

LAPORAN PRAKTIK KEINSINYURAN

ANALISA PEMERIKSAAN MUTU ENJINIRING DESAIN PADA SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV KEBUN JERUK- DURI KOSAMBI



DISUSUN OLEH :

NAMA : RIZAL AGUNG WIDHODHO
NIM : 202480095

**PROGRAM STUDI PROGRAM PROFESI INSINYUR
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISA PEMERIKSAAN MUTU ENJINIRING DESAIN PADA SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV KEBUN JERUK- DURI KOSAMBI

DISUSUN OLEH :

NAMA : RIZAL AGUNG WIDHODHO
NIM : 202480095

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Pada Mata Kuliah :
PRATEK KEINSINYURAN**

Jakarta, 30 November 2025

**Mengetahui,
Dosen Penanggung Jawab**

**(Ir. Muhamad Habibi, M.Si,
M.Kom, IPU, ASEAN Eng, CPM)**

**Disetujui Oleh,
Dosen Pembimbing Lapangan**



**(Ir. Tumpal Gultom MT., IPU.,
ASEAN Eng., APEC Eng)**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran TUHAN YANG MAHA ESA, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang tak terhingga, sehingga saya berhasil menyelesaikan Laporan Praktik Keinsinyuran dengan judul “**Analisa Pemeriksaan Mutu Enjiniring Desain Pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Kebun Jeruk- Duri Kosambi**” ini dengan baik dan tepat waktu.

Laporan Praktik Keinsinyuran ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar **Insinyur (Ir)** pada **Program Studi Program Profesi Insinyur di Institut Teknologi PLN**. Laporan Praktik Keinsinyuran ini merupakan puncak dari perjalanan akademik yang menuntut eksplorasi mendalam, ketekunan, dan dedikasi. Laporan Praktik Keinsinyuran ini berfokus pada **Peningkatan Mutu Produk Enjiniring**, dengan harapan dapat memberikan kontribusi nyata, baik secara teoritis maupun praktis, di bidang **Keinsinyuran Teknik Listrik**.

Pada kesempatan ini, izinkan saya menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Muhamad Habibi, M.Si, M.Kom, IPU, ASEAN Eng, CPM, selaku Dosen Penanggung Jawab Mata Kuliah Praktik Keinsinyuran. Terima kasih tak terhingga atas waktu, kesabaran, arahan, bimbingan, dan inspirasi yang tak pernah lelah diberikan, mulai dari perumusan masalah hingga penyempurnaan akhir naskah.
2. Bapak Ir. Tumpal Gultom MT., IPU., ASEAN Eng., APEC Eng, selaku Dosen Pembimbing Lapangan yang telah memberikan saran dan masukan pada Laporan Praktik Keinsinyuran ini.
3. Istri dan anak saya, Ayah dan Ibu, serta keluarga besar yang tercinta. Terima kasih atas doa, dukungan moral yang menjadi sumber motivasi utama saya.
4. Sahabat dan teman-teman PT PLN Enjiniring atas dukungan selama masa studi.
5. PT PLN Enjiniring atas kesempatan dan bantuan yang diberikan dalam proses pengambilan data penelitian.

Akhir kata, saya berharap Laporan Praktik Keinsinyuran ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif Perusahaan tempat praktik dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta menjadi referensi yang berguna bagi penelitian selanjutnya.

Jakarta, 30 November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Visi, Misi, Motto dan Tata Nilai Perusahaan.....	3
1.3 Struktur Organisasi	4
BAB 2 TUJUAN DAN RUANG LINGKUP KEGIATAN.....	5
2.1 Tujuan praktek keinsinyuran.....	5
2.2 Ruang Lingkup Kegiatan	5
2.3 DESAIN ELEKTROMEKANIKAL SKTT 150 kV.....	8
2.3.1 Peralatan Utama	8
2.3.2 Pemilihan Kabel Tanah	11
2.3.3 Suhu Operasi Penghantar	12
2.3.4 Terminasi Kabel.....	12
2.3.5 Jointing Kabel	14
2.3.6 Kotak Jointing (Link Box).....	15
2.3.7 Fiber Armoured.....	17
2.3.8 Grounding	17
2.3.9 Aksesori Kabel.....	20
2.3.10 Perhitungan KHA (Kuat Hantar Arus)	22
2.3.11 Perhitungan Tegangan Jatuh	23
2.3.12 Perhitungan Tegangan Induksi	23
2.3.13 Lokasi Ujung Kabel	24
2.4 DESAIN SIPIL SKTT 150 KV.....	24
2.4.1 Pemilihan Jalur Kabel Dan Survey	25
2.4.2 Desain dan Konstruksi Sipil.....	25
BAB 3 METODELOGI	42
3.1 Umum	42
3.2 Lokasi Kerja Praktik	42
3.3 Metodologi Pemeriksaan Mutu.....	42
3.4 Sumber Data Penelitian.....	43
3.5 Tahapan Penelitian.....	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Pemeriksaan Dokumen Enjiniring Desain	46
4.2 Konduktor yang digunakan.....	46
4.3 Pemilihan metode penggelaran kabel	48
4.4 Analisa Durasi Pelaksanaan Pekerjaan	50
4.4.1 Pabrikasi Kabel	51
4.4.2 Tahap Konstruksi	51
4.4.3 Tes dan Komisioning	52
4.4.4 Perkiraan Biaya Pekerjaan	54
4.5 Pemeriksaan Quality Control.....	54
4.6 Pelaksanaan Pekerjaan	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58

5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan SKTT berinsulasi oil dan tanpa oil	7
Tabel 2. 2 Komposisi Aluminium.....	10
Tabel 2.3 Dimensi pipa PVC AW untuk 1 kabel.....	26
Tabel 2. 4 Spesifikasi Teknis pipa HDPE.....	27
Tabel 2. 5 Dimensi minimum joint pit.....	28
Tabel 2.6 Lebar Galian Minimum	36
Tabel 4.1 Cable Calculation.....	47
Tabel 4.2 Pemilihan metode pembuatan rute kabel berdasarkan kondisi lapangan	49
Tabel 4.3 Pemilihan metode pembuatan rute kabel berdasarkan kedalaman	50
Tabel 4.4 Pemilihan metode pembuatan rute kabel berdasarkan jenis crossing	50
Tabel 4.5 Rencana Jadwal Pelaksanaan Pembangunan SKTT 150 kV Kebon Jeruk – Durikosambi.....	53
Tabel 4.6 Catatan Tim QC terhadap produk enjiniring	54
Tabel 4.7 Tanggapan PTL.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lokasi Rencana Pembangunan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi	7
Gambar 2. 2 Korugasi jenis <i>symmetrical type (helical) corrugation</i>	11
Gambar 2. 3 Terminasi kabel tipe AIS	13
Gambar 2. 4 Jointing Kabel Tegangan Tinggi	15
Gambar 2. 5 Crossbonding link box	16
Gambar 2. 6 Contoh sistem pembumian cross bonding pada SKTT	18
Gambar 2. 7 Contoh sistem pembumian cross bonding dengan ECC	19
Gambar 2. 8 Detil link box 6	19
Gambar 2. 9 Contoh sistem pembumian pada jembatan bentang panjang	19
Gambar 2. 10 Konstruksi cable support dari profil baja pada JP	21
Gambar 2. 11 Contoh tipikal cable ladder	22
Gambar 2. 12 Contoh cover tile	26
Gambar 2.13 Contoh tutup manhole JP beton bertulang	28
Gambar 2.14 Contoh tutup manhole LBP beton bertulang	29
Gambar 2.15 Contoh gambar struktur penyangga terminasi di AIS	30
Gambar 2.16 Contoh gambar struktur penyangga terminasi di tower	31
Gambar 2.17 Landing point	32
Gambar 2.18 Penanda rute kabel	33
Gambar 2.19 Contoh desain penanda lokasi JP	34
Gambar 2.20 Contoh desain penanda lokasi LBP	34
Gambar 2.21 Contoh Cross-section Metode Direct Burial	37
Gambar 2.22 Contoh Concrete Duct	37
Gambar 2.23 Contoh penggunaan pipa sebagai proteksi kabel	38
Gambar 2.24 Auger Boring	39
Gambar 2.25 Auger Boring	39
Gambar 2.26 Pipe Jacking	40
Gambar 2.27 Pengeboran Lobang Pilot	40
Gambar 2. 28 Pembesaran Lobang Pilot	41
Gambar 2. 29 Penarikan Pipa HDPE	41
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pemastian dan Pengendalian Mutu Produk	43
Gambar 4.1 Cable Model N2XCAS2Y 1600 mm ²	47
Gambar 4.2 Jalur SKTT 150 kV Durikosambi – Kebon Jeruk	49

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Program profesi insinyur menurut Undang-undang nomor 11 tahun 2014 tentang keinsinyuran menyatakan bahwa keinsinyuran adalah kegiatan teknik dengan menggunakan kepakaran dan keahlian berdasarkan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk meningkatkan nilai tambah dan daya guna secara berkelanjutan dengan memperhatikan keselamatan, kesehatan, kemaslahatan, serta kesejahteraan masyarakat dan kelestarian lingkungan. Peran Insinyur dan Insinyur Profesional pada setiap fase proyek mulai perencanaan, pelaksanaan dan operasi & pemeliharaan. Ilmuwan menemukan apa yang telah ada dan seorang insinyur menciptakan apa yang tidak pernah ada (theodore von Karman, 1963)

Profesionalitas merupakan paduan antara kualitas dan perilaku yang menjadi ciri totalitas profesi atau orang yang professional Seorang insinyur professional dalam pelaksanaan kerja selalu mengasah ilmu dan pengalaman kerja sesuai dengan keahlian yang dimiliki serta berpedoman pada kode etik. Kode etik insinyur adalah norma dan asas yang diterima oleh para insinyur sebagai landasan dan tingkah laku. Kode etik profesi tidak hanya melindungi masyarakat, tetapi juga membangun dan memelihara integritas dan reputasi. Keinsinyuran yang berbasis kecendekiaan adalah profesi penting dan terhormat yang berdampak langsung terhadap kualitas hidup manusia. Oleh karena itu, profesi Keinsinyuran harus didedikasikan pada perlindungan terhadap keamanan, keselamatan, kesehatan, dan kemaslahatan Masyarakat. Praktik Keinsinyuran mempersyaratkan kejujuran, ketidakberpihakan, kewajiban, dan kesetaraan serta keadilan. Oleh karena itu Insinyur wajib berpijak pada prinsip-prinsip perilaku etis dan standar integritas tertinggi, yang disusun dalam Kode Etik Insinyur.

PT Prima Layanan Nasional Enjiniring atau lebih dikenal dengan PLN Enjiniring merupakan perusahaan yang bergerak di bidang konsultasi enjiniring ketenagalistrikan, PLN Enjiniring merupakan Entitas Anak PT PLN (Persero) yang didirikan tanggal 3 Oktober 2002.

PLN Enjiniring siap menjawab tantangan pergerseran tren energi dari Energi Fosil menjadi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Indonesia. PLN Enjiniring menyediakan

berbagai macam layanan; mulai dari perencanaan, konstruksi, operasi dan pemeliharaan, manajemen kinerja infrastruktur ketenagalistrikan dan non ketenagalistrikan.

PLN Enjiniring berkomitmen untuk memberikan layanan terbaik bagi seluruh pelanggan dengan didukung oleh tim yang kompeten dan solid serta pengalaman yang diturunkan dari perusahaan induk. Komitmen tersebut menjadi referensi perusahaan untuk memberikan layanan terbaik dalam memenuhi kebutuhan setiap pelanggan.

Dalam pelaksanaan proyek kita mengenal istilah BMW adalah singkatan dari Biaya, Mutu, dan Waktu, yaitu tiga komponen utama manajemen proyek yang saling terkait dan menentukan keberhasilan proyek. Ketiga elemen ini harus dikelola dengan cermat agar proyek selesai secara efisien, memenuhi standar kualitas, dan sesuai jadwal. Biaya adalah mengelola anggaran agar proyek tidak melebihi biaya yang ditetapkan. Mutu adalah memastikan proyek dihasilkan sesuai standar kualitas yang telah ditentukan. Waktu adalah menyelesaikan proyek sesuai tenggat waktu yang sudah diberikan.

Dalam rangka tindak lanjut peningkatan biaya, mutu dan waktu produk enjiniring dan untuk memastikan bahwa produk enjiniring yang dihasilkan memenuhi standar, spesifikasi dan persyaratan yang ditentukan Perusahaan, telah dibentuk Subbidang QA QC untuk Pemastian Mutu (QA) dan Pengendalian Mutu (QC) Produk Enjiniring.

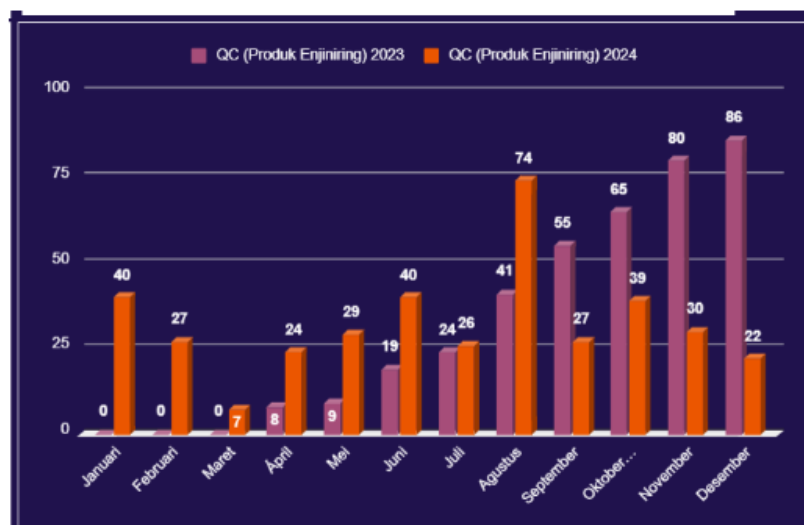
Tugas utama Tim QA adalah memastikan dan mereview efektivitas Proses di awal Pelaksanaan Pekerjaan sesuai dengan Prosedur dan Petunjuk Teknis yang berlaku di PLNE, berdasarkan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 dan atau Sistem Manajemen Terintegrasi (SMT). Rencana Mutu Proyek yang diperiksa antara lain untuk produk Pre-Feasibility Study/ Feasibility Study, Bidding Document, Engineering Design Concept, Design Review, Supervisi Konstruksi dan Harga Perkiraan Enjinir (HPE).

Tugas utama Tim QC adalah memeriksa produk enjiniring sesuai dengan persyaratan Pemberi Kerja dan Perangkat Enjiniring yang berlaku di PT PLN Enjiniring. Produk yang diperiksa antara lain untuk produk Pre-Feasibility Study/Feasibility Study, Bidding Document, Engineering Design Concept dan Harga Perkiraan Enjinir (HPE).

Dalam pelaksanaan pemeriksaan dokumen produk enjiniring dari tahun 2023 s/d tahun 2024 tim QAQC telah berhasil memeriksa produk QA sebanyak 190 produk pemeriksaan dilakukan pada produk pembangkit, Jaringan & Konstruksi dapat dilihat pada gambar 1.1 dan sedangkan pemeriksaan QC sebanyak 475 produk pada produk pembangkitan dan Jaringan dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Progress Pemeriksaan QA/RMP tahun 2023-2024



Gambar 1.2 Progress Pemeriksaan QC tahun 2023-2024

1.2 Visi, Misi, Motto dan Tata Nilai Perusahaan

Sesuai Rencana Jangka Panjang Perusahaan (RJPP) Tahun 2024-2028 bahwa dalam menjalankan segala aktivitas perusahaan menggunakan Visi, Misi dan Tata Nilai Perusahaan sebagai berikut:

Visi:

PLN Enjiniring memiliki visi untuk “Menjadi Perusahaan Global dan No. 1 Pilihan Pelanggan untuk Solusi Enjiniring Terintegrasi dan Terpercaya”.

Misi

PLN Enjiniring memiliki misi yaitu:

BAB 2 TUJUAN DAN RUANG LINGKUP KEGIATAN

2.1 Tujuan praktek keinsinyuran

Tujuan praktik keinsinyuran adalah untuk memberikan pengalaman langsung di lapangan agar mahasiswa dapat menerapkan ilmu, mengembangkan kompetensi profesional, dan memahami peran serta tanggung jawab insinyur dalam industri. Hal ini membantu menyiapkan lulusan untuk bersaing di pasar global dengan menguasai teknologi terkini, menganalisis masalah, dan memiliki mentalitas kerja yang profesional.

Tujuan utama utama praktek keinsinyuran Adalah sebagaia berikut :

- Mengimplementasikan pengetahuan dan teknologi yang telah dipelajari di kelas ke dalam praktik dunia nyata di industri.
- Mengembangkan kemampuan teknis, manajerial, dan profesional sesuai standar industri, serta meningkatkan kualitas diri untuk jenjang karier yang lebih baik.
- Memberikan pemahaman nyata tentang peran, tanggung jawab, dan etika seorang insinyur di lingkungan kerja.
- Mendapatkan pengalaman langsung dengan teknologi yang digunakan di dunia industri dan memahami manajemen produksi atau proyek.
- Membangun mentalitas, perspektif, dan pola pikir karyawan yang lebih profesional melalui interaksi dengan berbagai disiplin ilmu dan tingkatan organisasi.
- Mendapatkan pengalaman organisasi dan membangun komunikasi yang efektif di lingkungan profesional industri.
- Mempersiapkan lulusan agar siap menghadapi tantangan dunia kerja dan memenuhi standar kompetensi yang dibutuhkan untuk meraih gelar insinyur profesional.

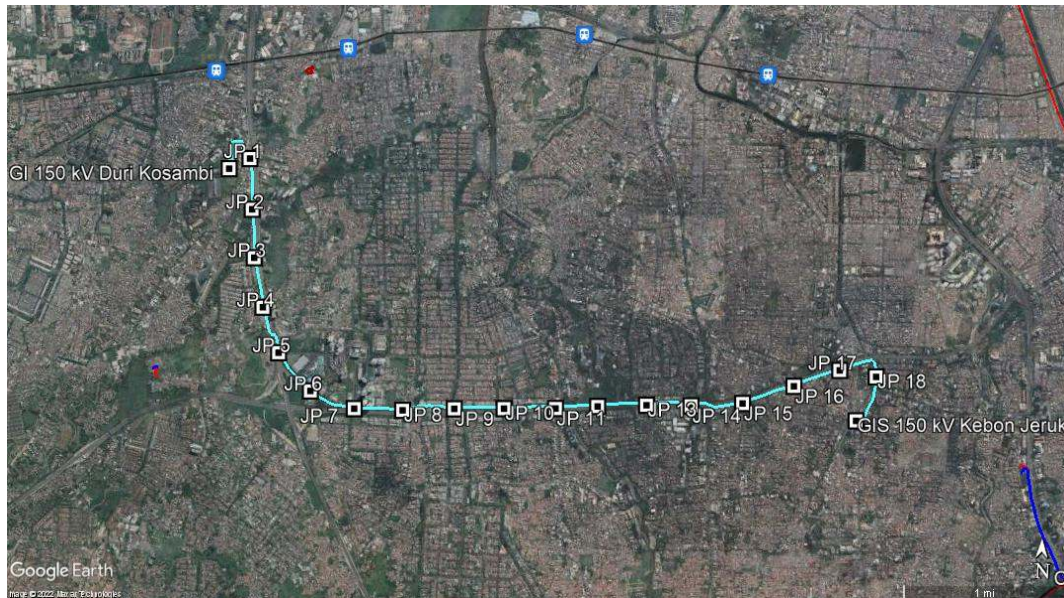
2.2 Ruang Lingkup Kegiatan

Dalam kerja praktek keinsinyuran ruang lingkup pelaksanaan kegiatan pemeriksaan terhadap Laporan Desain Enjiniring Pekerjaan Pembangunan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi Milik PT PLN (Persero) merupakan salah satu hasil dari tahapan/proses penyelesaian pekerjaan dari PT. PLN (Persero) Kantor Pusat kepada PT. Prima Layanan Nasional Enjiniring (PLNE) tentang Pekerjaan Jasa Konsultansi Penyusunan Enjiniring Desain, Dokumen Tender dan HPE Pekerjaan Pembangunan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi.

Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Durikosambi - Kebon Jeruk terdiri dari 2 sirkit yang menghubungkan GI 150 kV Durikosambi dengan GIS 150 kV Kebon Jeruk dengan panjang 9 kmr terdapat pada gambar 2.1 Lokasi Rencana Pembangunan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi. Beroperasi pada tahun 1987, maka usia pengoperasian SKTT sampai tahun ini mencapai 36 tahun. SKTT 150 kV Durikosambi - Kebon Jeruk merupakan Under Ground Cable (UGC) yang menggunakan isolasi jenis kertas dan minyak (oil filled cable) tipe CU 3x800 mm² dengan kapasitas nominal 720 Amper per sirkit. SKTT 150 kV Durikosambi - Kebon Jeruk sirkit #2 sudah tidak dioperasikan akibat adanya kebocoran minyak pada sirkit #2 phasa R dan T seksi join 6 - join 12, dengan intensitas pengisian minyak selama 1 minggu sebanyak 4 kali pengisian dengan volume 40 liter. Sejak tanggal 28 Desember 2018, SKTT 150 kV Durikosambi - Kebon Jeruk sirkit #1 hanya beroperasi dengan pembebanan maksimum dibatasi sampai dengan 750 A, dengan satu sirkit dengan pembebanan mencapai 688 A persirkit akibat mengalami permasalahan kebocoran pada crossbonding. Berdasarkan hal tersebut di atas, untuk mengatasi kebocoran minyak isolasi diperlukan penggantian sekaligus uprating SKTT 150 kV Durikosambi - Kebon Jeruk.

Pekerjaan Pembangunan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi ini adalah untuk meningkatkan sistem kelistrikan DKI Jakarta serta melakukan peremajaan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi dan memperbaiki mutu dan keandalan penyaluran tenaga listrik ke konsumen.

Desain, pemilihan dan pengukuran dari peralatan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi dipengaruhi dari banyak faktor dan kondisi pada saat pemasangan seperti suhu lingkungan, kedalaman, beban, demand factor, percent loss dari masa operasi peralatan dalam keadaan overload darurat sesaat, regulasi voltase, kemampuan untuk menyalakan mesin-mesin besar, karakteristik beban, standar yang digunakan/dimiliki dari pengguna jasa, dan standar internasional yang berlaku.



Gambar 2.1 Lokasi Rencana Pembangunan SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi

Pada PLN untuk penggunaan SKTT ada yang menggunakan bahan insulator berupa oil dan ada juga tanpa oil berikut ini perbedaan dari kedua SKTT pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan SKTT berinsulasi oil dan tanpa oil

No	Fitur	Kabel Tanah Berisi Minyak	Kabel Tanah Tanpa Minyak
1	Isolasi dan Pendinginan	Menggunakan minyak isolasi sebagai isolator dan media pendingin.	Menggunakan material isolasi solid seperti PVC atau XLPE.
2	Aplikasi	Untuk transmisi tegangan sangat tinggi dan jarak jauh, seperti interkonektor antar jaringan listrik.	Untuk tegangan rendah hingga menengah, cocok untuk distribusi di perkotaan atau area perumahan.
3	Kompleksitas Instalasi	Lebih kompleks dan mahal, membutuhkan sistem pemantauan dan reservoir minyak untuk menjaga tekanan.	Lebih sederhana, biaya instalasi lebih rendah, dan perawatan lebih mudah.
4	Perawatan dan Risiko	Membutuhkan perawatan rutin dan berisiko mengalami kebocoran minyak yang bisa menimbulkan masalah lingkungan dan biaya tambahan.	Perawatan lebih murah karena tidak ada risiko kebocoran minyak, namun tetap memerlukan kehati-hatian dalam instalasi agar tidak rusak.

2.3 DESAIN ELEKTROMEKANIKAL SKTT 150 kV

Didalam pemilihan atau penentuan kabel tanah harus diperhatikan beberapa kriteria antara lain:

- a. Penampang penghantar kabel harus dipilih sedemikian rupa sehingga pada arus beban normal maupun emergency suhu penghantar tidak melebihi suhu desain maksimum yang ditentukan sesuai bahan penghantar dan bahan insulasi kabel tersebut. Arus normal tergantung pada besarnya daya yang disalurkan dan tegangan operasi saluran distribusi tersebut.
- b. Penghantar dan peralatan untuk saluran kabel tanah harus dirancang dan dipasang mampu menahan tanpa ada kerusakan dari efek mekanis dan termal arus hubung singkat yang mungkin terjadi. Arus hubung singkat yang terjadi dapat hubung singkat tiga fasa, fasa ke fasa, fasa ke tanah. Untuk keperluan desain lama hubung singkat yang digunakan adalah 1 detik (IEC) atau 2 detik (ANSI). Durasi aktual yang tergantung pada waktu buka system pengaman saluran kabel tanah. Karena itu durasi bias lebih lama atau lebih pendek dari nilai-nilai di atas.
- c. Penampang penghantar fasa harus dipilih sedemikian rupa sehingga pada arus beban normal mampu memberikan kualitas daya yang direncanakan. Untuk ruang beban dan jarak bebas, desain tower 150 kV telah mempertimbangkan ambang batas paparan medan listrik dan medan magnet 50/60 Hz

2.3.1 Peralatan Utama

Kabel tanah 150 kV yang digunakan untuk menyuplai konsumen tegangan tinggi konstruksinya single core dengan life time operasi minimal 30 tahun. Kabel tanah harus difabrikasi dan dites sesuai dengan standar IEC.

2.3.1.1 Konduktor

Konduktor terbuat dari kawat polos dianil (annealed), yang dipilin bulat dipadatkan (compacted circular stranded) atau konduktor milliaken (segmented circular stranded), sesuai dengan IEC 60228 untuk konduktor kelas 2.

Konstruksi dari konduktor harus mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a. Ukuran konduktor sampai dengan 800 mm². Konduktor dapat dipilin bulat dipadatkan atau segmental (miliken)

- b. Ukuran konduktor 1000 mm² sampai dengan 2000 mm²

Konduktor harus dipilin bulat segmental (Miliken). Segemen harus dilapisi isolasi tipis satu sama lain dengan pita pemisah yang dipasang bersama dan diikat dengan pita pengikat semi-konduktor. Untuk desain kusen dimana dibutuhkan kuat hantar arus yang sangat besar penggunaan *enameled wire* pada konduktor dapat diterapkan. Konduktor harus memiliki pelindung terhadap penetrasi air longitudinal.

2.3.1.2 Conductor Screen

Conductor screen harus memberikan kontrol terhadap electrical stress yang sama antara permukaan bagian luar konduktor dan permukaan bagian dalam insulasi. Conductor screen harus seragam, halus, konsentris, terbuat dari bahan thermosetting dan semikonduktif. Bagian ini harus memiliki kontak langsung dan melekat dengan baik pada permukaan bagian dalam insulasi dalam semua kondisi operasi. Super smooth acetylene black harus digunakan dalam kompon semikonduktif thermosetting.

Permukaan kontak antara conductor screen dan insulasi harus halus dan bebas dari tonjolan (protrusion) ke dalam insulasi lebih besar dari 0,076 mm (sesuai ANSI/ICEA S-108-720-2004 butir 3.3) dan harus bebas dari voids lebih besar dari 0,051 mm (sesuai ANSI/ICEA S-108-720-2004 butir 3.4).

2.3.1.3 Insulasi

Material insulasi adalah *super clean cross/linked polyethylene* (XLPE) dan harus memenuhi persyaratan dalam ANSI/ICEA S-108-720-2004. Material insulasi ini memiliki faktor rugi dielektrik yang rendah dan kapasitansi yang hampir tidak tergantung pada suhu. Suhu konduktor maksimum yang diijinkan untuk kabel dengan insulasi XLPE adalah 90 °C pada kondisi operasi normal dan 250°C pada kondisi gangguan.

Rata-rata ketebalan insulasi harus berada pada rentang 17-20 mm. Ketebalan insulasi harus memenuhi persyaratan nilai electrical stress untuk conductor screen tidak melebihi 8 kV/mm dan insulation screen tidak melebihi 4 kV/mm. Ketebalan minimum pada suatu titik pada lapisan insulasi tidak boleh kurang dari 90 % ketebalan nominal dan ketidak konsentrasian harus kurang dari 15 % sesuai IEC 60840.

Insulasi *XLPE super clean* harus memenuhi ANSI/ICEA S-108-720-2004 butir 4.3.3.1.

Insulasi harus bebas dari:

- a. Voids dengan ukuran lebih besar dari 0,051 mm. Jumlah voids lebih besar dari 0.025 mm tidak melebihi 1,8 per cm³;
- b. Kontaminan dengan ukuran lebih besar dari 0,127 mm dan total kontaminan tidak lebih dari 0,6 per cm³ untuk ukuran antara 0,051 mm dan 0,127 mm;
- c. Amber lebih besar dari 0,254 mm. Kabel harus melalui proses cross/linked pada proses dry continuous vulcanization yang menghasilkan kelembaban sekecil mungkin

2.3.1.4 *Insulation Screen*

Insulation screen harus terdiri dari kompon semikonduktif thermosetting yang diekstrusi. Super smooth acetylene black harus digunakan dalam kompon semikonduktif thermosetting.

Permukaan kontak antara insulation screen dan insulasi harus halus dan bebas dari tonjolan (protrusion) ke dalam insulasi lebih besar dari 0,125 mm (sesuai ANSI/ICEA S108-720-2004 butir 5.3) dan harus bebas dari voids lebih besar dari 0,05 mm (sesuai ANSI/ICEA S-108-720-2004 butir 5.5.2).

2.3.1.5 Lapisan Penahan Air Semi Konduktif

Pita penahan air semikonduktif ada di luar lapisan insulation screen sehingga bagian tersebut kedap air. Lapisan ini memiliki sifat yang akan membengkak bila terkena air.

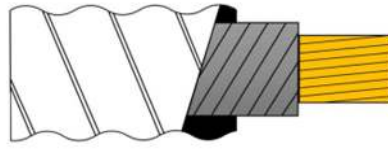
2.3.1.6 *Metal Screen*

Metal screen menggunakan *aluminium corrugated* yang dibuat dengan metode *direct extrusion process* berdasarkan IEEE Std 635-2003. Material Aluminium memiliki komposisi bahan seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. 2 Komposisi Aluminium

Aluminium minimum (%)	Iron Maksimum (%)		Silicon maksimum (%)	Elemen lain maksimum (%)
99.45	0.3		0.3	0.17

Desain korugasi metal screen yang digunakan adalah type symmetrical type (helical) corrugation seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 2. 2 Korugasi jenis *symmetrical type (helical) corrugation*

2.3.1.7 Lapisan Anti Korosi

Bagian luar dari lapisan *metal screen* harus dilapisi dengan bitumen sebagai anti korosi.

2.3.1.8 Selubung Luar

Selubung luar harus dari high density polyethylene (HDPE). Untuk memverifikasi integritas selubung luar maka selubung luar harus dilengkapi dengan lapisan semikonduktif.

2.3.1.9 Ikatan dan Sistem Pentanahan

Desain untuk pengikatan (bonding) selubung kabel harus sesuai dengan ANSI / IEEE 575 (Guide for the Application of Sheath-Bonding Methods for Single-Conductor Cables and the Calculation of Induced Voltages and Currents in Cable Sheath).

Untuk menghindari rugi-rugi selubung yang disebabkan oleh arus sirkulasi, harus dilakukan sistem ikatan silang (cross bonding) pada rangkaian kabel bawah tanah XLPE 150 kV.

Kotak sambungan yang berisolasi harus dipakai pada semua kotak sambungan pada jalur kabel untuk memeriksa kesatuan setiap bagian dari penutup anti korosi dari kabel untuk tujuan pemeliharaan.

Kabel pengikat yang dipakai untuk sambungan harus:

- a. Pada joint box: kabel berisolasi PVC konsentris untuk menghubungkan kotak
- b. Pada sealing end: kabel inti berinsulasi PVC tunggal untuk menghubungkan link.

Desain sistem ikatan / pentanahan harus dibuat pada kondisi tegangan maksimum yang diinduksi pada selubung kabel logam harus 65 Volt pada kondisi beban penuh normal. Link Box untuk crossbonding ini harus digunakan untuk menghubungkan kawat pengikat dengan benar, dan dilengkapi dengan surge arrester (SVL).

2.3.2. Pemilihan Kabel Tanah

Didalam pemilihan kabel tanah perlu dipertimbangkan faktor antara lain:

- a. Pemilihan jenis (aluminium/tembaga) dan konstruksi penghantar (compact /segmented)
- b. Pemilihan jenis insulasi (XLPE/PE)
- c. Pemilihan selubung metal (lead/copper/aluminium), bentuk (wire/plat)
- d. Pemilihan perisai mekanis (round wire/plat steel/corrugated)

2.3.3. Suhu Operasi Penghantar

Suhu berikut ini direkomendasikan untuk digunakan sebagai acuan untuk perhitungan suhu operasi penghantar jika tidak ada dalam arahan lain.

Suhu operasi maksimum penghantar jika tidak ada dalam arahan yang lain:

- a. XLPE: 90°C untuk operasi normal dan 250°C untuk hubung singkat
- b. PVC: 70°C untuk operasi normal dan 160°C untuk hubung singkat
- c. *Impregnated paper*: 70°C untuk operasi normal dan 160°C untuk hubung singkat
- d. *Gas Insulated Line* (SF6): 90°C untuk operasi normal dan 250°C untuk hubung singkat.

catatan: Untuk media insulasi lain disesuaikan dengan jenis medianya.

2.3.4. Terminasi Kabel

Untuk semua jenis terminasi, peserta lelang harus memberikan desain dalam bentuk gambar dan deskripsi teknis. Selain itu, nama pabrikan dan penunjukan tipe harus disebutkan.

Terdapat dua jenis penggunaan Terminasi yaitu:

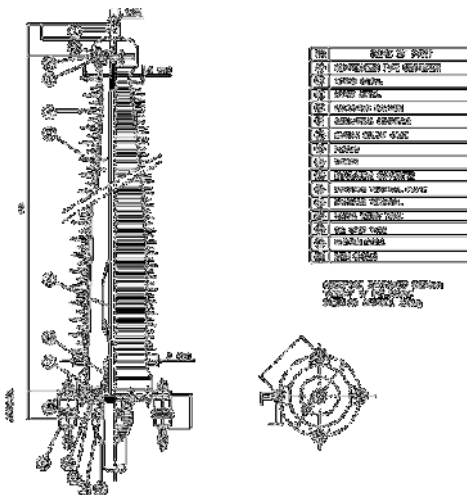
- a. Terminasi AIS (Air insulated System) - Terminasi *Outdoor/Indoor* open air
Terminasi kabel di AIS dan tower harus sesuai dengan ukuran kabel yang akan dipasang. Terminasi kabel menggunakan tipe kering (dry type) yang tidak menggunakan minyak mineral maupun minyak silikon. Housing terminasi terbuat dari sirip (sheds) berbahan karet silikon. Terminasi kabel harus dilengkapi surge arrester. Jarak rambat (creepage distance) yang digunakan berdasarkan pada spesifikasi yang telah ditentukan. Terminasi kabel di AIS harus dilengkapi dengan struktur penyangga dan pondasi untuk tempat berdirinya terminasi kabel dan dilengkapi dengan kabel pbumian yang menghubungkan titik pbumian dengan box pbumian yang terdapat pada struktur penyangga.
- b. Terminasi GIS (*Gas Insulated System*) atau terminasi transformer

Terminasi kabel menggunakan tipe kering (dry type) yang tidak menggunakan minyak mineral maupun minyak silikon. Terminasi kabel ini digunakan untuk koneksi kabel dengan Gas Insulated Switchgear (GIS). Terminasi harus cocok dengan ukuran kabel yang akan dipasang. Kabel pembumian digunakan untuk menghubungkan titik pembumian dengan box pembumian yang terdapat pada struktur besi.

Terminasi dapat berupa fluid-filled (insulasi minyak atau gas) atau dry-type (material solid) dengan bagian insulator luar berbahan material composite atau porselain

2.3.3.1 Terminasi tipe outdoor (AIS)

Terminasi kabel tipe AIS harus cocok dengan ukuran kabel XLPE yang akan dipasang. Terminasi kabel harus berbahan keramik atau komposit tipe kering (dry type composite) yang dilengkapi dengan bagian luar terbuat dari sirip (sheads) berbahan karet silicon dengan jarak rambat (creepage distance) berdasarkan pada spesifikasi yang telah ditentukan. Kabel terminasi harus dilengkapi dengan struktur besi dan pondasi untuk tempat berdirinya terminasi kabel dan dilengkapi dengan kabel pembumian yang menghubungkan titik pembumian dengan box pembumian yang terdapat pada struktur besi.



Gambar 2. 3 Terminasi kabel tipe AIS

2.3.3.2 Terminasi tipe gas SF6

Terminasi tipe gas SF6 harus sesuai untuk kabel XLPE single core dengan ukuran sesuai dengan TPG. Terminasi kabel menggunakan tipe kering (dry type) yang tidak

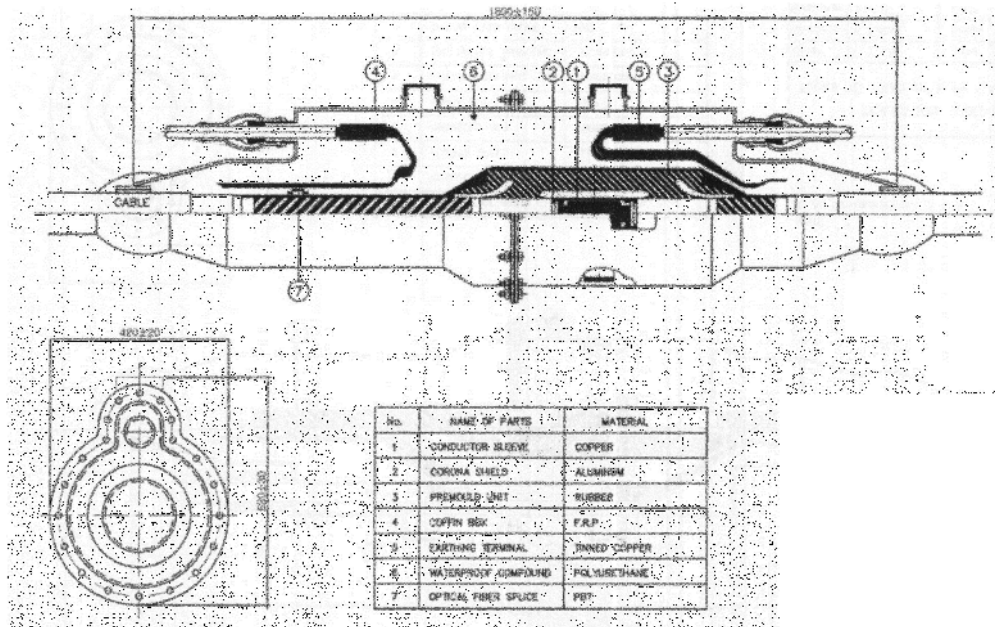
menggunakan minyak mineral maupun minyak silikon. Terminasi kabel ini digunakan untuk koneksi kabel dengan Gas Insulated Switchgear (GIS). Terminasi harus cocok dengan ukuran kabel yang akan dipasang. Kabel pembumian digunakan untuk menghubungkan titik pembumian dengan box pembumian yang terdapat pada struktur besi.

Kontraktor harus menyediakan dan memasang terminasi tipe gas SF6 untuk menghubungkan kabel bawah tanah ke sambungan kabel GIS sesuai dengan IEC 62271-209.

Sambungan harus sesuai dengan rating arus kontinu dan arus hubung singkat yang ditentukan. Semua struktur pendukung dan aksesori untuk koneksi kabel bawah tanah ke GIS harus dipasok oleh kontraktor.

2.3.5. Jointing Kabel

Sambungan kabel (jointing) harus digunakan untuk koneksi antara kabel bawah tanah yang memiliki ukuran dan rating hubung singkat sesuai dengan TPG dan mengacu pada IEC 62067. Konduktor disambung dengan menggunakan pengelasan. Lapisan pembungkus konduktor (conductor screen) yang rusak diperbaiki dengan lapisan semi konduktif. Insulasi kabel diperbaiki kembali dengan pembungkus pita XLPE yang harus dicetak dan dihubungkan silang atau menggunakan joint tipe one place premoulded. Lapisan pembungkus insulasi (insulation screens) pada ujung kabel di setiap sisi sambungan dipisahkan secara elektrik dengan cara interupsi overlap menggunakan pita insulasi di antara lapisan. Selubung tembaga bagian dalam, yang dipisahkan secara elektrik menggunakan cincin resin cetakan epoksi, disolder ke selubung utama kabel di setiap sisi. Dua bagian dari kawat tembaga dihubungkan masing-masing secara elektrik oleh konduktor dalam dan luar dari kabel menggunakan kotak link cross-bonding. Di atas selongsong bagian dalam, dipasang selubung poliester bertulang, yang diisi dengan senyawa (compound) yang cocok atau setara.

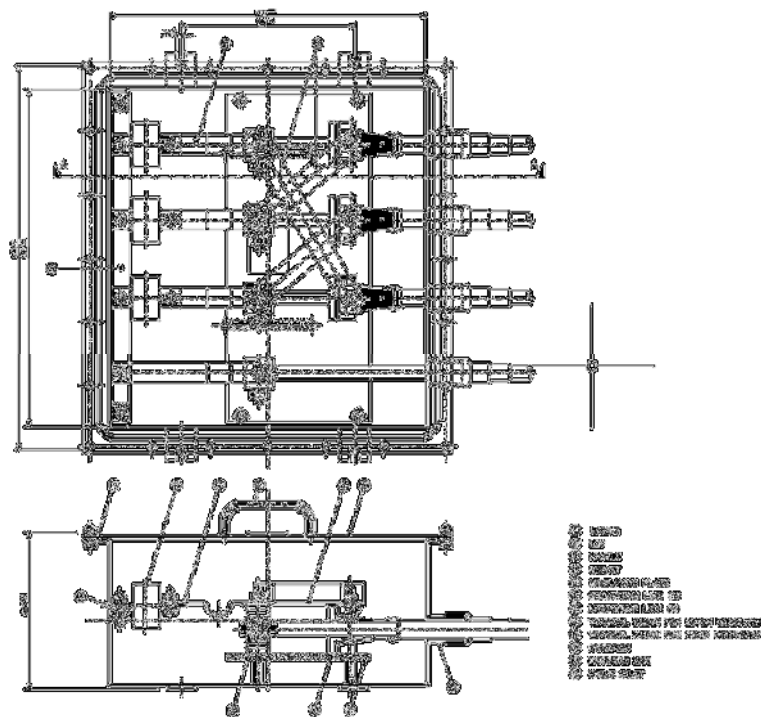


Gambar 2. 4 Jointing Kabel Tegangan Tinggi

2.3.6. Kotak Jointing (Link Box)

Link Box digunakan untuk cross bonding sambungan tegangan tinggi. Tipe link box yang digunakan harus dapat digunakan untuk sistem cross-bonding. Box ini harus dapat digunakan di luar ruangan dan diletakkan diatas frame besi.

Link box harus diletakkan dekat dengan sambungan kabel dan terdiri dari strip penghubung tembaga yang dengan strip tersebut dihubungkan dengan sheath. Salah satu sisi kabel sheath-bonding dihubungkan dengan sambungan dan satunya dihubungkan ke dalam box pada sheath voltage limiters (SVL) di atas dimana strip tembaga dipasang. Strip tembaga harus dapat dilepas untuk melakukan tes jika diperlukan. Kabel koneksi untuk pembumian harus di hubungkan ke titik pembumian pada joint pit



Gambar 2. 5 Crossbonding link box

Posisi link box pada jointing dapat diletakkan pada:

1. Di dalam pit sendiri yang terletak di atas atau samping joint pit
Direkomendasikan posisi link box dalam pembangunan saluran kabel tanah berada didalam pit sendiri (link box pit) yang terletak di atas atau samping joint pit.
2. Di dalam joint pit
Untuk kondisi daerah kerawanan sosial yang tinggi link box dapat diletakkan di dalam joint pit dengan posisi menempel pada dinding JP (wall mounted) yang dekat dengan tangga.
3. Di atas permukaan tanah
Dengan tetap mempertimbangkan keamanan daerah sekitar, link box dapat diletakkan di atas permukaan tanah pada kondisi sebagai berikut:
 - di dalam instalasi milik PLN;
 - area yang memiliki keamanan yang cukup; dan
 - di jalan yang tidak memungkinkan melakukan pemeliharaan jika link box diletakkan di pit.

Link box yang diletakkan di atas permukaan tanah harus dilengkapi dengan kerangka pengaman.

2.3.7. Fiber Armoured

Kabel serat optik (Fiber Optic I FO) digunakan untuk kebutuhan komunikasi dan proteksi. Fiber Optik dipasang di ujung kotak terminasi optik (Optical Termination Box) pada GI dan di kotak sambungan (Joint Box) pada ujung kepala kabel (Cable Head Station). FA harus diakhiri di *Optical Distribution Frame* (ODF) di ruang telekomunikasi Gardu Induk. Lokasi rinci Joint Box dan ODF (*Optical Distribution Frame*) harus mendapat persetujuan dari perwakilan pemberi kerja.

Pada Basic Design ini tipe kabel FO yang dipakai untuk kebutuhan komunikasi adalah tipe Single Mode (SM) yang terpisah dengan kabel power, hal ini dimaksudkan agar fiber optik tidak mengalami banyak sambungan yang berakibat gangguan yang akan terjadi di setiap sambungan tersebut. *Fiber Armoured* yang digunakan pada design kabel fiber optik ini dapat menggunakan *loose tube* sesuai dengan standar ITU-T *Recommendation G.652 D* dengan jumlah core 48. Apabila membutuhkan core fiber optik lebih maka dapat menggunakan fiber optik dengan core 72 atau fiber optik dengan core 96. Struktur detail dari Fiber Armoured Kabel Optik 48 core akan mengacu kepada dokumen approval dari perwakilan pihak pemberi kerja.

2.3.8. Grounding

2.3.8.1 Fungsi Grounding

Fungsi utama grounding (pembumian) adalah untuk meningkatkan keselamatan, baik untuk orang /personel maupun properti/peralatan listriknya. Fungsi sekundernya adalah untuk membantu operasi sistem. Secara umum, kedua fungsi ini kompatibel dan saling melengkapi.

Membumikan struktur dan komponen jaringan yang tidak dialiri/dilewati arus listrik dapat meningkatkan tingkat keselamatan bagi orang, termasuk personel yang bekerja yang bekerja pada sistem jaringan dan maupun pelanggan yang menggunakan layanan listrik tersebut.

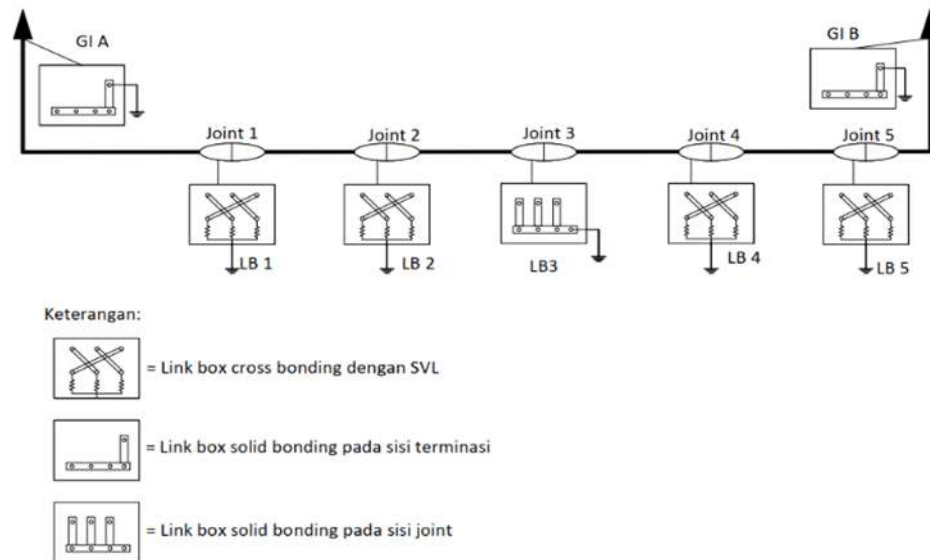
Pembumian titik netral sistem jaringan distribusi dapat menstabilkan tegangan fasa terhadap netral (bumi) dan menyediakan jalur untuk arus gangguan tanah sehingga dapat membantu beroperasinya perangkat pengaman arus lebih (over current relay) untuk melakukan pemutusan yang cepat jika terjadi gangguan.

2.3.8.2 Metoda Pentanahan Jaringan Kabel Tanah

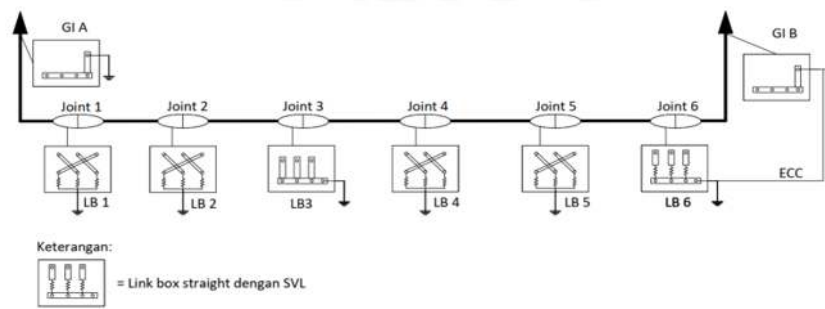
Sistem pembumian pada saluran kabel tanah mengacu pada SPLN T5.012: 2020. Sistem pembumian cross bonding pada saluran kabel tanah mengacu pada Kepdir 05201.K/DIR/2014.

Sistem pembumian cross bonding pada saluran kabel tanah dapat lihat pada Gambar 2.5. menunjukkan kondisi dari sistem pembumian cross bonding yang tidak perlu menggunakan earthing continuity conductor (ECC) dimana konfigurasi pada sambungannya adalah cross-cross-solid. Jika pada saat konstruksi di lapangan tidak didapatkan kondisi tersebut, misal cross-solid-solid atau solid-cross-solid maka dapat menggunakan earthing continuity conductor dengan tetap mempertimbangkan tegangan induksi maksimum yang ditentukan pada SPLN T5.012: 2020. Kondisi sistem pembumian pada SKTT yang menggunakan ECC dapat dilihat pada Gambar 2.6.

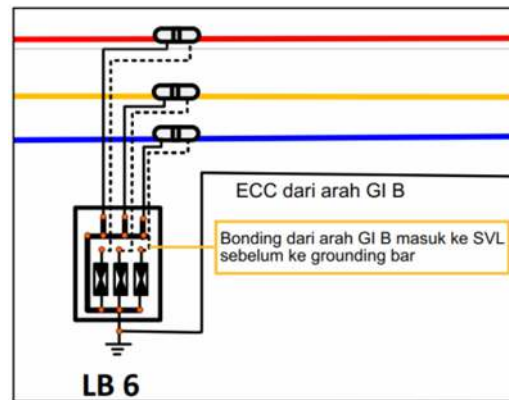
Pada contoh sistem pembumian Gambar 2.7 di link box (LB) 6, kabel bonding dari arah GI B dihubungkan ke SVL sebelum dihubungkan ke grounding bar. Detil koneksi kabel bonding di LB 6 dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Contoh sistem pembumian cross bonding pada SKTT

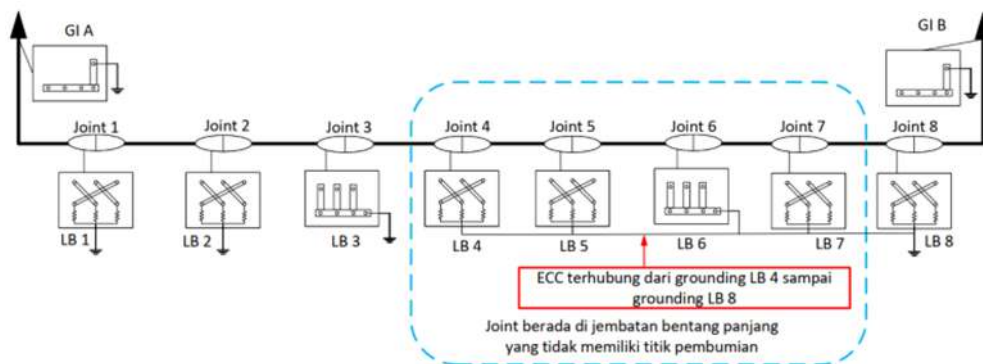


Gambar 2. 7 Contoh sistem pembumian cross bonding dengan ECC



Gambar 2. 8 Detil link box 6

ECC sebagai pengganti grounding harus digunakan pada saluran kabel tanah yang melewati daerah yang tidak terdapat titik pembumian, misal adanya kebutuhan jointing yang berada di jembatan, dimana tidak terdapat titik pembumian di sepanjang jembatan tersebut. ECC dihubungkan pada tiap grounding link box yang tidak terdapat titik pembumian, lalu dihubungkan ke grounding link box terdekat yang terhubung ke titik pembumian. Sistem pembumian pada saluran kabel tanah yang melewati daerah yang tidak terdapat titik pembumian dapat dilihat pada Gambar 2.8. Nilai tahanan pembumian saluran kabel tanah yang terletak pada JP dan pada area GI mengacu pada SPLN T6.003-3: 2022



Gambar 2. 9 Contoh sistem pembumian pada jembatan bentang panjang

2.3.8.3 Metode bonding dari metallic sheath

Desain sistem bonding pada kabel inti tunggal tegangan tinggi harus sesuai dengan ANSI/IEEE 575 dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Aspek keselamatan terhadap personel dan peralatan dengan membatasi nilai tegangan pada sheath kabel untuk meminimalisir risiko terjadinya kecelakaan kerja.
- b. Kuat hantar arus kabel (KHA) akibat adanya pengaruh dari arus sirkulasi pada sheath kabel.
- c. Koordinasi level insulasi pada sheath kabel akibat tegangan lebih saat sistem transien dan saat sistem mengalami gangguan.
- d. Pemilihan rating sheath voltage limiter (SVL) untuk metode pengawasan dan pemeliharaan.

Induksi tegangan pada metallic screen kabel tegangan tinggi terjadi sebagai pengaruh dari arus yang mengalir pada saat kabel tersebut beroperasi. Untuk mengendalikan besarnya induksi tegangan yang terjadi, metallic screen dari kabel harus tersambung dengan baik pada sistem pembumian kabel.

2.3.9. Aksesori Kabel

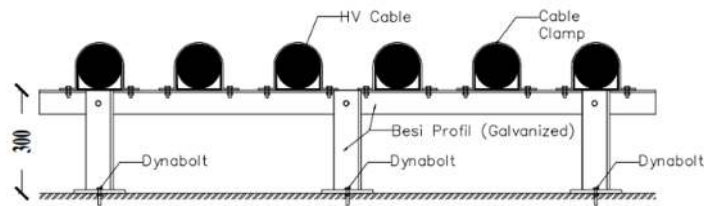
2.3.9.1 Cable Cleat/Clamp

Pada SKTT yang berada di ducting dan basement area gardu induk serta di dalam joint pit harus menggunakan cable clamp untuk mengamankan dan melindungi kabel terhadap gaya elektromekanis berupa gaya aksial dan gaya lateral yang terjadi saat short circuit. Bagian cable clamp yang menyentuh langsung ke kabel tidak boleh menyebabkan luka pada permukaan kabel. Material cable clamp berupa material non magnetik. Aspek konstruksi dan kinerja cable clamp mengacu pada IEC 61914. Pemasangan antar cable clamp maksimal pada jarak 3 m dan pada belokan dipasang lebih rapat.

2.3.9.2 Cable Support

- a. *Cable support* pada joint pit

Pada joint pit harus menggunakan cable support dan joint support untuk memudahkan pemeliharaan. Pemasangan cable support dan joint support harus diatur sedemikian rupa sehingga level kabel dengan level lubang joint sama. Cable support harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak melukai kulit kabel. Pada permukaan cable support yang mengenai kabel harus dilengkapi dengan bantalan rubber.



Gambar 2. 10 Konstruksi cable support dari profil baja pada JP

b. Cable support pada lantai basement dan concrete duct

Kabel pada lantai basement dan concrete duct harus menggunakan cable support dengan material dari profil baja dengan mutu minimum SS 400 dan ketebalan minimum galvanis 610 gram/m² atau 85 µm.

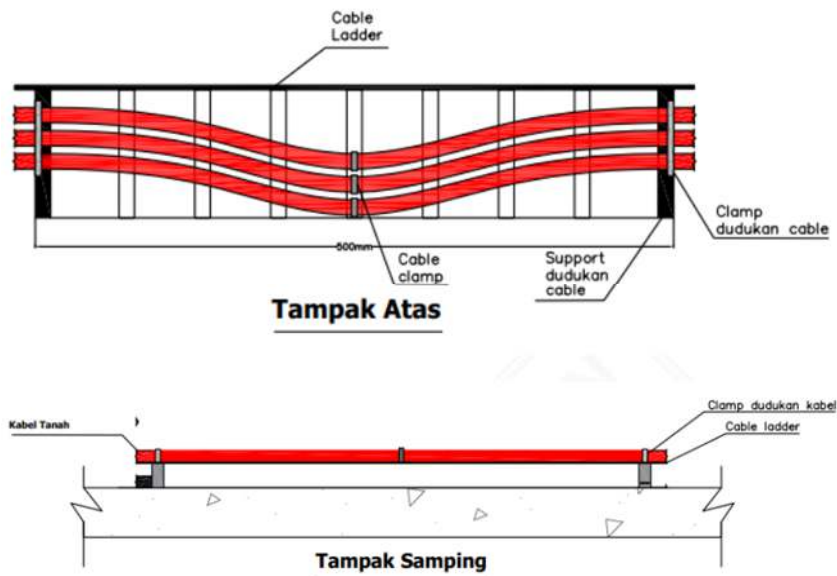
c. Cable support pada terminasi di GIS

Cable support pada terminasi kabel di GIS menggunakan struktur rangka baja. Struktur harus direncanakan mampu menahan beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Perencanaan struktur penyangga terminasi kabel mengacu pada SNI 1726-2019 dan ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No 113. Spesifikasi minimum material baja adalah SS 400 dan ketebalan minimum galvanis 610 gram/m² atau 85 µm.

2.3.9.3 Cable Ladder

Cable ladder dapat digunakan sebagai tempat dudukan kabel di gedung gardu induk (cable shaft), tower terminasi, dan disepanjang rute yang tidak memungkinkan menggelar kabel di dalam tanah atau duct.

Pemilihan spesifikasi kekuatan cable ladder harus mempertimbangkan beban kabel yang ditopang dan beban lain selama proses instalasi. Material cable ladder adalah stainless steel atau galvanize steel. Gambar cable ladder dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Contoh tipikal cable ladder

2.3.10. Perhitungan KHA (Kuat Hantar Arus)

Harus dilakukan perhitungan kesesuaian ukuran kabel dengan beban yang akan disalurkan sesuai dengan kondisi instalasi nya. Untuk mendapatkan Kuat Hantar Arus (KHA) dilakukan perhitungan yang mengacu pada Standar IEC 60287 *series* (untuk beban *continues*) dan IEC 60853 *series* (untuk beban *intermitten* contohnya layanan ke pelanggan untuk *smelter*). Jika menggunakan data tabel katalog pabrikan maka harus menggunakan faktor koreksi yang disesuaikan dengan instalasi dilapangan.

Rumus perhitungan KHA:

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d [0.5 T_1 + n (T_2 + T_3 + T_4)]}{R T_1 + n R (1 + \lambda_1) T_2 + n R (1 + \lambda_1 + \lambda_2) (T_3 + T_4)} \right]^{0.5}$$

Dimana:

$\Delta\theta$ adalah kenaikan suhu konduktor yang diperbolehkan di atas suhu sekitar (K),

W_d adalah rugi-rugi dielektrik per satuan panjang per fasa (W/m),

T_1 adalah thermal resistance tiap inti antara konduktor dengan sheath (K.m/W),

T_2 adalah thermal resistance antara sheath dan armour (K.m/W),

T_3 adalah thermal resistance dari external serving, (K.m/W),

T_4 adalah thermal resistance dari media di sekitar kabel (K.m/W),

n adalah jumlah konduktor dalam sebuah kabel,

v adalah rasio dari thermal resistivity dari tanah kering dan tanah lembab ($V = \rho_d / \rho_w$),
 $\Delta \theta$ adalah kenaikan suhu tanah kritis (K),

R adalah tahanan AC dari konduktor pada suhu maksimumnya (Ω/m),

λ_1 adalah rasio rugi-rugi metallic sheath terhadap total rugi-rugi konduktor

λ_2 adalah rasio rugi-rugi armour terhadap total rugi-rugi konduktor

Kuat hantar arus (*Current carrying*) penghantar saluran kabel tanah tergantung pada sejumlah faktor antara lain:

- Resistansi saluran kabel tanah tersebut dan jumlah panas yang dikeluarkan akibat dialiri arus hal ini terkait dengan kedalaman dan metoda penanaman kabel tanah
- Suhu maksimum operasi yang diizinkan pada penghantar Kabel Tanah tersebut. Hal ini tergantung material insulasinya,
- Panas yang didisipasikan penghantar saluran kabel tanah tersebut ke sekelilingnya.
- Umumnya penghantar kabel untuk distribusi saluran kabel tanah dirancang untuk beroperasi pada suhu di kisaran 55°C hingga 85° C, dan akibatnya kapasitasnya menjadi terbatas.

2.3.11. Perhitungan Tegangan Jatuh

Harus dilakukan perhitungan Tegangan jatuh untuk menentukan tegangan ujung.

Perhitungan tegangan jatuh dapat dihitung dengan rumus berikut

$$V = I Z$$

dimana:

V : tegangan jatuh (V)

I : Arus (A)

Z : Impedansi penghantar (Ω), fungsi dari panjang jaringan

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Juga perhatikan bahwa resistansi AC sedikit lebih tinggi daripada resistansi DC karena 'efek kulit' (di mana kerapatan arus lebih besar di lapisan permukaan penghantar daripada di interiornya karena induktansi diri penghantar) dan efek magnetic.

2.3.12. Perhitungan Tegangan Induksi

Harus dilakukan perhitungan perhitungan Tegangan Induksi pada metallic sheath untuk menentukan batasan tegangan yang diijinkan. Tegangan induksi pada metallic sheath

dibatasi hingga 65 Volt. Jika tegangan melebihi 65 Volt maka harus ada pertimbangan khusus.

2.3.13. Lokasi Ujung Kabel

Sebagaimana diketahui dalam penjelasan sebelumnya penempatan pemisah pada saluran kabel bawah tanah adalah:

1. Awal dan akhir saluran kabel tanah

Umumnya penempatan pemisah pada awal dari saluran kabel bawah tanah, yaitu:

- a. Gardu Induk dimana Saluran Utama saluran kabel tanah tersebut berawal sebagai pengaman utama
- b. Setiap lokasi transisi dari saluran udara ke saluran kabel tanah untuk meminimalkan waktu pemulihan dan membantu membedakan antara gangguan saluran udara dan saluran kabel tanah.
- c. Akhir saluran kabel tanah untuk meminimalkan waktu pemulihan dan interkoneksi dengan pasokan daya cadangan.

2. Awal penyulang lateral (pencabangan)

Suatu Keharusan memasang perangkat pemisah pada awal penyulang lateral untuk tujuan melokalisir gangguan jika penyulang lateral terganggu.

3. Gardu distribusi

Umumnya Trafo gardu distribusi tersambung ke jaringan saluran kabel tanah dengan konfigurasi π yang dilengkapi pemisah pada ketiga ujungnya. Trafo distribusi harus diberi pengaman fuse (sekring) dari gangguan di dalam trafo dan jaringan tegangan rendahnya.

4. Gardu induk

Saluran kabel tanah yang menghubungkan antara Gardu Induk.

2.4 DESAIN SIPIL SKTT 150 KV

Pekerjaan sipil yang terkait instalasi SKTT 150 kV ini mencakup pemasangan kabel tanah 150 kV beserta semua asesoris sambungan dan terminasi serta pemasangan pembumian (earthing) kabel. Semua pekerjaan terkait beton harus sesuai dengan persyaratan yang ditentukan dalam standar / kode acuan.

2.4.1 Pemilihan Jalur Kabel Dan Survey

Dalam menentukan jalur saluran bawah tanah dari gardu induk ke pelanggan biasanya menggunakan jalan umum di bawah trotoar, di jalan atau melintang jalan raya. Ada banyak faktor lain yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

- a. Jalur saluran bawah tanah harus sependek mungkin, seefisien mungkin dalam melayani gardu distribusi untuk meminimalkan biaya.
- b. Jalur saluran bawah tanah setidaknya 30 cm-60 cm diluar garis properti apa pun. Jalur saluran bawah tanah harus meminimalkan persilangan dengan utilitas lain yang tertanam. Jarak aman dengan utilitas lain harus dijaga.
- c. Jalur saluran bawah tanah yang dipilih harus meminimalkan jumlah penyeberangan jalan, Jika kabel harus melintasi / menyebrangi jalan harus secara tegak lurus dengan garis tengah jalan. Letak sambungan kabel sekurang-kurangnya 6 meter dari persilangan jalan.
- d. Ada akses untuk pelaksanaan konstruksi, pemeliharaan, dan operasi saluran bawah tanah tersebut.
- e. Disesuaikan dengan pengembangan jaringan di masa mendatang misalnya untuk melayani daerah pelayanan baru.
- f. Penerimaan/permisi masyarakat sepanjang route.
- g. Peizinan dari pengelola jalan dan PEMDA setempat.

Sebelum dilakukan pekerjaan perlu dilakukan survey terkait lokasi untuk jalur kabel sebagai berikut:

1. Survei topografi untuk mengetahui rute kabel bawah tanah, sehingga rute tersebut dapat terbebas dari kendala teknis dan non teknis.
2. Survei investigasi tanah untuk mengetahui parameter lahan yang akan digunakan untuk merancang konstruksi bangunan.
3. Survei Ground Penetrating Radar (GPR) adalah sistem radar yang digunakan dalam mendeteksi objek yang terkubur di tanah dengan kedalaman tertentu tanpa harus menggali tanah.

Berdasarkan hasil survey topografi, survey investigasi tanah yang dilakukan oleh UIP UIP JBB, didapatkanlah rekomendasi Jalur Kabel & Interpretasi Utilitas Jalur SKTT 150 kV Kebon Jeruk - Durikosambi. Total panjang pengukuran topografi ± 9 kmr.

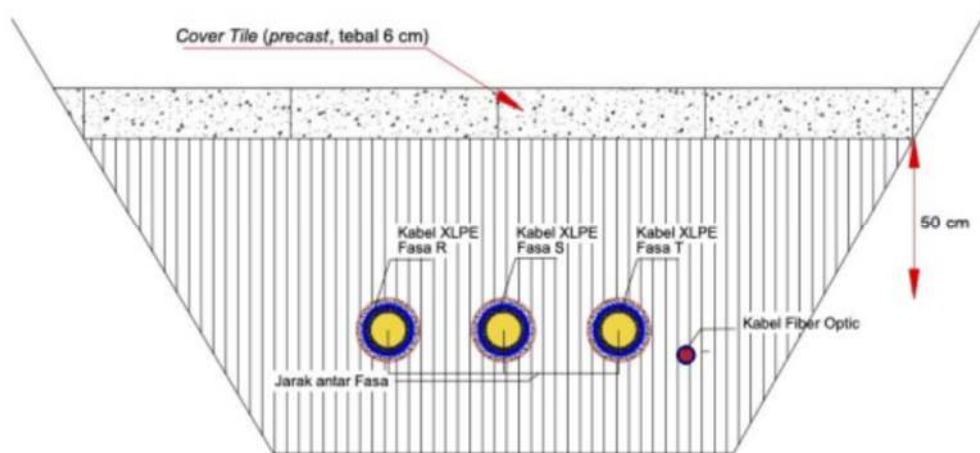
2.4.2 Desain dan Konstruksi Sipil

2.4.2.1 Proteksi mekanis rute kabel

- a. *Cover tile (concrete)*

Cover tile digunakan sebagai pelindung kabel. Cover tile hanya digunakan padametode pekerjaan open cut/galian terbuka dan hanya digunakan pada SKTT. Material cover tile

menggunakan beton bertulang precast dengan mutu beton minimum $f'c$ 29,1 MPa. Dimensi cover tile dengan tebal minimal 6 cm harus memberikan perlindungan sepenuhnya terhadap kabel yang berada di bawahnya. Jarak vertikal cover tile ke kabel adalah 50 cm. Pemasangan cover tile dilaksanakan sepanjang rute open cut/galian, sesuai Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Contoh cover tile

b. Pipa PVC SNI S 12,5 (AW)

Pipa PVC AW merupakan pipa dengan bahan dasar resin polyvinyl chloride (PVC) yang mempunyai dinding lebih tebal dan biasanya digunakan untuk mengalirkan air bertekanan hingga 10 kg/cm. Pipa PVC AW digunakan pada metode boring manual dengan jumlah kabel SKTT di dalam masing-masing pipa PVC AW adalah 1 buah kabel, dan konfigurasi dapat berupa sejajar (flat formation) dan terikat dengan sistem 3 fase (trefoil formation). Metode penyambungan pipa PVC menggunakan lem pipa.

Secara umum ukuran diameter dalam pipa PVC untuk saluran kabel tanah adalah $\geq 1,5$ ukuran diameter kabel terluar. Dimensi pipa PVC AW untuk konstruksi SKTT dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Dimensi pipa PVC AW untuk 1 kabel

No	Ukuran Konduktor	Ukuran Pipa AW
1	Fiber Optic (FO)	2,5"
2	$\leq 1000 \text{ mm}^2$	8"
3	1200 s/d 2000 mm^2	10"

Bahan utama pipa PVC mengandung minimal 92,5% PVC tanpa plastisizer, tidak berbau, tidak berasa, dan tidak beracun. Permukaan pipa PVC harus licin/halus, tidak terdapat cacat

yang berbahaya seperti retak, guratan-guratan, gumpalan, dan cacat-cacat lainnya. Pipa harus lurus dan berpenampang bundar, bidang ujung pipa harus tegak lurus terhadap sumbu pipa. Spesifikasi pipa PVC AW mengacu pada SNI 06-0084-2002.

c. *Pipa high density polyethylene (HDPE)*

Pipa HDPE memiliki ketahanan korosi, fleksibilitas, dan efisiensi hidrolik yang sangat baik. Selain itu, HDPE memiliki berat yang lebih ringan dan memiliki sambungan yang menyatu. Penggunaan HDPE pada konstruksi SKTT dapat digunakan untuk metode open cut dan trenchless (HDD, boring, dsb). Secara umum ukuran diameter dalam pipa HDPE untuk saluran kabel tanah adalah $\geq 1,5$ ukuran diameter kabel terluar. Dimensi pipa HDPE untuk konstruksi SKTT dapat dilihat pada Tabel 2.3. Spesifikasi teknis pipa HDPE yang digunakan pada konstruksi SKTT dapat dilihat pada Tabel 2.4. Metode penyambungan pipa HDPE menggunakan butt fusion. Jumlah kabel SKTT di dalam masing-masing HDPE adalah 1 buah kabel, dan konfigurasi dapat berupa sejajar (flat) atau trefoil.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Teknis pipa HDPE

No	Ukuran Konduktor	Ukuran HDPE
1	Fiber Optic (FO)	4"
2	XLPE ≤ 1000	8"
3	XLPE 1200 s/d 2000	10"

d. *Concrete Duct*

Proteksi kabel di wilayah gardu induk atau area milik PLN direkomendasikan menggunakan concrete duct. Material concrete duct menggunakan beton bertulang, baik in-situ (pengecoran langsung) maupun precast dengan mutu beton minimal $f'c$ 18,7 MPa dengan ketebalan minimal beton sebesar 15 cm.

Aksesori yang harus terdapat di dalam concrete duct adalah kabel clamp dan cable support. Lebar minimum akses personel untuk kegiatan pemeliharaan pada duct adalah 40 cm. Dimensi duct disesuaikan dengan banyaknya kabel yang akan diletakkan di dalam duct tersebut. Dimensi duct harus mempertimbangkan perkembangan penambahan bay penghantar (SKTT) di masa depan.

2.4.2.2 Joint Pit (JP)

Konstruksi joint pit menggunakan struktur beton bertulang precast (jika kondisi lapangan tidak memungkinkan dapat menggunakan metode pengecoran insitu). Mutu minimum material adalah f'_c 29,1 MPa. Joint pit dapat terdiri dari beberapa bagian/section untuk mempermudah transportasi dan pemasangan.

Marker dan tanda bahaya dicantumkan di atas tutup JP dan dicetak dengan tulisan deboss/tenggelam. Tutup manhole JP harus diberi tanda sedemikian rupa sehingga dapat diketahui dengan jelas dan harus didesain sedemikian rupa sehingga aman dari upaya vandalisme. Lubang masuk kabel dilengkapi dengan cable gland untuk mencegah masuknya air.



Gambar 2.13 Contoh tutup manhole JP beton bertulang

Dimensi JP dapat dilihat pada Tabel 2.5. Dimensi minimum lubang manhole adalah 80 x 80 cm.

Tabel 2. 5 Dimensi minimum joint pit

No	Jumlah Kabel	Panjang bersih (ℓ)	Lebar Bersih JP (b)	Tinggi JP (h)
		m	m	m
1	3	6	2	2
2	6	12	2	2

Jika dalam 1 sirkit terdiri dari 3 atau 6 kabel maka kabel tersebut harus terletak pada 1 JP. Dalam 1 JP maksimal terdapat 6 kabel. Aksesori yang harus ada di dalam joint pit adalah tangga akses, cable support, cable clamp, penamaan JP, penandaan fase, penamaan sirkit, penamaan link box (jika link box di dalam JP).

Link box dapat dipasang di dinding JP dan posisinya disesuaikan dengan kemudahan jangkauan dari tangga akses dan manhole. Link box juga dapat dipasang di atas kabel menggunakan support sehingga link box tidak membebani kabel.

Desain konstruksi joint pit perlu mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Apabila JP terletak di bahu jalan atau badan jalan maka kekuatan struktur JP harus mempertimbangkan beban sesuai kelas jalan dan peraturan daerah setempat.
2. Semua aksesoris di dalam JP harus anti korosi.
3. Apabila terdapat sambungan/joint di dalam area gardu induk, dapat tidak menggunakan JP.

Apabila terdapat pekerjaan perbaikan kabel dan joint yang membutuhkan ekstra joint maka harus membangun joint pit untuk ekstra joint tersebut. Ukuran dimensi ekstra joint pit dapat disesuaikan dengan situasi dan kondisi setempat. Contoh desain konstruksi joint pit dapat dilihat pada Lampiran C.

2.4.2.3 Link box pit (LBP)

Link box pit (LBP) dapat digunakan untuk link box yang tidak diletakkan di dalam joint pit. Konstruksi link box pit menggunakan struktur beton bertulang insitu atau precast. Mutu minimum material adalah f'_c 29,1 MPa.

Dimensi link box pit dan tutup manhole menyesuaikan dengan kebutuhan. Bagian link box pit, termasuk penutup link box pit (tutup manhole) harus dilengkapi dengan sealent untuk meminimalisir kebocoran air.

Tutup manhole terbuat dari beton bertulang atau iron cast dengan mutu heavy duty tipe material ductile iron/besi cor grade atas (FCD). Syarat minimum tutup manhole dengan material beton adalah f'_c 29,1 MPa. Tebal minimum tutup manhole dengan material iron cast adalah 20 mm atau menyesuaikan beban lalu lintas di lapangan dan telah mendapatkan persetujuan dari instansi terkait.

Tulisan penanda pada tutup manhole dicetak deboss/tenggelam. Tutup manhole JP harus diberi tanda sedemikian rupa sehingga dapat diketahui dengan jelas dan harus didesain sedemikian rupa sehingga aman dari upaya vandalisme.



Gambar 2.14 Contoh tutup manhole LBP beton bertulang

2.4.2.4 Struktur penyangga

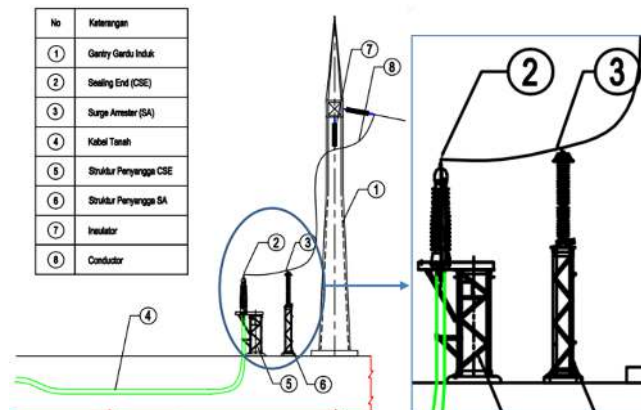
Spesifikasi material pada struktur penyangga terdiri dari:

1. besi siku: SNI 07-2054-2006;
2. pelat: SNI 07-0601-2006;
3. mur dan baut: SNI ASTM A 325-2012; dan
4. galvanisasi: SNI 07-7033-2020.

a. Struktur penyangga terminasi di AIS

Struktur penyangga terminasi kabel menggunakan struktur rangka baja. Struktur harus direncanakan mampu menahan beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Perencanaan struktur penyangga terminasi kabel mengacu pada SNI 1726-2019 dan ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No 113. Spesifikasi minimum material baja adalah SS 400 dan ketebalan minimum galvanis adalah 610 gram/m² atau 85 μ m.

Terminasi dan surge arrester (SA) dapat diletakkan pada satu struktur penyangga yang sama. Ketinggian minimum struktur penyangga terminasi adalah 2250 mm. Konstruksi terminasi kabel di AIS dapat dilihat pada Gambar 2.15.

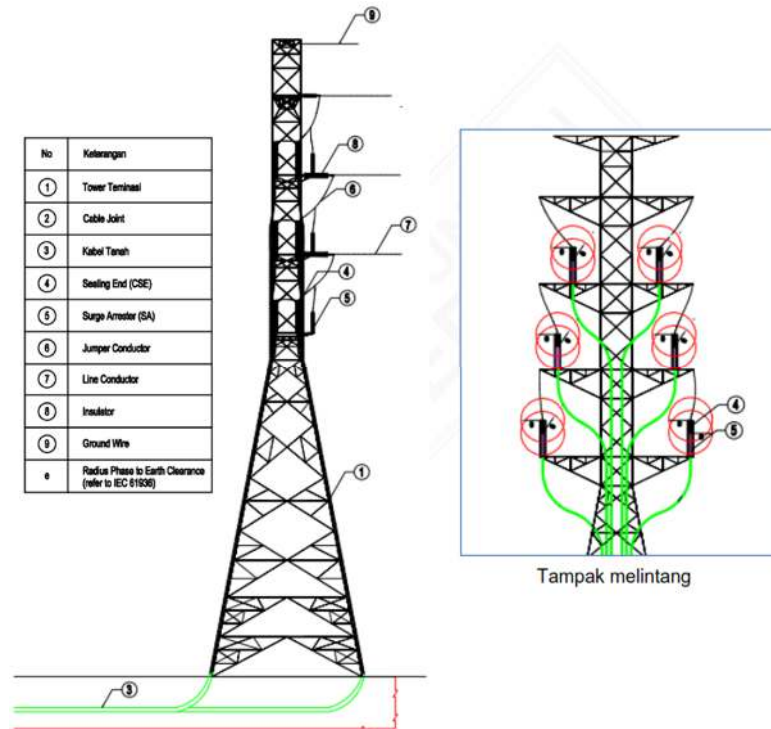


Gambar 2.15 Contoh gambar struktur penyangga terminasi di AIS

b. Struktur penyangga terminasi di tower

Struktur penyangga terminasi kabel yang terletak pada tower menggunakan bagian dari member baja tower yang didesain secara khusus sebagai tower terminasi kabel. Tipe tower yang digunakan adalah *dead end*.

Spesifikasi dan perhitungan struktur penyangga terminasi mengacu pada SPLN T5.014-1:2021. Konstruksi terminasi kabel di tower dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Contoh gambar struktur penyangga terminasi di tower

2.4.2.5 Penggunaan multi utility tunnel (MUT)

Penggelaran kabel yang diletakkan pada multi utility tunnel (MUT) harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

- Instalasi dan konstruksi kabel mengikuti ketentuan-ketentuan pada SPLN ini.
- Kabel diletakkan pada posisi yang memudahkan kegiatan pemeliharaan.
- Posisi kabel sesuai dengan posisi yang diatur oleh pemilik MUT.
- Desain joint dan link box disesuaikan dengan ketentuan yang diatur oleh pemilik MUT.

2.4.2.6 Konstruksi tower terminasi kabel

Tipe struktur yang digunakan sebagai terminasi kabel adalah tower rangka baja (latticed steel) tipe dead end (tipe DDR untuk SUTT) atau tiang baja (steel pole) dengan tipe dead end.

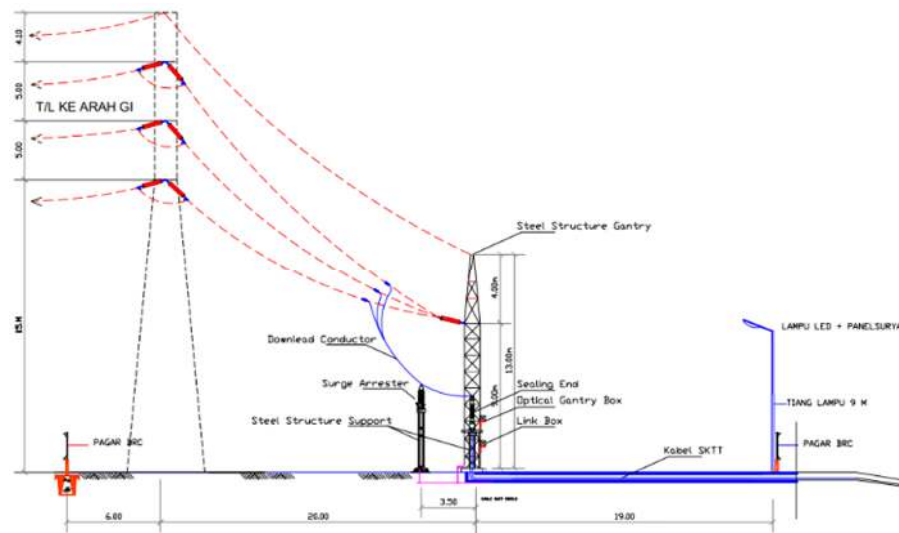
Kriteria desain struktur terminasi kabel dengan jenis tower rangka baja mengacu pada SPLN T5.014-1: 2021 sedangkan desain struktur terminasi kabel dengan jenis tower tiang baja mengacu pada SPLN 120: 1996 dan SPLN 121: 1996.

Dalam rangka perencanaan konfigurasi tower/tiang terminasi, posisi kabel harus memperhatikan jarak aman konduktor dan peralatan terminasi ke badan tower/tiang dan kabel. Tower

terminasi kabel harus dilengkapi dengan cable ladder. Untuk pengamanan instalasi, tower/tiang terminasi harus dilengkapi dengan pagar pengaman yang mengelilingi area tower/tiang terminasi. Jika diperlukan tower terminasi dapat dilengkapi fasilitas untuk pemasangan CT ring.

2.4.2.7 Konstruksi landing point kabel

Landing point terminasi kabel dapat berada di dekat tower SUTT sebagai tempat peralihan dari SKTT ke SUTT. Jarak aman minimum antar peralatan terminasi di landing point mengacu pada SPLN T4.002-1: 2022. Kriteria desain struktur gantry pada landing point mengacu pada desain gantry di ASCE 113.



Gambar 2.17 Landing point

2.4.2.8 Marker/penanda

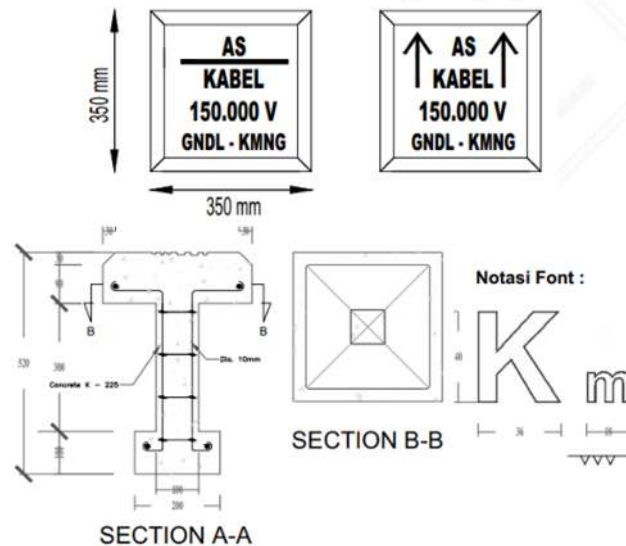
a. Marker/penanda kabel

Kabel harus diberi tanda untuk memudahkan pemeliharaan dengan memberi warna pada kabel dan pipa (jika proteksi kabel menggunakan pipa) sesuai dengan warna fase. Pemberian warna dilakukan saat proses penggelaran kabel dan pipa.

b. Marker/penanda rute kabel

Rute pemendaman kabel tanah harus dilengkapi dengan penanda rute dan rambu peringatan yang ditempatkan di atas rute saluran kabel dengan jarak tertentu. Untuk menunjukkan keberadaan saluran kabel di bawah tanah atau pekerasan, penanda rute kabel ditempatkan di sepanjang rute dengan jarak antar penanda rute tidak lebih dari 100 m dan

ditempatkan lebih rapat pada rute kabel berbelok. Penanda rute kabel juga berfungsi sebagai peringatan bagi utilitas lain dan pelaksana pekerjaan lain untuk berhati-hati saat menggali di area rute kabel.



Gambar 2.18 Penanda rute kabel

Material penanda rute kabel terbuat dari beton bertulang dengan mutu minimum $f'c$ 18,7 MPa. Tulisan pada penanda rute kabel dicetak deboss/tenggelam. Penanda rute kabel harus terlihat jelas. Dimensi penanda rute kabel dapat dilihat pada Gambar 2.18.

Penanda rute kabel diletakkan pada as sirkit. Apabila kondisi tersebut tidak memungkinkan, penanda rute kabel dapat diletakkan pada trotoar atau lokasi lain yang disetujui oleh instansi terkait. Penanda rute kabel yang tidak diletakkan pada as sirkit, harus dilengkapi dengan petunjuk arah yang menunjukkan lokasi dan jarak penanda terhadap as sirkit.

c. Marker/penanda lokasi joint pit

Marker/penanda lokasi JP terletak di tutup manhole JP yang terbuat dari pelat stainless steel dengan tebal minimum sebesar 1 mm. Informasi yang tercantum pada penanda lokasi JP adalah sebagai berikut:

1. nama jalur SKTT;
2. nomor JP; dan
3. jumlah sirkit dan kabel.

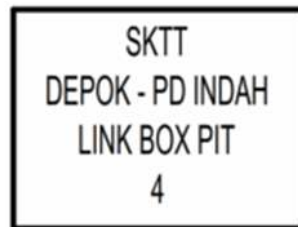
Informasi tersebut di atas harus dapat dibaca dengan jelas. Plat stainless steel didesain sedemikian rupa sehingga tidak mudah lepas dari tutup manhole JP. Dimensi minimum penanda lokasi JP adalah 300 x 400 mm. Contoh desain penanda lokasi JP dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Contoh desain penanda lokasi JP

Jika posisi link box tidak terletak di dalam JP sesuai subpasal 7.7 poin 1, maka marker/penanda lokasi link box terletak di tutup manhole link box pit (LBP). Penanda link box pit terbuat dari pelat stainless steel dengan tebal minimum 1 mm, dicetak dengan tulisan deboss/tenggelam, dengan informasi yang tercantum adalah jalur SKTT dan nomor link box pit.

Informasi tersebut di atas harus dapat dibaca dengan jelas. Pelat stainless steel didesain sedemikian rupa sehingga tidak mudah lepas dari tutup manhole LBP. Dimensi minimum penanda lokasi LBP adalah 300 x 400 mm. Contoh desain penanda lokasi LBP dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Contoh desain penanda lokasi LBP

2.4.2.9 Metode Pemasangan

Dalam penyusunan Basic Design penyusun memilih metode yang disesuaikan dengan level tegangan, dan kondisi lingkungan rencana rute kabel. Pemasangan kabel bawah tanah dapat dikelompokkan berdasarkan metoda membuat lubang dan metoda proteksi mekanis kabel di bawah tanah. Berdasarkan metoda pembuatan lubang dibawah tanah, metoda pemasangan kabel terdiri dari 2 jenis yaitu:

- a. Penggalian (Open cut/Trenching/Digging)
 - Secara manual (padat karya)
 - Secara mekanis atau alat berat; shovel, backhoe, dll

b. *Trenchless (No Dig Method)*

- Pemboran atau Penerowongan Dangkal atau Diameter Kecil (Boring/Drilling atau Shallow or Small Diameter Tunneling)
 - i. *Auger Boring*
 - ii. *Pipe Jacking*
 - iii. *Horizontal Directional Drilling*
- Penerowongan Dalam atau Diameter Besar (*Deep or Large Diameter Tunneling*)
 - i. *Drill & Blast*
 - ii. *Tunnel Boring Machine*
 - iii. *Road Header*

Sedangkan berdasarkan metoda proteksi mekanis kabel dibawah tanah dikelompokkan menjadi:

- a. *Direct Burried*
- b. *Concrete Duct*
- c. *Steel/PVC/HDPE/PE Pipes*
- d. *Concrete Through*

2.4.2.9.1 Penggalian *Open-Cut Method*

Metoda penggalian langsung yaitu kabel digelar langsung pada dalam jalur atau lobang galian tanah yang telah disiapkan pada jalur kabel. Metode penggalian ini bisa dilakukan secara manual maupun menggunakan peralatan berat seperti excavator backhoe, shovel, dsb.

Dasar pertimbangan pemilihan metode ini adalah terkait space penggalian yang tersedia cukup besar, tidak mengganggu lalu lintas serta biaya pembangunan yang lebih murah dibandingkan metode lainnya. Namun secara waktu pelaksanaan relatif lebih lama dibandingkan metode lain. Jika tidak dipersyaratkan secara khusus oleh Peraturan lokal, sebagai patokan dasar minimal peletakan kabel di bawah tanah, adalah sesuai ketentuan yang diatur dalam PUIL yaitu:

- 0,90 m dibawah trotoar, jalan orang
- 1,10 m dibawah jalan kendaraan

Bilamana kedalaman peletakan kabel karena sesuatu tidak memungkinkan, misalnya sudah ada kabel 20 kV, atau pipa air pada kedalaman yang diinginkan, maka harus ditambahkan perlindungan mekanis tambahan.

Lebar galian harus disesuaikan dengan perhitungan kedalaman pemendaman kabel dan banyaknya kabel yang akan diletakkan di dalam galian serta memenuhi persyaratan minimum pada tabel 2.6 berikut ini:

Tabel 2.6 Lebar Galian Minimum

Jumlah Kabel	Lebar Galian (cm)
1 & 2	40
3	60
4	80
5	100
6	120

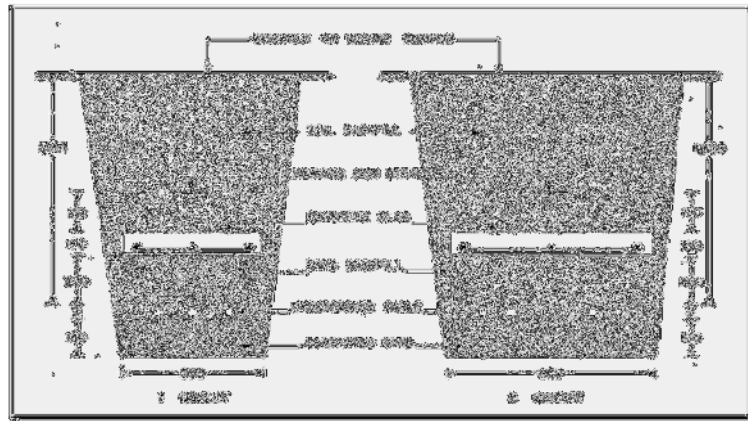
Kedalaman dan lebar lobang galian sesuai dengan jumlah jalur kabel tanah yang akan dipasang. Metoda proteksi mekanis kabel dapat berupa pelat beton yang diletakkan di atas kabel dengan jarak tertentu atau menggunakan proteksi cable duct yang dipasang di dalam tanah dan kabel ditarik dengan mesin tarik atau disusupkan secara manual melewati duct tersebut dari lobang pit penarikan. Ductnya dapat berupa pipa beton, concrete box, pipa PVC-AW, PE atau sejenis lainnya.

2.4.2.9.2 Direct Burial

Metode Tanam langsung cocok untuk sistem kabel listrik saluran kabel tanah tegangan rendah, tegangan menengah dan tegangan tinggi. Kabel diletakkan langsung di tanah pada kedalaman yang direkomendasikan sesuai acuan yang diterapkan, maupun menyesuaikan ketentuan aturan yang dipersyaratkan oleh pemerintah lokal

Pada metode ini kabel harus dilengkapi proteksi berupa pelat atau cover beton bersama dengan strip peringatan ditempatkan di atas kabel di sepanjang rute kabel. Penanda rute kabel ditempatkan di sepanjang rute untuk menunjukkan keberadaan kabel bawah tanah di bawah permukaan. Ini juga berfungsi sebagai peringatan bagi utilitas lain dan kontraktor pekerjaan lain untuk berhati-hati saat menggali di dalam area rute kabel.

Dasar pemilihan metode konstruksi ini cocok untuk memasang beberapa sirkuit (biasanya satu hingga dua sirkuit). Karena kabel ditanam langsung di tanah, jarak yang cukup harus diberikan antara setiap sirkuit untuk mencegah kerusakan pada satu sirkuit ketika yang lain gagal, mengurangi efek induktansi timbal balik antara kabel dan juga untuk memungkinkan perpindahan panas yang efisien dari kabel ke kabel. tanah sekitarnya. Kelebihan metode ini adalah masa konstruksi lebih pendek, biaya konstruksi lebih rendah dan perpindahan panas lebih baik jika dibandingkan dengan metode lainnya. Kerugiannya adalah jika terjadi penggantian atau peningkatan kabel membutuhkan waktu yang lebih lama.

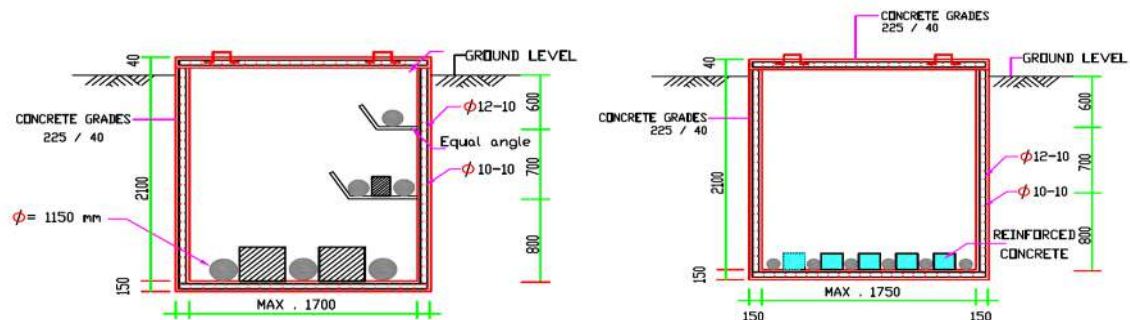


Gambar 2.21 Contoh Cross-section Metode Direct Burial

2.4.2.9.3 Concrete Duct

Metode konstruksi ini mencakup sistem kabel listrik saluran kabel tanah tegangan rendah, tegangan menengah dan tegangan tinggi. Proteksi kabel menggunakan konstruksi duct atau box beton untuk perlindungan dari benturan mekanis (Gambar 2.22). Penggunaan concrete duct ini bisa mereduksi kedalaman penggalian dikarenakan kabel sudah terproteksi secara menyeluruh oleh konstruksi beton. Jenis pekerjaan beton yang dapat digunakan bisa dengan beton cetak ditempat maupun beton cetak pabrikasi / precast

Dasar pertimbangan pemilihan metode ini, cocok untuk memasang banyak sirkuit kabel dalam satu parit karena memungkinkan pengaturan sirkuit yang mudah, kemudahan perbaikan dan penggantian sirkuit kabel yang gagal dan proteksi kabel yang menyeluruh. Kekurangan dari metode ini jika dibandingkan dengan metode konvensional lainnya adalah; (a) waktu konstruksi yang lebih lama (b) perpindahan panas yang buruk dari kabel ke lingkungan karena resistivitas termal yang lebih tinggi dari bahan yang digunakan dan kebutuhan space lahan yang relatif besar.

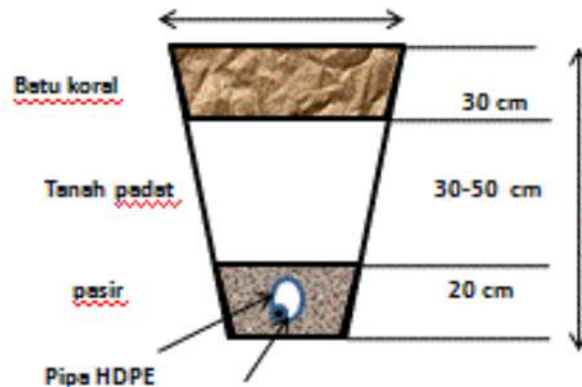


Gambar 2.22 Contoh Concrete Duct

2.4.2.9.4 Pipa Conduit

Metode tanam langsung juga bisa menggunakan sistem proteksi dengan pipa. Material pipa yang digunakan bisa berupa pipa beton, PVC-AW, HDPE atau baja galvanis. Secara metode pelaksanaan relatif sama dengan metode concrete duct, yaitu dilakukan penggalian tanah terlebih dahulu baru meletakkan konstruksi pipa.

Dasar pemilihan material pipa ditentukan berdasarkan tingkat kemudahan pemasangan, kekuatan dan ketahanan material. Untuk jenis material pipa beton memiliki kekuatan material yang lebih bagus daripada material lain, namun cukup sulit untuk pembelokan jalur kabel. Pipa baja galvanis juga bagus secara kekuatan material namun ada potensi terjadi korosi. Sedangkan untuk jenis pipa HDPE lebih fleksible secara pemasangan namun secara kekuatan masih dibawah beton.



Gambar 2.23 Contoh penggunaan pipa sebagai proteksi kabel

2.4.2.9.5 Trenchless/No-Dig Method

Untuk rute kabel yang tidak dimungkinkan dengan cara membuat galian terbuka (open cut), pemasangan kabel dapat dilaksanakan dengan menarik kabel tersebut dengan mesin tarik ke dalam lubang kabel yang telah disediakan atau dimasukkan secara manual melewati conduit tersebut dari lubang pit penarikan. Conduit dapat berupa pipa beton, pipa PVC AW, dan pipa HDPE. Pembuatan lubang conduit dapat dilakukan dengan cara manual boring, auger boring, pipe jacking dan horizontal directional drilling (HDD).

a. *Manual Boring*

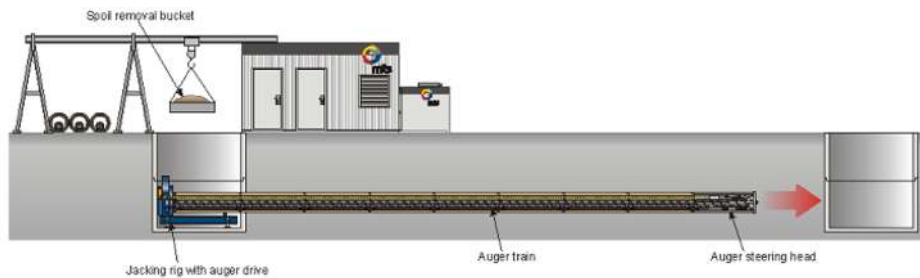
Pengeboran menggunakan peralatan sederhana dengan tenaga manusia atau tanpa menggunakan mesin bor. Metode ini hanya dapat dilakukan untuk dimensi lubang bor kecil dengan bentang pendek.

b. Auger Boring

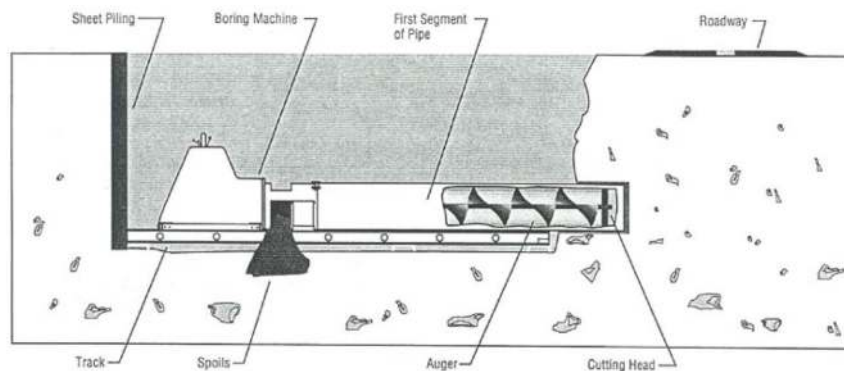
Auger *boring* dilakukan dengan menggunakan bor auger yang berputar di dalam casing. sementara pada saat yang sama mendorong pipa casing ke tanah. Mesin auger bor disamping berfungsi mengebor juga berfungsi mengeluarkan tanah dari dalam casing.

Teknik auger boring digunakan secara luas dan ini adalah metode yang paling umum digunakan untuk pengeboran melintasi jalan raya untuk dengan saluran pembuangan, saluran sanitasi, atau pipa air utama, saluran duct kabel.

Pada umumnya Auger boring dapat dilakukan hampir pada semua tipe tanah dengan kedalaman boring masih di atas muka air tanah.



Gambar 2.24 Auger Boring



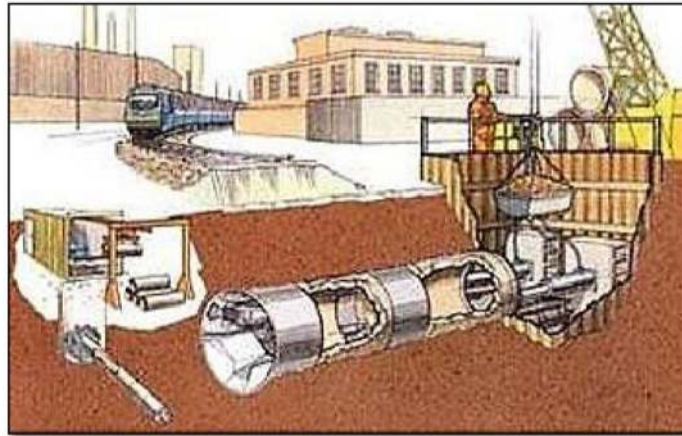
Gambar 2.25 Auger Boring

2.4.2.9.6 Pipe Jacking

Metode konstruksi ini meliputi sistem kabel listrik bawah tanah pada tingkat tegangan distribusi, sub-transmisi dan transmisi 22, 33 dan 115 kV tanpa pemotongan permukaan jalan. *High density polyethylene conduit (HDPE)* atau *Reinforced Thermosetting Resin Conduit (RTRC)* ditempatkan dalam selubung baja di mana beton disuntikkan untuk membungkus saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.26.

Seperti metode HDD, metode jacking pipa juga membutuhkan lubang kerja untuk memudahkan pemasangan pipa. Metode ini juga memastikan keandalan dan perlindungan yang lebih besar untuk

kabel karena selubung baja meningkatkan perlindungan mekanis untuk saluran HDPE atau RTRC yang ditempatkan di dalamnya.

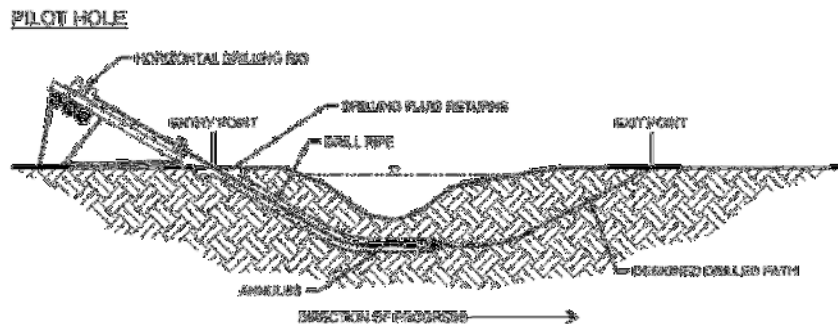


Gambar 2.26 Pipe Jacking

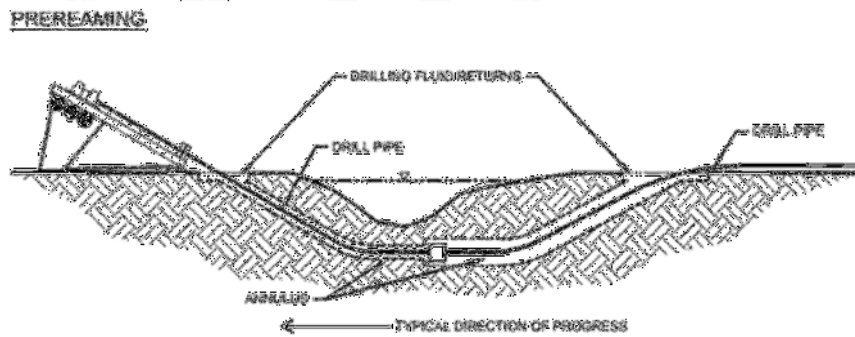
2.4.2.9.7 Horizontal Directional Drilling (HDD)

Dasar pertimbangan pemilihan metode ini yaitu pada kondisi rencana jalur kabel yang tidak memungkinkan untuk membuka lubang area kerja di sepanjang jalur kabel dapat menggunakan metode HDD. Waktu yang dibutuhkan untuk penggelaran kabel dengan metode HDD lebih cepat dibandingkan dengan metode lainnya. Tambahkan kondisi-kondisi dimana HDD tidak dapat dilakukan sesuai tabel yang dijelaskan sebelumnya.

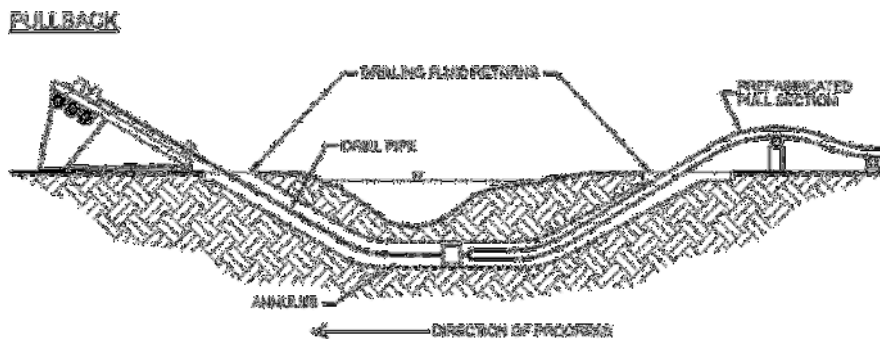
Pemasangan pipa oleh HDD umumnya dilakukan dalam tiga tahap seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.27, dan Gambar 2.29. Tahap pertama terdiri dari pengeboran lobang pilot berdiameter kecil di sepanjang jalur arah yang direncanakan. Tahap kedua adalah memperbesar lubang pilot ini ke diameter yang sesuai untuk pemasangan pipa. Tahap ketiga terdiri dari menarik pipa HDPE kembali ke lubang yang telah diperbesar.



Gambar 2.27 Pengeboran Lobang Pilot



Gambar 2. 28 Pembesaran Lobang Pilot



Gambar 2. 29 Penarikan Pipa HDPE

2.4.2.10 Pekerjaan reinstatement

Pekerjaan reinstatement harus dimulai sesegera mungkin setelah pekerjaan konstruksi selesai. Pekerjaan reinstatement meliputi penimbunan galian, pemadatan timbunan dan pekerjaan merapikan kembali permukaan. Jenis material timbunan dalam pekerjaan penimbunan galian minimal sama dengan material sebelumnya. Pada material timbunan tidak boleh terdapat sampah sisa konstruksi. Pekerjaan pemadatan timbunan harus dilakukan untuk menghindari penurunan tanah di masa mendatang. Timbunan harus dipadatkan per lapis (≤ 20 cm per lapis) dari dasar timbunan sampai level permukaan timbunan sama dengan permukaan sekitar. Kepadatan timbunan minimal harus sama dengan kepadatan tanah disekitarnya. Pada pekerjaan pemadatan timbunan harus memperhatikan posisi kabel supaya tidak terjadi kerusakan kabel. Pekerjaan merapikan kembali permukaan meliputi pembersihan sisa material konstruksi dan perbaikan permukaan seperti penambalan perkerasan, perbaikan tepi perkerasan, peleburan permukaan yang retak, dan menghilangkan keriting (corrugations) pada permukaan. Kondisi permukaan hasil pekerjaan reinstatement harus sama dengan kondisipermukaan semula.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswin Aswin, June 9, 2022, Pustek E&T. Design Consideration of HDD Pipeline
- CIGRE TB 880, 2022, "Power cable rating examples for calculation tool verification".
- IEC 60287-1-1, 2014 "Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General".
- IEC 60287-2-1, 2015, "Electric cables – Calculation of the current rating –Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance".
- Ilham fikriansyah, 17 Feb 2023 artikel detikbali "Profesional Adalah: Manfaat, Etika, Konsep, dan Ciri-cirinya" selengkapnya <https://www.detik.com/bali/berita/d-6574428/profesional-adalah-manfaat-etika-konsep-dan-ciri-cirinya>
- Majalah online Sisi. 3 September 2021. Artikel Ketahui Karakter Profesional dalam Bekerja dengan 5 Ciri Ini. <https://sisi.id/stories/life-at-sisi/ketahui-karakter-profesional-dalam-bekerja-dengan-5-ciri-ini/#:~:text=3.Memiliki%20kode%20etik%20yang,tetapi%20perlahan%20kita%20akan%20terbiasa.>
- Magiyojayaperkasa, 17/01/2025, Auger Boring, Ini Dia Manfaatnya! <https://marigojayaperkasa.com/auger-boring-ini-dia-manfaatnya/#:~:text=Dalam%20instalasi%20pipa%20menggunakan%20auger,dalam%20pemasangan%20pipa%20dan%20saluran.>
- Media Universitas Negeri Yogyakarta, Laporan praktik keinsinyuran, <https://eprints.uny.ac.id/8486/3/bab%20%20NIM%2007513241020.pdf#:~:text=Praktik%20Industri%20diharapkan%20akan%20dapat%20memberikan%20ilmu,keterampilan%20yang%20sesuai%20dengan%20bidang%20keahlian%20busana.>
- Media Kampus UPI, metode pengumpulan data merupakan langkah yang paling strategis dalam penelitian karena tujuan utama penelitian adalah memperoleh data, https://repository.upi.edu/457/6/S_PKN_0901640_CHAPTER3.pdf
- Owowa, R. O., Ossia, C. V., & Akhigbemidu, C. O. (2016). *Analyses of Pipelines for Deep Horizontal Directional Drilling Installation*. 4(4), 153–162. <https://doi.org/10.12691/ajme-4-4-4>)
- PLN Enjiniring 2025. Laporan QAQC bulan desember 2025.
- PLN Enjiniring. 2024 laporan Engineering Design Concept
- PLN Enjiniring, PE.PLNE.C.05.03 Prosedur Pemastian dan Pengendalian Mutu Produk Enjiniring.
- Willoughby, D., (2005). *Horizontal Directional Drilling –Utility and Pipeline Applications*, McGraw-Hill, New York