

Perencanaan Saluran Kabel Bawah Tanah Pada Instalasi Pengolahan Gas

Mukhamad Surya Hudha¹⁾, Abdul Multi²⁾

Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

Jakarta 12630

¹⁾surya.hudha@gmail.com, ²⁾amulti@istn.ac.id

ABSTRAK

Saluran kabel yang dipasang di daerah pengolahan gas berbeda dengan saluran kabel yang dipasang di daerah lainnya. Karena daerah ini berbahaya dimana memiliki potensi ledakan akibat adanya gas. Sehingga perlu direncanakan secara tepat mengenai saluran kabel bawah tanah pada instalasi pengolahan gas. Dalam menentukan jenis dan ukuran kabel perlu dipertimbangkan klasifikasi area atau zone dan metode instalasi kabel, data beban, data kabel, dan pengamanan. Perlu juga dipertimbangkan kenaikan suhu pada saat terjadi short circuit, berdasarkan faktor derating, dan berdasarkan voltage drop. Kabel N2XSEBY dengan penghantar tembaga dan isolasi XLPE dipilih untuk dipasang di daerah ini. Kabel tersebut ditanam ke dalam tanah secara langsung agar memiliki fungsi sebagai pengamanan mekanik apabila terjadi perambatan api ketika terjadi kebakaran. Ukuran kabel yang didapatkan adalah 35 mm² untuk kabel tegangan menengah 20 kV dan ukuran 120 mm² untuk kabel tegangan menengah 6.6 kV.

Kata kunci : kabel, bawah tanah, XLPE, instalasi gas

ABSTRACT

Cable lines installed in the gas processing area are different from the cables installed in other areas. Because this area is dangerous where it has the potential for explosion due to the presence of gas. So it needs to be planned properly regarding underground cable lines in gas processing plants. In determining the type and size of cables, it is necessary to consider the classification of areas or zones and the method of cable installation, load data, cable data, and the safety. It is also necessary to consider temperature increases when a short circuit occurs, based on derating factors, and based on voltage drop. N2XSEBY cable with copper conductor and XLPE insulation was chosen to be installed in this area. The cable is placed into the ground directly so that it has a function as a mechanical safety when there is a fire propagation when a fire occurs. The cable size obtained is 35 mm² for a 20 kV medium voltage cable and 120 mm² for a medium voltage cable 6.6 kV.

Keywords : Cable, under ground, XLPE, gas installation

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi energi listrik di suatu industri pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua sistem yaitu sistem distribusi udara atau dengan menggunakan kabel rak maupun sistem distribusi kabel bawah tanah. Pemilihan sistem instalasi kabel tersebut akan sangat mempengaruhi kehandalan listrik suatu

pabrik dan biaya investasi atau biaya perawatan suatu pabrik. Dengan beberapa pertimbangan sistem instalasi kabel bawah tanah banyak dipakai di pabrik pengolahan gas, misalnya di proyek pengolahan gas Block A milik PT. Medco E&P Melaka menggunakan sistem instalasi bawah tanah dengan menggunakan kabel dengan bahan isolasi XLPE.

Kabel XLPE termasuk salah satu kabel yang cukup banyak digunakan untuk kabel bawah tanah. Bahan ini cukup baik sebagai bahan isolasi kabel karena mempunyai kekuatan *dielektrik* dan kekuatan mekanik yang cukup tinggi, serta stabil pada temperatur yang tinggi.

Pemilihan kabel yang digunakan dalam suatu saluran bawah tanah merupakan suatu hal yang penting. Dalam pemilihan kabel diantaranya harus memperhatikan material yang digunakan, kapasitas arus, serta faktor panas yang terjadi akibat rugi-rugi yang terjadi didalam kabel. Pada saluran udara atau kabel yang menggantung rak, panas yang timbul dapat langsung dilepas ke udara di sekelilingnya. Sedangkan pada suatu kabel tenaga panas yang timbul harus melewati material-material penyusun kabel yang memiliki resistansi termal tinggi. Apalagi bila kabel tersebut ditanam didalam tanah, panas yang timbul harus dialirkan melalui material penyusun kabel dan juga tanah disekelilingnya yang memiliki resistansi termal yang tinggi pula.

Kapasitas arus yang diperbolehkan pada suatu kabel sangat dipengaruhi oleh karakteristik termal dari bahan-bahan penyusun kabel tersebut. Pemanasan yang terjadi akibat rugi-rugi pada kabel harus dijaga agar tidak melebihi batas rating temperatur bahan isolasi yang telah ditentukan. Pemanasan yang berlebih pada material kabel dapat mengakibatkan kegagalan isolasi serta mengakibatkan kerusakan dan mempercepat penuaan pada bahan isolasi yang digunakan. Akibatnya umur operasi kabel akan berkurang dibandingkan dengan yang telah diperkirakan sebelumnya. Oleh karena itu pemilihan instalasi kabel dan pemilihan isolasi kabel diperlukan untuk mengetahui kemampuan hantar arus (KHA) kabel tersebut.

Beberapa pokok permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimanakah spesifikasi kabel yang tepat untuk instalasi saluran bawah tanah ?
- b) Faktor-faktor apa saja yang menentukan ukuran kabel ?
- c) Bagaimana metode pemasangan kabel dengan saluran bawah tanah yang benar untuk mendapatkan ukuran kabel yang optimal ?

Dalam penelitian ini kabel yang digunakan adalah kabel dengan isolasi XLPE tegangan 20 kV dan 6.6 kV dengan penghantar tembaga. Instalasi kabel yang dipakai adalah kabel ditanam secara langsung dalam tanah atau *direct buried*.

Metodologi penyelesaian masalah yang dipakai dalam penelitian *Perencanaan Saluran Kabel Bawah Tanah Pada Instalasi Pengolahan Gas* ini adalah sebagai berikut:

- a) Studi Literatur
Setelah mendapatkan ide, maka dilakukanlah studi literatur yang mendukung dalam penyelesaian penelitian ini, meliputi teori maupun konsep. Proses studi literatur didapatkan melalui pustaka-pustaka yang berkaitan dengan materi ini, baik berupa buku maupun jurnal ilmiah.
- b) Studi Lapangan
Studi lapangan dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan sesuai dengan materi yang akan diteliti. Data diambil langsung di proyek Block A Aceh. Setelah didapat semua data yang dibutuhkan, barulah dilakukan perhitungan dan analisis data. Analisis data yang telah didapatkan di lapangan dengan menggunakan tinjauan materi / teori yang didapat, baik di lapangan atau studi pustaka. Penarikan hasil kesimpulan dilakukan setelah studi / analisis selesai dilakukan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ukuran kabel mengacu pada ketentuan-ketentuan berikut ini :

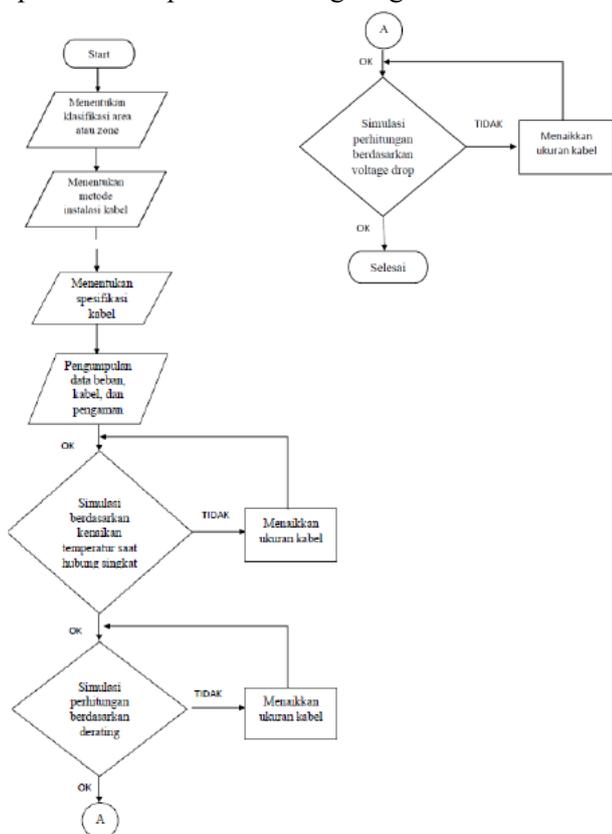
- a. Klasifikasi area atau zone dan metode instalasi kabel.
- b. Data beban (load), data kabel, dan pengamanan (protection).
- c. Ukuran kabel yang ditentukan berdasarkan kenaikan suhu pada saat terjadi short circuit.
- d. Ukuran kabel yang ditentukan berdasarkan faktor derating
- e. Ukuran kabel yang ditentukan berdasarkan voltage drop
- f. Pemilihan kabel berdasarkan ukuran tertinggi yang dihitung dalam langkah c, d dan e di atas.

Langkah-langkah perhitungan kabel tersebut dapat digambarkan dengan flow chart pada gambar 1 dibawah ini.

2.1 LANGKAH-LANGKAH PEMILIHAN KABEL

Dalam memilih suatu kabel tenaga terdapat beberapa kriteria umum yang harus diperhatikan yaitu :

1. Konduktor yang dipilih harus memiliki ukuran yang optimum, sehingga dapat menyalurkan arus beban atau arus hubung singkat dalam waktu tertentu tanpa over heating serta memenuhi voltage drop yang telah ditentukan.
2. Bahan isolasi yang digunakan pada kabel harus memadai untuk operasi kontinyu pada level tegangan yang telah ditetapkan, dengan tingkat kestabilan thermal, keamanan dan reliabilitas yang tinggi.
3. Material yang digunakan harus memiliki stabilitas fisik dan kimia yang baik sesuai dengan desain operasi kabel pada suatu lingkungan tertentu.



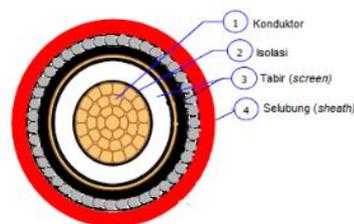
Gambar 1 Langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ukuran kabel

3. Kuat secara mekanik, serta cukup fleksibel untuk bertahan pada saat pabrikan maupun pemasangan.
4. Perlindungan eksternal harus cukup memadai, baik dari segi mekanik maupun kimia sehingga dapat bertahan pada kondisi lingkungan tertentu.

Kabel dirancang dengan berbagai macam konstruksi sesuai dengan kebutuhannya. Pada bagian ini akan dibahas konstruksi kabel tenaga, khusus untuk tegangan diatas 1 kV. Konstruksi kabel tenaga dapat

dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian utama dan bagian pelengkap.

Bagian utama dari suatu kabel tenaga adalah bagian yang harus ada dalam suatu kabel tenaga terlihat pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2 Bagian utama suatu kabel tenaga.

1. Penghantar (Conductor)

Merupakan bagian dari kabel tenaga yang bertegangan dan berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Sebagai inti kabel, penghantar dapat digolongkan menjadi kabel berinti satu (*single core*) dan kabel berinti banyak (*multi core*) yaitu berinti dua, tiga dan seterusnya. Konduktor umumnya tidak berupa satu hantaran pejal, tetapi kumpulan kawat yang dipilin agar lebih fleksibel. Bahan yang digunakan adalah tembaga dan aluminium karena mempunyai sifat mekanis dan listrik yang baik. Bentuk penampangnya bisa bulat tanpa rongga, bulat berongga maupun bentuk sektoral.

Sementara tabel 1 berikut ini menampilkan perbedaan sifat (*properties*) mekanis dan listrik untuk penghantar dengan bahan tembaga dan aluminium.

Tabel 1 Perbedaan sifat penghantar tembaga dan aluminium

Sifat (<i>property</i>)	Tembaga		Aluminium	
	Annealed	Hard drawn	Annealed	Hard drawn
Resistivity pada 20°C (Ohm-m x 10 ⁻⁸)	1.72	1.78 s/d 1.8	2.8	2.83
Temperature coefficient dari resistance (per °C)	0.00393	0.00393	0.00403	0.00403
Thermal conductivity W/mK	384.0	384.0	209.4	209.4
Density kg/m ³	8.89x10 ⁻³	8.89x10 ⁻³	2.71x10 ⁻³	2.71x10 ⁻³

Disebabkan oleh kelebihan sifat-sifat listrik dari penghantar tembaga dibandingkan dengan aluminium maka penghantar tembaga lebih banyak digunakan di industri pengolahan gas.

2. Bahan Isolasi

Isolasi adalah bagian utama dari pada kabel yang terpenting, karena isolasi menentukan kemampuan dari pada kabel. Sifat-sifat isolasi antara lain :

- Ketahanan dielektrik (*dielectric strength*) harus tinggi.
- Tahanan jenis (*resistivity*) harus tinggi.
- Dapat digunakan pada suhu kerja yang tinggi dan juga pada suhu kerja yang rendah.
- Tidak menghisap air atau uap air (kedap air).
- Mudah dibengkok-bengkokkan.
- Tidak mudah terbakar.
- Sanggup menahan tegangan impuls yang tinggi.

Berdasarkan material isolasi yang dipakai dapat dibedakan menjadi kabel dengan isolasi kertas dan kabel dengan isolasi sintesis. Kabel berisolasi kertas banyak digunakan terutama untuk saluran kabel tegangan tinggi. Akan tetapi dengan dikembangkannya jenis isolasi sintesis, maka kedudukan isolasi kertas sedikit demi sedikit digantikan oleh isolasi sintesis.

Isolasi sintesis memiliki keunggulan-keunggulan yang tidak dimiliki isolasi kertas, antara lain:

- Mempunyai ketahanan mekanis pada keadaan panas yang memungkinkan penambahan temperatur kerja, baik pada kondisi stabil, beban lebih maupun pada kondisi hubung singkat.
- Berat kabel per satuan panjang relative lebih ringan.
- Mempunyai kemampuan membawa arus yang lebih besar, baik dalam keadaan normal, keadaan darurat, maupun pada kondisi hubung singkat.
- Biaya relatif lebih kecil.
- Mempunyai rugi-rugi dielektrik yang lebih kecil.
- Mudah untuk diintalasikan karena memiliki radius pembengkokan yang lebih kecil.
- Perawatan mudah karena tidak memerlukan *oil feeding*.

Polimer merupakan zat yang terdiri atas rangkaian panjang molekul kecil (*monomer*) yang berulang-ulang membentuk molekul besar (*makromolekul*).

Pada umumnya bahan polimer dikenal sebagai plastik. Bahan ini memiliki sifat yang cocok untuk digunakan sebagai isolasi kabel karena ringan, mudah dibentuk, liat dan elastis, serta yang terpenting material ini bersifat isolator karena tidak memiliki electron bebas.

Menurut jenis pembentukannya, polimer terbagi menjadi *homopolimer* dan *kopolimer*. *Homopolimer* terbentuk dari satu jenis monomer, sedangkan *kopolimer* sedikitnya terbentuk dari dua jenis monomer yang berbeda. Polimer dapat digolongkan dalam 3 kelompok umum, yaitu plastik, serat, dan elastomer.

Plastik dapat berupa lembaran tipis, zat padat yang keras dan dapat digabungkan satu dengan yang lain. Pada beberapa jenis cairan organik bahan ini dapat larut, serat merupakan polimer yang mirip dengan benang. Bahan yang digolongkan dalam jenis ini misalnya kapas, sutera, dan nilon. Elastomer merupakan polimer dengan sifat elastis seperti karet atau bahan lain yang memiliki karakteristik seperti karet. Pada temperatur rendah bahan ini elastis-keras, sedangkan pada temperatur normal dan temperatur tinggi akan elastis seperti karet.

Seperti senyawa organik yang lain, polimer dapat mempunyai gugus fungsional dan karbon kiral, bahan ini dapat membentuk ikatan hydrogen dan berinteraksi dipol-dipol. Susunan kimia dari suatu rantai polimer dirujuk sebagai struktur polimernya. Penyusunan hubungan rantai ini dengan rantai lain atau dirinya sendiri disebut struktur sekunder. Bagi sifat polimer, struktur sekunder ini dapat terpenting komposisi kimianya.

Sebuah polimer dapat berupa rantai-rantai lurus atau rantai-rantai bercabang, yang menghasilkan zat padat amorf lunak seperti karet lunak. Akan tetapi dapat pula suatu polimer tersusun dari rantai-rantai lurus yang bersatu karena ikatan hydrogen atau karena tarik-menarik dipol-dipol. Struktur polimer semacam ini akan menghasilkan serat-serat atau plastik keras yang dapat dicetak. Polimer dengan struktur yang lebih teratur dikatakan mempunyai derajat kekristalan yang lebih tinggi dibandingkan polimer amorf atau non-kristal.

Struktur dari polimer plastic dapat digolongkan dalam 2 jenis yaitu molekul panjang dengan susunan yang linier atau bercabang dan molekul dengan susunan jaringan ruang tiga dimensi. Pada suhu yang tinggi, polimer linier atau bercabang akan menjadi lunak. Bahan ini disebut termoplastik.

Untuk memperoleh bentuk yang diinginkan harus dilakukan pendinginan terlebih dulu. Berbeda dengan termoplastik, polimer tiga dimensi merupakan bahan yang sangat kuat pada berbagai temperatur. Bila dipanaskan polimer ini tidak menjadi lunak, karena struktur tiga dimensi yang bersifat kaku. Agar menjadi lunak diperlukan usaha untuk memecahkan ikatan kovalennya. Bahan ini disebut *thermoset*. Terbentuk dari susunan hubung silang (*crosslink*).

Jenis-jenis bahan isolasi polimer yang ada dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Thermoplastic

Yang termasuk golongan ini adalah *Polyvinil Chloride* (PVC) dan *Polyethylene* (PE) 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 relative murah dan mudah dalam teknik penyambungannya, relative tahan terhadap api serta tidak rusak pada temperatur yang sangat rendah. Kelemahan bahan ini adalah kecenderungannya untuk terpecah-pecah pada tekanan mekanis, serta daya serap terhadap air yang cukup tinggi.

Polyethylene (PE) merupakan bahan yang lebih baik dibandingkan PVC dalam penggunaan sebagai bahan isolasi pada kabel. Bahan ini lebih tahan terhadap tekanan mekanis yang terus-menerus. Selain hal itu, dalam hal berat jenis, tahanan jenis, dan kemampuan penghantaran panas *polyethylene* juga lebih baik dari PVC.

Bahan isolasi sintesis thermoplastic mempunyai sifat-sifat antara lain :

- Tidak mudah terpengaruh oleh uap air, asam dan alkali.
- Tahanan jenis cukup tinggi
- Kekuatan mekanisnya cukup tinggi.
- Faktor hilang daya dielektrik ($\tan \delta$) untuk PE lebih baik dari pada PVC.
- Mudah terbakar/meleleh/mencair sehingga tidak dapat bekerja pada suhu tinggi.

2. Thermosetting

Isolasi thermoset jauh lebih baik kualitasnya dibandingkan jenis isolasi termoplastik, terutama untuk temperature 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 thermoset merupakan polimer hubung silang. Biasanya reaksi hubung silang akan menambah ikatan tertentu pada struktur ikatannya, seperti vulkanisasi karet dengan belerang (sulfur). Reaksi hubung silang dapat terjadi dengan radiasi sinar ultra violet, tetapi dapat juga terjadi pemotongan ikatan. Keadaan yang terakhir ini memperlemah kekuatan bahan.

Neoprene, Hypalon, Nitril Rubber, Nitril Butadiene, Ethylene Propylene Rubber (EPR) dan *Crosslinked Polyethylene* (XLPE) adalah bahan isolasi sintesis golongan *thermosetting*. Pada industri kabel laut bahan yang banyak digunakan sebagai isolasi adalah EPR dan XLPE. Hal ini karena pertimbangan ekonomi serta pertimbangan-pertimbangan dalam teknik pembuatannya lebih menguntungkan. Untuk selanjutnya hanyalah XLPE saja yang akan dibahas, karena jenis isolasi ini berkembang dan sudah banyak digunakan di beberapa Negara.

Dengan metode silang sambung (*crosslink*), penambahan peroksida pada PE didalam proses vulkanisasi, dengan suhu, waktu dan tekanan tertentu, maka dihasilkan jenis isolasi XLPE yang mempunyai sifat-sifat yang lebih baik dari pada PE, antara lain :

- Tidak meleleh, sehingga dapat bekerja pada suhu kerja yang tinggi (90 °C).
- Usia kabel lebih lama.
- Kekuatan tarik lebih tinggi.
- Tahanan isolasi lebih tinggi, sehingga kebocoran isolasi lebih kecil.
- Kedap air/uap air.
- Sifat mekanisnya cukup baik sehingga tidak memerlukan pelindung logam yang tebal seperti pada kabel isolasi kertas.

3. Tabir (*screen*)

Untuk tegangan kerja yang tinggi, setiap inti kabel dilengkapi dengan suatu lapisan yang disebut tabir (*screen*), yang terbuat dari bahan semi konduktif. Lapisan tersebut berfungsi untuk :

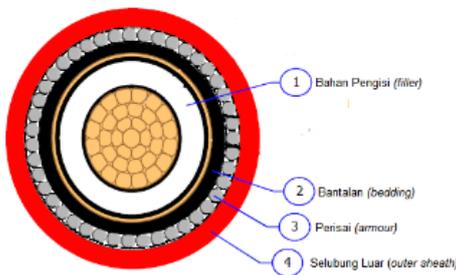
- Meratakan distribusi medan listrik pada setiap terjadi penimbunan tegangan.
- Untuk mengamankan manusia dari bahaya listrik.

- Untuk menahan radiasi medan elektromagnetik.

4. Selubung (*sheath*)

Lapisan ini berfungsi sebagai pelindung inti kabel dari pengaruh luar pelindung terhadap korosi, pelindung terhadap gaya mekanis dan gaya listrik, maupun sebagai pelindung terhadap masuknya air atau uap air.

Bahan yang digunakan adalah logam seperti timbal atau aluminium, maupun bahan sintesis seperti silikon dan PVC.



Gambar 2 Bagian pelengkap suatu kabel tenaga

Bagian pelengkap adalah bagian yang melengkapi suatu kabel untuk memperkuat, melindungi secara mekanis dan memperbaiki sifat-sifat kabel. Bagian tersebut terlihat pada gambar 2 diatas.

1. Bahan pengisi (*filler*)

Pada kabel berinti tunggal, setelah pemasangan inti terdapat celah yang tertinggal. Bahan pengisi digunakan untuk peredam efek mekanis dan juga untuk mendapatkan bentuk kabel yang bulat.

2. Bantalan (*bedding*)

Bantalan adalah lapisan yang terletak dibawah perisai (*armour*). Gunanya adalah untuk kedudukan perisai (*armour*) dan mencegah elektrolisis sehingga tidak merusak bagian dalamnya.

3. Perisai (*armour*)

Lapisan ini digunakan untuk perlindungan mekanis. Secara umum terdapat dua jenis perisai yaitu perisai pita baja (*steel-tape armour*) dan perisai kawat baja (*steel-wire armour*).

4. Selubung luar (*outer sheath*) atau sarung

Lapisan ini merupakan bagian terluar dari kabel. Pemasangannya diatas berfungsi sebagai bantalan perisai juga sebagai komponen yang berhubungan langsung dengan tanah.

2.2 JENIS-JENIS KABEL XLPE

Kabel Tegangan Menengah besisolasi XLPE terdiri dari kabel berinti tunggal (*single core*) atau berinti banyak (*multi cores*). Tegangan pengenalan untuk

kabel tegangan menengah (TM) dinyatakan dengan V_o/V (V_m) dapat dilihat dari tabel 2 berikut ini :

Tabel 2 Standard tegangan nominal kabel berdasarkan IEC 60038

Tegangan phase to Neutral (V_o)	Tegangan phase to phase (V)	Tegangan maksimum phase to phase (V_m)
600	1,000	-
1,800	3,000	3,600
3,600	6,000	7,200
6,000	10,000	12,000
8,700	15,000	17,500
12,000	20,000	24,000
18,000	30,000	36,000

dimana :

V_o : Tegangan yang diukur antara penghantar dan neutral (*phase to neutral voltage*)

V : Tegangan yang diukur antara penghantar (*phase to phase voltage*)

V_m : Nilai maksimum dari tegangan sistem dimana kabel akan dipasang.

Kabel besisolasi XLPE untuk tegangan menengah ada 4 jenis yaitu :

- N2XSY dan NA2XSY.
- N2XSEY dan NA2XSEY.
- N2XSEBY dan NA2XSEBY.
- N2XSEFGbY dan NA2XSEFGbY.

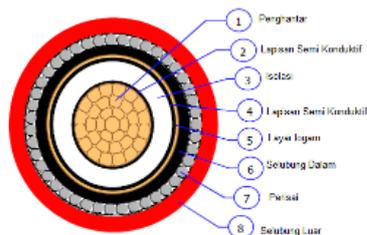
Yang akan dibahas lebih lanjut hanya kabel jenis N2XSEBY, karena mempunyai daya yang baik, proteksi terhadap mekanis yang baik dan lebih ekonomis.

Kode pengenalan jenis kabel XLPE diturunkan dari standar VDE. Karena standar ini telah lama digunakan di Indonesia. Adapun kode pengenalan kabel sebagai berikut :

- N : kabel dengan penghantar tembaga
- NA : kabel dengan penghantar aluminium
- Y : isolasi PVC (huruf Y pertama pada kode pengenalan jenis)
- Y : selubung PVC (huruf Y kedua pada kode pengenalan jenis)
- 2Y : isolasi Polyethylene (huruf 2Y pertama pada kode pengenalan jenis)
- 2Y : selubung Polyethylene (huruf 2Y kedua pada kode pengenalan jenis)
- 2X : isolasi cross linked Polyethylene (XPLE)
- S : lapisan pita tembaga
- SE : lapisan pita tembaga untuk tiap inti
- C : lapisan kawat tembaga kosentris

- F : perisai kawat baja pipih digalvanisasi
 R : perisai kawat baja bulat digalvanisasi
 Gb : spiral pita baja
 B : perisai pita baja ganda
 WA : aluminium bergelombang
 WK : tembaga bergelombang
 WS :baja bergelombang
 WRS : baja tahan karat bergelombang
 CV : kabel berisolasi XLPE, selubung PVC
 CE : kabel berisolasi XLPE, selubung PE
 re : penghantar bulat dan padat
 rm : penghantar bulat dipilin
 se :penghantar padat berbentuk sektor
 sm : penghantar berbentuk sektor dipilin

Berikut ini contoh konstruksi kabel tegangan menengah 20 kV dengan inti tunggal dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3 Konstruksi kabel TM 12/20 (24)kV berinti tunggal.

Dimana :

1. Penghantar
2. Lapisan semi konduktif diatas penghantar, berfungsi untuk meratakan distribusi medan listrik pada permukaan penghantar.
3. Isolasi terbuat dari bahan XLPE (*cross-linked polyethylene*), XLPE terbentuk dari *polimer polyethylene* yang mengalami proses *cross linking*. Proses *cross-linking polyethylene* dapat terjadi melalui dua proses yang disebut *peroxide cross-linking* dan *silane cross-linking*. XLPE merupakan material yang bersifat termoset. Material ini memiliki kekuatan dielektrik dan kekuatan mekanik yang tinggi, resistivitas tinggi ($10^{19} \Omega\text{-cm}$), non-hiproskopik, serta memiliki rentang kestabilan termal yang tinggi. XLPE memiliki temperature rating 90°C pada kondisi kontinyu, 130°C pada kondisi *overload* serta 250°C pada kondisi (*short circuit*).
4. Lapisan semi-konduktif diatas bahan isolasi, untuk meratakan distribusi medan listrik dipermukaan bahan isolasi.

5. Lapisan pita pelindung listrik (*screen*), terbuat dari pita tembaga yang diletakan diatas lapisan semi-konduktif. Berfungsi sebagai penghantar pembumian, pelindung tegangan sentuh, penyalur arus bocor atau arus hubung singkat ke bumi.
6. Lapisan pita baja (*armour*), berfungsi sebagai pelindung mekanis.
7. Bahan pengisi (*filler*).
8. Selubung dalam, sebagai pemisah antara selubung logam tembaga dengan selubung baja pelindung luar.
9. Selubung luar terbuat dari PVC atau *polyethylene*.

2.3 METODE INSTALASI KABEL

Fungsi utama kabel adalah untuk menyalurkan energi listrik dari sumber listrik ke beban-beban atau peralatan. Untuk dapat menyalurkan energi listrik dengan baik maka rugi-rugi kabel harus diperhitungkan dan diantisipasi dengan baik. Sehingga perlu dilakukan pemilihan metode instalasi kabel yang tepat.

Selain rugi-rugi kabel maka area dimana kabel akan dipasang perlu dipertimbangkan untuk penentuan metode instalasi kabel. Di industri pengolahan gas dimana potensi kebocoran gas sangat besar yaitu terdapat *hazardous area* dan *non-hazardous area*. *Hazardous area* adalah area dimana ada *explosive atmosphere* atau area dimana ada kemungkinan terjadinya *explosive atmosphere*. Dan pembagian area atau zone di area *hazardous* karena keberadaan gas menurut IEC 60079-14 dapat dilihat pada table 3 dibawah ini :

Tabel 3 Klasifikasi area *hazardous area* dikarenakan keberadaan gas

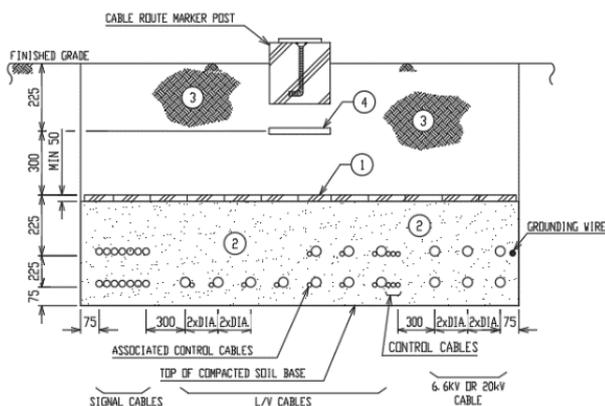
Zone 0	Area dimana explosive gas atau bercampur dengan udara ada secara kontinyu atau ada dengan jangka waktu yang lama.
Zone 1	Area dimana explosive gas atau bercampur dengan udara kemungkinan muncul pada saat pabrik beroperasi normal.
Zone 2	Area dimana explosive gas atau bercampur dengan udara kemungkinan tidak muncul pada saat pabrik beroperasi normal, atau bila muncul maka waktunya tidak terlalu lama.

Jadi metode instalasi kabel di industri pengolahan gas harus di pertimbangkan berdasarkan area *hazardous* karena potensi terjadinya kebakaran sangat besar. Sesuai dengan IEC 60079-14 maka salah satu metode instalasi kabel yang dipilih untuk instalasi kabel di *hazardous area* adalah metode

instalasi kabel bawah tanah. Karena dengan metode instalasi kabel bawah tanah maka dapat menghindari perambatan api melalui kabel apabila terjadi kebakaran. Dan berikut ini standard instalasi kabel bawah tanah dengan metode langsung (*direct buried*).

2.3.1 Standard instalasi kabel bawah tanah.

Metode yang digunakan pada perencanaan saluran kabel bawah tanah pada instalasi pengolahan gas ini yaitu metode langsung atau *direct buried*, dimana kabel akan ditanam secara langsung dalam tanah tanpa dimasukkan melalui saluran pelindung (duct/pipa). Standar instalasi kabel bawah tanah ditunjukkan pada Gambar 4 dibawah ini.



1. Concrete Tiles, 2. Pasir bersih, 3. Tanah urugan, 4. Pita peringatan

Gambar 4 Standar instalasi kabel bawah tanah

Cara instalasi kabel nya adalah kabel ditanam kurang lebih satu meter. Pemasangan atau peletakan kabel nya diberi jarak antar satu kabel dengan kabel lainnya dengan jarak kurang lebih dua kali diameter kabel. Kemudian kabel di urug dengan pasir yang bersih dari kotoran atau batu untuk menghindari kerusakan kabel dengan ketebalan pasir kira-kira sampai 225 mm diatas kabel. Diatas pasir dipasang *concrete tile* sebagai perlindungan mekanis dan diatasnya lagi baru di urug dengan tanah halus sampai permukaannya rata dengan tanah sekitarnya.

Sebagai tanda kalau dibawah tanah ada kabel listrik maka saat pengurugan tanah di pasang pita peringatan (*warning tape*) dengan tulisan peringatan seperti “Awat ada kabel listrik”. Dan terakhir sebagai penanda jalur kabel maka di pasang *Cable Route Marker* yang biasanya dibuat dari concrete dan di permukaan atasnya dipasang plat dengan

tanda panah arah kabel lurus, belok, atau ada percabangan dan sebagainya.

Metode ini yang dipilih, karena lebih ekonomis dibandingkan dengan instalasi *above ground* yang menggunakan kabel rak (*cable tray*) atau menggunakan pipa conduit serta mempunyai fungsi *mechanical protection* yang cukup baik dan dapat menghindarkan perambatan api melalui kabel apabila terjadi kebakaran. Pada gambar 4 diatas dapat dilihat contoh standard instalasi kabel bawah tanah pada instalasi pada pabrik pengolahan gas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Kabel Tegangan Menengah

Pada bagian ini akan dibahas perhitungan kabel tenaga tegangan menengah (TM) 20 kV dan 6.6 kV dengan metode instalasi kabel ditanam didalam tanah secara langsung (*direct buried*). Sedangkan kabel yang dipakai adalah N2XSEBY.

3.1.1. Perhitungan kabel tenaga TM 20 kV

Perhitungan kabel yang akan disimulasikan untuk kabel 20 kV adalah kabel dari Trafo tegangan menengah 6,6/20 kV (43-TRF-1001) dengan kapasitas 630 kVA atau 504 kW (dengan faktor daya 0.8) ke 20 kV Switchgear (043-SWG-1001N) dengan jarak 70 meter. Maka arus beban penuh (I_{FL}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{630}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$= 18.19 \text{ Ampere}$$

Dimana :

- Rating Transformer (S) : 630 kVA
- Tegangan (V) : 20 kV

Tabel 4 KHA kabel TM 20 kV – 3 core merk Jembo

Item Number	Size	Current carrying capacity		
		Armoured		
		Direct Buried in ground	in a buried duct	In air
		A	A	A
DN2XTBFA0303520I	3 x 35	154	134	172
DN2XTBFA0305020I	3 x 50	181	158	205
DN2XTBFA03107020I	3 x 70	220	194	253
DN2XTBFA0309520I	3 x 95	263	232	307
DN2XTBFA0312020I	3 x 120	298	264	352

Dengan arus beban penuh (I_{FL}) 18.20 ampere maka ukuran kabel yang diusulkan adalah 35 mm². Dan berdasarkan katalog kabel merk Jembo seperti pada tabel 4 diatas, maka KHA kabel dengan ukuran 35 mm² adalah 154 ampere. Jadi KHA kabel yang dipilih lebih besar dari pada arus beban penuh.

3.1.1.1 Langkah 1 : Menyesuaikan Ukuran Kabel Berdasarkan Hubung Singkat Terhadap Naiknya Temperatur

Untuk menentukan minimum ukuran kabel berdasarkan kenaikan temperatur akibat hubung singkat dapat memakai persamaan sebagai berikut :

$$A = \frac{i \times \sqrt{t}}{k}$$

$$A = \frac{505 \times \sqrt{0.32}}{143}$$

$$A = 1,998 \text{ mm}^2$$

Dimana :

- Hubungan arus pendek prospektif (i) = 0,55 kA = 550 A
- Durasi hubung singkat pada level tegangan 20 kV (t) = 0.32 detik
- Faktor konstan (k) = 143

Sehingga dari hasil perhitungan diatas maka luas penampang minimal yang didapat adalah 1,998 mm², sedangkan luas penampang yang dipilih adalah 35 mm².

3.1.1.2 Step 2 : Menentukan Ukuran Kabel Berdasarkan Faktor Derating

Setelah ukuran kabel ditentukan berdasarkan kemampuan hantar arus (KHA) maka selanjutnya perlu ditentukan ukuran berdasarkan faktor derating. Untuk menentukan ukuran kabel berdasarkan derating maka dipakai persamaan sebagai berikut :

$$I_{FLC} \leq I_R \times Kg = I_C$$

Maka KHA kabel terkoreksi sebagai berikut :

$$I_C = 154 \times 0.56$$

$$= 86.24 \text{ ampere}$$

Dimana :

- Ukuran kabel yang diusulkan = 35 mm²
- Kemampuan hantar arus kabel (I_R) = 154 A
- Faktor Total Derating (Kg) untuk instalasi kabel *direct buried* = 0.56

Sehingga sesuai dengan persamaan diatas maka KHA kabel terkoreksi lebih besar dari kemampuan hantar arus kabel dengan ukuran kabel yang dipilih.

3.1.1.3 Step 3 : Menentukan Ukuran kabel Berdasarkan Jatuh Tegangan

Untuk menentukan ukuran kabel dapat memakai persamaan dibawah sebagai penentuan ukuran kabel berdasarkan jatuh tegangan (*voltage drop*) sebagai berikut :

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times I \times (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \times L}{1000 \times n}$$

Dimana :

- Arus beban penuh (I) = 18,19 A
- Panjang kabel (L) = 70 m
- Beban power faktor ($\cos \varphi$) = 0,80 = $\sin \varphi$ = 0.6
- Jumlah tarikan kabel (n) = 1 tarikan

Sedangkan data resistance dan reactance kabel diambil dari katalog kabel merk Jembo seperti pada tabel 5 berikut ini :

Tabel 5 Data karakteristik kabel 20 kV 3 core merk Jembo

Item Number	Nominal Size	Max.	Max.	XL	Min.
		DC Conductor Resistance at 20°C	AC Conductor Resistance at 90°C		
	sqmm	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	M Ohm km
DN2XTBFA0303520I	3 x 35	0.524	0.668	0.055	5,000
DN2XTBFA0305020I	3 x 50	0.367	0.494	0.050	5,000
DN2XTBFA03107020I	3 x 70	0.268	0.342	0.045	5,000
DN2XTBFA0309520I	3 x 95	0.193	0.247	0.04	5,000

Dari tabel 5 diatas maka :

- Resistance kabel ac (R_c) = 0,668 Ω / km
- Reactance kabel ac (X_c) = 0,055 Ω / km

Sehingga jatuh tegangannya adalah :

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times I \times (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \times L}{1000 \times n}$$

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times 18.19 \times (0.668 \times 0.8 + 0.055 \times 0.6) \times 70}{1000 \times 1}$$

$$V_d = 1.25 \text{ Volt}$$

Hasil perhitungan diatas jatuh tegangan yang didapat yaitu 1,25 Volt atau jika dipersentasikan nilainya 0,0125%. Dimana nilai ini cukup bagus dikarenakan nilai jatuh tegangan yang diijinkan di panel 20 kV Switchgear yaitu maksimal 2%.

Jadi dari perhitungan dengan ketiga metode diatas maka ukuran kabel yang dipilih dengan ukuran 35 mm² sudah memenuhi kriteria baik dari perhitungan

derating, jatuh tegangan (*voltage drop*), maupun kenaikan suhu akibat hubung singkat.

3.1.2. Perhitungan kabel tenaga TM 6.6 kV

Perhitungan kabel yang akan disimulasikan untuk kabel 6.6 kV adalah kabel dari Switchgear tegangan menengah 6,6 kV (43-SWG-1101E) ke beban motor kompresor udara (*air compressor*) dengan kapasitas 365 kW. Sedangkan dengan jarak atau panjang kabel dari switchgear 43-SWG-1101E ke motor kompresor adalah 171 meter. Maka arus beban penuh (I_{FL}) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$I_{FL} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times E_{FF} \times PF}$$

$$= \frac{365}{\sqrt{3} \times 6.6 \times 0.96 \times 0.84}$$

$$= 39.59 \text{ Ampere}$$

Dimana :

- Rating motor *air compressor* (P) : 365 kW
- Tegangan (V) : 6.6 kV
- Faktor Daya (PF) : 0,84
- Efisiensi (E_{FF}) : 0.96

Dengan arus beban penuh (I_{FL}) 39,59 ampere maka ukuran kabel yang diusulkan adalah 25 mm² karena berdasarkan katalog kabel merk Jembo seperti pada tabel 6 dibawah, maka KHA kabel dengan ukuran 25 mm² adalah 129 ampere. Jadi KHA kabel yang dipilih lebih besar dari pada arus beban penuh.

Tabel 6 KHA kabel TM 6.6 kV – 3 core merk Jembo

Item Number	Size	Current carrying capacity		
		Armoured		
		Direct Buried in ground	in a buried duct	In air
		A	A	A
DN2XTBFA0302510I	3 x 25	129	112	143
DN2XTBFA0303510I	3 x 35	154	134	172
DN2XTBFA0305010I	3 x 50	181	158	205
DN2XTBFA0307010I	3 x 70	220	194	253
DN2XTBFA0309510I	3 x 95	263	232	307
DN2XTBFA0312010I	3 x 120	298	264	352

3.1.2.1 Step 1 : Menyesuaikan Ukuran Kabel Berdasarkan Hubung Singkat Terhadap Naiknya Temperatur

Untuk menentukan minimum ukuran kabel berdasarkan kenaikan temperatur akibat hubung singkat dapat memakai persamaan sebagai berikut :

$$A = \frac{i \times \sqrt{t}}{k}$$

$$A = \frac{25.000 \times \sqrt{0,32}}{143}$$

$$A = 98,90 \text{ mm}^2$$

Dimana :

- Hubungan arus pendek prospektif (i) = 25 kA = 25.000 A
- Durasi hubung singkat pada level tegangan 6,6 kV (t) = 0,32 detik
- Faktor konstan (k) = 143

Sehingga dari hasil perhitungan diatas maka luas penampang minimal yang didapat adalah 98,90 mm², maka luas penampang yang dipilih adalah 120 mm².

3.1.2.2 Step 2 : Menentukan Ukuran Kabel Berdasarkan Faktor Derating

Setelah ditentukan ukuran kabel berdasarkan kemampuan hantar arus (KHA) maka selanjutnya ditentukan ukuran berdasarkan faktor derating. Untuk menentukan ukuran kabel berdasarkan derating maka kita pakai persamaan sebagai berikut :

$$I_{FLC} \leq I_R \times T_D = I_C$$

Maka KHA kabel terkoreksi

$$I_C = 298 \times 0.56 = 166,88 \text{ ampere}$$

Dimana :

- Ukuran Kabel Yang Diusulkan = 120 mm²
- Kemampuan hantar Arus Kabel (I_R) = 298 A
- Faktor Total Derating (Kg) untuk instalasi kabel *direct buried* = 0,56

Sehingga sesuai dengan persamaan diatas maka KHA kabel terkoreksi lebih besar dari kemampuan hantar arus kabel dengan ukuran kabel yang dipilih.

3.1.2.3. Step 3 : Menentukan Ukuran kabel Berdasarkan Jatuh Tegangan

Untuk menentukan ukuran kabel dapat memakai persamaan dibawah sebagai penentuan ukuran kabel berdasarkan jatuh tegangan (*voltage drop*) sebagai berikut :

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times I \times (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \times L}{1000 \times n}$$

Dimana :

- Arus beban penuh (I) = 39,59 A

- Arus saat motor *starting* ($7 \times I_n$) = 277.13 A
 - Panjang kabel (L) = 171 m
 - Beban power factor ($\cos \phi$) saat *steady state* = 0,84 = $\sin \phi = 0.54$
 - Beban power factor ($\cos \phi$) saat *starting* = 0,20 = $\sin \phi = 0.98$
 - Jumlah tarikan kabel (n) = 1 tarikan
- Sedangkan data ketahanan dan reaktansi kabel diambil dari katalog kabel merk Jembo seperti pada tabel 7 sebagai berikut :
- Resistance kabel ac (R_c) = 0,927 Ω / km
 - Reactance kabel ac (X_c) = 0,044 Ω / km

Tabel 7 Data karakteristik kabel 6.6 kV 3 core merk Jembo

Item Number	Normal Size	Max.DC Conductor Resistance at 20°C	Max.AC Conductor Resistance at 90°C	XL Resistance at 60 Hz.	Min. Insulation Resistance at 20°C
	sqmm	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	M Ohm km
DN2XTBFA0302510I	3 x 25	0.727	0.927	0.107	3,000
DN2XTBFA0303510I	3 x 35	0.524	0.688	0.103	3,000
DN2XTBFA0305010I	3 x 50	0.387	0.494	0.097	3,000
DN2XTBFA0307010I	3 x 70	0.288	0.342	0.092	3,000
DN2XTBFA0309510I	3 x 95	0.193	0.247	0.089	3,000
DN2XTBFA0312010I	3 x 120	0.153	0.196	0.088	3,000
DN2XTBFA0315010I	3 x 150	0.124	0.159	0.084	3,000

Sehingga jatuh tegangan saat motor beroperasi normal (*steady state*) adalah :

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times I \times (R_c \cos \phi + X_c \sin \phi) \times L}{1000 \times n}$$

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times 39.59 \times (0.196 \times 0.84 + 0.088 \times 0.54) \times 171}{1000 \times 1}$$

$$V_d = 2.44 \text{ V}$$

Hasil perhitungan diatas jatuh tegangan yang didapat yaitu 2,44 Volt atau jika dipersentasikan nilainya 0,04%. Dimana nilai ini cukup bagus dikarenakan nilai jatuh tegangan yang diijinkan di terminal motor saat operasi normal (*steady state*) yaitu maksimal 5% .

Jatuh tegangan saat motor *starting* adalah :

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times I \times (R_c \cos \phi + X_c \sin \phi) \times L}{1000 \times n}$$

$$V_d = \frac{\sqrt{3} \times 277.13 \times (0.196 \times 0.2 + 0.088 \times 0.98) \times 171}{1000 \times 1}$$

$$V_d = 10.30 \text{ Volt}$$

Hasil perhitungan diatas jatuh tegangan yang didapat yaitu 10,30 Volt atau jika dipersentasikan nilainya 0,16%. Dimana nilai ini cukup bagus dikarenakan nilai jatuh tegangan yang diijinkan di terminal motor saat operasi normal (*steady state*) yaitu maksimal 15%.

Jadi dari perhitungan dengan ketiga metode diatas maka ukuran kabel yang dipilih dengan ukuran 120 mm² sudah memenuhi kriteria baik dari perhitungan derating, jatuh tegangan (*voltage drop*) saat motor beroperasi normal (*steady state*) maupun saat motor *starting*, serta kenaikan suhu akibat hubung singkat.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan serta analisis metode pemasangan kabel, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sehubungan dengan kemungkinan terjadinya kebocoran gas sangat besar di area industri pengolahan gas maka instalasi kabel yang tepat adalah dengan ditanam ke dalam tanah secara langsung karena mempunyai fungsi pengamanan mekanik yang cukup baik dan dapat menghindarkan perambatan api melalui kabel apabila terjadi kebakaran.
2. Ukuran kabel yang akan dipakai adalah 35 mm² untuk kabel tegangan menengah 20 kV dari Trafo 43-TRF-1001 ke Switchgear 043-SWG-1001N dan ukuran 120 mm² untuk kabel tegangan menengah 6.6 kV dari Switchgear 043-SWG-1101E ke motor air compressor dengan kapasitas 365 kW.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Alan L. Sheldrake. (2003). *Handbook of Electrical Engineering For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry*. England : John Wiley & Sons Ltd.
2. Basri. Hasan. (1997). *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : ISTN.
3. Bottrill. Geoffrey, Cheyne. Derek, Vijayaraghavan. G. (2005). *Practical Electrical Equipment and Installation in Hazardous Area*. Netherlands : Elsevier.
4. G. F. Moore. (1997). *Electrical Cables Handbook*. 3rd Edition. 14 Mei 2012. <https://www.twirpx.com/file/825477/>.
5. IEC 60038 (2009). *IEC standard voltages* (7th ed.). Switzerland. IEC.
6. IEC 60079-14 (2013). *Part 14 : Electrical installation design, selection and erection* (5th ed.). Switzerland. IEC.

7. IEC 60364-4-43 (2008). *Part 4-43 : Protection for safety – Protection against overcurrent* (3rd ed.). Switzerland. IEC
8. Reza Vafamehr. (2011). *Design of Electrical Power Supply System in an Oil and Gas Refinery*.
[http://webfiles.portal.chalmers.se/et/MSc/Reza Vafamehr.pdf](http://webfiles.portal.chalmers.se/et/MSc/Reza%20Vafamehr.pdf).