

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK S-1**



**PENENTUAN ARUS HUBUNG SINGKAT AKIBAT KETIDAKSTABILAN  
TERMAL PADA KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS  
IMPREGNASI YANG DIGUNAKAN ANTARA  
GI SUKOLILO-GI NGAGEL**

**SKRIPSI**

Disusun oleh:  
**BAHTIAR ADAM**  
NIM : 96.12.132

**OKTOBER 2005**

САЛАЛДЫРЫЛЫП ТОЛТАЛЫК  
ІНДЕМІЧЕСКАСТЫ ЗАЛДЫРЫЛЫ  
ОЛЫМЫН ЕҢІМІ МАСЫРЫ.  
ДӘ НІҢДЕЛІ ГӨЗДЕМ ЕҢІМІ ҚАРТЫЗЫНА

МАЛКАТЫМАСЫН ЕҢІМІН СЫРУН СЫЛА МАСЫРЫН  
САЛЫНЫРЫЛЫП НАМАТ НАМАТ БАЙЫРЫМЫН АДАС ЗАЛДЫРЫ  
АБАТЫН НАНАНДЫН ДИГҮННАСЫ АУДАРЫЛЫСЫН  
ОІ СИКОЛДЫ-ОІ НИГЕРЛ

SKRIPS

1000 0000  
МАСА НАЙНАС  
201.01.00 : 000

2002 0000

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PENENTUAN ARUS HUBUNG SINGKAT AKIBAT KETIDAKSTABILAN TERMAL PADA KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS IMPREGNASI YANG DIGUNAKAN ANTARA GI SUKOLILO-GI NGAGEL

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat  
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

BAHTIAR ADAM  
NIM : 96.12.132

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP.Y.1038900209



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1  
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP.Y.1039500274

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Penghargaan dan Terima Kasih sebesar-besarnya  
kepada :

1. Kedua Orang Tua
2. Kedua Saudaraku
3. Bapak Khalil dan Ma' Yah
4. Erwin dan Keluarga
5. Seluruh civitas akademika ITN Malang
6. Sahabatku di ITN Malang
7. Sahabatku di Madiun, di Malang dan Blitar
8. Negara dan bangsaku

Dan semuanya yang tak tersebut disini  
Yang tak lelah menjaga tungku semangatku

Duh Gusti Pangeran Mugi Panjenengan Paring Pangampunten, Berkah  
Lan Rohmah Dumateng Bapa Biyung Kulo, Kados Dene Anggenipun  
Ngayomi Kawulo Nalika Taksih Alit

A.d. @.mAri, okTOBer 2005

## **ABSTRAKSI**

### **PENENTUAN ARUS HUBUNG SINGKAT AKIBAT KETIDAKSTABILAN TERMAL PADA KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS IMPREGNASI YANG DIGUNAKAN ANTARA GI SUKOLILO-GI NGAGEL**

**(Bahtiar Adam, NIM 96.12.132, Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik)  
(Dosen Pembimbing Ir.Teguh Herbasuki, MT)**

**Kata kunci : Hubung singkat, Ketidakstabilan termal**

Hubung singkat merupakan salah satu gangguan yang dapat terjadi pada sistem energi listrik, termasuk dalam sistem transmisi melalui kabel bawah tanah.

Dampak yang dapat timbul dari gangguan ini antara lain timbulnya kenaikan temperatur sehingga pada kabel terjadi pemanasan yang berlebih (overheating). Adanya pemanasan berlebih ini dapat mempercepat proses penuaan kabel (ageing) pada dielektrik kabel, terjadinya tembus tegangan pada kabel. Akibatnya kemampuan kabel menurun dan bahkan mungkin kabel tidak dapat dipergunakan lagi. Ini tentu saja sangat merugikan, karena kelangsungan penyaluran daya dapat terganggu dan juga merugikan investasi kabel.

Atas dasar itulah perlu diketahui besarnya arus hubung singkat yang diperbolehkan secara termal sehingga kerusakan kabel dapat dihindari.

## **KATA PENGANTAR**

Allhamdulillah segala puja-puji bagi Allah SWT, hanya atas izin-Nya skripsi ini dapat terselesaikan, meski jauh dari sempurna, tapi penulis telah berusaha agar skripsi ini benar-benar sempurna, paling tidak untuk ukuran penulis sendiri. Karenanya segala kritik dan saran akan sangat membantu kesempurnaan skripsi ini, tentunya sangat penulis harapkan.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Energi Listrik, Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Malang.

Banyak pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yang rela meluangkan waktu dan tenaga, memberi bantuan, nasehat, bimbingan yang membuat penulis lebih bersemangat dalam menyelesaikan skripsi ini, karenanya penulis sangat berterima kasih kepada :

1. Bapak Dr.Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak Ir. F.Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITN Malang,
4. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT, selaku Dosen Pembimbing
5. Dosen-dosen Elektro ST Institut Teknologi Nasional Malang
6. Rekan-rekan Elektro ST Institut Teknologi Nasional Malang

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Malang, Agustus 2005

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
ABSTRAKSI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	2
1.3 Batasan masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Kontribusi penelitian .....	3
1.6 Metodologi .....	3
1.7 Sistematika penulisan .....	4

### BAB II KABEL BAWAH TANAH

2.1 Umum .....	5
2.2 Konstruksi kabel bawah tanah .....	6
2.2.1 Oil duct .....	6
2.2.2 Penghantar .....	6
2.2.3 Tabir Penghantar .....	7
2.2.4 Isolasi .....	7
2.2.5 Tabir isolasi .....	8
2.2.6 Selubung .....	8
2.2.7 Bantalan .....	8

2.2.8 Perisai.....	9
2.2.9 Sarung kabel.....	9
2.3 Instalasi kabel bawah tanah .....	10
2.3.1 Saluran udara.....	10
2.3.2 Di dalam saluran .....	11
2.3.3 Di tanam langsung .....	12
2.4 Bahan Isolasi.....	14
2.4.1 Isolasi kertas impregnasi .....	14
2.4.2 Isolasi sintetis.....	15

### **BAB III PARAMETER-PARAMETER UNTUK MENGHITUNG KAPASITAS ARUS HUBUNG SINGKAT**

3.1 Tahanan panas bagian kabel.....	17
3.2 Tahanan panas tanah.....	18
3.3 Rugi-rugi panas pada kabel .....	20
3.3.1 Rugi panas penghantar .....	20
3.3.1.1 Pengaruh efek kulit terhadap tahanan penghantar.....	21
3.3.1.2 Pengaruh efek kedekatan terhadap tahanan penghantar ..	22
3.3.2 Rugi panas dielektrik.....	23
3.3.3 Rugi panas selubung.....	24
3.3.3.1 Rugi arus sirkulasi .....	24
3.3.3.2 Rugi arus eddy .....	25
3.3.4 Rugi panas perisai.....	27
3.4 Perhitungan temperatur awal kabel.....	28
3.5 Kapasitas arus hubung singkat pada kabel bawah tanah.....	30

### **BAB IV PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT PADA KABEL KERTAS IMPREGNASI**

4.1 Tahanan panas bagian kabel.....	33
4.1.1 Perhitungan tahanan panas isolasi.....	33
4.1.2 Perhitungan tahanan panas bantalan .....	33

4.1.3 Perhitungan tahanan panas sarung kabel .....	34
4.2 Tahanan panas tanah .....	34
4.3 Perhitungan rugi penghantar.....	35
4.3.1 Perhitungan tahanan dc .....	36
4.3.2 Perhitungan faktor efek kulit.....	36
4.3.3 Perhitungan faktor efek kedekatan.....	37
4.3.4 Perhitungan tahanan ac .....	38
4.4 Perhitungan rugi dielektrik.....	39
4.5 Perhitungan rugi selubung .....	40
4.5.1 Rugi arus sirkulasi.....	40
4.5.2 Rugi arus eddy .....	40
4.6 Perhitungan rugi panas perisai.....	42
4.7 Perhitungan arus adiabatik .....	44
4.8 Perhitungan faktor non adiabatik.....	44
4.9 Perhitungan temperatur awal kabel.....	45
4.10 Perhitungan arus hubung singkat.....	46
4.11 Perhitungan penampang penghantar minimum .....	47
4.11.1 Perhitungan arus hubung singkat adiabatik .....	47
4.11.2 Perhitungan faktor non adiabatik .....	47
4.11.3 Perhitungan arus hubung singkat adiabatik .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>48</b>

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Transmisi dengan saluran kabel bawah tanah kini semakin banyak digunakan, terutama untuk daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Banyaknya gedung-gedung tinggi menyebabkan penggunaan saluran kabel bawah tanah lebih cocok dilihat dari faktor keamanan dan keindahan. Transmisi bawah tanah umumnya digunakan didaerah-daerah tertentu karena biaya untuk transmisi tersebut relatif mahal.

Keuntungan transmisi daya bawah tanah diantaranya:

- Tidak membahayakan manusia terutama didaerah padat penduduk.
- Lebih aman dari gangguan petir yang biasa terjadi di saluran udara.
- Tidak mengganggu keindahan lingkungan.

Hubung singkat merupakan salah satu bentuk gangguan pada sistem transmisi energi listrik, termasuk didalamnya sistem transmisi melalui kabel bawah tanah. Dari berbagai jenis hubung singkat, hubung singkat tiga fasa akan menghasilkan arus hubung singkat yang terbesar. Kemampuan hubung singkat kabel bawah tanah dipengaruhi oleh bahan dan dimensi hantaran kabel, komponen penyusun kabel, instalasi dan kondisi lingkungannya.

Dalam skripsi ini akan dihitung arus hubung singkat non-adiabatik. Untuk menghitung arus hubung singkat non-adiabatik diperlukan arus adiabatik. Pada arus hubung singkat non-adiabatik, aliran

panas tidak hanya diserap oleh penghantar tetapi juga oleh bagian-bagian kabel lainnya sedangkan pada arus adiabatik, panas diasumsikan hanya diserap oleh penghantar saja.

### **1.2 Rumusan masalah**

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah :

Sampai seberapa besar arus hubung singkat yang dapat dikenakan pada kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo - GI Ngagel ?

### **1.3 Batasan masalah**

Pada penulisan skripsi ini dibatasi pada:

1. Sistem transmisi bawah tanah tiga fasa dalam keadaan seimbang.
2. Kabel yang dianalisa adalah kabel tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Ngagel - GI Sukolilo.
3. Tidak membahas usia kabel bawah tanah yang dianalisa.
4. Hubung singkat yang terjadi diasumsikan hanya hubung singkat 3 fasa.
5. Tidak membahas setting relay.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari skripsi adalah :

1. Menganalisa temperatur penghantar pada kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo - GI Ngagel.
2. Menganalisa kemampuan arus hubung singkat pada kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo - GI Ngagel.
3. Menganalisa penampang minimum penghantar agar aman bila terjadi gangguan hubung singkat maksimum yang dapat terjadi di GI Sukolilo.

## 1.5 Kontribusi penelitian

Diharapkan dengan penulisan skripsi ini dapat dijadikan acuan bagi pihak yang memerlukan sehingga investasi kabel bawah tanah khususnya kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi dapat dijaga dari kerusakan fatal.

## **1.6 Metodologi**

Metode yang dipergunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Pengumpulan data dari PT.PLN (Persero) untuk keperluan analisa yaitu data kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo - GI Ngagel.
2. Menganalisa data yang ada untuk perhitungan arus hubung singkat kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi.

## **1.7 Sistematika penulisan**

BAB I : Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, kontribusi penelitian dan sistematika pembahasan

BAB II : Penjelasan umum tentang kabel bawah tanah

BAB III : Menerangkan parameter-parameter perhitungan arus hubung singkat pada kabel bawah tanah.

BAB IV : Menerangkan tentang perhitungan yang digunakan dan hasil perhitungan

BAB V : Berisi kesimpulan

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari skripsi adalah :

1. Menganalisa temperatur penghantar pada kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo - GI Ngagel.
2. Menganalisa kemampuan arus hubung singkat pada kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo - GI Ngagel.
3. Menganalisa penampang minimum penghantar agar aman bila terjadi gangguan hubung singkat maksimum yang dapat terjadi di GI Sukolilo.

## **1.5 Kontribusi penelitian**

Diharapkan dengan penulisan skripsi ini dapat dijadikan acuan bagi pihak yang memerlukan sehingga investasi kabel bawah tanah khususnya kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi dapat dijaga dari kerusakan fatal.

## **BAB II**

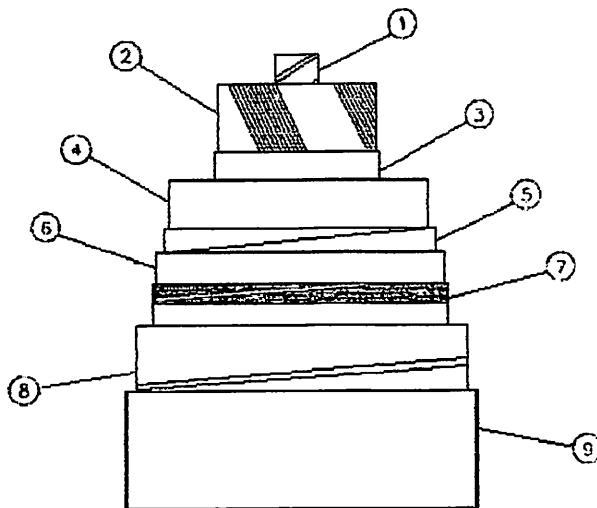
### **KABEL BAWAH TANAH**

#### **2.1 Umum**

Kabel bawah tanah yang digunakan untuk penyaluran energi listrik dibedakan berdasarkan material isolasi yang dipakai. Material isolasi yang dipakai hingga saat ini meliputi persenyawaan karet alam dan buatan (rubberlike compounds), polyvinyl chloride, polyethylene, nylon vernis (varnished cambric) dan isolasi dengan kertas impregnasi (impregnanted paper)

Jenis kabel lain seperti kabel dengan pendinginan melalui pipa (pipe type cable), kabel dengan isolasi gas (gas insulated cable) belum ekonomis penggunaannya, meskipun daya yang dapat disalurkan lebih besar, selain itu jenis kabel baru seperti kabel suhu rendah (cryoresistive cable) dan kabel superkonduktif yang memiliki banyak kelebihan dalam penyaluran daya masih dalam taraf pengembangan.

Untuk sistem transmisi bawah tanah 150 kV, kabel bawah tanah kertas impregnasi merupakan jenis kabel yang banyak digunakan diseluruh dunia tak terkecuali Indonesia, hal ini wajar mengingat kabel dengan impregnasi kertas hadir lebih dahulu dan telah terbukti handal dalam penggunaannya.



**Gambar 2.1 Kontruksi kabel bawah tanah**

## 2.2. Konstruksi Kabel Bawah Tanah

### 2.2.1 Oil Duct

Oil duct (saluran oli) berfungsi sebagai tempat oli yang dalam hal ini berfungsi sebagai pendingin kabel pada saat kabel dipergunakan mengalirkan energi listrik.

Oil duct dapat terbuat dari logam misalnya zinc galvanized steel.

### 2.2.2 Penghantar

Penghantar (konduktor) berfungsi untuk menghantarkan arus listrik, karena itu dipilih bahan yang memiliki tahanan jenis yang cukup rendah, biasanya terbuat dari bahan tembaga atau alumunium. Perbandingan karakteristik antara penghantar tembaga dan alumunium disajikan dalam tabel 2.1 berikut ini:

**Tabel 2.1 Perbandingan antara tembaga dan alumunium**

<b>Tembaga</b>	<b>Alumunium</b>
▪ Tahanan jenis $1,7241 \cdot 10^{-8} \Omega/m$ pada $20^\circ C$	▪ Tahanan jenis $2,8264 \cdot 10^{-8} \Omega/m$ pada $20^\circ C$
▪ Daya hantar listrik sangat baik	▪ Daya hantar listrik baik
▪ Mudah dalam penyambungan	▪ Sulit dalam penyambungan
▪ Relatif berat (berat jenis 8,9 g/cm)	▪ Relatif ringan (berat jenis 2,7 g/cm)
▪ Harga relatif mahal	▪ Harga relatif lebih murah

### 2.2.3 Tabir Penghantar

Tabir penghantar adalah tabir yang membungkus dan membatasi antara penghantar dan isolasi.

Tabir penghantar berupa pita kertas yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan yang biasa dipakai adalah karbon hitam. Pada tabir isolasi pita kertas kering sering dikombinasikan dengan bahan metal/logam tertentu dan kompon grafit.

### 2.2.4 Isolasi

Isolasi (insulation) pada kabel mempunyai fungsi yang sangat penting karena mendapatkan pembebanan medan elektrik yang paling besar dari adanya tegangan pada penghantar. Selain itu kemampuan temperatur bahan isolasi menjadi salah satu faktor penentu pada kapasitas membawa arus kontinu ataupun jika kabel mengalami gangguan hubung singkat.

Material yang banyak digunakan sebagai bahan isolasi kabel antara lain kertas dan bahan polimer seperti PVC (polyvinyl chloride), EPR

(ethylene propylene), PE (poly ethylene) dan XLPE (crosslinked polyethylene).

### **2.2.5. Tabir Isolasi**

Tabir isolasi adalah tabir yang membungkus dan membatasi antara isolasi dan selubung.

Tabir isolasi berupa pita kertas yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan yang biasa dipakai adalah karbon hitam. Pada tabir isolasi pita kertas kering sering dikombinasikan dengan bahan metal/logam tertentu dan kompon grafit.

### **2.2.6 Selubung**

Selubung (sheath) terbuat dari logam campuran yang terdiri dari bahan logam campur lead alloy, timbal, tembaga ataupun alumunium. Dapat juga dipakai bahan karet silikon pada poly chloroprene ataupun material PVC seperti plastik.

Fungsi dari selubung adalah sebagai berikut:

- Pelindung dari gaya elektrik dan mekanik.
- Mencegah korosi dan keluarnya minyak pada kabel isolasi kertas impregmentasi.
- Mencegah masuknya air dan cairan kedalam kabel.

### **2.2.7 Bantalan**

Bantalan (bedding) kabel berupa pita yang terbuat dari bahan logam, kompon dan plastik, dapat juga berupa bahan berserat seperti kapas , pita kertas ataupun goni. Bantalan pada kabel mempunyai sifat :

- Tidak mudah berubah karena perubahan temperatur.
- Melekat dengan sempurna pada selubung, penguat dan pelindung.
- Tidak mudah sobek.
- Tidak bereaksi dengan bahan selubung, penguat dan pelindung.

Antara bantalan dan pelindung biasanya terdapat pemisah bantalan (bedding separation) yang berfungsi untuk memisahkan antar bantalan dengan sarung kabel. Pemisah bantalan ini merupakan sebuah pita yang terbuat dari bahan plastik.

#### **2.2.8 Perisai (logam pelindung)**

Fungsi perisai (armouring) untuk melindungi kabel dari korosi dan serangan rayap. Perisai terletak setelah bantalan yang diselingi oleh pemisah bantalan. Bahan pembuat pita adalah berupa Tin-Bronze. Secara umum perisai dapat terbuat dari pita baja atau kawat baja.

#### **2.2.9 Sarung kabel**

Sarung kabel merupakan bagian terluar kabel. Sarung kabel terbuat dari PVC yang dicampur bahan anti rayap. Ada pula sarung kabel yang terbuat dari bahan goni, karet rubber sandwich, PE, dan Poly Chloroprene.

Sarung kabel ini berfungsi untuk memperkuat kabel dari serangan rayap dan berfungsi menahan gaya mekanik, mencegah masuknya air/cairan kedalam kabel dan mencegah rayap.

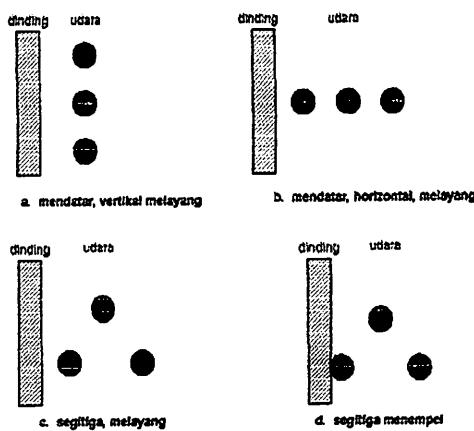
## 2.3 Instalasi Kabel Bawah tanah

### 2.3.1 Saluran Udara

Dalam kasus ini kabel diletakkan di udara terbuka dengan cara ditempel pada dinding atau lantai. Dapat pula digantung pada tiang dengan melayang terhadap dinding. Kabel diletakkan terlindung atau terkena sinar matahari langsung.

Kabel yang diletakkan di ruang tertutup, sebagian besar pendinginan kabel langsung ke udara tanpa melalui medium lainnya dan diperlukan sebagai kabel yang diletakkan di udara yang terlindung dari sinar matahari.

Tahanan panas jenis udara tidak dapat dipastikan nilainya, dikarenakan sifatnya yang mudah bergerak. Ada beberapa faktor yang diperlukan untuk menentukan tahanan panas antar udara dan kabel yang meliputi temperatur kabel, temperatur rata-rata udara dan letak kabel terhadap benda sekitarnya. Kabel dapat disusun mendatar (flat) atau segitiga (trefoil) dengan posisi mendatar atau vertikal terhadap dinding. Jarak antar kabel dan jarak antar kabel dengan dinding ditentukan dengan memperhitungkan pemanasan yang akan terjadi antara kabel dengan dinding seperti gambar 2.2 berikut ini :



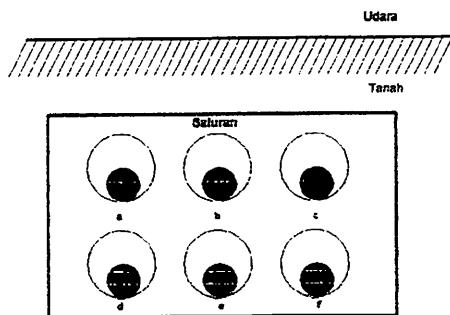
**Gambar 2.2 Peletakkan kabel diudara dengan berbagai susunan**

### 2.3.2 Di dalam Saluran

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

Fungsi utama dari saluran adalah sebagai pelindung kabel terhadap tekanan mekanis. Kabel dalam saluran banyak digunakan pada instalasi kabel bawah tanah yang melintasi jalan raya. Selain itu penggunaan saluran ini akan memudahkan dalam pemeliharaan dan penggantian kabel.

Umumnya instalasi kabel dengan mempergunakan saluran ini dilaksanakan dengan cara menanam beberapa saluran didalam tanah atau ditanam dibawah lapisan semen pada bangunan.

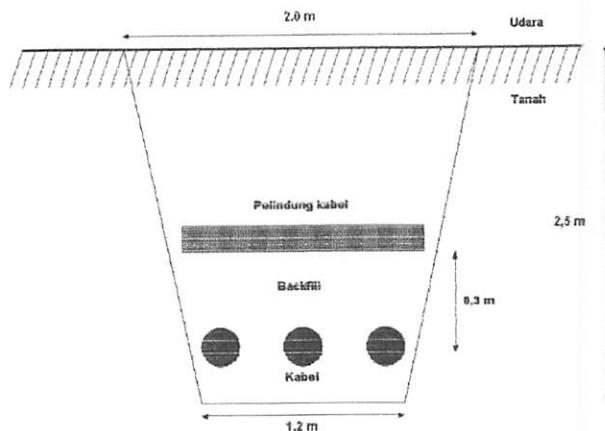


**Gambar 2.3 Penanaman kabel di dalam saluran**

Saluran yang ditanam dalam bak beton bervariasi jumlahnya, sesuai dengan kebutuhan pemakai. Tidak semua rongga saluran tersebut berisi kabel, dalam kasus tertentu selain berisi kabel, rongga lainnya dapat berisi zat cair atau gas yang mudah mengalir untuk menurunkan panas.

### **2.3.3 Ditanam langsung**

kabel ditanam langsung kedalam tanah tanpa melalui saluran pelindung (duct atau pipa). Kedalaman penanaman bervariasi antara 1 hingga 2,5 m.



**Gambar 2.4 Instalasi kabel dengan ditanam langsung**

Tahanan panas jenis tanah (soil thermal resistivity) merupakan parameter yang berhubungan dengan kemampuan tanah dalam menyalurkan panas yang terjadi. Besarnya tahanan jenis tanah tergantung pada kandungan air dalam tanah. Harga tahanan panas jenis tanah untuk daerah tropis biasanya diambil  $0,9 \text{ } ^\circ\text{C.m/W}$ . Tahanan panas jenis tanah rendah berarti dapat menyalurkan panas dengan baik, sebaliknya panas akan teredam bila tahanan panas jenis tinggi.

Dalam praktiknya untuk mendapat tahanan panas jenis yang rendah dan konstan dipergunakan tanah isian (backfill) disekitar kabel. Tanah isian sejenis pasir yang mempunyai tahanan panas jenis yang rendah dan merupakan penahan air yang baik.

## 2.4 Bahan Isolasi

Isolasi merupakan bagian terpenting dari kabel karena baik buruknya suatu kabel tergantung pada kualitas isolasi yang digunakan. Fungsi dari isolasi kabel tanah adalah untuk melindungi dan mengisolasi kawat penghantar terhadap penghantar lain maupun tanah.

Secara umum isolasi harus mempunyai sifat sebagai berikut:

- Ketahanan dielektrik tinggi.
- Tahanan jenis tinggi.
- Dapat bekerja pada segal temperatur.
- Tidak menyerap air atau uap air (non hidroskospis).
- Fleksibel.
- Tidak mudah terbakar.

Bahan isolasi yang umum dipakai dapat dibagi dua jenis yaitu isolasi kertas impregnasi dan isolasi sintetis (polymer)

### 2.4.1 Isolasi Kertas Impregnasi

Bahan dasar isolasi kertas adalah kayu yang melalui proses kimia, dimana terdiri dari serat-serat panjang berbentuk pipa-pipa rambut yang halus. Kekurangan dari isolasi kertas adalah sifat listrik dipengaruhi oleh kelembaban. Karena itu kertas yang digunakan sebagai isolasi harus dikeringkan dalam vakum dan kemudian diimpregnasi dengan minyak. Fungsi minyak adalah sebagai isolasi diantara lapisan kertas, sehingga kertas tidak akan menyerap air.

Kabel dengan isolasi kertas impregnasi memiliki suhu kerja kontinu 85°C, 110°C dalam keadaan darurat dan 250°C pada keadaan hubung singkat. Di atas 110°C isolasinya akan melunak tetapi tidak meleleh dan mulai terbakar pada 300°C.

#### **2.4.2 Isolasi Sintetis**

Dibandingkan dengan isolasi kertas, isolasi sintetis mempunyai sifat listrik, sifat mekanis dan sifat termis yang lebih baik. Jenis-jenis bahan isolasi polimer yang ada dapat diuraikan sebagai berikut:

a. **Isolasi termoplastik**

Termasuk dalam jenis ini adalah polyethilene (PE) dan polyvinyl chloride (PVC) yang mudah dan murah dalam pembuatannya, sehingga banyak digunakan dalam industri listrik.

Polyvinyl chloride (PVC) banyak digunakan sebagai bahan isolasi kabel terutama untuk tegangan rendah. Bahan ini relatif murah dan mudah dalam penyambungannya, relatif tahan api serta tidak rusak pada temperatur yang sangat rendah. Kellemahan bahan ini adalah kecenderungannya untuk terpecah-pecah pada tekanan mekanis yang terus-menerus, serta daya serap terhadap air yang cukup tinggi.

Polyethilene (PE) merupakan bahan yang lebih baik dibanding PVC dalam penggunaan sebagai bahan isolasi pada kabel. Bahan ini lebih tahan terhadap tekanan mekanis terus-menerus. Selain itu dalam hal

berat jenis dan kemampuan penghantaran panas polyethilene (PE) lebih baik daripada PVC.

**b. Isolasi Termoset**

Isolasi termoset jauh lebih baik kualitasnya dibanding jenis isolasi termoplastik terutama untuk temperatur kerja yang tinggi. Bahan ini tidak peka terhadap perubahan temperatur yang terjadi dan memberikan stabilitas panas yang lebih baik pada saat terjadi hubung singkat.

Isolasi termoset merupakan polimer hubung singkat. Biasanya reaksi hubung silang akan menambah ikatan tertentu pada struktur ikatannya, seperti vulkanisasi karet dengan belerang. Reaksi hubung singkat dapat terjadi dengan radiasi sinar ultra violet, tetapi juga dengan pemotongan reaksi. Keadaan terakhir akan memperlemah kekuatan bahan.

Isolasi yang termasuk jenis ini adalah : Neoprene, Hypalon, nitril Rubber, Nitril Butadiene, Ethylene Propylene Rubber(EPR), dan Cross-Linked Polythylene (XLPE).

## **BAB III**

### **PARAMETER-PARAMETER UNTUK MENGHITUNG KAPASITAS HUBUNG SINGKAT**

#### **3.1 Tahanan Panas Bagian Kabel**

Pada komponen kabel bawah tanah yang terbuat dari bahan dielektrik terdapat tahanan panas yang cukup besar. Komponen tersebut meliputi isolasi, bantalan dan sarung kabel.

Isolasi kabel harus mempunyai ketahanan panas yang cukup tinggi dikarenakan isolasi berfungsi mencegah terjadinya hubung singkat antar penghantar atau antar penghantar dengan tanah.

Sesuai dengan IEC 287 besarnya tahanan panas jenis untuk isolasi adalah :

$$R_i = \frac{\rho_i}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2t_s}{d_c} \right) \quad (3.1)$$

Tahanan panas jenis untuk bantalan adalah:

$$R_b = \frac{\rho_b}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2t_b}{d_s} \right) \quad (3.2)$$

Tahanan panas jenis untuk sarung kabel adalah:

$$R_i = \frac{\rho_i}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2t_i}{d_a} \right) \quad (3.3)$$

dimana:

- $\rho_t$  = Tahanan panas jenis ( $^{\circ}\text{C m/W}$ ) didapat dari tabel II lampiran
- $d$  = Diameter (mm)
- $t$  = Ketebalan (mm)
- $c$  = Penghantar
- $b$  = Bantalan
- $s$  = Selubung
- $j$  = Sarung kabel
- $a$  = Perisai

### 3.2 Tahanan Panas Tanah

Tahanan panas tanah tergantung pada susunan pembentuk dimana kabel ditanam. Tanah biasanya merupakan campuran dari material tanah yang berbeda tahanan panasnya. Sebagai pendekatan harga tahanan panas tanah yang sering diambil adalah  $0,9 \text{ } ^{\circ}\text{C m/W}$ .

Tahanan panas jenis tanah untuk saluran ganda diperoleh dengan persamaan :

$$R_t = \frac{\rho_t}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{2h}{D}\right) + \ln\left(\frac{d_{21}d_{31}d_{41}d_{51}d_{61}}{d_{21}d_{31}d_{41}d_{51}d_{61}}\right) \right] \quad (3.4)$$

dimana :

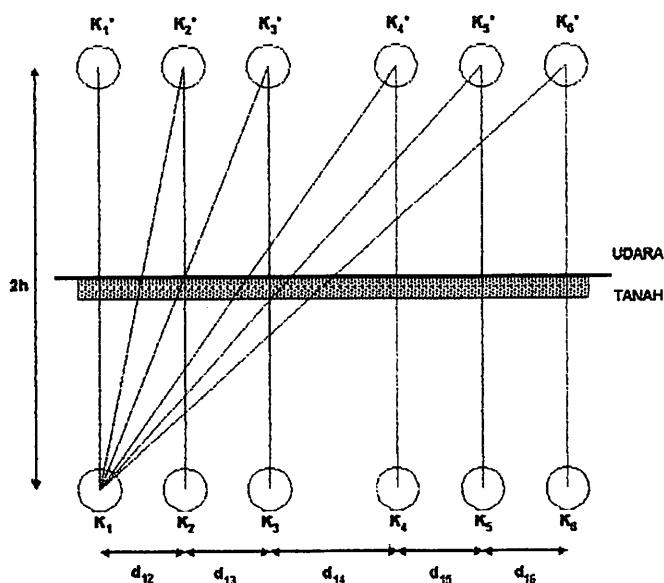
$\rho_t$  = Tahanan panas jenis tanah ( $^{\circ}\text{C m/W}$ )

$h$  = Kedalaman penanaman kabel (m)

$D$  = Diameter kabel (mm)

$d$  = Jarak antar kabel (mm)

$d'$  = Jarak antar kabel (mm) yang diperoleh dengan metode bayangan termal



Gambar 3.1 Prinsip bayangan panas untuk saluran ganda

Jarak antar kabel dengan metode bayangan dapat dijelaskan sebagai berikut :

$d_{12}'$  adalah jarak antara  $K_1'$  dan  $K_2'$  yang didapat dengan menggunakan rumus pitagoras, sehingga  $d_{12}'^2 = d_{12}^2 + 2h^2$

### 3.3 Rugi-rugi panas pada kabel

Panas yang menyebabkan kenaikan temperatur pada kabel dibangkitkan oleh sumber panas berupa rugi-rugi panas yang muncul pada komponen kabel. Panas yang dibangkitkan tersebut merambat disekeliling kabel.

Jika panas yang timbul berlebih, maka umur kabel dapat berkurang dan pada isolasi dapat terjadi lewat denyar (break down). Rugi-rugi panas pada kabel meliputi :

- Rugi-rugi panas penghantar ( $P_c$ )
- Rugi-rugi panas dielektrik ( $P_d$ )
- Rugi-rugi panas selubung ( $P_s$ )
- Rugi-rugi panas perisai ( $P_a$ )

#### 3.3.1 Rugi panas penghantar ( $P_c$ )

Rugi panas penghantar timbul karena adanya arus bolak-balik yang mengalir pada penghantar. Besar rugi ini adalah :

$$P_c = I^2 \cdot R_{ac} \quad (3.5)$$

di mana:

$I$  = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

$R_{ac}$  = Tahanan ac pada temperatur kerja per satuan panjang ( $\Omega/m$ )

Nilai tahanan ac berbeda dengan nilai tahanan dc karena adanya efek kulit dan efek kedekatan dari kabel yang dilalui arus bolak-balik. Hubungan tahanan ac dengan tahanan dc adalah

$$R_{ac} = R_{dc}(1+Y_s+Y_p) \quad (3.6)$$

dimana :

$Y_s$  = Faktor efek kulit

$Y_p$  = Faktor kedekatan

Besar tahanan dc adalah:

$$R_{dc} = R_0[1+\alpha_{20}(t-20)] \quad (3.7)$$

dimana :

$R_{dc}$  = Tahanan penghantar ac pada temperatur kerja ( $\Omega/m$ )

$R_0$  = Tahanan penghantar dc pada temperatur  $20^\circ C$  didapat dari tabel IV lampiran

$\alpha_{20}$  = Koefisién temperatur pada  $20^\circ C$  didapat dari tabel I lampiran

$t$  = Temperatur kerja penghantar ( $^\circ C$ )

### 3.3.1.1 Pengaruh efek kulit terhadap tahanan penghantar

Ketidakseragaman kerapatan arus dalam suatu penghantar menyebabkan bertambahnya rugi-rugi panas dalam penghantar itu sendiri. Jadi harga tahanan penghantar ac meningkat. Makin besar frekuensi arus bolak-balik, makin besar ketidakseragaman kerapatan arus di dalamnya, sehingga harga penghantar ac akan makin besar.

Faktor efek kulit ( $Y_s$ ) didapat dengan persamaan :

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0,8(X_s)^4} \quad (3.8)$$

Harga  $X_s$  didapat dengan persamaan :

$$X_s^2 = \frac{8\pi f}{R_{dc}} 10^{-7} K_s \quad (3.9)$$

dimana

$f$  = Frekuensi sistem (hz)

$K_s$  = Konstanta efek kulit dilihat pada IEC 287 tabel II

Untuk kabel berongga harga  $K_s$  didapat dengan persamaan :

$$K_s = \frac{d_c - d_{od}}{d_c + d_{od}} \left( \frac{d_c + 2d_{od}}{d_c + d_{od}} \right) \quad (3.10)$$

dimana

$d_c$  = Diameter penghantar (mm)

$d_{od}$  = Diameter rongga (mm)

### 3.3.1.2 Pengaruh efek kedekatan terhadap tahanan penghantar

Adanya ketidakseragaman kerapatan arus dalam suatu penghantar selain disebabkan medan magnet yang timbul oleh arus bolak-balik yang mengalir pada penghantar lain yang terletak berdekatan. Ini disebut efek kedekatan(proximity effect) yang menaikkan harga tahanan penghantar ac. Pada satu kabel berinti tunggal efek kedekatan tidak dijumpai.

Pengaruh efek kedekatan dinyatakan sebagai faktor  $Y_p$ . Harga  $Y_p$  untuk 3 buah kabel inti tunggal adalah:

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8X_p^4} \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 \left[ 0,32 \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{X_p^4}{192 + 0,8X_p^4} + 0,27} \right] \quad (3.11)$$

$X_p$  didapat dengan persamaan

$$X_p^2 = \frac{8\pi f}{R_{dc}} 10^{-7} K_p \quad (3.12)$$

dimana :

$d_c$  = Diameter penghantar (mm)

$s$  = Jarak antar penghantar (mm)

$K_p$  = Konstanta efek kedekatan didapat dari tabel IV lampiran

### 3.3.2 Rugi panas dielektrik ( $P_d$ )

Rugi panas dielektrik adalah rugi panas yang disebabkan oleh adanya bahan dielektrik misalnya isolasi pada kabel. Sesuai dengan IEC 287, rugi dielektrik oleh persamaan :

$$P_d = \omega C V^2 \tan \delta \quad (3.13)$$

dimana :

$\omega$  =  $2\pi f$  (Hz)

$C$  = Kapasitansi per satuan panjang (F/m)

$V$  = Tegangan kerja (V)

$\tan \delta$  = Faktor daya elektrik didapat tabel V lampiran

Kapasitansi didapat dengan persamaan :

$$C = \frac{\epsilon_i}{18 \ln\left(\frac{d_i}{d_c}\right)} 10^{-9} \quad (3.14)$$

dimana

$\epsilon_i$  = Permitivitas relatif bahan isolasi didapat dari tabel V lampiran

$d_i$  = Diameter isolasi (mm)

$d_c$  = Diameter penghantar (mm)

### 3.3.3 Rugi panas selubung ( $P_s$ )

Rugi panas selubung terdiri dari rugi arus sirkulasi ( $\lambda'$ ) dan rugi arus eddy atau rugi arus pusar ( $\lambda''$ )

$$P_s = \lambda' + \lambda'' \quad (3.15)$$

#### 3.3.3.1 Rugi arus sirkulasi

Rugi arus sirkulasi sesuai dengan IEC 287 halaman 37 adalah :

Untuk kabel ditanam langsung adalah 0,03

Untuk kabel ditanam dalam pipa adalah 0,05

### 3.3.3.2 Rugi arus eddy

Rugi arus eddy disebabkan adanya perbedaan ggl induksi antara permukaan dalam pipa selubung logam dengan permukaan luar pipa selubung logam yang diakibatkan oleh mengalirnya arus pada penghantar.

Untuk menghitung rugi arus eddy, terlebih dahulu dihitung tahanan selubung yang diberikan persamaan :

$$R_s = \frac{40 \cdot \rho_s [1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]}{\pi [(d_s + t_s)^2 - ((d_s - t_s)^2)]} \quad (3.16)$$

dimana :

$\rho_s$  = Tahanan jenis selubung per satuan panjang ( $\Omega/m$ ) didapat dari tabel IV lampiran

$\alpha_{20}$  = Koefisien temperatur didapat dari tabel I lampiran

$\theta$  = Temperatur maksimal operasi ( $^{\circ}\text{C}$ )

$d_s$  = Diameter selubung (mm)

$t_s$  = Ketebalan selubung (mm)

Rugi arus eddy dinyatakan dengan persamaan :

$$\lambda'' = \frac{R_s}{R} [g_s \lambda_0 (1 + \Delta_1 + \Delta_2)] \quad (3.17)$$

$g_s$  didapat dengan persamaan :

$$g_s = 1 + \left( \frac{t_s}{d_s} \right)^{1.74} (B_1 d_s 10^{-3} - 1.6) \quad (3.18)$$

dimana

$\rho_s$  = Tahanan jenis selubung ( $\Omega \cdot m$ )

$d_s$  = Diameter luar selubung (mm)

$t_s$  = Ketebalan selubung (mm)

Harga  $m$  didapat dengan persamaan :

$$m = \frac{2\pi f}{R_s} \quad (3.19)$$

Jika  $m \leq 0.1$  maka  $\Delta_1$  dan  $\Delta_2$  dapat diabaikan

Harga  $\lambda_0$ ,  $\Delta_1$  dan  $\Delta_2$  untuk kabel satu inti untuk formasi mendatar

$$\lambda_0 = 3 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2 \quad (3.20)$$

$$\Delta_1 = 0$$

$$\Delta_2 = 0$$

### 3.3.4 Rugi panas perisai ( $P_a$ )

Rugi perisai terdiri dari dua jenis yaitu rugi histerisis ( $\lambda_2'$ ) dan rugi arus eddy ( $\lambda_2''$ ). Untuk kabel-kabel bawah tanah dengan inti tunggal biasanya bagian ini terbuat dari pita logam sehingga rugi-rugi yang dibahas hanya untuk kabel dengan perisai berbentuk pita logam.

Rugi perisai dinyatakan dengan persamaan:

$$P_a = \lambda_2' + \lambda_2'' \quad (3.21)$$

Besarnya rugi histerisis ( $\lambda_2'$ ) diberikan oleh persamaan:

$$\lambda_2' = \frac{s^2 k^2 10^{-7}}{R_{ac} d_a t_a} \quad (3.22)$$

dimana :

$s$  = Jarak antara penghantar dan perisai (mm)

$R_{ac}$  = Tahanan penghantar per satuan panjang ( $\Omega/m$ )

$t_a$  = Tebal perisai (mm)

$d_a$  = Diameter perisai (mm)

Faktor  $k$  diberikan oleh persamaan:

$$k = \frac{1}{1 + \frac{d_a}{\mu t}} \quad (3.23)$$

dimana

$M$  = Permeabilitas relatif pita baja biasanya diambil 300

Rugi arus eddy diberikan oleh persamaan :

$$\lambda''_2 = \frac{2,25s^2k^2t10^{-8}}{R_{ac} d_a} \quad (3.24)$$

### 3.4 Perhitungan temperatur awal kabel

Temperatur awal kabel dihitung pada saat gangguan hubung singkat belum terjadi, kabel diasumsikan sedang mengalir beban kontinu yang telah mencapai kondisi mantap. Dari beban kontinu inilah kita dapat menghitung temperatur awal kabel.

Semakin besar arus yang mengalir pada kabel, semakin besar pula temperatur awal kabel. Namun temperatur kabel tidak boleh melebihi temperatur maksimal yang diijinkan pada kondisi normal, untuk kabel isolasi kertas impregnasi sebesar 85 °C.

Untuk menghitung besarnya temperatur awal kabel untuk suatu arus beban tertentu, digunakan rangkaian ekivalen panas yang merupakan analogi dari rangkaian listrik, seperti dijelaskan dalam tabel berikut.

**Tabel 3.1 Analogi rangkaian panas dengan rangkaian listrik**

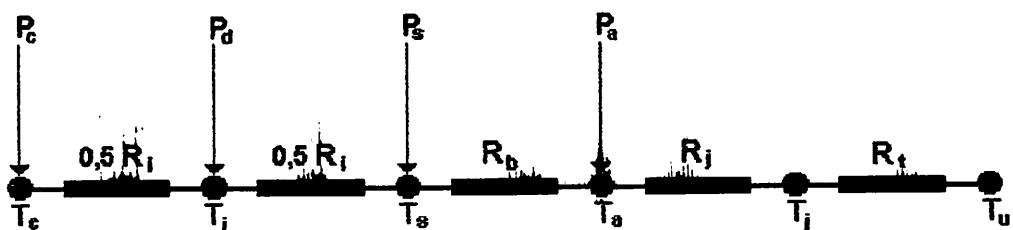
Rangkaian Panas	Rangkaian listrik
Aliran Panas (q)	Arus Listrik(I)
Beda Temperatur(ΔT)	Beda Potensial(ΔE)
Hambatan panas( R )	Hambatan Listrik( R )

Dari rangkaian pengganti panas dibuat persamaan-persamaan untuk menghitung temperatur awal bagian-bagian kabel. Dalam

penyusunan rangkaian pengganti panas diasumsikan bahwa rugi-rugi panas yang dihasilkan oleh kabel terdiri dari rugi-rugi panas penghantar, dielektrik, selubung dan rugi-rugi panas pada perisai. Rugi-rugi panas dielektrik terpusat pada bagian tengah isolasi. Rugi-rugi panas ini merupakan sumber panas pada kabel mengalir pada bagian-bagian kabel itu sendiri dan kemudian mengalir ke media luar kabel.

Arah aliran rugi-rugi panas diasumsikan dari bagian terdalam ke bagian yang lebih luar dan dianggap tidak terjadi sebaliknya. Efek sisi pada ujung-ujung kabel sangat kecil pengaruhnya, karenanya efek sisi ini dapat diabaikan.

Rangkaian pengganti panas kabel bawah tanah dengan isolasi kertas dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Rangkaian pengganti panas kabel keadaan mantap

$T_c, T_j, T_s, T_a, T_j, T_u$  = Temperatur pada penghantar, isolasi, selubung, perisai, sarung kabel dan permukaan tanah ( $^{\circ}\text{C}$ )

$P_c, P_d, P_s, P_a$  = Rugi panas pada penghantar, dielektrik selubung dan perisai ( $\text{W/m}$ )

$R_i, R_b, R_j, R_t$  = Tahanan panas per satuan panjang dari isolasi, bantalan, sarung kabel dan tanah ( $^{\circ}\text{C/W}$ )

Rugi-rugi panas dielektrik diletakkan/diinjeksikan pada titik tengah panas isolasi, hal ini merupakan pendekatan yang menghasilkan perhitungan temperatur yang lebih mendekati keadaan sebenarnya.

Dengan berdasarkan rangkaian pengganti panas pada gambar 3.2 dapat diturunkan persamaan-persamaan untuk menghitung temperatur awal bagian-bagian kabel dalam keadaan mantap.

Besarnya temperatur penghantar :

$$T_c = P_c(0.5R_i + 0.5R_i + R_b + R_j + R_t) + P_d(0.5R_i + R_b + R_j + R_t) + P_s(R_b + R_j + R_t) + P_a(R_j + R_t) + T_u \quad (3.25)$$

Harga temperatur permukaan tanah ( $T_u$ ) dianggap konstan dan nilainya diambil sesuai dengan iklim dimana kabel tersebut ditanam. Untuk daerah tropis temperatur permukaan tanah sekitar 25 °C.

### 3.5 Kapasitas arus hubung singkat pada kabel bawah tanah

Hubung singkat merupakan salah satu gangguan pada sistem transmisi energi listrik termasuk sistem transmisi kabel bawah tanah. Pada sistem transmisi tenaga listrik hubung singkat tiga fasa akan menghasilkan arus hubung singkat yang terbesar. Selama terjadi gangguan hubung singkat, arus akan bertambah besar dan akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada kabel yang mengalami gangguan hubung singkat. Akibat dari gangguan hubung singkat antara lain adalah:

- Kerusakan mekanis pada kabel akibat kenaikan temperatur.

- Kenaikan temperatur secara tajam akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada isolasi.
- Terjadinya ageing (penuaan) pada isolasi kabel

Biasanya temperatur operasi normal penghantar telah ditentukan untuk menjaga dan mencegah timbulnya penuaan dari material isolasi. Selama timbul gangguan hubung singkat temperatur penghantar diperbolehkan naik sampai nilai tertentu dimana tembus termal pada isolasi tidak terjadi, untuk kabel isolasi kertas adalah 250°C.

Dalam skripsi ini digunakan perhitungan arus hubung singkat non-adiabatik. Untuk menghitung arus hubung singkat non-adiabatik diperlukan arus adiabatik . Pada hubung singkat non-adiabatik, aliran panas tidak hanya diserap oleh penghantar tetapi juga oleh bagian-bagian kabel lainnya sedangkan arus adiabatik, panas diasumsikan hanya diserap oleh penghantar saja.

Besarnya arus hubung singkat yang diijinkan(thermally permissible short circuit current) pada kabel diberikan dengan persamaan:

$$I = \varepsilon \cdot I_{AD} \quad (3.26)$$

dimana

$I$  = Arus hubung singkat yang diijinkan (A)

$I_{AD}$  = Arus adiabatik (A)

$\varepsilon$  = Faktor sedemikian hingga rugi panas dapat mengalir dalam komponen sekitar kabel, untuk perhitungan adiabatik = 1

Untuk menghitung arus adiabatik ( $I_{AD}$ ) digunakan persamaan :

$$I^2_{AD} t = K^2 S^2 \ln \left[ \frac{T_f - \beta}{T_c - \beta} \right] \quad (3.27)$$

dimana:

$I_{AD}$  = Arus adiabatik (A)

$t$  = Durasi waktu hubung (s)

$K$  = Konstanta yang tergantung pada komponen pembawa arus  
didapat dari tabel I lampiran

$S$  = Luas penampang penghantar ( $\text{mm}^2$ )

$T_c$  = Temperatur awal penghantar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_f$  = Temperatur akhir penghantar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\beta$  = Koefisien temperatur reprosikal dari tahanan komponen  
pembawa arus pada  $0^{\circ}\text{C}$  (K) didapat dari tabel III lampiran

Untuk mencari faktor non-adiabatik penghantar digunakan  
persamaan :

$$\epsilon = \sqrt{1 + X \sqrt{\frac{t}{S}} + Y \left( \frac{t}{S} \right)} \quad (3.28)$$

X dan Y adalah konstanta yang didapat dari tabel III lampiran.

**BAB IV**  
**PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT**  
**KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS IMPREGNASI**

**4.1 Tahanan panas bagian kabel**

Harga tahanan panas jenis ( $\rho$ ) didapat dari tabel I lampiran.

**4.1.1 Perhitungan tahanan panas isolasi**

Data-data untuk menghitung tahanan panas isolasi :

$$\text{Tahanan panas jenis isolasi } (\rho_i) = 5 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

$$\text{Tebal selubung} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter pengantar} = 38 \text{ mm}$$

Tahanan panas isolasi didapat dengan persamaan 3.1 adalah :

$$R_i = \frac{\rho_i}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2t_s}{d_c} \right)$$

$$R_i = \frac{5}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2.3,5}{38} \right)$$

$$R_i = 0,1345 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

**4.1.2 Perhitungan tahanan panas bantalan**

Data-data untuk menghitung tahanan panas bantalan :

$$\text{Tahanan panas jenis bantalan } (\rho_b) = 6 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

$$\text{Tebal bantalan} = 0,2 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter selubung} = 72,5 \text{ mm}$$

Tahanan panas bantalan didapat dengan persamaan 3.2 :

$$R_b = \frac{\rho_b}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2t_b}{d_s} \right)$$

$$R_b = \frac{6}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2.0,2}{72,5} \right)$$

$$R_b = 5,254 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

#### 4.1.3 Perhitungan tahanan panas sarung kabel

Data-data untuk menghitung tahanan panas sarung kabel :

Tahanan panas jenis sarung kabel ( $\rho_j$ ) = 6  $^\circ\text{C m/W}$

Tebal sarung kabel = 4 mm

Diameter perisai = 73,5 mm

Tahanan panas sarung kabel didapat dengan persamaan 3.3

$$R_j = \frac{\rho_j}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2t_j}{d_e} \right)$$

$$R_j = \frac{6}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2,4}{73,5} \right)$$

$$R_b = 0,0986 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

#### 4.2 Tahanan Panas Tanah

Antara GI Sukolilo - GI Ngagel digunakan saluran ganda ditanam langsung. Data-data untuk menghitung tahanan panas tanah :

Tahanan panas jenis tanah ( $\rho_t$ ) = 0,9  $^\circ\text{C m/W}$

Kedalaman penanaman kabel (h) = 2400 mm

Diameter kabel (D) = 38 mm

Jarak antar kabel (d) = 200 mm

Jarak antar saluran = 600 mm

Tahanan panas tanah didapat dengan persamaan 3.4

$$R_t = \frac{\rho_t}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{2h}{D}\right) + \ln\left(\frac{d_{21}d_{31}d_{41}d_{51}d_{61}}{d_{21}d_{31}d_{41}d_{51}d_{61}}\right) \right]$$

Dengan menggunakan metode bayangan termal didapat

$$d_{12} = 200 \text{ mm} \quad d_{12'} = 4804 \text{ mm}$$

$$d_{13} = 400 \text{ mm} \quad d_{13'} = 48166 \text{ mm}$$

$$d_{14} = 1000 \text{ mm} \quad d_{14'} = 49030 \text{ mm}$$

$$d_{15} = 1200 \text{ mm} \quad d_{15'} = 49477 \text{ mm}$$

$$d_{16} = 1400 \text{ mm} \quad d_{16'} = 5000 \text{ mm}$$

$$R_t = \frac{0,9}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{2.2400}{38}\right) + \ln 1.4291 \right]$$

$$R_t = 0,8977 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

#### 4.3 Perhitungan rugi penghantar

Untuk menghitung rugi penghantar terlebih dahulu dihitung tahanan dc ( $R_{dc}$ ), faktor efek kulit ( $Y_s$ ), faktor efek kedekatan ( $Y_p$ ) dan tahanan ac ( $R_{ac}$ ).

#### 4.3.1 Perhitungan tahanan dc ( $R_{dc}$ )

Data-data yang diperlukan dalam perhitungan tahanan dc ( $R_{dc}$ ) :

$R_0$  = Tahanan penghantar dc pada temperatur 20°C didapat dari didapat dari tabel V lampiran untuk tembaga =  $2,21 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot m$ )

$\alpha_{20}$  = Koefisien temperatur pada 20°C didapat dari tabel I lampiran, untuk tembaga  $3,93 \cdot 10^{-3}$

$t$  = Temperatur kerja maksimum penghantar adalah 85 °C

Tahanan dc ( $R_{dc}$ ) didapat dengan persamaan 3.7

$$R_{dc} = R_0[1+\alpha_{20}(t-20)]$$

$$= 2,21 \cdot 10^{-5} [1+3,93 \cdot 10^{-3} (85 - 20)]$$

$$= 2,7889 \cdot 10^{-6} \Omega$$

#### 4.3.2 Perhitungan faktor efek kulit ( $K_s$ )

Harga  $X_s$  didapat dengan persamaan 3.9. Harga konstanta efek kulit ( $K_s$ ) untuk penghantar berongga didapat dari persamaan 3.10 dengan frekuensi ( $f$ ) adalah 50 Hz. Diameter penghantar adalah 38 mm dan diameter rongga adalah 12 mm.

$$K_s = \frac{d_c - d_{od}}{d_c + d_{od}} \left( \frac{d_c + 2d_{od}}{d_c + d_{od}} \right)$$

$$K_s = \frac{38 - 12}{38 + 12} \left( \frac{38 + 2 \cdot 12}{38 + 12} \right)$$

$$K_s = 0,419$$

Sehingga

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

$$X_s^2 = \frac{8\pi \cdot 50}{2,7889 \cdot 10^{-5}} 10^{-7} \cdot 0,419$$

$$X_s^2 = 18,8795$$

Faktor efek kulit ( $Y_s$ ) didapat dengan persamaan 3.8

$$Y_s^2 = \frac{X_s^4}{192 + 0,8(X_s)^4}$$

$$Y_s^2 = \frac{18,8795^2}{192 + 0,8 \cdot 18,8795^2}$$

$$Y_s^2 = 0,7470$$

#### 4.3.3 Perhitungan faktor efek kedekatan ( $Y_p$ )

Harga  $X_p$  didapat dengan persamaan 3.12. Harga konstanta efek kedekatan ( $K_p$ ) didapat dari tabel IV lampiran yaitu 0,8 dan frekuensi ( $f$ ) adalah 50 Hz.

$$X_p^2 = \frac{8\pi f}{R_{dc}} 10^{-7} K_p$$

$$X_p^2 = \frac{8\pi \cdot 50}{2,7889 \cdot 10^{-5}} 10^{-7} \cdot 0,8$$

$$X_p^2 = 36,04$$

Faktor efek kedekatan ( $Y_p$ ) didapat dengan persamaan 3.11

Data-data untuk menghitung faktor efek kedekatan ( $Y_p$ ) :

$$\text{Diameter penghantar (}d_c\text{)} = 38 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar penghantar (}s\text{)} = 200 \text{ mm}$$

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8X_p^4} \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 \left[ 0,32 \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{X_p^4}{192 + 0,8X_p^4} + 0,27} \right]$$

$$Y_p = \frac{36,04^2}{192 + 0,8 \cdot 36,04^2} \left( \frac{38}{200} \right)^2 \left[ 0,32 \left( \frac{38}{200} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{36,04^2}{192 + 0,8 \cdot 36,04^2} + 0,27} \right]$$

$$Y_p = 0,0343$$

#### 4.3.4 Perhitungan Tahanan ac ( $R_{ac}$ )

Tahanan ac ( $R_{ac}$ ) dapat dihitung dengan persamaan 3.6

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p)$$

$$R_{ac} = 2,7889 \cdot 10^{-5} (1 + 0,747 + 0,0343)$$

$$R_{ac} = 4,9678 \cdot 10^{-5} \Omega$$

Arus yang mengalir pada kabel adalah 740 A, sehingga rugi penghantar adalah :

$$P_c = I^2 \cdot R_{ac}$$

$$P_c = 740^2 \cdot 4,9678 \cdot 10^{-5}$$

$$P_c = 27,2036 \text{ W}$$

#### 4.4 Perhitungan rugi panas dielektrik

Data-data untuk menghitung kapasitansi :

$$\text{Diameter isolasi } (d_i) = 64,7 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter penghantar } (d_c) = 38 \text{ mm}$$

Permitivitas relatif bahan isolasi ( $\epsilon_r$ ) didapat dari tabel V lampiran, untuk isolasi kertas adalah 3,3

Kapasitansi didapat dengan persamaan 3.14

$$C = \frac{\epsilon_r}{18 \ln\left(\frac{d_i}{d_c}\right)} 10^{-9}$$

$$C = \frac{3,3}{18 \ln\left(\frac{64,7}{38}\right)} 10^{-9}$$

$$C = 0,3444 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

Data-data yang diperlukan untuk menghitung rugi panas dielektrik :

Tegangan kerja (V) = 150 kV. Faktor daya elektrik ( $\tan \delta$ ) diberikan tabel

V lampiran yaitu 0,004,  $\omega = 2\pi f$ . Frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz

V adalah tegangan fasa ke netral yang didapat dengan persamaan :

$$V = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 86602,5 \text{ V}$$

Rugi dielektrik dinyatakan oleh persamaan 3.13.

$$P_d = \omega C V^2 \tan \delta$$

$$P_d = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,3444 \cdot 10^{-9} \cdot 86602,5^2 \cdot 0,004$$

$$P_d = 3,2458 \text{ W}$$

## 4.5 Rugi panas selubung ( $P_s$ )

Rugi panas selubung terdiri dari rugi arus sirkulasi ( $\lambda'$ ) dan rugi arus eddy atau rugi arus pulsar ( $\lambda''$ ) didapat dengan persamaan 3.15

$$P_s = \lambda' + \lambda''$$

### 4.5.1 Rugi arus sirkulasi

Rugi arus sirkulasi ( $\lambda'$ ) untuk kabel ditanam langsung telah ditentukan IEC 287 halaman 37 yaitu 0,03

### 4.5.2 Rugi arus eddy

Data untuk mencari tahanan selubung adalah selubung terbuat dari Lead Alloy, Tahanan jenis selubung ( $\rho_s$ ) didapat dari tabel I lampiran yaitu  $21,4 \cdot 10^{-8} \Omega$ , Koefisien temperatur selubung ( $\alpha_s$ ) didapat dari tabel I lampiran yaitu  $4 \cdot 10^{-3}$ ,

Temperatur kerja maksimum ( $\theta$ )	= $85^\circ\text{C}$
Diameter selubung ( $d_s$ )	= 72,5 mm
Ketebalan selubung ( $t_s$ )	= 3,5 mm
Jarak antar kabel ( $s$ )	= 200 mm

Tahanan selubung didapat dengan persamaan 3.16

$$R_s = \frac{40 \cdot \rho_s [1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]}{\pi [(d_s + t_s)^2 - ((d_s - t_s)^2)]}$$

$$R_s = \frac{40 \cdot 21,4 \cdot 10^{-8} [1 + 4 \cdot 10^{-3}(85 - 20)]}{\pi [(72,5 + 3,5)^2 - ((72,5 - 3,5)^2)]}$$

$$R_s = 3,3822 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Faktor didapat dari persamaan 3.19 dan jika  $m \leq 0,1$  maka  $\Delta_1$  dan  $\Delta_2$  dapat diabaikan

$$m = \frac{2\pi f}{R_s}$$

$$m = \frac{2\pi \cdot 50}{3,3822 \cdot 10^{-3}}$$

$$m = 0,0928$$

Untuk menghitung  $\lambda_0$  kabel dengan formasi mendatar dihitung dengan persamaan 3.20.

$$\lambda_0 = 3 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2$$

$$\lambda_0 = 3 \left( \frac{0,0928^2}{1+0,0928^2} \right) \left( \frac{72,5}{2.200} \right)^2$$

$$\lambda_0 = 4,6426 \cdot 10^{-3}$$

$g_s$  didapat dengan persamaan 3.18. Data-data untuk mencari  $g_s$  adalah

Ketebalan selubung ( $t_s$ ) = 3,5 mm

Diameter selubung ( $d_s$ ) = 72,5 mm

$$g_s = 1 + \left( \frac{t_s}{d_s} \right)^{1,74} \left( \beta_1 d_s 10^{-3} - 1,6 \right)$$

$$g_s = 1 + \left( \frac{3,5}{72,5} \right)^{1,74} \left( 13,582 \cdot 72,5 \cdot 10^{-3} - 1,6 \right)$$

$$g_s = 0,9968$$

Rugi arus eddy ( $\lambda''$ ) dinyatakan dengan persamaan 3.17

$$\lambda'' = \frac{R_s}{R_{ac}} [g_s \lambda_o (1 + \Delta_1 + \Delta_2)]$$

$$\lambda'' = \frac{3,3824 \cdot 10^{-3}}{4,9678 \cdot 10^{-5}} [0,9968 \cdot 0,0139 \cdot (1 + 0 + 0)]$$

$$\lambda'' = 0,3151$$

Rugi panas selubung terdiri dari rugi arus sirkulasi ( $\lambda'$ ) dan rugi arus eddy atau rugi arus pusar ( $\lambda''$ ) didapat dengan persamaan 3.15

$$P_s = \lambda' + \lambda''$$

$$= 0,03 + 0,3151$$

$$= 0,3451 \text{ W}$$

#### 4.6 Perhitungan rugi panas perisai ( $P_a$ )

Data-data untuk menghitung faktor k :

Permeabilitas relatif pita baja ( $\mu$ ) = 300

Diameter perisai ( $d_a$ ) = 73,5 mm

Ketebalan perisai ( $t_a$ ) = 0,15 mm

Faktor k diberikan oleh persamaan 3.23.

$$k = \frac{1}{1 + \frac{d_a}{\mu t_a}}$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{73,5}{300 \cdot 0,15}}$$

$$k = 0,3797$$

Data-data untuk menghitung rugi histerisis ( $\lambda_2'$ ) :

$$\text{Luas penampang penghantar (s)} = 800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tahanan penghantar (R}_{ac}\text{)} = 4,9678 \cdot 10^{-5} \Omega$$

$$\text{Diameter perisai (d}_a\text{)} = 73,5 \text{ mm}$$

$$\text{Ketebalan perisai (t}_a\text{)} = 0,15 \text{ mm}$$

Besarnya rugi histerisis ( $\lambda_2'$ ) diberikan oleh persamaan 3.22

$$\lambda'_2 = \frac{s^2 k^2 10^{-7}}{R_{ac} d_a t_a}$$

$$\lambda'_2 = \frac{200^2 \cdot 0,3797^2 \cdot 10^{-7}}{4,9678 \cdot 10^{-5} \cdot 73,5 \cdot 0,15}$$

$$\lambda'_2 = 10,582$$

Rugi arus eddy ( $\lambda_2''$ ) diberikan oleh persamaan 3.24

$$\lambda''_2 = \frac{2,25 s^2 k^2 t 10^{-8}}{R_{ac} d_a}$$

$$\lambda''_2 = \frac{2,25 \cdot 200^2 \cdot 0,3797^2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-8}}{4,9678 \cdot 10^{-5} \cdot 73,5}$$

$$\lambda''_2 = 0,0533$$

Rugi perisai diberikan persamaan 3.21

$$P_a = \lambda_2' + \lambda_2''$$

$$= 10,456 + 0,0533$$

$$= 10,582 \text{ W}$$

#### 4.7 Perhitungan temperatur awal kabel

Besarnya temperatur penghantar didapat dengan persamaan 3.25.

Nilai temperatur tanah ( $T_u$ ) diambil 25 °C.

$$\begin{aligned}
 T_c &= P_c(0.5R_i + 0.5R_i + R_b + R_j + R_t) + P_d(0.5R_i + R_b + R_j + R_t) + \\
 &\quad P_s(R_b + R_j + R_t) + P_a(R_j + R_t) + T_u \\
 T_c &= 27,2 (0,5 \cdot 0,1345 + 0,5 \cdot 0,1345 + 5,254 \cdot 10^{-3} + 0,0986 + 0,8977) + \\
 &\quad 3,2458(0,5 \cdot 0,1345 + 5,254 \cdot 10^{-3} + 0,0986 + 0,8977) + \\
 &\quad 0,3151 (5,254 \cdot 10^{-3} + 0,0986 + 0,8977) + 10,582 (0,0986 + 0,8977) + 25 \\
 T_c &= 70,2 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

#### 4.8 Perhitungan kapasitas arus hubung singkat kabel bawah tanah

Besarnya arus hubung singkat yang diijinkan(thermally permissible short circuit current) pada kabel diberikan dengan persamaan 3.26

$$I = \varepsilon \cdot I_{AD}$$

dimana

$I$  = Arus hubung singkat yang diijinkan (A)

$I_{AD}$  = Arus adiabatik (A)

$\varepsilon$  = Faktor sedemikian hingga rugi panas dapat mengalir dalam komponen sekitar kabel, untuk perhitungan adiabatik = 1

#### 4.9 Perhitungan arus adiabatik

Untuk menghitung arus adiabatik ( $I_{AD}$ ) digunakan persamaan 3.27.

Data-data yang diperlukan untuk menghitung arus adiabatik

$t$  = Durasi waktu hubung singkat diambil 1 detik

$K$  = Konstanta yang tergantung pada komponen pembawa arus  
adalah 226 sesuai dengan tabel I lampiran

$S$  = Luas penampang penghantar  $800 \text{ mm}^2$

$T_c$  = Temperatur awal penghantar  $70,2^\circ\text{C}$

$T_f$  = Temperatur akhir penghantar  $85^\circ\text{C}$

$B$  = Koefisien temperatur rekosikal dari tahanan komponen  
pembawa arus pada  $0^\circ\text{C}$  adalah 234,5 sesuai tabel I lampiran

Sehingga arus adiabatik

$$I_{AD \cdot t}^2 = K^2 S^2 \ln \left[ \frac{T_f + \beta}{T_c + \beta} \right]$$

$$I_{AD \cdot 1}^2 = 226^2 \cdot 800^2 \ln \left[ \frac{85 + 234,5}{70,2 + 234,5} \right]$$

$$I_{AD} = 39,375 \text{ kA}$$

#### 4.10 Perhitungan faktor non-adiabatik

Data-data untuk menghitung faktor adiabatik adalah : durasi hubung singkat 1 detik, Luas penampang penghantar  $800 \text{ mm}^2$ ,  $X = 0,45$  dan  $Y = 0,14$  sesuai dengan tabel III lampiran.

Faktor non-adiabatik didapat dengan persamaan 3.28

$$\epsilon = \sqrt{1 + X \sqrt{\frac{t}{S}} + Y \left( \frac{t}{S} \right)}$$

$$\epsilon = \sqrt{1 + 0,45 \sqrt{\frac{1}{800}} + 0,14 \left( \frac{1}{800} \right)}$$

$$\epsilon = 1,016$$

Arus hubung singkat non adiabatik adalah :

$$I = \epsilon \cdot I_{AD}$$

$$= 1,016 \cdot 39,375$$

$$= 40,005 \text{ kA}$$

## 4.11 Perhitungan Penampang Penghantar Minimum

Didapat dari data arus hubung singkat yang dapat terjadi di GI Sukolilo adalah 31,5 kA. Dari perhitungan didapat penampang penghantar minimum adalah 634 mm<sup>2</sup>.

### 4.11.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Adiabatik

$$I_{AD}^2 \cdot t = K^2 S^2 \ln \left[ \frac{T_f + \beta}{T_c + \beta} \right]$$

$$I_{AD}^2 \cdot 1 = 226^2 \cdot 634^2 \ln \left[ \frac{85 + 234,5}{70,2 + 234,5} \right]$$

$$I_{AD} = 31,204 \text{ kA}$$

### 4.11.2 Perhitungan Faktor Non Adiabatik

Faktor non-adiabatik didapat dengan persamaan 3.28

$$\varepsilon = \sqrt{1 + X \sqrt{\frac{t}{S}} + Y \left( \frac{t}{S} \right)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 + 0,45 \sqrt{\frac{1}{634}} + 0,14 \left( \frac{1}{634} \right)}$$

$$\varepsilon = 1,009$$

### 4.11.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat Non Adiabatik

Arus hubung singkat non adiabatik didapat dari persamaan 3.26

$$I = \varepsilon \cdot I_{AD}$$

$$= 1,009 \cdot 31,204$$

$$= 31,492 \text{ kA}$$

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

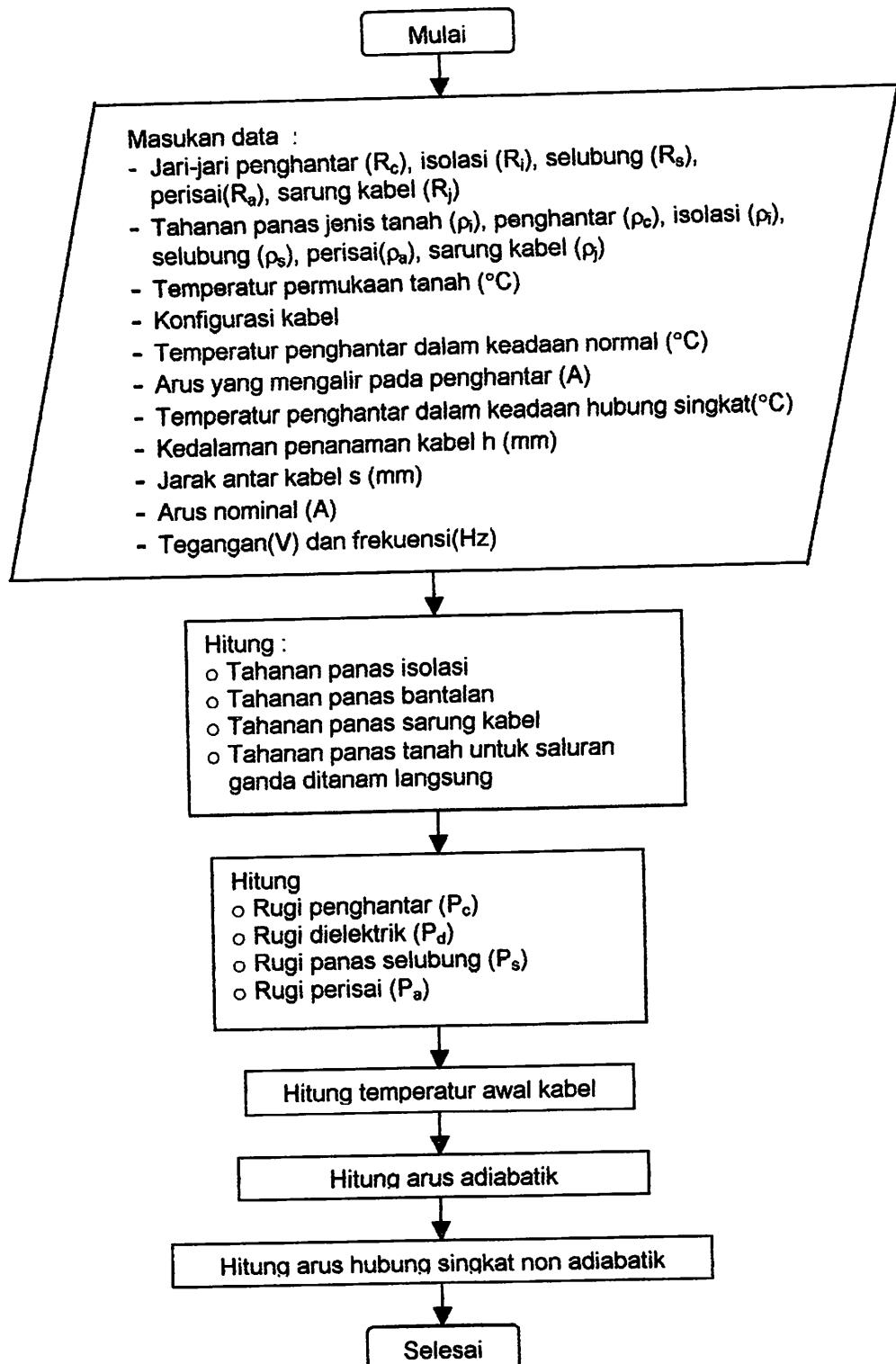
1. Dari hasil perhitungan, temperatur penghantar pada kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo-GI Ngagel adalah  $70,2^{\circ}\text{C}$  masih dibawah temperatur yang diijinkan yaitu  $85^{\circ}\text{C}$ .
2. Dari hasil perhitungan, kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi dengan luas penampang  $800 \text{ mm}^2$  yang digunakan antara GI Sukolilo-GI Ngagel mampu menahan arus hubung singkat sebesar  $40,005 \text{ kA}$ , lebih besar daripada arus hubung singkat yang dapat terjadi di GI Sukolilo sesuai dengan data adalah  $31,5 \text{ kA}$ , sehingga kabel bawah tanah isolasi kertas impregnasi yang digunakan antara GI Sukolilo dan GI Ngagel masih aman bila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa.
3. Dari perhitungan penampang minimum kabel bawah tanah impregnasi kertas agar dapat menahan arus hubung singkat sesuai data yaitu  $31,5 \text{ kA}$  adalah  $634 \text{ mm}^2$ .

## DAFTAR PUSTAKA

1. D.G.A.K. Wijeratna, J.R. Lucas, H.J.C Peiris, H.Y.R Parera, *Development of a Sofware Package for Calculating Current Rating of Medium Cable Power Cables*, Transaction of the IEE Srilangka, September 2003
2. IEC Standart Publication 287, *Calculation of The Continous Current Rating of Cable (100% load factor)*, 1982
3. IEC Standart Publication 228, *Conductor of Insulated Cables*, 1978
4. IEC Standart Publication 949, *Calculation of The Thermal Permissible Short Circuit Taking into Account Non Adiabatic Heating Effect*, 1988
5. Syamsir Abduh, *Penentuan Arus Hubung Singkat Akibat Ketidakstabilan Termal pada Kabel Bawah Tanah XLPE 12/20 kV*, Seminar Nasional Tenaga Listrik 2004

**LAMPIRAN**

## FLOWCHART



**Tabel 1**

Material	K(As <sup>1/2</sup> /mm <sup>2</sup> )	$\beta(K)$	$\sigma_c(J/Km^3)$	$\rho_{20}(\Omega m)$	$a_{20}$
Pengantar					
- Tembaga	226	234,5	$345 \cdot 10^6$	$1,7241 \cdot 10^{-8}$	$3,93 \cdot 10^{-3}$
- Alumunium	148	228	$2,5 \cdot 10^6$	$2,8264 \cdot 10^{-8}$	$4,03 \cdot 10^{-3}$
Selubung					
- Lead atau Lead Alloy	41	230	$1,45 \cdot 10^6$	$2,14 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$ $4,5 \cdot 10^{-3}$
- Steel	78	202	$3,8 \cdot 10^6$	$1,38 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
- Bronze	180	313	$3,4 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^{-8}$	-
- Alumunium	148	228	$2,5 \cdot 10^6$	$2,48 \cdot 10^{-8}$	$4,03 \cdot 10^{-3}$

**Tabel II Konstanta Thermal Material**

Material Isolasi	Thermal Resistivity p(°C.m/W)	Volumetric Specific Heat σ(J/K.m <sup>3</sup> )
- XLPE	3,5	$2,4 \cdot 10^6$
- PE	3,5	$2,4 \cdot 10^6$
- Butyl Rubber	5,0	$2,0 \cdot 10^6$
- Oil	7,0	$1,7 \cdot 10^6$
- Impregnated paper in solid type cable	6,0	$2,0 \cdot 10^6$
- Impregnated paper in oil filled type cable	5,0	$2,0 \cdot 10^6$
- PVC	6,0	$2,5 \cdot 10^6$

**Tabel III Konstanta untuk mempermudah perhitungan**

Isolasi	Konstanta untuk pengantar tembaga		Konstanta untuk Pengantar alumunium	
	X	Y	X	Y
PVC				
Dibawah atau sama dengan 3 kV	0,29	0,06	0,40	0,08
Diatas 3 kV	0,27	0,05	0,37	0,07
XLPE	0,41	0,12	0,57	0,16
EPR				
Dibawah atau sama dengan 3 kV	0,38	0,10	0,52	0,14
Diatas 3 kV	0,32	0,07	0,44	0,10
Paper				
Oil Filled	0,45	0,14	0,62	0,20
Other	0,29	0,04	0,40	0,08

**Tabel IV Konstanta K<sub>s</sub> dan K<sub>p</sub>**

Jenis pengantar	K <sub>s</sub>	K <sub>p</sub>
Bulat, berlilit, diimpregnasi	1,0	0,8
Bulat, berlilit, tak diimpregnasi	1,0	1,0
Bulat, segmental	0,435	0,37
Bulat berongga	lihat persamaan 3.10	0,8

**Tabel V Permitifitas relatif bahan ( $\epsilon$ ) dan tan  $\delta$**

Type kabel	$\epsilon$	tan $\delta$
<i>Cables insulated with impregnated paper</i>		
o Solid type, fully-impregnated, pre-impregnated or mass-impregnated non-draining	4	0,01
o Oil-filled, low pressure	3,3	0,004
o Oil-filled, high pressure	3,5	0,0045
o Oil-pressure pipe-type	3,7	0,0045
o External gas-pressure	3,5	0,0040
o Internal gas-pressure	3,4	0,0045
<i>Cables with other kinds of material insulation</i>		
o Butyl rubber	4	0,050
o EPR	3	0,040
o PVC	8	0,1
o PE	2,3	0,0010
o EXPE	2,5	0,008

**Tabel VI**

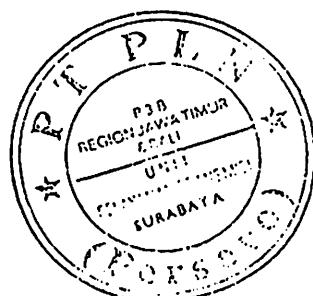
Nominal Cross- sectional area  mm <sup>2</sup>	Minimum number of wires in the conductor						Maximum resistance of conductor at 20 °C		
	Circular conductor (non- compacted)		Circular compacted conductor		Shaped conductor		Copper conductor		Alumunium conductor, plain metal- coated or metal-clad wires Ω/Km
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Ω/Km	Ω/Km	
0.5	7	-	-	-	-	-	36.0	36.7	-
0.75	7	-	-	-	-	-	24.5	24.8	-
1	7	-	-	-	-	-	18.1	18.2	-
1.5	7	-	6	-	-	-	12.1	12.2	-
2.5	7	-	6	-	-	-	7.41	7.56	7.41
4	7	7	6	-	-	-	4.61	4.70	4.61
6	7	7	6	-	-	-	3.08	3.11	3
10	7	7	6	-	-	-	1.83	1.84	08
16	7	7	6	6	-	-	1.15	1.16	1.91
25	7	7	6	6	6	6	0.727	0.734	1.20
35	7	7	6	6	6	6	0.524	0.529	0.868
50	19	19	6	6	6	6	0.387	0.391	0.641
70	19	19	12	12	12	12	0.268	0.270	0.443
95	19	19	15	15	15	15	0.193	0.195	0.320
120	37	37	18	15	18	15	0.153	0.154	0.253
150	37	37	18	15	18	15	0.124	0.126	0.206
185	37	37	30	30	30	30	0.0991	0.100	0.164
240	61	61	34	30	34	30	0.0754	0.0762	0.125
300	61	61	34	30	34	30	0.0601	0.0607	0.100
400	61	61	53	53	53	53	0.0470	0.0475	0.0778
500	61	61	53	53	53	53	0.0366	0.0369	0.0605
630	91	91	53	53	53	53	0.0283	0.0286	0.0469
800	91	91	53	53	-	-	0.0221	0.0224	0.0367
1000	91	91	53	53	-	-	0.0176	0.0177	0.0291

Lampiran - 12  
**DAYA HUBUNG SINGKAT 3 PHASA**  
**Pada Pembangkitan Maximum**  
**Tahun 2002 - 2006**

Lokasi	Teg (kV)	xii (KA)	2002	%	2004	%	2006	%	KETERANGAN
Perak	150	40	25.5	63.78	26.7	66.68	31.1	77.78	
Pesanggaran	150	16	6.5	40.33	7.0	43.59	7.7	47.99	
Petrokimia	150	40	20.1	50.23	20.5	51.20	20.5	51.35	
Pier	150	40	13.1	32.77	15.5	38.75	15.9	39.65	
Probolinggo	150	25	9.5	37.88	8.8	35.12	10.1	40.24	
Rejoso	150	40	10.4	26.05	10.9	27.17	13.5	33.70	
Rungkut	150	25	29.1	116.52	30.2	120.68	28.4	113.60	
Sampang	150	31.5	4.1	13.03	4.1	13.07	4.1	13.09	
Sanur	150	16	6.0	37.76	6.5	40.52	7.1	44.31	
Sawahan	150	50	36.6	73.26	37.2	74.44	40.4	80.72	
Segoromadu	150	21	30.8	146.86	31.7	151.14	31.9	152.05	
Sekarputih	150	19.3	17.5	90.93	21.3	110.47	17.2	89.27	
Sengkaling	150	31.5	7.4	23.50	8.7	27.53	9.2	29.06	
Simpang	150	31.5	23.1	73.40	24.1	76.44	26.1	82.79	
Situbondo	150	40	12.1	30.37	12.4	30.92	12.6	31.32	
Sukolilo	150	31.5	24.5	77.84	25.6	81.37	27.9	88.54	
Sumenep	150	31.5	3.0	9.51	3.0	9.54	3.0	9.53	
Suryazigzag	150	40	4.7	11.80	12.0	29.93	11.2	28.03	
Tandes	150	31.5	37.5	118.93	39.2	124.29	43.5	137.97	
Tanggul	150	40	5.7	14.23	5.7	14.34	6.0	14.97	
Tuban	150	40	4.3	10.87	3.8	9.41	7.6	10.05	
Tuban3	150	40	3.8	9.38	3.8	9.41	7.2	17.91	
Ijung	150	57.1	24.8	43.42	25.9	45.34	29.8	52.17	
Indaan	150	40	34.1	85.15	35.5	88.73	38.3	95.83	
Iaru	150	40	34.0	85.10	35.5	88.73	36.7	91.67	
Ilindi	150	40	5.2	13.02	12.0	30.05	12.0	29.95	
Montokromo	150	40	23.6	58.90	24.6	61.40	26.6	66.57	
ITET.Gratik	500	40	22.5	50.13	23.9	59.75	25.0	62.38	
ITET.Gresik	500	40	20.7	51.85	21.9	54.70	21.8	54.40	
ITET.Krian	500	40	22.6	56.45	23.8	59.60	24.0	59.90	
ITET.Paiton	500	60	21.9	43.82	25.4	50.84	25.9	51.70	

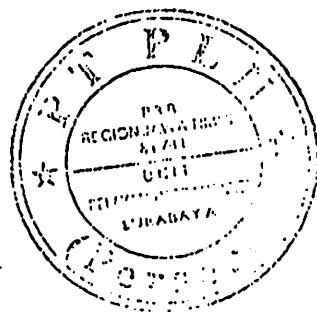
**DATA KABEL BAWAH TANAH YANG DIGUNAKAN ANTARA  
GI SUKOLIJO DAN GI NGAGEL.**

Tipe kabel	:	Oil filled
Tegangan	:	150 kV
Frekuensi	:	50 Hz
Kapasitas arus nominal	:	740 A
Jumlah inti	:	1
Merk kabel	:	Taihan
Diameter oil duct	:	12 mm
Penghantar		
- Material	:	Tembaga
- Luas penampang	:	800 mm <sup>2</sup>
- Jari-jari	:	17,05 mm
Isolasi		
- Material	:	Paper Impregnated
- Ketebalan	:	12 mm
- Jari-jari	:	29,05 mm
Schubung		
- Material	:	Lead Alloy
- Ketebalan	:	3,5 mm
- Jari-jari	:	36,25 mm
Bantalan		
- Material	:	PVC
- Ketebalan	:	6,2 mm
- Jari-jari	:	36,45 mm
Perisai		
- Material	:	Stainless steel tape
- Ketebalan	:	0,15 mm
- Jari-jari	:	36,75 mm
Sarung kabel		
- Material	:	PVC
- Ketebalan	:	0,4 mm
- Jari-jari	:	37,15 mm



## **DATA SALURAN GI NGAGEI - GI SUKOLILO**

Jumlah saluran	:	2
Jumlah kabel per saluran	:	3
Jarak antar saluran	:	200 mm
Jarak antar kabel	:	400 mm
Kedalaman penanaman kabel	:	2400 mm
Tahanan panas jenis tanah	:	0,9 K.m/W
Temperatur tanah	:	25 °C

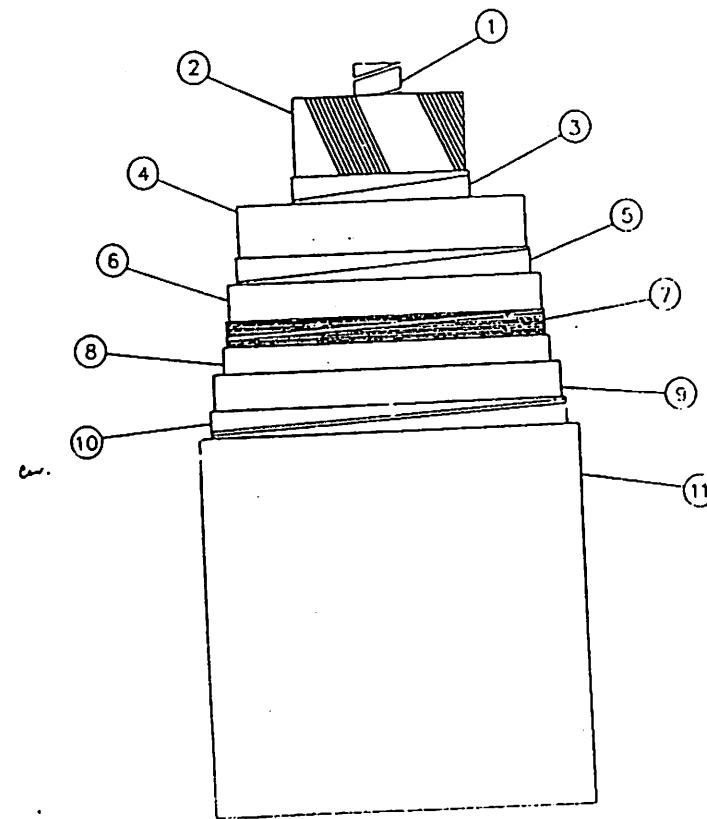


*Hary*

REVIEW DOES NOT RELIEVE CONTRACTOR FROM  
RESPONSIBILITY FOR ERRORS OR OMISSIONS  
FROM CONTRACT REQUIREMENTS

PLN ENGINEERING CENTRE

84



No.	Description	Material
1	Oil duct	Zinc Galvanized steel
2	Conductor	Copper (6 segmental compacted circular)
3	Conductor screen	Carbon black paper tape
4	Insulation	impregnated kraft paper tape
5	Core screen	Carbon black paper tape & Metallized paper tape
6	Metal sheath	Lead alloy (Cu+Te)
7	Reinforcement	Stainless steel tape
8	Sealing Compound	Bituminous compound
9	Anti-corrosion sheath	Extruded polyethylene
10	Anti-termite protection	Tin-bronze tape
11	Outer covering	Extruded black PVC with termite repellent

<input checked="" type="checkbox"/>	PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA	P.T. ENCONA ENG. INC./NE
Owner		Engineer
Project IBRD POWER XV TRANSMISSION LINES AND SUBSTATION PR		
Name: CATEGORY 6-150KV UNDERGROUND CABLE/LOT 1:FOR SUP		
CONTRACT NO.: P.J.P. 041/PST/88		

<input checked="" type="checkbox"/>	SAMSUNG CO.,LTD.	TRUE
Contractor		DETAILED TYPICAL DRAW.
Date	Signature	OF
Drawn	<i>July. 25. 1988</i>	150KV 1x800SQmm OIL FILLED
Designed	<i>July. 2. 1988</i>	Date:
Checked	<i>July. 12. 1988</i>	Signature:
Approved	<i>July. 12. 1988</i>	Drawing No.
<input checked="" type="checkbox"/> TAIHAN ELECTRIC WIRE CO.,LTD.		KTP-1001-0
Manufacturer & Supplier		

SCHEDULE IV : TECHNICAL PARTICULAR AND GUARANTEE  
 CATEGORY - C : 150 KV UNDERGROUND CABLES

LOT - 1 : 150 KV UGC FOR SURABAYA

1) KV Single Core Oil Filled Cable, 240 MVA/Circuit

1).	DESCRIPTION	UNIT	REQUIRED	ACTUAL
1.	Voltage between phase of three phase circuit = U	kV	150	150
2.	Number of cores	-	1	1
3.	CONDUCTOR	sqmm	800	800
	- Cross sectional area	-	copper	copper
	- Material	-		6 segmental
	- Design	-		compacted circular
	- Overall dimensions	mm		Nom. 38.0
4.	OIL DUCTS	-		Zinc galvanized
	- Material	-		steel helix
	- Nominal internal diameter	mm	12	12.0
5.	CONDUCTOR SCREEN	-		Carbon black
	- Material	-		paper
	- Thickness	mm	0.2	0.13 * 2
6.	INSULATION	-		Impregnated
	- Type	-		kraft paper
	- Minimum radial thickness	mm	12.0	12.0
6a.	Highest Voltage	kV	170	170

C1.4.1R-1



SCHEDULE IV : TECHNICAL PARTICULAR AND GUARANTEE  
 CATEGORY - 6 : 150 KV UNDERGROUND CABLES

LOT - 1 : 150 KV UGC FOR SURABAYA

✓ Single Core Oil Filled Cable, 240 MVA/Circuit

DESCRIPTION	UNIT	REQUIRED	ACTUAL
<b>CORE SCREEN</b>			
- Material		Carbon black & metallized paper	Carbon black paper & metallized paper
- Thickness (nominal)	mm	0.25	0.4
- Diameter over screen	mm		Approx. 65.5
<b>IMPREGNANT</b>			
- Type		Synthetic cable oil	Synthetic insulating oil
- Viscosity @ 20 °C	cp		Approx. 11.0
- Viscosity @ 40 °C	cp	5.0 - 7.0	Approx. 6.5
- Viscosity @ 100 °C	cp	1.4 - 1.7	Approx. 1.5
<b>METAL SHEATH</b>			
- Material		Lead alloy	Lead alloy
- Nominal thickness	mm	≥ 3.5	3.5
- External diameter	mm		Approx. 72.5
<b>LEAD ALLOY SHEATH COMPOSITION</b>			
		1/2 C or Te lead alloy	(Te + Cu) alloy
<b>EDDING UNDER REINFORCEMENT</b>			
- Material		Fabric tape	Fabric tape
- Nominal thickness	mm		0.2 * 2

C1.4.2



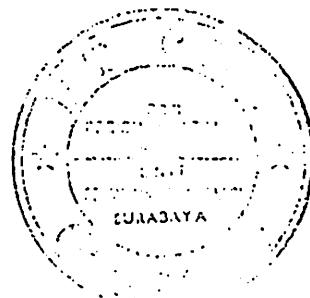
SCHEDULE IV : TECHNICAL PARTICULAR AND GUARANTEE  
 CATEGORY - G : 150 KV UNDERGROUND CABLES

LOT - 1 : 150 KV UGC FOR SURABAYA

50 KV Single Core Oil Filled Cable, 240 MVA/Circuit

NO.	DESCRIPTION	UNIT	REQUIRED	ACTUAL
12.	REINFORCEMENT			
	- Material		Stainless steel	Stainless steel
	- 0.1 % proof stress	kPa		tape
	- Nominal thickness (total)	mm		400,000
	- Maximum width	mm	40.0	0.15 * 2
	- No of tapes per layer		1	40
	- No of layers		2	1
	- Maximum working stress	kPa		2
				200,000
13.	ANTI CORROSION PROTECTIVE COVERING			
	- Type		Poly-ethylene	Poly-ethylene
	- Nominal thickness	mm	4.0	4.5
14.	ANTI TERMITIC PROTECTION TAPES			
	- Material		Tin-bronze tape	Tin-bronze tape
	- Thickness	mm	0.1	0.1 * 2
	- Maximum width	mm	40.0	40
15.	CUTTER COVERING			
	- Material		Extruded black	Extruded black
	- Minimum average thickness	mm	PVC	PVC
	- Type of termite repellent		4.0	4.0
			Lead naphthanate	Lead naphthanate

Cl.4.3



SCHEDULE IV : TECHNICAL PARTICULAR AND GUARANTEE  
 CATEGORY - 6 : 150 KV UNDERGROUND CABLES

LOT - 1 : 150 KV UGC FOR SURABAYA

150 KV Single Core Oil Filled Cable, 240 MVA/Circuit

NO.	DESCRIPTION	UNIT	REQUIRED	ACTUAL
16.	COMPLETE CABLE			
	- Overall diameter	mm		Approx. 95
	- Weight per metre	kg		Approx. 24
	- Drum length	m	500	500
17.	CABLE DRUMS			
	- Overall diameter	m		3.2
	- Width	m		2.0
	- Wight loaded	kg		Approx. 14,000
18.	Condition upon which current carrying capacities are based. (See Ref. 27)			
	- Axial spacing between phase cables	mm		200
	- Axial spacing between circuits	mm		600
	- Soil thermal resistivity	°C.m/W	0.9	0.9
	- Ground temperature	°C	30	25
	- Air temperature	°C	50	30
	- Burial depth to cable axis	m		2.4
	- Type of earth bonding	Cross bonding	Cross bonding	Cross bonding

cl.4.4



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

- |                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| 1. Nama          | : BAHTIAR ADAM          |
| 2. NIM           | : 96.12.132             |
| 3. Jurusan       | : Teknik Elektro        |
| 4. Konsentrasi   | : Teknik Energi Listrik |
| 5. Judul Skripsi | :                       |

### PENENTUAN ARUS HUBUNG SINGKAT AKIBAT KETIDAKSTABILAN TERMAL PADA KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS IMPREGNASI YANG DIGUNAKAN ANTARA GI SUKOLILO-GI NGAGEL

Dipertahankan didepan majelis penguji Skripsi jenjang Strata Satu (S-1)  
pada hari :

Hari	:	Jumat
Tanggal	:	30 September 2005
Dengan nilai	:	76,6 (Tujuh Puluh Enam Koma Enam)



Panitia Ujian Skripsi

Ir. Mochtar Asroni, MSME  
Ketua

Ir. F.Yudi Limgraptono, MT  
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. I Made Wartana, MT  
Penguji Pertama

Ir. M. Abdul Hamid, MT  
Penguji Kedua



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. N a m a : BAHTIAR ADAM  
2. N I M : 96.12.132  
3. Jurusan : Teknik Elektro  
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
5. Judul Skripsi :

### PENENTUAN ARUS HUBUNG SINGKAT AKIBAT KETIDAKSTABILAN TERMAL PADA KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS IMPREGNASI YANG DIGUNAKAN ANTARA GI SUKOLILO-GI NGAGEL

6. Tanggal pengajuan Skripsi : 26 Februari 2005  
7. Selesai penulisan Skripsi : 12 Juli 2005  
8. Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT  
9. Telah dievaluasi dengan nilai : 85 (Delapan Puluh Lima  
koma Nol) 

Malang, Oktober 2005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

  
Ir. F. Yudi Limraptono, MT  
NIP.Y.1038500274

Di setujui  
Dosen Pembimbing

  
Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP.Y.1038900209



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

**PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro Jenjang Strata 1 (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Jum'at  
Tanggal : 30 September 2005

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh

Nama : BAHTIAR ADAM  
N I M : 96.12.132  
Jurusan : Teknik Elektro  
Program Studi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : PENENTUAN ARUS HUBUNG SINGKAT AKIBAT KETIDAKSTABILAN TERMAL PADA KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS IMPREGNASI YANG DIGUNAKAN ANTARA GI SUKOLILO-GI NGAGEL

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Kaitan ketidakstabilan termal dengan pembahasan	✓
2	Kabel yang dibahas dimasukkan dalam landasan teori	✓
3	Temperatur dihitung dalam kondisi apa?	
4	Mengapa harus hubung singkat 3 phasa	✓
5	Kesimpulan	✓
6	Flowchart	✓
7	Susunan daftar pustaka	✓

Diperiksa/Disetujui

Penguji I

Ir. Made Wartana, MT  
*28/10/05*

Penguji II

Ir. Abdul Hamid, MT

Mengetahui/ Menyetujui  
Dosen Pimpinan

Ir. Teguh Herbasuki, MT



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : BAHTIAR ADAM  
N I M : 96.12.132  
Masa Bimbingan : 26 Februari 2005 s/d 26 Agustus 2005  
Judul Skripsi : PENENTUAN ARUS HUBUNG SINGKAT AKIBAT KETIDAKSTABILAN TERMAL PADA KABEL BAWAH TANAH ISOLASI KERTAS IMPREGNASI YANG DIGUNAKAN ANTARA GI SUKOLILO-GI NGAGEL

No	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1	28/02-05	Konsultasi pembuatan skripsi	
2	03/03-05	Konsultasi tujuan, latar blk	
3	24/03-05	Konsultasi bab I & II	
4	18/04-05	Konsultasi bab III	
5	05/05-05	Revisi bab I & II	
6	23/05-05	Revisi bab III	
7	12/06-05	Konsultasi bab IV & V	
8	19/06-05	Revisi bab IV & V	
9	12/07-05	Acc seminar	
10			

Malang, 2005

Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT

Form S-4b