081	1.60	105	13	11.3
35	#1	7/2.52	0.514	0.658	0.078	1.15	130	12	10.3
Single Core 380 VAC, 3-fase 50 Hz									
50	2/0	19/1.78	0.379	0.485	0.094	0.87	215	15	13.2
70	3/0	19/2.14	0.262	0.335	0.090	0.61	270	13	12.1
95	4/0	19/2.52	0.189	0.242	0.087	0.45	335	12	11.4
120	250 MCM	37/2.03	0.150	0.192	0.084	0.37	390	11.5	11

150	300 MCM	37/2.25	0.122	0.157	0.084	0.31	445	11	10.9
185	400 MCM	37/2.50	0.0972	0.126	0.084	0.26	510	10.6	10.7
240	500 MCM	61/2.25	0.074	0.097	0.081	0.22	606	10.7	10.6
300	600 MCM	61/2.52	0.059	0.078	0.080	0.195	701	10.9	10.7
400	750 MCM	61/2.85	0.0461	0.063	0.079	0.175	820	11.5	11.1
500	1000 MCM	61/3.20	0.0366	0.051	0.078	0.160	936	12	11.3

TEGANGAN JATUH KABEL ALUMINIUM (Sumber data kabel produk 4 besar, Okonite, Pirelli)

Ukuran kabel aluminium			RDC 20 C	RAC 50 C	XAC 50 Hz	Tegangan jatuh susunan kabel trefoil di udara	Rating Amp maks pd 30 C kabel trefoil di udara	Teganga n jatuh L=100mt r, l=80% rating kabel trefoil di udara	Tegangan jatuh = 1.732*R*I* cos φ 1.732*X*I* sin φ
mm 2	AWG	wire	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	mV/Amp/ mtr	Amp	Volt	Volt
Single Core 380 VAC, 3-fase 50 Hz									
50	2/0	19/1.78	0.641	0.718	0.106		166		14.7
70	3/0	19/2.14	0.443	0.497	0.103		210		9.4
95	4/0	19/2.52	0.320	0.359	0.098		258		8.8

120	250 MCM	37/2.03	0.253	0.284	0.097		300		8.5
150	300 MCM	37/2.25	0.206	0.232	0.097		344		8.4
185	400 MCM	37/2.50	0.164	0.185	0.096		398		8.3
240	500 MCM	61/2.25	0.125	0.142	0.092		476		8.3
300	600 MCM	61/2.52	0.100	0.114	0.090		551		8.4
400	750 MCM	61/2.85	0.0778	0.090	0.090		645		8.7
500	1000 MCM	61/3.20	0.0605	0.071	0.089		752		9.1

**PERBANDINGAN TEKNIS & HARGA KABEL TEMBAGA(NYY) DAN ALUMINIUM(NA2XY)
SINGLE CORE**

Ukuran kabel		RAC 90 C Tembaga	RAC 90 C Aluminium	XAC 50 Hz Tembaga	XAC 50 Hz Aluminium	Rating Amp maks pd 30 C kabel trefoil di udara	Rating Amp maks pd 30 C kabel trefoil di udara	NYN USD/mtr May 2006	NA2XY USD/mtr May 2006
mm 2	AWG	Ohm/k m	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Tembaga	Alumini um	Tembaga	Aluminiu m
50	2/0	0.485	0.718	0.094	0.106	215	166	US \$ 5.9	US \$ 1.2
70	3/0	0.335	0.497	0.090	0.103	270	210	US \$ 8.8	US \$ 1.5
95	4/0	0.242	0.359	0.087	0.098	335	258	US \$ 11.1	US \$ 1.9
120	250 MCM	0.192	0.284	0.084	0.097	390	300	US \$ 14.1	US \$ 2.9
150	300 MCM	0.157	0.232	0.084	0.097	445	344	US \$ 17.1	US \$ 3.3

185	400 MCM	0.126	0.185	0.084	0.096	510	398	US \$ 21.4	US \$ 4.5
240	500 MCM	0.097	0.142	0.081	0.092	606	476	US \$ 27.9	US \$ 5.8
300	600 MCM	0.078	0.114	0.080	0.090	701	551	US \$ 36.2	US \$ 7.1
400	750 MCM	0.063	0.090	0.079	0.090	820	645	US \$ 47.3	US \$ 9.3
500	1000 MCM	0.051	0.071	0.078	0.089	936	752	US \$ 56.7	US \$ 11.2

RDC = Resistansi DC pada 20 Celsius ;

R AC= Resistansi AC pada 90 Celsius trefoil ;

X AC= Reaktansi pada 50 Hz trefoil

Contoh soal 1 :

Sebuah pompa listrik tipe submersible daya 30HP/22 KW,380 VAC,3-fase digunakan untuk drainase tambang batubara dengan jarak 100 meter antara panel distribusi & starternya, berapa tegangan stabil diterima starter pompa jika tegangan sisi panel distribusi awal 385 VAC, dan kabel yang digunakan adalah NYFGBY 4c16 mm² antara panel distribusi dan starter? (Abaikan jarak starter dan pompa)

Jawaban :

Arus beban motor adalah = $22 / (1.732 * 0.38 * 0.8) = 42$ Amp

Tegangan jatuh = $42 * 2.5 * 100/1000 = 10.4$ Volt

Tegangan stabil diterima Starter = $385 - 10.4 = 375$ Volt (Dibawah rating)

Perhitungan dengan rumus :

Tegangan jatuh = $1.732 \cdot R \cdot I \cdot \cos \phi + 1.732 \cdot X \cdot I \cdot \sin \phi$ Volt

Contoh soal 2 :

Sebuah mesin kompresor chiller daya 545 HP/400 KW, 380 VAC, 3-fase digunakan utk sistem pendingin udara bangunan mall dengan jarak 200 meter antara panel distribusi & starternya, berapa tegangan diterima starter chiller jika tegangan sisi panel distribusi awal 390 VAC dan kabel yang digunakan adalah NYY 2x(4x1c300) mm² dng susunan trefoil di atas ladder antara panel distribusi dan starter ? (Abaikan jarak starter & chiller)

Jawaban :

Arus beban motor adalah = $400 / (1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.8) = 760$ Amp

Teg jatuh = $760 \cdot 0.195 \cdot 200 / (2 \cdot 1000) = 15$ Volt , Tegangan stabil diterima starter = $390 - 15 = 375$ Volt (Dibawah rating)

Jika digunakan tabel untuk NYY 3x(4x1c300) mm² :

Teg jatuh = $760 \cdot 0.195 \cdot 200 / (3 \cdot 1000) = 10$ Volt , Tegangan stabil diterima starter = $390 - 10 = 380$ Volt

Perhitungan dengan rumus untuk NYY 2x(4x1c300) mm² :

Tegangan jatuh = $1.732 \cdot R \cdot I \cdot \cos \phi + 1.732 \cdot X \cdot I \cdot \sin \phi$ Volt

Jika digunakan NA2XY 2x(4x1c400) mm² :

Tegangan jatuh = $1.732 \cdot R \cdot I \cdot \cos \phi + 1.732 \cdot X \cdot I \cdot \sin \phi$ Volt