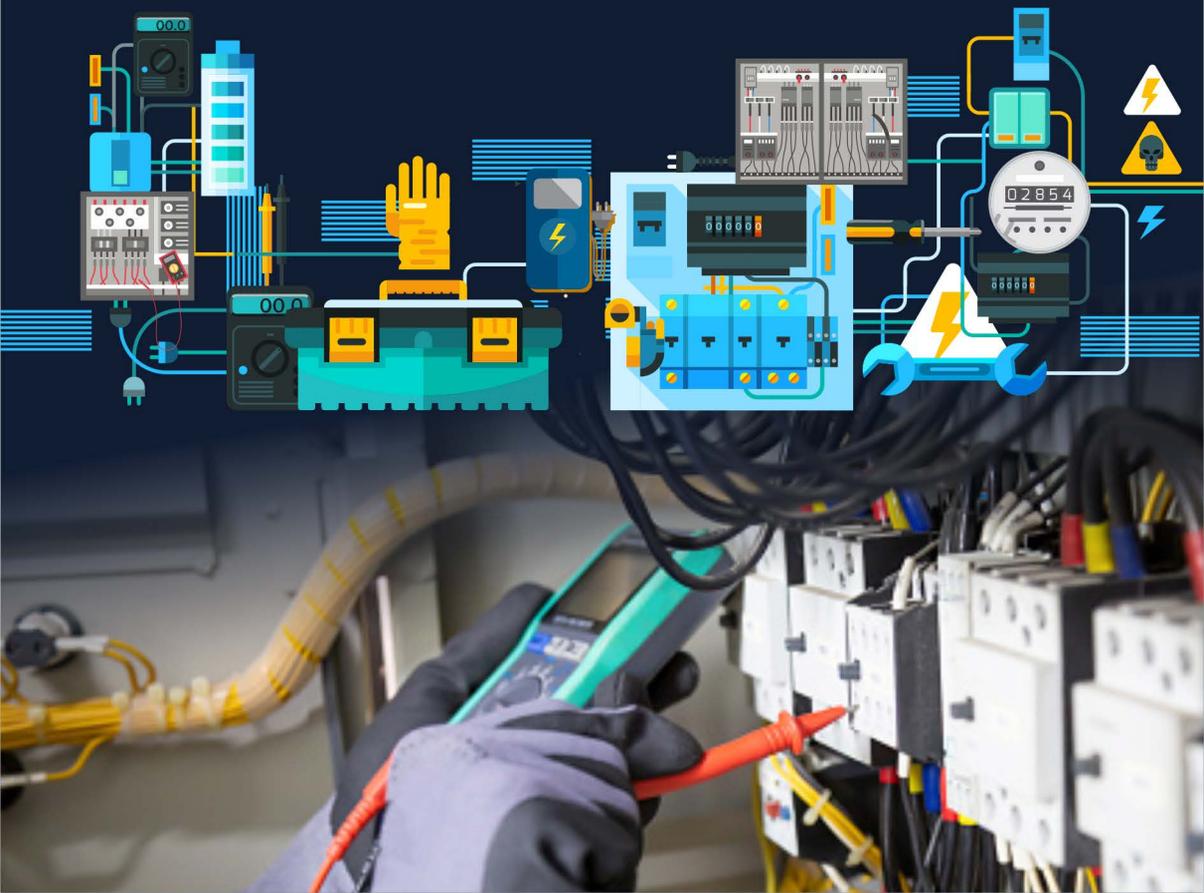


Dr. Ir. Djoko Laras B.T.
Ir. Muhammad Ali, M.T.
Renaldo Rizqi Yanuar, M.Pd.

Pemeriksaan dan Pengujian **SISTEM TENAGA LISTRIK**



Pemeriksaan dan Pengujian SISTEM TENAGA LISTRIK

Dr. Ir. Djoko Laras B.T.
Ir. Muhammad Ali, M.T.
Renaldo Rizqi Yanuar, M.Pd.

**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014
TENTANG HAK CIPTA**

Pasal 2

Undang-Undang ini berlaku terhadap:

- a. semua Ciptaan dan produk Hak Terkait warga negara, penduduk, dan badan hukum Indonesia;
- b. semua Ciptaan dan produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia yang untuk pertama kali dilakukan Pengumuman di Indonesia;
- c. semua Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dan pengguna Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia dengan ketentuan:
 1. negaranya mempunyai perjanjian bilateral dengan negara Republik Indonesia mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait; atau
 2. negaranya dan negara Republik Indonesia merupakan pihak atau peserta dalam perjanjian multilateral yang sama mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait.

**BAB XVII
KETENTUAN PIDANA**

Pasal 112

Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (3) dan/atau Pasal 52 untuk Penggunaan Secara Komersial, dipidana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp300.000.000,00 (tiga ratus juta rupiah).

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Pemeriksaan dan Pengujian SISTEM TENAGA LISTRIK

Dr. Ir. Djoko Laras B.T.
Ir. Muhammad Ali, M.T.
Renaldo Rizqi Yanuar, M.Pd.



Pemeriksaan dan Pengujian Sistem Tenaga Listrik

Oleh:

Dr. Ir. Djoko Laras B.T., dkk.

ISBN: 978-602-498-309-3

Edisi Pertama, Oktober 2021

Diterbitkan dan dicetak oleh:

UNY Press

Jl. Gejayan, Gg. Alamanda, Komplek Fakultas Teknik UNY

Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Telp: 0274 – 589346

Mail: unypenerbita@uny.ac.id

© 2021 Dr. Ir. Djoko Laras B.T., dkk

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

Anggota Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)

Editor : Dr. Soeharto

Desain Sampul : Ngadimin

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Prakata

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku dengan judul *Inspeksi dan Tes Sistem Kelistrikan Mengacu Standar PUIL dan SNI* ini. Buku ini disusun guna melengkapi pustaka tentang Teknik Tenaga Listrik yang masih kurang di Indonesia. Dengan hadirnya buku ini, mahasiswa dapat lebih mudah belajar mata kuliah Teknik Inspeksi dan Tes Sistem Tenaga Listrik sehingga diharapkan mampu membekali bidang ilmu teknik elektro.

Buku ini membahas tentang materi teknik Inspeksi dan Tes Sistem Kelistrikan baik teori maupun aplikasinya dalam dunia kerja. Secara garis besar, buku ini membahas tentang konsep dasar sistem tenaga listrik, potensi bahaya listrik, Inspeksi Sistem Tenaga Listrik, Pengujian Sistem Tenaga Listrik, Inspeksi dan Tes pada Pembangkit Listrik, Saluran Transmisi, Jaringan Distribusi, Instalasi Listrik Pemakaian dan Sistem Proteksi. Pembahasan dilengkapi dengan contoh aplikasi, baik di sistem tenaga listrik baik rumah tangga maupun industri sehingga akan memudahkan pembaca dalam memahaminya.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan penyempurnaan buku ini. Tidak ada gading yang tidak retak, demikian pula dengan buku ini yang masih jauh dari kata sempurna. Kritik, saran, dan masukan akan sangat diharapkan dan semoga buku ini dapat memberikan manfaat. Amin.

Yogyakarta, 1 Oktober 2021

Daftar Isi

HALAMAN JUDUL.....	i
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
BAB 1	
DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK.....	1
1.1. Pengantar	1
1.2. Komponen Sistem Tenaga Listrik	2
1.3. Latihan Soal.....	21
BAB 2	
POTENSI BAHAYA LISTRIK.....	25
2.1. Bahaya Listrik.....	26
2.2. Penyebab Kecelakaan Akibat Listrik	30
2.3. Persyaratan Sistem Instalasi Listrik	34
2.4. Latihan Soal.....	38
BAB 3	
INSPEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK.....	41
3.1. Inspeksi.....	41
3.2. Ruang Lingkup Pekerjaan Inspeksi Tenaga Listrik.....	42
3.3. Pemeriksaan Dokumen	46
3.4. Pemeriksaan Visual.....	47
3.5. Pemeliharaan.....	48
3.6. Pelaksanaan Pemeriksaan.....	51
3.7. Latihan Soal.....	54
BAB 4	
PENGUJIAN SISTEM DAN PERALATAN TENAGA LISTRIK...	57
4.1. Pendahuluan	57
4.2. Jenis Pengujian Sistem Tenaga Listrik	58
4.3. <i>Testing</i> dan Komisioning Pekerjaan Kelistrikan.....	62

4.4. Regulasi dan Standar	63
4.5. Persiapan Pengujian	65
4.6. Pelaksanaan Pengujian.....	69
4.7. Pelaporan Kegiatan Inspeksi dan Pengujian	71
4.8. Latihan Soal.....	72

BAB 5

INSPEKSI DAN TES UNIT PEMBANGKIT LISTRIK.....	75
5.1. Jenis-jenis Pembangkit Listrik.....	76
5.2. Regulasi dan Standar	82
5.3. Persiapan Inspeksi dan Pengujian.....	84
5.4. Pemeriksaan	87
5.5. Pengujian.....	91
5.6. Pelaksanaan Pengujian.....	98
5.7. Pelaporan Kegiatan Inspeksi dan Pengujian	99
5.8. Latihan Soal.....	101

BAB 6

INSPEKSI DAN TES SALURAN TRANSMISI	105
6.1. Pendahuluan	105
6.2. Jenis Saluran Transmisi.....	108
6.3. Komponen Saluran Transmisi Tenaga Listrik	111
6.4. Latihan Soal.....	147

BAB 7

INSPEKSI DAN TES JARINGAN DISTRIBUSI	149
7.1. Pengantar	149
7.2. Klasifikasi Jaringan Distribusi	151
7.3. Topologi Jaringan Distribusi	155
7.4. Komponen Jaringan Distribusi.....	162
7.5. Pemeriksaan dan Pengujian Jaringan Distribusi	175
7.6 Latihan Soal.....	187

BAB 8

INSPEKSI DAN TES INSTALASI PEMANFAATAN 191

8.1. Prinsip Dasar Instalasi Listrik 191

8.2. Pemilihan Perlengkapan Listrik 195

8.3. Kode Proteksi International 197

8.4. Pentanahan..... 198

8.5. Pengujian..... 205

8.6. Latihan Soal..... 221

BAB 9

INSPEKSI DAN TES SISTEM PROTEKSI PETIR 225

9.1. Pendahuluan 225

9.2. Sistem Proteksi Petir 229

9.3. Pemeriksaan dan Pengujian Sistem Proteksi Petir 238

9.4. Latihan Soal..... 242

DAFTAR PUSTAKA..... 245

BAB 1

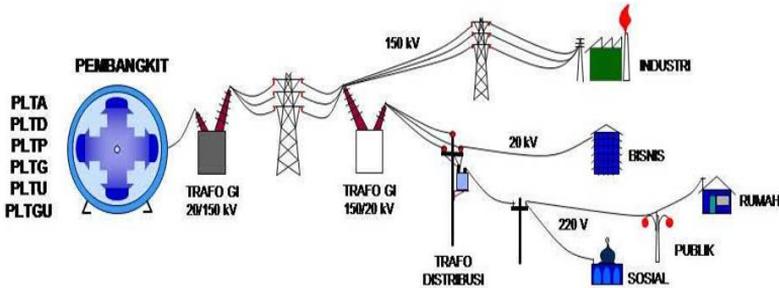
DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

1.1. Pengantar

Di era modern saat ini, kehidupan manusia sangat sulit untuk dipisahkan dari energi listrik. Manusia sekarang sangat bergantung pada energi listrik sehingga banyak yang mengatakan bahwa tanpa listrik manusia akan mengalami kehampaan dalam kehidupan. Kondisi ini dapat dilihat dari berbagai peralatan yang digunakan manusia kebanyakan membutuhkan energi listrik seperti lampu, televisi, kipas angin, komputer, telepon, penanak nasi, radio, pompa air, setrika, alat cukur, alat pijat, alat olahraga, dan berbagai macam peralatan lain yang hampir semuanya membutuhkan listrik sebagai sumber energi. Bahkan dalam bidang transportasi sekarang mulai beralih menggunakan energi listrik seperti sepeda listrik, becak listrik, mobil listrik, dan kereta api listrik.

Pertimbangan utama listrik menjadi pilihan utama kebutuhan energi manusia modern yaitu karena energi listrik mempunyai kelebihan dibanding energi lainnya yaitu: 1) mudah dibangkitkan, 2) mudah diubah menjadi energi lain, 3) mudah ditransmisi dan distribusikan, 4) efisiensi tinggi, 5)

kehandalan tinggi, 6) aman, dan 7) ramah lingkungan. Listrik yang digunakan manusia sehari-hari sebenarnya dihasilkan oleh pembangkit listrik lalu disalurkan melalui saluran transmisi dan didistribusikan ke konsumen-konsumen yang membutuhkannya seperti dapat dilihat pada Gambar 1.1. di bawah ini.



Gambar 1.1. Diagram Sistem Tenaga Listrik

Gambar 1.1. menjelaskan tentang sistem tenaga listrik yang terdiri atas komponen-komponen yang saling bekerja sama untuk mencapai tujuan yaitu untuk menghasilkan sumber energi listrik yang berkualitas bagi konsumen sesuai dengan kebutuhannya. Untuk menghasilkan energi listrik yang berkualitas, dibutuhkan sistem tenaga listrik yang andal.

1.2. Komponen Sistem Tenaga Listrik

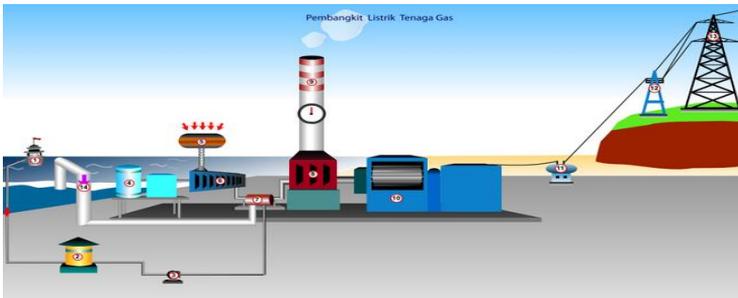
Sebagai sebuah sistem, tenaga listrik tersusun atas komponen-komponen yang saling bekerja sama dalam mewujudkan tujuan. Komponen utama penyusun sistem tenaga listrik yaitu:

1. Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik merupakan komponen sistem tenaga listrik yang mempunyai fungsi membangkitkan energi listrik dengan cara melakukan konversi dari energi lain. Energi lain yang banyak digunakan untuk membangkitkan energi listrik biasanya berasal dari gas, uap, panas bumi, air, angin, matahari, nuklir, dan energi-energi lainnya.

a. Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Pembangkit Listrik yang banyak digunakan di Indonesia yaitu pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) karena berbagai keunggulan dibanding dengan pembangkit listrik jenis lainnya. Salah satu keunggulannya yaitu dari segi efisiensi dan kebersihan lingkungan. Pembangkit listrik tenaga gas mempunyai efisiensi yang tinggi berkisar 85% dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan yang berat seperti pada PLTU. Gas yang digunakan adalah jenis gas alam atau LNG yang digunakan untuk memutar turbin yang disambung atau dikopel dengan mesin listrik (generator listrik). Karena mesin listrik pada sisi inputnya dihubungkan dengan turbin, maka mesin listrik berfungsi sebagai generator yang akan menghasilkan listrik di sisi output. Berikut ini gambaran proses pembangkitan energi listrik pada PLTG.

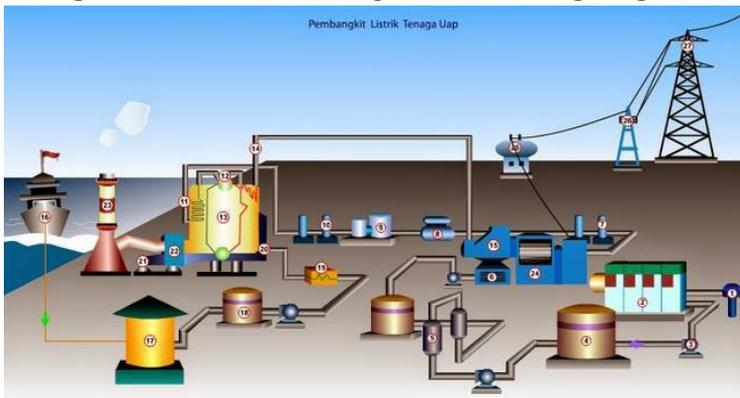


Gambar 1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Gas buang PLTG mempunyai suhu yang masih tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk PLTU. Pembangkit listrik tenaga gas yang gas buangnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar PLTU disebut dengan nama Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU).

b. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Batu Bara)

Pembangkit listrik lain yang banyak digunakan di Indonesia adalah PLTU yang menggunakan bahan baku batu bara. Batu bara digunakan untuk memasak air untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang kemudian digunakan untuk memutar turbin. Turbin disambung dengan generator sehingga akan menghasilkan energi listrik. PLTU dengan bahan baku batu bara mempunyai kelemahan yaitu efisiensi yang rendah dan abu hasil pembakaran batu bara yang dapat mengotori lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan peralatan penyedot abu batu bara agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan.



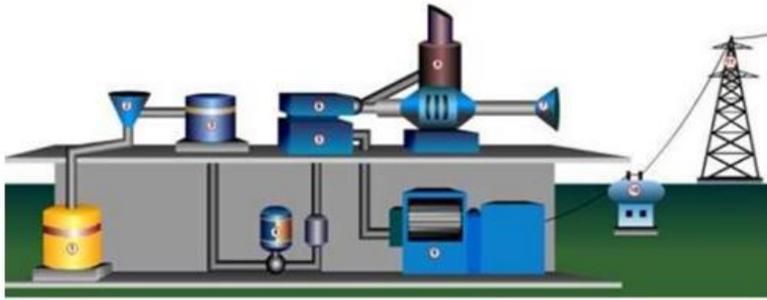
Gambar 1.3. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU biasanya dibangun di dekat pantai dengan pertimbangan pengiriman batu bara melalui kapal laut. Selain kemudahan pengiriman batu bara, juga ketersediaan air untuk dimasak pada Boiler dan untuk pendingin

membutuhkan air dalam jumlah besar. Dengan lokasi di pinggir laut, menjadikan operasional pembangkit listrik tenaga uap lebih mudah dan ekonomis. Pembangkit Listrik Tenaga Uap dapat dijumpai di Batang, Cilacap Jawa Tengah, Paiton, Grati Jawa Timur, Muara Angke Jakarta, Suralaya, Pelabuhan Ratu Jawa Barat, PLTU Bali, Sumatra, dan PLTU lainnya.

c. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (Minyak Solar)

Pembangkit listrik lainnya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan bahan bakar minyak solar. PLTD banyak digunakan untuk pembangkit listrik skala kecil dan digunakan untuk cadangan jika listrik utama padam. PLTD skala kecil sering disebut dengan istilah Genset (*Generator Set*) yang biasa ditemui di rumah, kantor, instansi maupun industri baik sebagai sumber utama maupun cadangan. Sebagai sumber energi utama PLTD atau genset banyak dipakai di industri yang belum ada aliran listrik dari PLN sehingga harus mempunyai sumber energi listrik sendiri. Selain itu, genset juga banyak dipakai untuk menggerakkan peralatan listrik seperti pompa air, gergaji listrik, mesin potong, mesin bor, dan mesin-mesin lainnya untuk membantu pekerjaan.

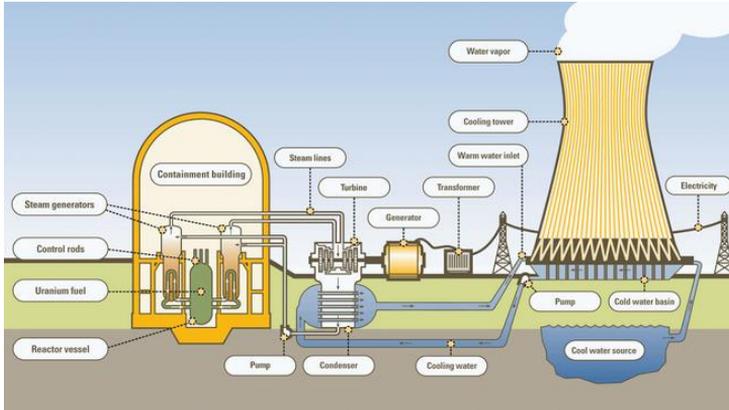


- | | | |
|---|------------------------------|-----------------------|
| 1. Tangki penyimpanan bahan bakar. | 4. Pengabut | 9. Generator |
| 2. Penyaring bahan bakar | 5. Mesin diesel. | 10. Trafo |
| 3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara | 6. Turbo charger. | 11. Saluran transmisi |
| | 7. Penyaring gas pembuangan. | |
| | 8. Tempat pembuangan gas. | |

Gambar 1.4. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

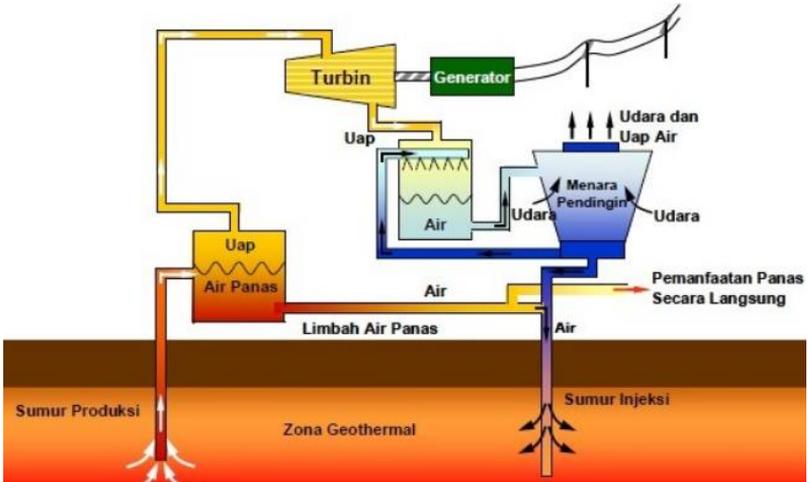
d. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Pembangkit listrik yang banyak digunakan oleh negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang, China, Korea, Taiwan, dan negara-negara Eropa, yaitu PLTN dengan bahan baku radio aktif. PLTN mempunyai keunggulan yaitu efisiensi yang sangat tinggi. Perbandingan efisiensi PLTN dan PLTU dapat dilihat dari penggunaan bahan baku 1 gram Uranium pada PLTN setara dengan 2 ton batu bara pada PLTU. Dengan efisiensi yang sangat tinggi maka biaya listrik dapat ditekan menjadi sangat murah. Akan tetapi, karena faktor keamanan banyak negara tidak berani menggunakan PLTN untuk pembangkit listrik utamanya.



Gambar 1.5. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

- e. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (*Geo Thermal*)
- Panas bumi atau *Geo Thermal* merupakan energi alam yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Indonesia sebagai negara yang mempunyai banyak gunung berapi mempunyai potensi panas bumi yang cukup melimpah. Salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi panas bumi yaitu PLTP Dieng Jawa Tengah, PLTP Kamojang Jawa Barat, dan PLTP Garut Jawa Barat. Prinsip kerja PLTP hampir mirip dengan PLTU, hanya pada PLTP tidak diperlukan pemasakan air untuk diubah menjadi uap. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTP berasal dari energi panas bumi yang ada di dalam tanah dan dipompa untuk digunakan memutar turbin generator. Dengan energi panas bumi, tidak perlu ada *boiler* atau pemasakan air untuk diubah menjadi uap. Secara sederhana proses pembangkitan energi listrik dengan panas bumi dapat dilihat pada Gambar 1.6.

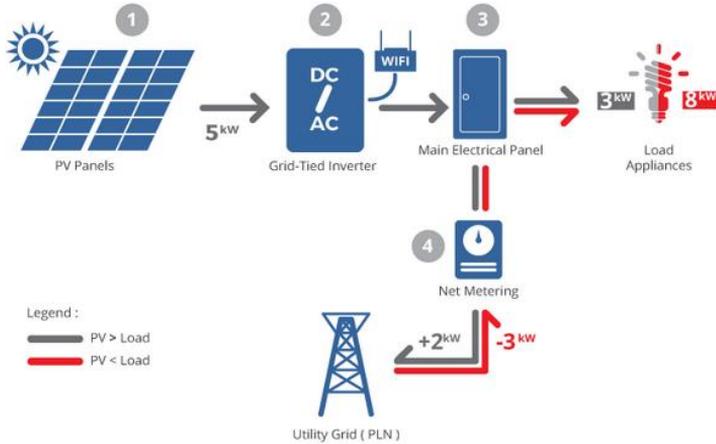


Gambar 1.6. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

f. Pembangkit Listrik Tenaga Matahari (Solar)

Sumber energi listrik masa depan adalah yang dapat diperbarui (*renewable energy*) seperti energi matahari, air, angin, bio gas, energi ombak, dan energi-energi yang dapat diperbarui lainnya. Energi matahari dipercaya mempunyai jumlah yang sangat besar dan tidak akan habis untuk jangka waktu yang sangat panjang, namun pemanfaatannya belum banyak diaplikasikan terutama untuk listrik. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Solar) merupakan alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Berbeda dengan pembangkit listrik tenaga gas, uap, nuklir dan diesel yang menghasilkan listrik dalam jumlah besar dan biasanya menggunakan listrik AC, PLT energi matahari biasanya berukuran relatif kecil dan menggunakan listrik DC. PLTS banyak digunakan untuk energi cadangan atau untuk suplai listrik di daerah yang belum teraliri energi listrik. Faktor biaya yang masih mahal dan umur peralatan

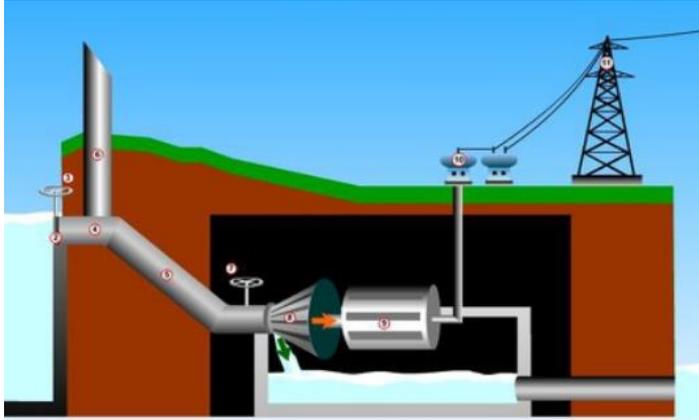
yang cukup pendek, menjadikan PLTS masih belum optimal. Namun, di masa mendatang di mana energi-energi lain akan mengalami habis (gas, batu bara, minyak bumi, nuklir) maka energi matahari menjadi solusi energi di masa mendatang.



Gambar 1.7. Pembangkit Listrik Tenaga Matahari/Solar (PLTS)

g. Pembangkit Listrik Tenaga Air

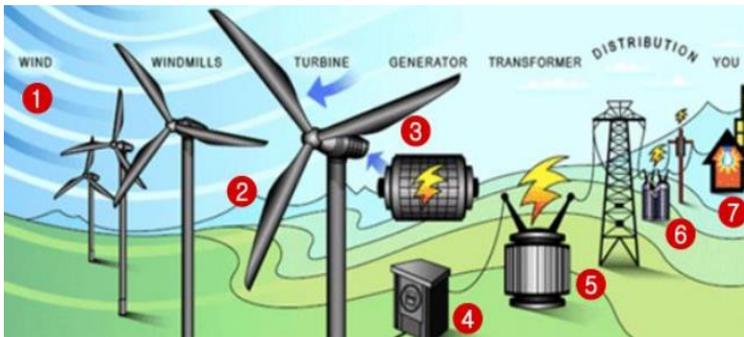
Energi yang dapat diperbarui lainnya yaitu air. Indonesia terletak di daerah tropis yang mempunyai banyak sungai besar sehingga mempunyai potensi untuk menggunakan PLTA. Namun, pemanfaatan energi air masih belum optimal karena minimnya bendungan yang dibangun dan biaya investasi yang cukup tinggi. PLTA memanfaatkan aliran air sungai yang dibendung dan dibuat aliran air untuk memutar turbin yang dikopel dengan mesin generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Gambar 1.8. dapat menjelaskan gambaran bagaimana PLTA dapat menghasilkan energi listrik.



Gambar 1.8. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

h. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Angin merupakan salah satu energi yang dapat diperbarui dan masih belum banyak dimanfaatkan untuk energi listrik. Untuk memanfaatkan energi angin menjadi listrik diperlukan kincir angin (turbin angin) yang diletakkan di daerah yang kecepatan anginnya cukup besar. Selanjutnya, turbin angin dihubungkan dengan generator listrik sehingga mampu menghasilkan energi listrik untuk dapat digunakan baik untuk perumahan maupun usaha dan industri.



Gambar 1.9. Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB)

i. Pembangkit Listrik Tenaga lainnya

Energi alam yang belum dimanfaatkan sangat banyak karena keterbatasan ilmu dan teknologi sekarang. Contoh energi yang dapat dimanfaatkan yaitu energi ombak, energi bio gas, energi sampah, energi limbah pembuangan saluran air, dan energi-energi lainnya.

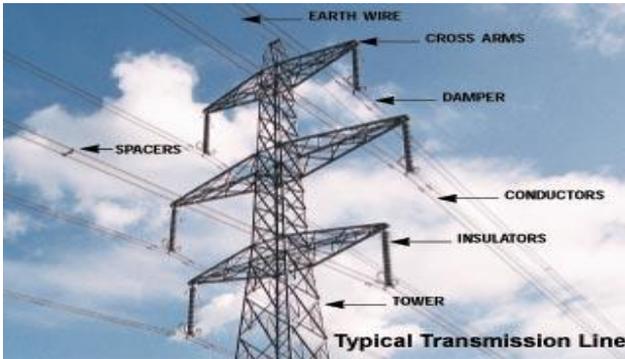
Dengan semakin menipisnya kandungan energi fosil (minyak dan gas) di dunia, bukan tidak mungkin di masa-masa mendatang energi alternatif terutama energi yang bersifat *renewable* akan mengalami perkembangan yang lebih baik.

2. Saluran Transmisi Listrik

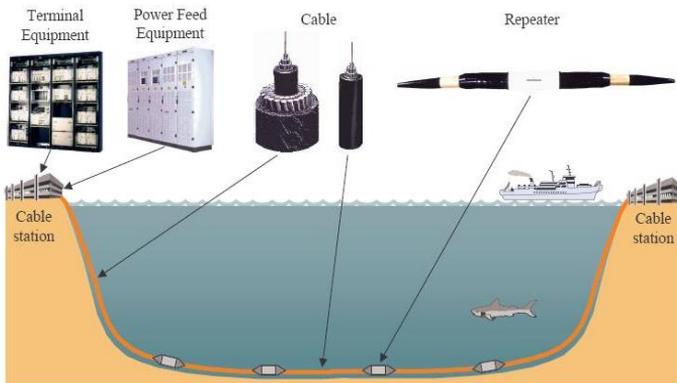
Komponen sistem tenaga listrik yang ke dua adalah saluran transmisi yang berfungsi untuk mengirimkan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik menuju pusat-pusat beban (daerah-daerah yang membutuhkan). Pada umumnya pembangkit listrik berlokasi di pantai, bendungan, atau daerah terpencil lainnya yang jauh dari perkotaan dan industri. Untuk itu diperlukan saluran transmisi untuk mengirimkan listrik ke konsumen yang pada umumnya banyak terdapat di daerah perkotaan.

Saluran transmisi listrik pada umumnya menggunakan saluran udara (*overhead*) dengan tegangan tinggi. Di Indonesia dikenal beberapa saluran transmisi udara, yaitu Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dengan tegangan 500 KV, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dengan tegangan 150, 170 dan 275 KV. Saluran transmisi udara dipilih karena alasan teknik dan ekonomis dibanding dengan saluran transmisi bawah tanah atau di dasar laut. Saluran transmisi udara dapat dilihat di sepanjang jalan pantai utara (Pantura), atau pantai selatan yang menghubungkan dari pusat-pusat pembangkit listrik ke pusat-pusat beban.

Penggunaan tegangan tinggi dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas penyaluran dan mengurangi rugi-rugi penyaluran. Dengan tegangan tinggi, maka ukuran penghantar dapat diperkecil sehingga dari sisi biaya akan lebih murah. Dengan tegangan tinggi, arus yang melewati saluran akan lebih kecil sehingga rugi-rugi penyaluran dapat diminimalisir. Berikut ini adalah contoh saluran transmisi udara tegangan ekstra tinggi yang membentang di Jalur Pantura.



Gambar 1.10. Saluran Transmisi Listrik Udara Tegangan Ekstra Tinggi



Gambar 1.11. Saluran Transmisi Listrik Bawah Laut

3. Jaringan Distribusi Listrik

Komponen sistem tenaga listrik yang ketiga yaitu jaringan distribusi energi listrik. Listrik yang disalurkan melalui saluran transmisi mempunyai tegangan yang sangat tinggi, sehingga perlu diturunkan agar dapat digunakan oleh konsumen. Penurunan tegangan saluran transmisi dari 500 KV atau 150 KV dilakukan di gardu induk untuk diturunkan menjadi tegangan 20 KV untuk konsumsi industri dan selanjutnya dari 20 KV diturunkan menjadi tegangan 220/380 Volt untuk rumah tangga.

Jaringan distribusi listrik biasanya dilakukan oleh PT PLN mulai Gardu Induk sampai dengan gardu distribusi untuk kemudian disalurkan kepada konsumen. Distribusi energi listrik dari PT PLN dilakukan melalui jaringan udara melalui tiang-tiang penyangga di tepi jalan atau dapat juga dilakukan dengan jaringan bawah tanah. Pada umumnya, di daerah perkotaan jaringan distribusi menggunakan instalasi bawah tanah, sedangkan di pedesaan menggunakan instalasi udara. Pemilihan jenis instalasi listrik pada jaringan distribusi dilakukan dengan pertimbangan, antara lain kemudahan, biaya, estetika, keamanan, kemudahan perawatan dan perbaikan.



Gambar 1.12. Jaringan Distribusi Listrik Udara

4. Instalasi Pemanfaatan Energi Listrik

Komponen sistem tenaga listrik yang keempat yaitu konsumen atau pengguna energi listrik. Konsumen listrik dapat dibedakan menurut besar kecilnya energi yang listrik yang digunakan atau juga berdasar jenis penggunaannya. Konsumen listrik dengan penggunaan kecil adalah rumah tangga, rumah ibadah, ruko, dan lainnya yang berlangganan listrik dengan tegangan rendah 220 Volt listrik satu fasa. Konsumen yang menggunakan listrik dalam skala sedang biasanya adalah dunia usaha, rumah ibadah, sekolah, gedung perkantoran, industri rumah tangga dan kecil, puskesmas, klinik, dan lain sebagainya. Adapun konsumen yang menggunakan listrik dalam jumlah besar yaitu industri menengah ke atas, perguruan tinggi, unit usaha, bengkel, rumah sakit, hotel, dan lain sebagainya. Konsumen dengan penggunaan listrik yang besar umumnya berlangganan listrik tegangan menengah atau tegangan tinggi yang selanjutnya didistribusikan sendiri sesuai dengan kebutuhan penggunaannya.

Pemakai energi listrik mengharapkan kualitas listrik yang baik dengan indikasi sebagai berikut: 1) stabil tegangan dan frekuensinya; 2) kontinuitas pelayanan tinggi; 3) kemurnian gelombang sinus listrik AC; 4) aman; dan 5) ramah lingkungan.

Instalasi pemakaian tenaga listrik biasanya digunakan untuk berbagai kebutuhan baik di rumah tangga, dunia usaha maupun industri. Peralatan listrik yang digunakan oleh pengguna dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian diantaranya:

1. Penerangan;
2. Pemanas;
3. Pendingin;
4. *Lift*;
5. Konveyor;
6. Peralatan elektronik;
7. Peralatan dapur;
8. Dll.

5. Sistem Proteksi

Komponen sistem tenaga listrik yang terakhir yaitu sistem proteksi. Untuk menjamin keamanan penggunaan energi listrik perlu dilengkapi dengan peralatan proteksi (pengaman). Energi listrik mempunyai potensi bahaya seperti energi-energi lain, oleh karena itu pemanfaatan energi listrik harus dilakukan oleh personel yang kompeten dan berpengalaman dalam melaksanakan pekerjaan kelistrikan. Peralatan proteksi bertujuan untuk mencegah terjadinya bahaya yang disebabkan oleh listrik baik bahaya bagi pengguna maupun bahaya bagi peralatan listrik agar tidak rusak. Penggunaan energi listrik di Indonesia sudah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berupa Peraturan Instalasi Listrik (PUIL) yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) untuk mengatur penyediaan, penyaluran, pendistribusian dan pemakaian energi listrik oleh pihak-pihak terkait agar memenuhi kesehatan, keamanan, keandalan dan ramah terhadap lingkungan.

Listrik di Indonesia menggunakan standar tegangan 220 Volt untuk listrik AC 1 fasa dengan frekuensi 50 Hz. Beban atau peralatan listrik harus menyesuaikan dengan standar yang berlaku di Indonesia agar peralatan aman digunakan dan tidak membahayakan pemakaiannya dan juga peralatan itu sendiri. Untuk menjamin keamanan pemakaian energi listrik, PUIL sudah mensyaratkan sistem keamanan yang harus dipenuhi.

Pada umumnya kecelakaan yang dapat diakibatkan oleh energi listrik yaitu 1) berupa sentuhan baik langsung maupun tidak langsung oleh manusia, 2) beban melebihi kapasitas daya terpasang, dan 3) hubung singkat. Untuk itu diperlukan peralatan proteksi diantaranya:

a. Pengaman Sentuhan Langsung

Listrik mempunyai potensi bahaya jika bagian bertegangan tersentuh oleh manusia secara langsung. Kejadian manusia

menyentuh bagian listrik yang bertegangan disebut sebagai tersetrum.

Hal ini bisa mengakibatkan kecelakaan yang berakibat kematian. Untuk mencegah terjadinya sentuhan langsung terhadap bagian listrik yang bertegangan, PUIL mensyaratkan setiap bagian instalasi listrik yang mempunyai tegangan harus dilengkapi dengan isolasi yang aman bagi manusia. Bahan isolasi harus berkualitas agar tidak mudah rusak yang dapat mengakibatkan sentuhan langsung terhadap bagian yang bertegangan. Isolasi dapat menggunakan bahan-bahan isolator yang telah dibahas pada bab I yaitu karet, plastik, keramik, kertas, dan bahan-bahan lainnya. Selain harus berisolasi, perlu ada peringatan kepada pengguna listrik akan bahaya jika menyentuh atau memegang secara langsung bagian listrik yang bertegangan.



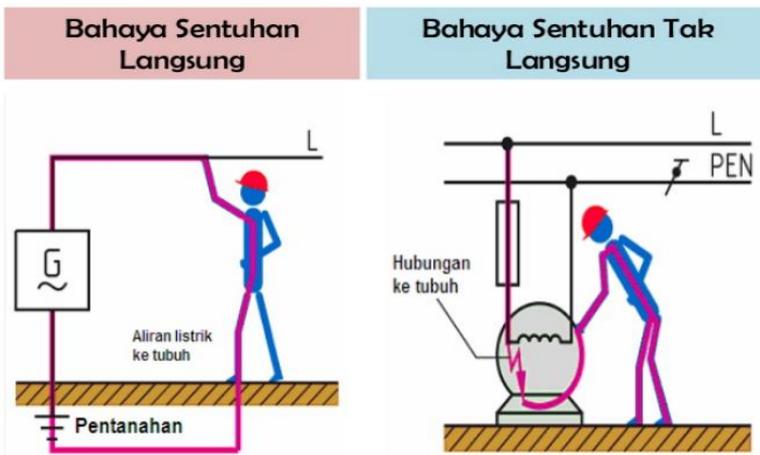
Gambar 1.13. Tersengat Listrik

b. Pengaman Sentuhan Tidak Langsung

Selain bahaya tersentuh secara langsung, kadang terjadi bahaya sentuhan tidak langsung artinya manusia menyentuh bagian peralatan listrik yang seharusnya tidak bertegangan tetapi menjadi bertegangan. Contoh kasus sentuhan tidak langsung adalah jika manusia menyentuh bagian belakang casing komputer yang terbuat dari logam.

Seharusnya bagian chasing komputer tidak mempunyai tegangan listrik karena tidak ada hubungan langsung dengan listrik, akan tetapi pada kenyataannya jika manusia menyentuhnya akan terkena sengatan listrik yang cukup mengagetkan. Besarnya tegangan listrik ini tidak terlalu besar tetapi dapat mengakibatkan kaget dan rasa sakit.

Sentuhan tidak langsung diakibatkan oleh adanya beban listrik yang bersifat induktif (lilitan) seperti pada komputer ada trafo yang digunakan pada rangkaian *power supply*. Dengan adanya beban induktif inilah, maka sesuai dengan prinsip muatan listrik, maka proses induksi juga mengarah ke chasing komputer yang terbuat dari logam. Akibatnya logam yang tidak berhubungan langsung dengan listrik menjadi bertegangan. Bagaimana cara mengatasi bahaya sentuhan tidak langsung? Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menghubungkan bagian logam pada chasing komputer dengan tanah atau sering disebut dengan *Grounding*. Dengan cara ini, maka muatan listrik yang ada pada *chasing* akan dibuang ke tanah sehingga tidak membahayakan manusia.



Gambar 1.14. Sentuhan Langsung dan Tidak Langsung

c. Pengaman Beban Lebih

Potensi bahaya listrik yang sering terjadi lainnya yaitu beban lebih, di mana beban yang digunakan oleh konsumen melebihi dari kapasitas atau desain instalasi listrik awalnya. Banyak kasus terjadi pada instalasi pada awalnya daya yang terpasang kecil misal 900 VA atau 1.300 VA karena kebutuhan energi listrik masih kecil. Seiring dengan perkembangan ekonomi dan jumlah anggota keluarga, kebutuhan peralatan listrik semakin lama semakin meningkat sehingga menyebabkan beban lebih. Apabila terjadi beban lebih maka perlu ada pengaman yang akan mematikan pasokan energi listrik secara otomatis. Peralatan yang digunakan adalah Pemutus atau *Circuit Breaker*.



Gambar 1. 15. Peralatan Pemutus atau *Circuit Breaker*

Permasalahan beban lebih sering terjadi karena penambahan daya terpasang. Contoh pada awal pemasangan daya terpasang 900 VA, karena kebutuhan maka di kemudian hari ditambah menjadi 2.200 VA. Biasanya pada saat penambahan daya tidak dilakukan analisis kelayakan instalasi apakah memungkinkan untuk beban menjadi lebih tinggi. Dengan penggunaan bahan seperti kabel yang masih sama akan mempunyai risiko terjadi beban lebih dan menyebabkan panas. Jika hal ini berlangsung dalam waktu yang lama dapat

merusak isolasi kabel. Jika isolasi kabel rusak, akibatnya bisa terjadi gangguan yang lebih parah seperti hubung singkat yang berpotensi terjadi kebakaran.

d. Pengaman Hubung Singkat

Potensi gangguan listrik yang paling berbahaya adalah jika terjadi hubung singkat atau korsleting listrik. Hubung singkat (*short circuit*) adalah kondisi tersambunginya penghantar fasa dan penghantar netral secara langsung. Hubung singkat dapat terjadi baik secara sengaja maupun tidak sengaja. Akibat hubung singkat dapat menyebabkan adanya percikan api yang jika menyambar bagian yang mudah terbakar dapat menyebabkan kebakaran.

Akibat dari hubung singkat diantaranya adalah:

- *Membahayakan keselamatan manusia;*
- *Putusnya suplai tenaga listrik;*
- *Kerusakan peralatan listrik karena peningkatan tekanan termal dan mekanis yang akhirnya tidak bisa ditoleransi oleh peralatan listrik.*

Untuk mengatasi gangguan hubung singkat dapat dilakukan dengan pemasangan peralatan proteksi hubung singkat berupa Pemutus Rangkaian (*Circuit Breaker*) atau Sekring (*Fuse*).

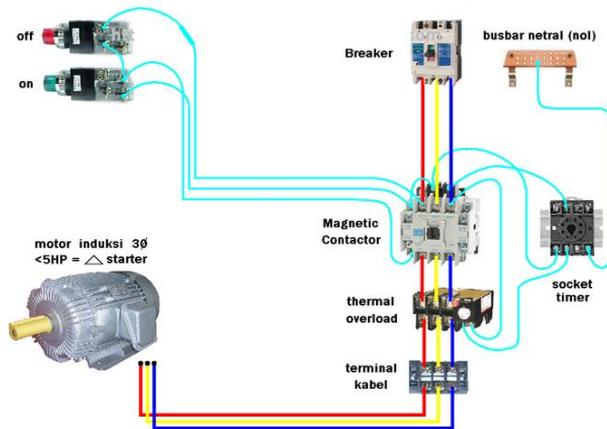


Gambar 1.16. Macam-macam Sekring (*Fuse*)

e. Pengaman Suhu Lebih

Beberapa peralatan listrik yang menggunakan motor listrik seperti pompa air, kompresor, AC, kipas angin, dan peralatan-peralatan lainnya terkadang dilengkapi dengan pengaman terhadap suhu lebih. Pengaman suhu lebih bertujuan untuk mengamankan peralatan dari suhu yang berlebihan akibat dari beban lebih atau pada kondisi motor tidak mau berputar.

Contoh kasus yaitu pada pompa air yang menggunakan motor listrik, pada saat kemarau di mana air mengalami kekeringan, maka motor pompa air akan terus menyala walaupun tidak ada air yang disedot. Hal ini akan dapat membahayakan mesin pompa air karena pompa tetap menyala sementara tidak ada air yang dialirkan sehingga motor menjadi panas. Dengan adanya pengaman panas lebih (*thermal overload*), maka motor akan dapat dimatikan secara otomatis sehingga tidak merusak motor dan menghindari bahaya kebakaran.



Gambar 1.17. Pemasangan Proteksi *Thermal Overload* pada Motor Listrik

1.3. Latihan Soal

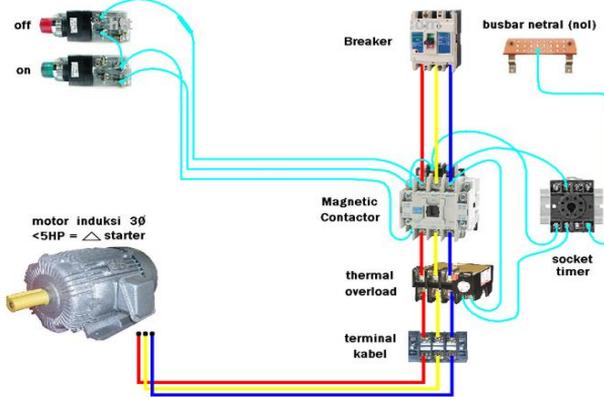
- Berikut ini adalah kelebihan energi listrik dibanding energi lainnya, **kecuali**
 - Mudah disimpan**
 - Mudah dibangkitkan
 - Mudah disalurkan
 - Bersih
 - Aman
- Manakah dari pembangkit listrik berikut ini yang mempunyai efisiensi paling tinggi
 - PLTU
 - PLTG**
 - PLTD
 - PLTP
 - PLTS
- Penggunaan tegangan tinggi SUTT dan SUTET pada saluran transmisi listrik bertujuan untuk
 - Meningkatkan kualitas
 - Meningkatkan kapasitas**
 - Menurunkan kapasitas
 - Meningkatkan drop tegangan
 - Meningkatkan keandalan
- Kualitas energi listrik ditentukan oleh parameter-parameter sebagai berikut:
 - Arus
 - Daya
 - Tegangan**
 - Resistansi
 - Induktansi
- Perhatikan gambar berikut:



Peralatan pada gambar di atas berfungsi untuk

- Mengatur tegangan
- Mengatur frekuensi
- Proteksi tegangan lebih
- Proteksi beban lebih**
- Proteksi ketidakseimbangan

6. Perhatikan gambar berikut ini.



Gambar di atas menunjukkan instalasi dari ...

- a. Instalasi listrik
 - b. Instalasi motor listrik
 - c. Instalasi pengaman
 - d. **Instalasi proteksi motor listrik**
 - e. Instalasi motor listrik 3 fasa
7. Perhatikan gambar berikut ini



Gambar di atas digunakan pada sistem instalasi listrik untuk...

- a. Pengamanan beban lebih
 - b. Pembatas arus
 - c. Pengatur tegangan
 - d. Proteksi sentuhan langsung
 - e. **Pengaman hubung singkat**
8. Untuk melindungi bahaya listrik dari gangguan beban lebih dan hubung singkat dapat digunakan
- a. **Circuit breaker**
 - b. Sekring
 - c. Relay
 - d. Disconnecter switch
 - e. Saklar magnetik

9. Berikut ini contoh sistem kontrol proses yang menggunakan prinsip digital, *kecuali*
- a. PLC
 - b. Mikroprosesor
 - c. Mikrokontroler
 - d. Kontrol Berbasis Komputer
 - e. Kontrol PID
10. Seseorang yang terkena sengatan listrik karena memegang bagian *chasing* peralatan yang terbuat dari logam disebabkan karena
- a. Kesetrum
 - b. **Sengatan listrik tidak langsung**
 - c. Bahaya listrik
 - d. Kapasitor
 - e. Kecerobohan

BAB 2

POTENSI BAHAYA SISTEM TENAGA LISTRIK

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan manusia dewasa ini. Dalam implementasinya, energi listrik dibangkitkan dari pembangkit, didistribusikan, serta digunakan oleh konsumen dalam bentuk instalasi listrik. Sistem tenaga listrik yang banyak digunakan di dunia adalah listrik arus bolak-balik dengan tegangan 220/380 Volt pada sisi pemakaian rumah tangga. Adapun pemakaian untuk industri berupa motor-motor penggerak mesin industri ada yang menggunakan tegangan 220/380 Volt dan tegangan menengah 3,8 KV, 6,2 KV, 11 KV, 13,8 KV dan tegangan menengah lainnya. Pada jaringan distribusi, menggunakan tegangan menengah 20 KV dan 150 KV. Sedangkan untuk saluran transmisi menggunakan tegangan tinggi 175, 250 dan 500 KV.

Penggunaan listrik dengan tegangan 220/380 Volt mempunyai potensi bahaya bagi manusia dan lingkungan sekitar sehingga perlu ada inspeksi dan tes sistem dan peralatan yang digunakan sesuai standar yang berlaku. Potensi bahaya listrik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bahaya primer dan sekunder. Bahaya primer adalah bahaya-bahaya

yang disebabkan oleh listrik secara langsung, sebagai contoh bahaya sengatan listrik dan bahaya kebakaran/ledakan. Adapun bahaya sekunder adalah bahaya-bahaya yang disebabkan oleh listrik secara tidak langsung, seperti jatuh dari suatu ketinggian karena kejutan listrik.

Persyaratan instalasi listrik harus memenuhi faktor keamanan bagi manusia, ternak dan harta benda dalam jangka panjang. Instalasi listrik harus andal dalam arti dapat digunakan pada saat dibutuhkan untuk memenuhi fungsinya secara aman. Selain aman, instalasi listrik harus akrab lingkungan dalam arti tidak merusak lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Instalasi sistem tenaga listrik mempunyai potensi bahaya bagi manusia maupun bagi instalasi itu sendiri. Potensi bahaya ini bisa menjadi sumber penyebab terjadinya kecelakaan listrik penyebab terjadinya kecelakaan listrik.

2.1. Bahaya Listrik

Semua energi mempunyai potensi bahaya apabila tidak dikelola dengan baik, termasuk listrik. Untuk menghindari terjadinya bahaya akibat listrik, perlu diketahui potensi bahaya yang dapat diakibatkan oleh listrik. Secara umum terdapat empat (4) macam bahaya yang ditimbulkan listrik, yaitu:

Bahaya Tegangan Kejut Listrik

Salah satu potensi bahaya yang diakibatkan oleh listrik yaitu adanya tegangan kejut. Bahaya ini banyak menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja di bidang listrik yang dapat mengakibatkan kematian. Bahaya tegangan kejut listrik ada dua macam, yaitu:

1. Bahaya Kejut Langsung

Listrik mempunyai potensi bahaya jika bagian bertegangan tersentuh oleh manusia secara langsung. Kejadian manusia menyentuh bagian listrik yang bertegangan

disebut sebagai tersetrum. Hal ini bisa mengakibatkan kecelakaan yang berakibat kematian. Untuk mencegah terjadinya sentuhan langsung terhadap bagian listrik yang bertegangan, PUIL mensyaratkan setiap bagian instalasi listrik yang mempunyai tegangan harus dilengkapi dengan isolasi yang aman bagi manusia. Bahan isolasi harus berkualitas agar tidak mudah rusak yang dapat mengakibatkan sentuhan langsung terhadap bagian yang bertegangan. Isolasi dapat menggunakan bahan-bahan isolator, yaitu karet, plastik, keramik, kertas dan bahan-bahan lainnya. Selain harus berisolasi, perlu ada peringatan kepada pengguna listrik akan bahaya jika menyentuh atau memegang secara langsung bagian listrik yang bertegangan.



Gambar 2.1. Tersengat Listrik

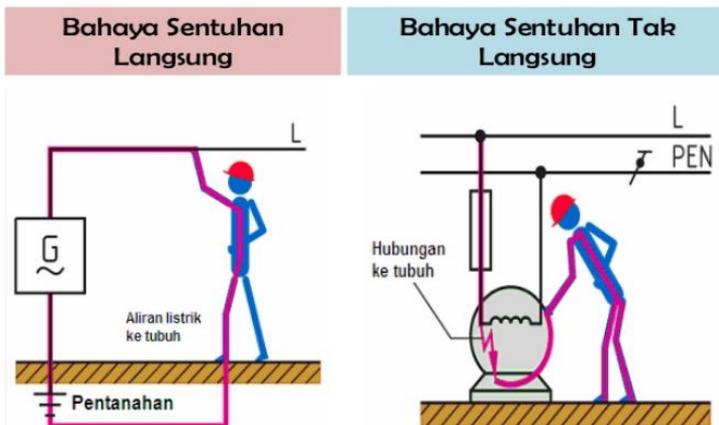
2. Bahaya Sentuhan Tak Langsung

Selain bahaya tersentuh secara langsung, kadang terjadi bahaya sentuhan tidak langsung artinya manusia menyentuh bagian peralatan listrik yang seharusnya tidak bertegangan tetapi karena adanya induksi elektromagnetik menjadi bertegangan.

Contoh kasus sentuhan tidak langsung adalah jika manusia menyentuh bagian belakang *chasing* peralatan listrik

seperti kulkas, *chasing* komputer, dan mesin cuci yang terbuat dari logam. Seharusnya bagian ini tidak mempunyai tegangan listrik karena tidak ada hubungan langsung dengan listrik, akan tetapi pada kenyataannya jika manusia menyentuhnya akan terkena sengatan listrik yang cukup mengagetkan. Besarnya tegangan listrik ini tidak terlalu besar tetapi dapat mengakibatkan kaget dan rasa sakit.

Sentuhan tidak langsung diakibatkan oleh adanya beban listrik yang bersifat induktif (lilitan) seperti pada komputer ada trafo yang digunakan pada rangkaian *power supply*. Dengan adanya beban induktif inilah, sesuai dengan prinsip muatan listrik, maka proses induksi juga mengarah ke *chasing* komputer yang terbuat dari logam. Akibatnya, logam yang tidak berhubungan langsung dengan listrik menjadi bertegangan. Bagaimana cara mengatasi bahaya sentuhan tidak langsung? Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menghubungkan bagian logam pada *chasing* komputer dengan tanah atau sering disebut dengan *grounding*. Dengan cara ini, maka muatan listrik yang ada pada *chasing* akan dibuang ke tanah sehingga tidak membahayakan manusia.



Gambar 2.2. Sentuhan Langsung dan Tidak Langsung

3. Bahaya panas yang dapat merusak isolasi dan peralatan listrik

Bahaya listrik yang kedua adalah adanya panas pada peralatan baik penghantar, stop kontak, sakelar maupun peralatan listrik lainnya. Panas dihasilkan oleh adanya resistansi penghantar yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik. Semakin besar arus yang mengalir pada suatu komponen listrik, maka panas yang ditimbulkan akan semakin tinggi. Panas yang berlebihan dapat mengakibatkan peralatan listrik mengalami keausan dan jika dibiarkan dalam waktu yang cukup lama dapat merusak isolasi peralatan. Rusaknya isolasi dapat mengakibatkan gangguan listrik dan dapat memicu kerusakan maupun bahaya kebakaran.

4. Bahaya kebakaran

Bahaya listrik yang ketiga yaitu kebakaran. Bahaya ini disebabkan oleh instalasi listrik yang tidak baik dan tidak memenuhi standar. Pemilihan material listrik yang tidak standar dapat menyebabkan terjadinya panas berlebih yang dapat memicu kebakaran. Pemasangan instalasi listrik yang tidak baik seperti kendur, tidak presisi, sambungan yang tidak sempurna, dan pemasangan peralatan yang tidak rapi merupakan sumber-sumber bahaya kebakaran.

Berdasar data statistik yang dirilis oleh Mabes POLRI, listrik menjadi penyebab utama terjadinya kebakaran di bangunan baik perumahan, perkantoran, hotel, rumah sakit, sekolah, pasar, supermarket maupun pabrik.



Gambar 2.3. Sentuhan Langsung dan Tidak Langsung

5. Bahaya ledakan atau percikan metal panas

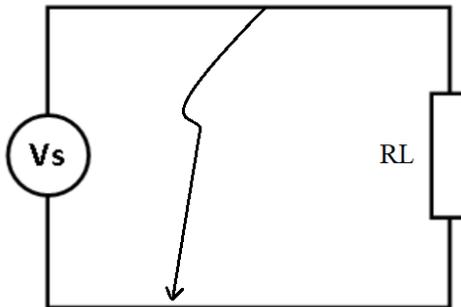
Bahaya listrik yang perlu diperhatikan yaitu dapat menyebabkan terjadinya ledakan pada peralatan-peralatan yang menyimpan muatan seperti transformator, kapasitor, *circuit breaker*, *disconnecter switch*, dan peralatan-peralatan lainnya.

2.2. Penyebab Kecelakaan Akibat Listrik

Kejadian kecelakaan yang diakibatkan oleh pemanfaatan tenaga listrik dapat terjadi antara lain karena hal-hal berikut:

a. *Hubung singkat (Short Circuit atau korsleting)*

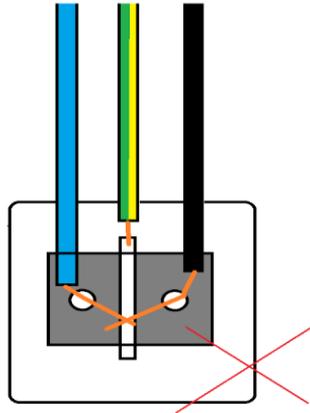
Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik yaitu hubung singkat atau korsleting. Hubung singkat adalah kejadian terhubungnya penghantar fasa dengan penghantar fasa lainnya atau antara penghantar fasa dengan penghantar netral atau tanah. Hubung singkat biasanya terjadi karena peralatan listrik (kabel) yang mengelupas sehingga penghantarnya menyentuh penghantar lainnya.



Gambar 2.4. Rangkaian hubung singkat

Hubung singkat pada rangkaian dapat menyebabkan terjadinya kebakaran jika peralatan pengaman tidak mampu bekerja dengan baik. Pada saat terjadi kebakaran, nilai tahanan dari beban mendekati nol sehingga arusnya menjadi tak bersinggung sesuai dengan persamaan:

$$I = V/R.$$



Gambar 2. 5. Contoh kabel yang korslet

Pengaman yang tidak bekerja dengan baik akan menyebabkan arus listrik yang besar dapat menimbulkan bunga api listrik yang jika dibiarkan secara terus-menerus dapat mengakibatkan kebakaran.

b. *Beban lebih*

Beban lebih adalah penggunaan peralatan listrik yang melebihi kapasitas yang diizinkan. Peralatan listrik yang digunakan dalam instalasi listrik harus didesain sesuai dengan kebutuhan dan standar. Ketidaksiharian instalasi listrik dengan standar akan menyebabkan adanya beban lebih yang dalam hal ini kelebihan arus listrik. Beban lebih akan menimbulkan panas berlebih yang dapat menyebabkan peralatan listrik mengalami kondisi operasi yang tidak baik dan dapat menyebabkan isolasi peralatan mengalami keausan bahkan kerusakan. Beban lebih harus diproteksi dengan peralatan proteksi agar tidak menimbulkan permasalahan dengan pemutus rangkaian (*circuit breaker*).

c. *Ledakan*

Salah satu bahaya listrik yang cukup fatal akibatnya yaitu ledakan yang disebabkan oleh percikan api atau pemanasan lokal yang timbul karena salah pemilihan dan penggunaan perlengkapan listrik. Ledakan dapat terjadi pada instalasi

listrik yang tidak memenuhi standar baik pemilihan material, pemilihan peralatan, instalasi, maupun *setting* peralatan pengaman. Ledakan besar dapat mengakibatkan kerugian yang besar baik bagi personil maupun lingkungan sekitar.

d. *Peralatan tidak memenuhi persyaratan*

Salah satu penyebab utama kecelakaan di bidang listrik yaitu penggunaan material dan peralatan yang tidak memenuhi persyaratan atau standar. Banyak instalasi listrik dilakukan oleh orang yang bukan ahlinya atau kurang kompeten sehingga tidak memperhatikan masalah standar. Akibatnya, instalasi listrik tidak memenuhi persyaratan sehingga memunculkan potensi bahaya yang sewaktu-waktu dapat membahayakan, baik personil, peralatan, maupun lingkungan.

e. *Pelaksanaan pemasangan sistem proteksi yang tidak benar*

Sebab lain kecelakaan kerja akibat listrik yaitu pemasangan sistem proteksi yang tidak benar. Peralatan proteksi dimaksudkan untuk melindungi sistem tenaga listrik dari gangguan baik internal maupun eksternal sehingga apabila terdapat gangguan peralatan proteksi akan bekerja untuk mematikan. Jika peralatan proteksi tidak dipasang dengan benar, maka tentu akan menjadi sia-sia karena peralatan proteksi tidak akan bekerja jika terjadi kondisi gangguan. Oleh karena itu, perlu ada inspeksi dan pengujian peralatan proteksi tenaga listrik secara periodik.

f. *Penggunaan identifikasi warna atau tanda lain yang tidak benar*

Instalasi listrik yang cukup kompleks khususnya tiga fasa membutuhkan penataan penggunaan kode warna kabel dan peralatan pendukungnya. Hal ini seringkali diabaikan oleh para operator dan teknisi yang menangani instalasi listrik. Banyak ditemukan instalasi listrik yang tidak memenuhi standar kode warna sesuai dengan standar PUIL, IEC, atau British Standar. Hal ini menyebabkan pada saat pekerjaan

perawatan dan perbaikan teknisi akan mengalami kesulitan untuk mengetahui jalur instalasi listrik dengan baik dan tepat.

g. *Kontak pada peralatan pemutus, terminal, sambungan, dan klem buruk kondisinya*

Penyebab kecelakaan kerja yang sering terjadi di lapangan lainnya adalah memburuknya kondisi kontak sambungan pada peralatan listrik. Instalasi listrik harus memperhatikan teknik penyambungan agar memenuhi persyaratan dan perlu dilakukan secara periodik tentang kualitas sambungan baik secara visual maupun dengan peralatan. Kondisi sambungan yang kurang baik akan menyebabkan terjadinya oksidasi sehingga pada sambungan akan mengalami panas yang berlebih sehingga menimbulkan karat dan *lost contact*. Pada sambungan *circuit breaker* dapat menyebabkan ngepong yang dapat membahayakan personil yang bekerja melakukan pengecekan.

h. *Hilang kontak atau netral putus*

Penyebab lain kecelakaan kerja akibat listrik yaitu adanya kabel netral yang putus. Hal ini dapat menimbulkan tegangan tegangan tidak berimbang pada listrik tiga fasa sehingga menyebabkan adanya arus yang mengalir pada titik netral. Apabila kondisi ini dibiarkan maka dapat menyebabkan peralatan proteksi tidak dapat berfungsi dengan baik. Jika terjadi gangguan, maka akan menyebabkan kerusakan peralatan dan dapat mencederai personil yang sedang bekerja.

i. *Keadaan lingkungan instalasi yang buruk*

Penyebab lainnya kecelakaan akibat listrik yaitu kondisi lingkungan yang kurang baik seperti lembap dan basah. Pada kondisi lembap, elektron akan mudah berpindah dari satu elektrode ke elektrode lainnya sehingga perlu ada pengondisian lingkungan agar lingkungan instalasi listrik tidak terlalu lembap. Pengondisian lingkungan dilakukan dengan memberikan pelindung atau menambahkan *silica gel*.

Sebab-sebab kemungkinan kecelakaan yang berasal dari peralatan:

- 1) Peralatan sudah tua.
- 2) Peralatan yang kondisinya tidak baik.
- 3) Peralatan yang tidak memenuhi persyaratan persyaratan keamanan/standar keamanan/standar.
- 4) Sebab-sebab kemungkinan kecelakaan yang berasal bukan dari peralatan (peralatan memenuhi persyaratan).
- 5) Kesalahan pengoperasian oleh pemakai instalasi/peralatan listrik.
- 6) Kesalahan yang dilakukan oleh yang melakukan instalasi karena salah memasang peralatan (tidak mengikuti peraturan atau salah memilih peralatan/material yang tidak memenuhi persyaratan standar dan persyaratan).
- 7) Kesalahan yang dilakukan oleh pengawas karena tidak cermat dan tidak disiplin.
- 8) Kesalahan yang dilakukan oleh perancang atau perencana, baik karena salah memilih peralatan maupun karena salah perhitungan/perencanaan.
- 9) Kesalahan-kesalahan karena kondisi peraturan dan kontrol yang belum memadai.

2.3. Persyaratan Sistem Instalasi Listrik

Pekerjaan instalasi listrik yang telah selesai dikerjakan dan akan dioperasikan sehingga tidak serta merta langsung boleh dioperasikan. Sebelum dan pada saat akan dioperasikan harus diyakini terlebih dahulu bahwa instalasi tersebut benar-benar aman untuk dioperasikan. Untuk meyakinkan bahwa instalasi listrik tersebut benar-benar aman dioperasikan, keberadaannya harus telah memenuhi ketentuan dan persyaratan teknis yang ditentukan. Apakah instalasi listrik telah memenuhi ketentuan dan persyaratan teknis yang ditentukan, perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian atau disebut *Testing* dan Komisioning.

Testing dan Komisioning (*Commissioning test*) adalah serangkaian kegiatan pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik yang telah selesai dikerjakan dan hendak dioperasikan. Dengan hasil pemeriksaan dan pengujian yang baik, maka diyakini bahwa instalasi listrik aman pada saat dioperasikan, yaitu aman bagi manusia, ternak, harta benda, dan aman bagi instalasi itu sendiri.

a. Persyaratan

Instalasi listrik mulai dari pembangkit, saluran transmisi, jaringan distribusi hingga instalasi listrik pemanfaatan harus memenuhi persyaratan sebagaimana yang tertuang dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011) yaitu:

- 1) Instalasi Instalasi harus andal
Andal mempunyai arti bahwa instalasi listrik harus berfungsi dengan baik sesuai dengan yang direncanakan. Andal juga berarti mampu memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan dengan kriteria kualitas yang baik.
- 2) Instalasi listrik harus aman
Persyaratan yang kedua instalasi listrik harus aman bagi personil yang menggunakan, melakukan perawatan dan perbaikan maupun bagi makhluk hidup lainnya. Untuk menjamin keamanan, instalasi listrik harus direncanakan, diinstalasi, dipelihara, diperiksa, dan diuji oleh tenaga ahli yang kompeten di bidang listrik. Secara teknis, instalasi listrik harus dilengkapi dengan peralatan proteksi untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja akibat listrik.
- 3) Akrab lingkungan
Persyaratan yang ketiga yaitu instalasi listrik harus akrab lingkungan dalam arti tidak merusak lingkungan sekitar. Efek-efek negatif pada lingkungan harus dihindari dan diminimalisir untuk menjaga kelestarian. Energi listrik didorong untuk mengembangkan mengarah pada energy terbarukan (*renewable energy*) dengan peralatan yang

dapat didaur ulang sehingga dapat meminimalkan dampak kerusakan pada lingkungan.

b. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)

PUIL merupakan persyaratan umum instalasi listrik yang harus dipenuhi oleh siapa saja yang berkaitan dengan pekerjaan kelistrikan. PUIL mempunyai maksud dan tujuan utama agar pengoperasian instalasi listrik dapat terselenggara dengan baik terutama untuk mencegah bahaya listrik. Instalasi listrik harus direncanakan, dipasang, diperiksa, dioperasikan, dan dikelola/dipelihara secara berkala dengan baik sesuai ketentuan PUIL yang berlaku. Saat ini, PUIL yang berlaku adalah PUIL 2011.

Para ahli dan teknisi yang mengerjakan tahap-tahap pekerjaan instalasi tersebut harus memiliki kompetensi sesuai dengan bidangnya. Peralatan dan material instalasi yang digunakan harus memenuhi persyaratan standar SNI atau standar lain yang diberlakukan dan harus pula memenuhi persyaratan PUIL antara lain sesuai penggunaan dan kemampuannya. Pembangunan instalasi listrik sesuai dengan peraturan, memerlukan biaya, waktu, dan dilakukan berdasarkan persetujuan antara pemilik dan pelaksana serta harus diawasi oleh orang yang memahami teknik kelistrikan.

Pada umumnya, data teknik instalasi listrik yang dilengkapi dengan ketentuan pelaksanaannya, biaya pekerjaan, waktu pelaksanaan, dan hal-hal terkait lainnya dicantumkan dalam dokumen teknis dalam bentuk gambar diagram garis tunggal dan diagram pengawasan. Gambar teknik rancangan instalasi listrik dilengkapi dengan perhitungan teknis dan spesifikasi peralatan/material listrik yang dibutuhkan dan menjadi bagian dari kontrak pekerjaan kelistrikan.

Hasil pekerjaan instalasi listrik yang dilakukan oleh pelaksana pekerjaan, harus diverifikasi oleh tim pengawas

pekerjaan kelistrikan sesuai dengan dengan persyaratan PUIL yang berlaku. Hal ini dimaksudkan agar pekerjaan instalasi listrik sudah memenuhi persyaratan dan jaminan kesesuaian dengan standar teknik dan keselamatan kerja. Undang-undang dan peraturan perundangan lainnya mensyaratkan sertifikat laik operasi bagi instalasi listrik baru atau instalasi listrik lama yang telah mengalami perubahan, sebelum instalasi tersebut dioperasikan.

Instalasi listrik yang baru dipasang atau telah mengalami perubahan, harus diperiksa dan diuji terlebih dahulu sesuai dengan ketentuan PUIL 2011. Pemeriksaan dan pengujian sistem pembumian instalasi domestik dan non domestik harus mengikuti ketentuan sistem pembumian yang telah ditetapkan. Sistem pembumian yang diatur dalam PUIL adalah: 1) 3 Sistem TN-S, di mana penghantar pengaman terpisah di seluruh sistem; 2) 3 Sistem TN-C-S, di mana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di sebagian sistem; 3) 3 Sistem TN-C, di mana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar proteksi di seluruh sistem; 4) 3 Sistem TT, di mana BKT instalasi dihubungkan ke elektrode bumi yang secara listrik yang secara listrik terpisah dari elektrode bumi sistem 635. Catatan: Sistem TN-C-S digunakan pada instalasi yang disambung pada jaringan PLN berdasarkan SPLN-3.

c. Dasar Hukum dan Acuan

Pemeriksa instalasi listrik harus menaati ketentuan PUIL 2011 dan peraturan-peraturan lain sebagaimana disebut dalam PUIL 2011 dan UU Nomor 1 tahun 1970.

- 1) Peraturan bangunan nasional.
- 2) Peraturan pemerintah RI tentang perusahaan kelistrikan.
- 3) Peraturan pemerintah RI tentang keselamatan kerja.
- 4) Peraturan menteri pertambangan dan energi tentang izin usaha kelistrikan.

- 5) Peraturan menteri pertambangan dan energi tentang Standar Nasional Indonesia (SNI).
- 6) Peraturan lainnya mengenai kelistrikan dan usaha penunjangnya.

2.4. Latihan Soal

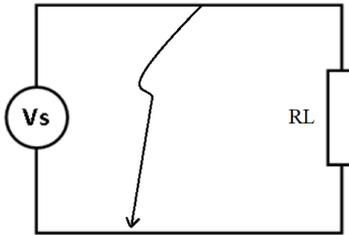
1. Tegangan listrik 220 volt termasuk dalam kategori tegangan
 - a. Ekstra Rendah
 - b. Rendah
 - c. Menengah
 - d. Tinggi
 - e. Sangat Tinggi

2. Manakah parameter berikut ini yang membahayakan bagi manusia dan menyebabkan seseorang bisa tersengat listrik
 - a. Arus
 - b. Tegangan
 - c. Frekuensi
 - d. Daya
 - e. Energi

3. Instalasi listrik harus memenuhi persyaratan dalam hal-hal berikut ini, *kecuali*
 - a. Aman
 - b. Andal
 - c. Akrab Lingkungan
 - d. Estetika
 - e. Efisien

4. *Chasing* atau penutup belakang peralatan listrik seperti komputer jika dipegang terkadang dapat mengakibatkan seseorang tersengat listrik, hal ini disebabkan oleh....
 - a. Konduksi
 - b. Kapasitansi
 - c. Induksi
 - d. Resistansi
 - e. Kejut

5. Perhatikan gambar di bawah ini

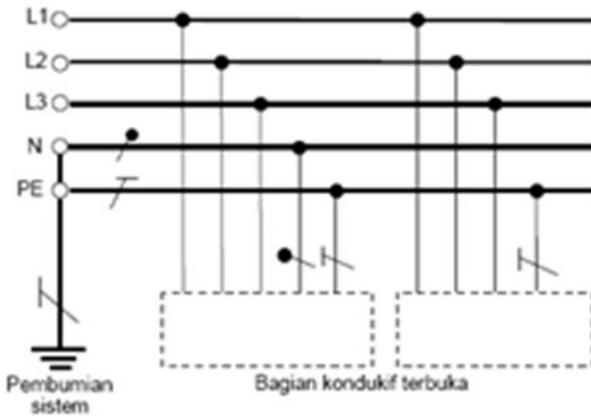


Gambar di atas menunjukkan terjadi

- a. Hubung buka
 - b. *Normally Close*
 - c. *Normally Open*
 - d. Hubung Singkat
 - e. Hubung Seri
6. Peralatan listrik yang sering mengalami ledakan yaitu
- a. Kabel
 - b. Sakelar
 - c. Lampu
 - d. Mesin Listrik
 - e. Transformator
7. Peralatan proteksi yang berfungsi untuk mengamankan personil dari bahaya tersengat listrik secara langsung adalah....
- a. ELCB
 - b. MCB
 - c. Sekring
 - d. Kontaktor
 - e. *Arrester*
8. Suatu instalasi listrik berlangganan PLN dengan tegangan satu fasa dan Daya sebesar 1300 VA, berapa ampere pengaman circuit breaker yang harus di pasang agar instalasi listrik aman?
- a. 4 A
 - b. 6 A
 - c. 10 A
 - d. 12 A
 - e. 20 A
9. Manakah peralatan listrik di bawah ini yang membutuhkan *grounding* pada *body* peralatan untuk menghindari dari tegangan sentuh tidak langsung?

- a. Lampu dan Rice cooker
- b. Stop Kontak
- c. Kulkas dan Mesin Cuci
- d. Air Conditioner dan Kipas Angin
- e. Pompa air dan Televisi

10. Perhatikan gambar berikut ini



Dilihat dari gambar di atas merupakan sistem *grounding* dengan menggunakan

- a. IT
- b. TT
- c. TNC
- d. TNS
- e. TNC-S

BAB 3

INSPEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

3.1. Inspeksi

Inspeksi atau sering dikenal dengan istilah *pemeriksaan* merupakan salah satu tahapan yang harus dilalui dalam pekerjaan kelistrikan. Kegiatan inspeksi dapat dilakukan terhadap sistem instalasi listrik yang baru atau juga terhadap instalasi listrik yang sudah lama. Pada instalasi listrik baru, inspeksi bertujuan untuk memastikan apakah pekerjaan yang dilakukan sudah sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Sedangkan inspeksi pada instalasi listrik lama bertujuan untuk memastikan apakah kondisi sistem instalasi listrik masih memenuhi persyaratan yang berlaku.

Inspeksi instalasi listrik baru menjadi bagian dari pekerjaan *testing* dan komisioning. Pekerjaan inspeksi dilakukan oleh pihak internal (pelaksana pekerjaan) maupun eksternal (pengawas atau inspektur) pekerjaan. Dalam pekerjaan kelistrikan biasanya pelaksana pekerjaan dilakukan oleh pihak ketiga (kontraktor) yang ditunjuk melalui lelang pekerjaan. Adapun inspektur dapat dilakukan sendiri oleh pemilik pekerjaan atau dengan meminta bantuan pihak ketiga

untuk melakukan pemeriksaan kesesuaian pekerjaan dengan rancangan dan standar yang berlaku.

Inspeksi instalasi listrik yang sudah lama dapat dilakukan sendiri oleh pemilik bangunan atau meminta bantuan pihak lain untuk melakukan inspeksi dan pengecekan kondisi komponen peralatan listrik, apakah masih memenuhi persyaratan instalasi listrik. Hasil kegiatan inspeksi berupa rekomendasi tentang kelayakan instalasi listrik dan saran-saran hal-hal apa saja yang perlu dilakukan penggantian atau perubahan sesuai dengan kebutuhan.

Inspeksi sistem kelistrikan secara umum dibedakan menjadi dua jenis pemeriksaan yaitu pemeriksaan sifat tampak (*visual check*) dan pemeriksaan pemasangan (konstruksi). Pemeriksaan visual yaitu pengamatan pekerjaan instalasi sistem kelistrikan dengan menggunakan indera penglihatan baik tanpa bantuan alat maupun dengan menggunakan bantuan peralatan. Biasanya sebelum dilakukan pemeriksaan lebih mendalam, dilakukan pemeriksaan visual terlebih dahulu terhadap pekerjaan kelistrikan. Sedangkan, pemeriksaan pemasangan merupakan pemeriksaan pekerjaan kelistrikan berkaitan dengan metode kerja dan hasil kerja pekerjaan kelistrikan.

3.2. Ruang Lingkup Pekerjaan Inspeksi Tenaga Listrik

Kegiatan inspeksi instalasi listrik baru dilakukan, dengan cara melihat secara langsung terhadap hal-hal yang berkaitan dengan pekerjaan kelistrikan. Pekerjaan inspeksi meliputi beberapa hal diantaranya:

1) Pemeriksaan dokumen

Pemeriksaan dokumen yaitu pemeriksaan dokumen-dokumen dalam berkaitan dengan pekerjaan kelistrikan. Dokumen yang terkait dengan pekerjaan kelistrikan meliputi:

a) Gambar teknik;

- b) Diagram garis tunggal (*Single Line Diagram*);
 - c) Diagram pengawatan (*Wiring Diagram*);
 - d) Dokumen spesifikasi material dan peralatan;
 - e) Dokumen-dokumen lainnya yang terkait.
- 2) Pemeriksaan pemilihan material yang digunakan dalam instalasi
Pemeriksaan pemilihan material perlu dilakukan guna memastikan pekerjaan kelistrikan dapat terlaksana dengan baik sesuai dengan perencanaan. Pemeriksaan material dilakukan dengan melihat dan menguji spesifikasi material yang akan digunakan dalam pekerjaan.
- 3) Pemeriksaan penggunaan material
Pemeriksaan penggunaan material dilakukan pada saat proses pemasangan instalasi listrik. Beberapa material dan peralatan dipasang tertanam di tembok atau di bawah tanah sehingga perlu dicek dalam pemasangannya apakah sudah sesuai dengan perencanaan atau belum.
- 4) Pemeriksaan pelaksanaan pekerjaan sesuai dengan rancangan dan standar
Pemeriksaan pelaksanaan pekerjaan sesuai dengan perencanaan dan standar harus dilakukan agar pekerjaan kelistrikan dapat terlaksana dengan baik.
- 5) Pemeriksaan jalur instalasi
Jalur instalasi harus diperiksa apakah sudah sesuai dengan perencanaan dan standar atau belum. Pemasangan jalur yang tidak sesuai dengan perencanaan harus dikoordinasikan dan dimintai persetujuan perencana agar dalam pemeliharaan dapat dilakukan dengan baik.
- 6) Pemeriksaan ketepatan setting peralatan proteksi
Beberapa peralatan proteksi seperti *Circuit Breaker* dan *Relay* proteksi mempunyai pengaturan yang harus diatur dengan

tepat. Pengaturan peralatan proteksi yang tidak sesuai dapat menyebabkan peralatan proteksi tidak dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan.

7) Pemeriksaan kode warna yang digunakan

Kode warna dalam instalasi listrik sangat penting untuk proses perawatan dan perbaikan ke depan. Penggunaan peralatan dan material dengan kode warna sesuai dengan standard dapat memudahkan dan menjamin keandalan instalasi listrik. Banyak ditemui instalasi listrik yang tidak menggunakan kode warna yang sesuai dengan standar.

Contoh kode warna digunakan pada penghantar dengan rincian sebagai berikut:

- a) Fasa R : Warna Coklat
- b) Fasa S : Abu-abu
- c) Fasa T : Hitam
- d) Netral : Biru
- e) *Ground* : Kuning-Hijau

8) Pemeriksaan lainnya

Pemeriksaan hal-hal lain yang berkaitan dengan instalasi listrik dan telah ditetapkan pada dokumen perencanaan dan standar.

Pemeriksaan awal pada pekerjaan kelistrikan dilakukan terhadap hal-hal sebagai berikut:

- 1) Kesesuaian ukuran penghantar fase dan pengaman arus lebih.
- 2) Luas penampang minimum penghantar pengaman dan kesesuaian pemasangannya.
- 3) Kontinuitas penghantar pengaman.
- 4) Penghantar pengaman terhubung atau tidak dengan penghantar fase.
- 5) Tanda pengenal penghantar nol dan penghantar pengaman.

- 6) Kotak kontak dan tusuk kontak telah mempunyai penghantar pengaman dengan luas penampang yang cukup dan telah terhubung pada kotak pengaman.
- 7) Kecocokan tegangan nominal sakelar pengaman (SPTB atau SPAS) dengan tegangan nominal jaringan.

Pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik dilakukan antara lain mengenai hal berikut:

- 1) Berbagai macam tanda pengenal dan papan peringatan.
- 2) Perlengkapan listrik yang dipasang.
- 3) Cara memasang perlengkapan listrik.
- 4) Polaritas.
- 5) Pembumian.
- 6) Resistansi isolasi.
- 7) Kesenambungan sirkuit.
- 8) Fungsi pengamanan sistem instalasi listrik, pemeriksaan, dan pengujian disusul dengan uji coba.

Pemeriksa instalasi listrik harus menaati ketentuan dalam PUIL 2011 dan peraturan-peraturan lain sebagaimana disebut dalam PUIL 2011 sebagai berikut:

- 1) PUIL 2011.
- 2) UU No. 1 Tahun 1970.
- 3) Peraturan Bangunan Nasional.
- 4) Peraturan Pemerintah RI tentang Pengusahaan Kelistrikan.
- 5) Peraturan Pemerintah RI tentang Keselamatan Kerja.
- 6) Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi tentang Izin Usaha Kelistrikan.
- 7) Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi tentang Standar Nasional Indonesia (SNI).
- 8) Peraturan lainnya mengenai kelistrikan dan usaha penunjangnya.

Apabila pekerjaan pemasangan instalasi listrik telah selesai, maka pelaksana pekerjaan pemasangan instalasi tersebut harus secara tertulis memberitahukan kepada instansi yang berwenang bahwa pekerjaan telah dilaksanakan dengan baik dan memenuhi syarat pengamanan sebagaimana diatur dalam PUIL 2011 ini serta siap untuk diperiksa dan diuji. Instalasi listrik yang sudah memenuhi semua ketentuan dalam PUIL 2011 ini diberi sertifikat oleh instansi yang berwenang dan dapat dioperasikan dengan syarat tidak boleh dibebani melebihi kemampuannya.

Hasil pemeriksaan dan pengujian instalasi menurut PUIL harus dinyatakan secara tertulis oleh badan penguji. Instalasi yang telah diperiksa dan diuji dengan hasil baik sesuai ketentuan PUIL, jika dipandang perlu harus diuji coba dengan tegangan tegangan dan arus kerja menurut menurut batas yang ditentukan dan dalam waktu yang disyaratkan. Pada waktu uji coba, semua peranti-peranti yang terpasang dan akan digunakan harus dijalankan, baik secara sendiri-sendiri maupun serempak, sesuai dengan rencana dan tujuan penggunaannya. Hasil pemeriksaan dan pengujian termasuk hasil uji coba harus dilaporkan dalam bentuk berita acara. Jika uji coba menunjukkan ada kesalahan dalam instalasi, uji coba itu harus dihentikan dan hanya dapat diulangi setelah instalasi diperbaiki.

3.3. Pemeriksaan Dokumen

Pemeriksaan instalasi listrik pertama kali dilakukan terhadap dokumen-dokumen yang menyertai sebuah pekerjaan kelistrikan. Dokumen yang diperiksa meliputi dokumen rancangan pekerjaan yang terdiri atas gambar instalasi listrik yang berupa:

1. Gambar denah/lokasi instalasi listrik.
2. Gambar diagram garis tunggal.

3. Gambar *wiring diagram*.
4. Gambar *layout*.
5. Daftar komponen.
6. Buku manual.
7. Buku pemeliharaan dan operasi.
8. Tanda peringatan.
9. Dokumen teknis peralatan.
10. Dokumen-dokumen lain yang terkait.

3.4. Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual merupakan pemeriksaan terhadap hasil pekerjaan kelistrikan secara visual atau menggunakan indera mata. Pemeriksaan instalasi listrik dilakukan terhadap item per item material yang digunakan, pemasangan material, metode pekerjaan, hasil pekerjaan, dan kesesuaian dengan standar
Pemeriksaan visual bertujuan:

- Untuk mengetahui apakah perlengkapan yang dipasang telah sesuai dengan spesifikasi di dalam kontrak atau belum.
- Melihat apakah semua perlengkapan dalam kondisi baik, secara fisik tidak ada kelalaian, tidak cacat fisik, dan lain-lain.



Gambar 3.1. *Visual Inspection*

Pemeriksaan pemasangan

Pemeriksaan berikutnya adalah pemeriksaan pemasangan material-material yang telah dipilih.

- Pemeriksaan rangkaian (konstruksi) material/barang/alat yang telah terpasang.
- Untuk mengetahui apakah rangkaian material/barang/alat yang dipasang telah sesuai/tidak dengan gambar rencana maupun peraturan yang berlaku (PUIL, SPLN, dan lain-lain).

3.5. Pemeliharaan

Secara alami, sistem tenaga listrik akan mengalami aus, penuaan atau kerusakan yang akan mengganggu instalasi. Jika dibiarkan secara berkala, instalasi sistem tenaga listrik harus diperiksa, diperbaiki, dan bagian yang aus, rusak atau mengalami penuaan perlu diganti. Perlengkapan tertentu seperti rel kontaktor yang biasanya lebih cepat terganggu kerjanya karena mengalami aus, penuaan, atau kerusakan diperiksa dan dicoba, baik segi mekanis maupun listriknya.

Semua bagian instalasi listrik harus diperiksa dan dibersihkan secara berkala dan teratur berdasarkan petunjuk, metode, dan program yang telah ditentukan. Hasil pemeriksaan berkala suatu instalasi harus dimuat dalam laporan tertulis pemeriksaan. Instalasi listrik yang disiapkan untuk melayani keadaan darurat, harus diperiksa dan dicoba secara berkala agar keamanan dan keandalannya terjamin.

Pemeliharaan semua instalasi listrik sementara di lapangan pembangunan harus diawasi oleh orang yang berwenang dan memikul tanggung jawab penuh atas keamanan menggunakan, mengubah, dan menambah instalasi listrik. Instalasi sementara tersebut harus diperiksa dan diuji secara berkala sesuai ketentuan

mengenai instalasi sementara, paling lama tiga bulan sekali sesuai dengan keadaan dan tempat instalasi.

Pemeriksa instalasi listrik harus menggunakan tenaga kerja yang kompeten sesuai dengan bidangnya dan mempunyai sertifikat yang dikeluarkan oleh lembaga sertifikasi yang terakreditasi oleh lembaga akreditasi yang ditetapkan berdasarkan Undang-Undang. Pemeriksa instalasi listrik wajib menjaga keselamatan dan kesehatan tenaga kerjanya sesuai dengan peraturan perundang-undangan keselamatan dan kesehatan kerja yang berlaku.

Lembaga sertifikasi yang melakukan pemeriksaan dan pengujian instalasi instalasi harus netral (tidak berpihak) berpihak). Pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik domestik dan non domestik dengan daya sampai 199 kVA dan penerbitan sertifikasi laik operasi dilakukan oleh KONSUIL.

Sertifikat laik operasi operasi dikeluarkan dikeluarkan setelah instalasi-instalasi listrik listrik diperiksa dan diuji dengan hasil baik. Pelaksanaan pemeriksaan dan pengujian instalasi di atas 199 kVA tegangan rendah dan tegangan tinggi dilakukan oleh instansi lain yang netral.

Orang yang diserahi tanggung jawab atas semua pekerjaan pekerjaan pemeriksaan instalasi listrik harus ahli (memiliki sertifikat kompetensi) di bidang kelistrikan, memahami peraturan perlistrikan, menguasai pekerjaan memasang instalasi listrik, dan memiliki memiliki izin bekerja dari instansi yang berwenang. Penguji harus mampu menjaga keselamatan dirinya dan orang lain di dekat tempat pengujian. Sikap dan tindakan pengujian yang harus dilakukan oleh seorang penguji mencakup diantaranya hal-hal sebagai berikut:

- 1) Meyakini bahwa tindakan keselamatan dan pengamanan dipatuhi.
- 2) Mempunyai pemahaman tentang instalasi, bagaimana rancangannya dan bagaimana pemasangannya.
- 3) Meyakini bahwa instrumen instrumen uji yang akan digunakan digunakan memenuhi standar yang ditentukan dan masih mempunyai tanda lulus kalibrasi untuk menjamin ketelitiannya.
- 4) Memeriksa bahwa penghantar uji yang akan dipakai dalam keadaan baik perlu diproteksi oleh pengaman lebur.

Penguji dan pengguna instalasi harus memperoleh data pengujian demikian pula pengguna instalasi harus memperoleh data yang jelas tentang instalasi dan bagaimana melaksanakan fungsi tersebut.

Data yang diperlukan oleh seorang pemeriksa dan penguji adalah sebagai berikut:

- 1) Gambar situasi.
- 2) Gambar instalasi sesuai ketentuan.
- 3) Jenis suplai fasa tunggal atau fasa tiga.
- 4) Kebutuhan maksimum instalasi.
- 5) Tindakan pembumian bagi instalasi.
- 6) Rincian rancangan instalasi termasuk susunan PHB utama dan PHB cabang serta sirkuit cabang dan sirkuit akhir.
- 7) PHB cabang serta sirkuit cabang dan sirkuit akhir.
- 8) Data mengenai rancangan instalasi termasuk perhitungan untuk menentukan kebutuhan maksimum, penampang penghantar fasa dan netral, penghantar pengaman, dan lainnya.
- 9) Metode yang diterapkan untuk menghindari tegangan sentuh.
- 10) Metode yang diterapkan untuk menghindari tegangan sentuh jika terjadi gangguan bumi, dan

11) Daftar semua sirkuit dan perlengkapan yang mungkin menjadi rusak karena adanya pengujian.

Tanpa informasi yang lengkap, penguji tidak dapat melakukan verifikasi apakah instalasi listrik telah memenuhi regulasi dan persyaratan atau instalasi telah dilaksanakan sesuai rancangan.

3.6. Pelaksanaan Pemeriksaan

Tahap pelaksanaan pemeriksaan instalasi listrik pada sebuah bangunan dilakukan melalui tahap-tahap berikut:

3.6.1. Pemeriksaan Penandaan dan Tanda Perhatian

Tahap awal pemeriksaan adalah melakukan pemeriksaan terhadap penandaan dan tanda perhatian yang meliputi:

- a. Label pada pengaman lebur;
- b. Penandaan pada sakelar utama;
- c. Berbagai informasi pada gambar instalasi;
- d. Peringatan pada PHB utama tentang pengujian terakhir dan pengujian berkala berikutnya;
- e. Tanda peringatan adanya bahaya jika penghantar bumi dilepas pada titik elektrode bumi, terminal pembumi utama, dan penghantar pengikat ekipotensial.

3.6.2. Pemeriksaan Sebelum Pengujian

Tahap pemeriksaan yang kedua yaitu melakukan kegiatan pemeriksaan sebelum dilakukan tahap pengujian. Tahap pemeriksaan ini meliputi beberapa hal diantaranya adalah:

- a. Pengecekan terhadap instalasi listrik dan memastikan tidak terlihat cacat atau rusak.
- b. Pemeriksaan instalasi listrik telah dipilih dan dipasang secara benar.

- c. Pemeriksaan instalasi listrik telah memenuhi dan sesuai standar yang berlaku.
- d. Pemeriksaan instalasi listrik sudah cocok dengan kondisi sekeliling yang berlaku.

3.6.3. Pemeriksaan Berkala

Pemeriksaan berkala dilakukan secara terjadwal agar kondisi instalasi listrik dapat dipantau kinerjanya dengan baik. Pemeriksaan secara berkala berbagai instalasi listrik dapat menggunakan pedoman sebagai berikut:

- a. Rumah tinggal 5 tahun.
- b. Bangunan komersial 5 tahun.
- c. Bangunan industri 3 tahun.
- d. Sekolah 5 tahun.
- e. Rumah sakit 5 tahun.
- f. Komplek hiburan 1 tahun.
- g. Agrobisnis 3 tahun.
- h. Penerangan darurat 3 tahun.
- i. Sistem alarm kebakaran 1 tahun.
- j. Instalasi sementara 3 bulan.

3.6.4. Pelaksanaan Pemeriksaan

Tahap berikutnya dalam pekerjaan pemeriksaan instalasi listrik yaitu pelaksanaan pemeriksaan. Dalam melaksanakan pemeriksaan, perlu dipastikan beberapa hal berikut ini.

- a. Pelaksana pekerjaan harus menyerahkan data yang berisi:
 - 1) Satu kartu JILDAG yang telah diisi dan dibubuhkan gambar instalasi dan gambar situasi dan telah ditandatangani di atas meterai oleh PJT.

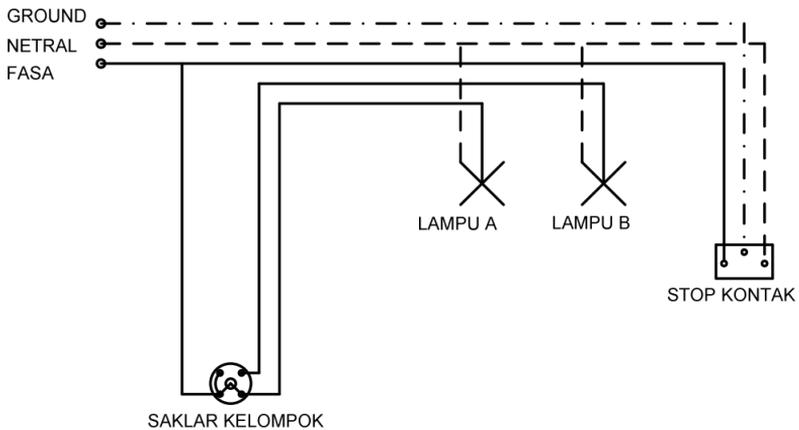
- 2) Perhitungan tentang jenis dan penampang penampang kabel, susut tegangan, dan impedansi lingkaran bumi.
 - 3) Daftar peralatan/material listrik yang terpasang beserta jumlah dan spesifikasinya.
 - 4) Sertifikat kontraktor yang menyatakan bahwa instalasi telah selesai dipasang dengan baik dan telah diperiksa dan atau diuji internal internal oleh kontraktor kontraktor.
 - 5) Tanda pelunasan biaya pemeriksaan dan pengujian.
- b. Pelaksana pekerjaan harus menyiapkan petugas untuk mendampingi penguji KONSUIL dan membantu kelancaran pelaksanaan pengujian instalasi.
 - c. Pelaksana pekerjaan bersedia menyaksikan pelaksanaan pengujian dan membubuhkan tanda tangan pada borang pengujian KONSUIL bersama pemilik bangunan.
 - d. KONSUIL mengirim penguji ke lapangan untuk melaksanakan pemeriksaan dan pengujian dengan berpedoman pada borang pengujian yang sudah baku.
 - e. Setelah pemeriksaan selesai dan data hasil pemeriksaan telah dituangkan pada borang, penguji membubuhkan tanda tangan pada borang tersebut.
 - f. Penanggung jawab pelaksana pekerjaan atau yang diberi wewenang bersama pemilik instalasi harus membubuhkan tanda tangannya pada borang pengujian untuk kesaksiannya bahwa pemeriksaan dan pengujian telah dilaksanakan sesuai prosedur.
 - g. TIM ahli melakukan melakukan evaluasi evaluasi atas gambar instalasi dan borang yang telah diisi dan ditandatangani. Selanjutnya TIM ahli memberi

penilaian apakah instalasi layak atau tidak diberi sertifikat.

- h. Instalasi yang memenuhi syarat diberi sertifikat yang ditandatangani oleh Ketua KONSUIL.

3.7. Latihan Soal

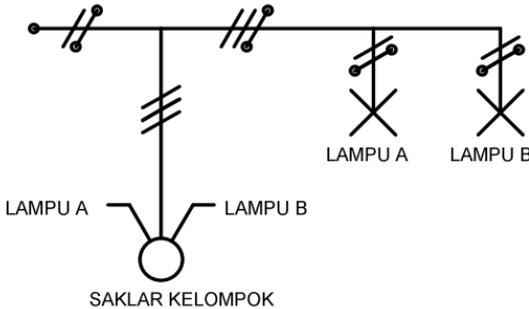
1. Berikut ini yang bukan merupakan hal yang diperlukan dalam pemeriksaan dokumen pada pekerjaan kelistrikan yaitu ...
 - a. Gambar teknik
 - b. Diagram garis tunggal
 - c. Diagram pengawatan
 - d. Dokumen spesifikasi material dan peralatan
 - e. Rancangan anggaran dan biaya
2. Perhatikan gambar berikut ini



Gambar di atas merupakan

- a. *Single line diagram*
- b. *Wiring diagram*
- c. *Technical diagram*
- d. Gambar kerja
- e. Gambar instalasi listrik

3. Perhatikan gambar berikut



Gambar di atas menunjukkan ...

- a. *Single line diagram*
 - b. *Wiring diagram*
 - c. Instalasi lampu
 - d. Gambar teknik
 - e. Gambar instalasi listrik
4. Untuk mengetahui kesesuaian penghantar yang digunakan pada instalasi listrik harus dilakukan dengan ...
- a. Warna kabel
 - b. Jenis penghantar
 - c. Ukuran penghantar
 - d. Bahan penghantar
 - e. Benar semua
5. Untuk mengetahui apakah instalasi listrik telah dilaksanakan dengan baik sesuai dengan standar perencanaan dapat dilakukan dengan cara ...
- a. Pemeriksaan visual
 - b. Pemeriksaan teknis
 - c. Pemeriksaan total
 - d. Pengujian
 - e. Pemeriksaan dan pengujian
6. Berapa lamakah instalasi rumah tinggal perlu dilakukan pemeriksaan berkala untuk menjamin sistem tenaga listrik masih memenuhi standar instalasi listrik...
- a. 1 tahun
 - b. 2 tahun
 - c. 5 tahun
 - d. 7 tahun
 - e. 10 tahun

7. Melihat apakah semua perlengkapan dalam kondisi baik, secara fisik tidak ada kelalaian, tidak cacat fisik merupakan pemeriksaan ...
- a. Pemeriksaan visual
 - b. Pemeriksaan teknis
 - c. Pemeriksaan total
 - d. Pengujian
 - e. Komisioning

BAB 4

PENGUJIAN SISTEM DAN PERALATAN TENAGA LISTRIK

4.1. Pendahuluan

Pengujian merupakan salah satu pekerjaan dalam bidang teknik tenaga listrik yang mempunyai peran penting. Pengujian perlu dilakukan oleh teknisi untuk memastikan apakah sistem dan peralatan tenaga listrik sudah memenuhi standar. Kegiatan pengujian dilakukan setelah pemeriksaan atau inspeksi sistem dan peralatan listrik baik pada pekerjaan komisioning sistem dan peralatan baru maupun pada kegiatan pemeliharaan atau *maintenance*. Hasil pengujian dapat dijadikan sebagai dasar seorang *engineer* untuk membuat keputusan apakah sistem dan peralatan tenaga listrik sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan dokumen perencanaan dan standar.

Pada pekerjaan *maintenance* pengujian berfungsi untuk memberikan informasi apakah peralatan atau sistem instalasi listrik masih dapat digunakan dalam jangka waktu tertentu atau perlu dilakukan penggantian. Pengujian peralatan listrik dapat dilakukan secara *offline* artinya listrik harus dimatikan atau dalam keadaan *online* listrik tidak perlu dimatikan. Pemilihan metode

pengujian peralatan dan sistem kelistrikan ditentukan oleh jenis dan tujuan pengujiannya.

Pengujian sistem dan peralatan listrik harus dilakukan dengan cara yang benar, menggunakan peralatan yang tepat dan dilakukan oleh orang yang kompeten. Sistem tenaga listrik mempunyai potensi yang dapat membahayakan bagi peralatan, personil dan lingkungan, sehingga setiap pekerjaan termasuk pemeriksaan dan pengujian harus dilaksanakan dengan baik dan benar.

Pengujian sistem kelistrikan dilakukan terhadap komponen-komponen sistem tenaga listrik yang meliputi unit pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, jaringan distribusi dan instalasi pemanfaatan. Metode dan teknik pengujian masing-masing pekerjaan di bidang teknik kelistrikan didasarkan pada standar yang dikeluarkan oleh asosiasi dan industri yang berkaitan dengan pekerjaan kelistrikan. Mengingat banyaknya macam dan jenis sistem kelistrikan dan standar yang ada, pemahaman dan kesepakatan antara pihak yang mempunyai pekerjaan, pelaksana dan pengawas perlu ditentukan agar tidak terjadi kesalahpahaman dalam proses pengujian.

4.2. Jenis Pengujian Sistem Tenaga Listrik

Pengujian yang dilakukan sistem dan peralatan listrik pada umumnya dilakukan dengan dua (2) cara, yaitu: 1) pengujian merusak, dan 2) pengujian tidak merusak.

1. Pengujian merusak

Pengujian merusak yaitu kegiatan pengujian terhadap sistem dan peralatan listrik yang mempunyai akibat akan merusakkan sistem atau peralatan yang diuji. Pengujian merusak digunakan untuk mengetahui apakah komponen atau peralatan yang digunakan sudah sesuai dengan kemampuannya. Pengujian merusak biasanya dilakukan di pabrik pembuat peralatan agar mendapatkan produk yang benar-benar sesuai dengan spesifikasi yang dituliskan.

Pengujian merusak dapat dilakukan oleh konsumen atau *engineer* untuk mengetahui kinerja dari peralatan yang akan dipakai. Pengujian yang bersifat merusak biasanya dilakukan secara random terhadap sampling populasi tertentu. Hasil pengujian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan penggunaan peralatan dan material pada sistem instalasi listrik.

Contoh pengujian yang bersifat merusak pada bidang sistem tenaga listrik diantaranya adalah:

- a. Pengujian tegangan tembus isolator
Untuk mengetahui tegangan tembus sebuah isolator maka harus dilakukan pengujian dengan memberikan tegangan sampai isolator tidak mampu menahannya. Pengujian tegangan tembus biasanya dilakukan di laboratorium untuk menguji kinerja dari bahan isolator.
- b. Pengujian arus lebur pada sekring atau fuse
Sekring atau fuse merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk mengamankan instalasi listrik dari gangguan arus hubung singkat. Untuk mengetahui karakteristik dari sekring, perlu dilakukan pengujian terhadap arus yang akan diputus oleh sekring. Untuk itu perlu dilakukan pengujian kinerja sekring dengan memberikan berbagai arus dan waktu sehingga dapat didapat informasi yang akurat tentang karakteristik kinerja sekring.
- c. Pengujian kemampuan hantar arus pada penghantar atau kabel
Kemampuan suatu penghantar dalam menahan arus listrik biasanya dituliskan pada tabel KHA Arus sesuai dengan standar. Untuk memastikan apakah suatu produk memenuhi standar, perlu dilakukan pengujian kemampuannya dengan memberikan arus sampai batas maksimal sampai penghantar tidak kuat menahan arus yang lebih besar.

d. Pengujian merusak lainnya

Pengujian-pengujian di atas mempunyai sifat merusakkan peralatan yang diuji sehingga disebut dengan pengujian merusak (*destructive test*). Pengujian-pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data yang valid tentang parameter suatu komponen atau peralatan listrik. Pengujian dapat dilakukan oleh pabrik pembuat atau *user* yang dilakukan secara *sampling* pada beberapa produk.

2. Pengujian tidak merusak

Pengujian tidak merusak yaitu pengujian peralatan listrik yang tidak merusakkan objek yang diuji. Pengujian tidak merusak termasuk dalam pengukuran besaran-besaran parameter listrik yang dapat dijadikan rujukan atau pertimbangan dalam pengambilan keputusan kegiatan pemeliharaan sistem tenaga listrik.

Contoh pengujian yang bersifat tidak merusak pada bidang sistem tenaga listrik diantaranya adalah:

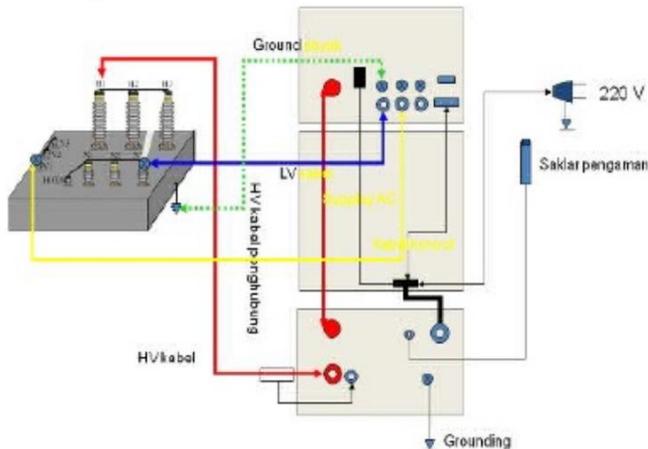
a. Pengujian tahanan isolasi

Pengujian tahanan isolasi baik pada kabel, belitan transformator, belitan motor dan belitan generator dapat dilakukan dengan tidak merusakkan peralatan yang diuji. Pengujian tahanan isolasi harus dilakukan dalam kondisi listrik dimatikan. Pengujian dilakukan dengan peralatan Mega Ohm Meter atau lebih dikenal dengan istilah *Megger*, baik yang manual maupun digital.

b. Pengujian *tangen delta*

Pengujian *tangen delta* dilakukan untuk mengetahui pemburukan atau kegagalan isolasi pada suatu peralatan listrik seperti belitan trafo, motor maupun generator. Pengujian *tangen delta* pada belitan trafo dapat dilakukan dengan beberapa mode yaitu GST, UST, GSTg, sedangkan untuk bushing ditambahkan mode *Hot Collar* untuk

mengetahui adanya perubahan kekuatan mekanisnya. Pengujian *tangen delta* trafo dapat menggunakan beberapa alat antara lain *tettex* dan alat uji *tangen delta megger 2.000*. Langkah awal sebelum melakukan pengujian adalah bebaskan trafo dari tegangan dengan melepas sambungan ke busbar, kemudian pasang pentanahan temporer pada trafo agar proses pengujian berjalan aman. Bersihkan *bushing* dan hubung singkat antar terminal primer, sekunder, dan tersier dengan menggunakan bare konduktor atau kabel lurus. Berikut ini rangkaian untuk pengujian trafo tiga fasa:



Gambar 4.1. Rangkaian pengujian *tangen delta* pada trafo

c. Pengujian tahanan pentanahan

Tahanan pentanahan merupakan syarat penting dalam instalasi tenaga listrik. Agar bila terjadi gangguan tanah, arus gangguan yang sangat besar dapat disalurkan ke tanah dengan cepat sehingga peralatan proteksi gangguan tanah dapat bekerja dengan baik. Untuk itu dibutuhkan pengujian tahanan pentanahan sesuai dengan standar. Semakin kecil tahanan pentanahan suatu instalasi listrik akan mempercepat pembuangan arus gangguan tanah.

Pengujian tahanan pentanahan dapat dilakukan dengan alat *Earth tester*.

d. Pengujian *Partial Discharge*

Pengujian *partial discharge* (pengujian sebagian) biasa dilakukan untuk memprediksi suatu peralatan apakah masih memungkinkan untuk beroperasi sampai batas waktu tertentu. Pengujian dilakukan dengan peralatan *partial discharge measurement*.

4.3. Testing dan Komisioning Pekerjaan Kelistrikan

Pengertian tentang pekerjaan instalasi tenaga listrik yaitu instalasi sistem tenaga listrik yang dimulai dari pusat pembangkit, saluran transmisi, jaringan distribusi sampai instalasi pemanfaatan oleh konsumen. Dalam pekerjaan sistem kelistrikan, perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian baik dalam tahap perencanaan, pelaksanaan, operasional maupun dalam pemeliharaannya.

Biasanya dalam pekerjaan teknik, setelah selesai suatu pekerjaan akan dilakukan *testing* dan komisioning. Hal ini bertujuan untuk memastikan pekerjaan suatu instalasi tenaga listrik telah dirancang, dilaksanakan dan mempunyai performa yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan. *Testing* dan komisioning juga dapat digunakan untuk memastikan suatu instalasi tenaga listrik menggunakan bahan dan material yang memenuhi spesifikasi dan secara keseluruhan secara sistem telah berfungsi dengan baik dan memenuhi kontrak. Lebih lanjut, *testing* dan komisioning perlu dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui apakah pemasangan dan penyetelan dari tiap-tiap peralatan selama konstruksi/pembangunan telah dilakukan dengan baik sesuai dengan standar dan juga untuk mengetahui penampilan unjuk kerja sesungguhnya unit baru yang telah selesai dibangun tersebut apakah telah sesuai dengan spesifikasi dan garansi kontrak.

Tim *testing* dan komisioning terdiri atas tenaga-tenaga profesional di bidang teknik tenaga listrik yang dapat berasal dari PLN dan LMK yang dibantu oleh unit-unit lainnya. Tugas dari tim *testing* dan komisioning yaitu untuk mengevaluasi hasil uji-uji komisioning. Pada suatu proyek yang sifatnya terima jadi (*turn key projeck*) dan perusahaan, Saudara ikut dalam salah satu anggota Konsorsium pada pembangunan proyek tersebut, dalam hal ini PLN harus mengikuti secara aktif pada saat komisioning.

Sebelum komisioning dilakukan proyek ataupun kontraktor harus telah menyiapkan dan menyerahkan seluruh dokumen dan informasi yang lengkap yang diperlukan pada pengujian serta penilaiannya. Penerimaan suatu instalasi adalah suatu proses yang meliputi persetujuan terhadap spesifikasi, persetujuan terhadap tipe alat dari pabrik, persetujuan pengujian pabrik, persetujuan pada komisioning dan pengujian, dan persetujuan pada operasi dalam masa garansi.

Pengujian individual merupakan kegiatan pada komisioning yang menyangkut pengujian karakteristik dan kerja masing-masing peralatan. Semua alat uji harus memenuhi ketentuan seperti masa kalibrasi masih berlaku dan meter tersebut memenuhi kelasnya.

Suatu instalasi tenaga listrik dapat dinyatakan baik dan andal bila telah diadakan suatu komisioning secermat-cermatnya sehingga masing-masing alatnya maupun sebagai suatu sistem, telah berfungsi dengan baik dan memenuhi kontrak

Kriteria evaluasi pengujian dapat diambil dari standar, data desain, kontrak, uji pabrik dan seterusnya. Apabila ada pertentangan antara nilai-nilai (harga-harga) batasan kriteria yang terdapat dalam sumber-sumber tersebut, maka yang dianggap paling menentukan adalah diambil dari kontrak.

4.4. Regulasi dan Standar

Pelaksanaan inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik yang meliputi unit pembangkit, saluran transmisi, jaringan

distribusi dan instalasi pemanfaatan harus dilakukan dengan mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral serta Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi. Untuk itu, kegiatan inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik harus mengacu pada regulasi yang menjadi acuan Inspektur Ketenagalistrikan dalam melaksanakan inspeksi, diantaranya sebagai berikut:

1. Undang Undang Nomor 30 tahun 2007 tentang Energi.
2. Undang Undang Nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan.
3. Undang Undang Nomor 32 tahun 2009 tentang Lingkungan.
4. Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik.
5. Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik.
6. Peraturan Menteri ESDM Nomor 35 Tahun 2013 tentang Tata Cara Perizinan Usaha Ketenagalistrikan.
7. Peraturan Menteri ESDM Nomor 38 Tahun 2013 tentang Kompensasi Atas Tanah, Bangunan, dan Tanaman yang Berada di Bawah Ruang Bebas Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi.
8. Peraturan Menteri ESDM Nomor 05 Tahun 2014 tentang Tata Cara Akreditasi dan Sertifikasi Ketenagalistrikan.
9. Peraturan Menteri ESDM Nomor 28 Tahun 2014 tentang Kualifikasi Jasa Penunjang Tenaga Listrik.
10. Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2015 tentang Ruang bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah untuk Penyaluran Tenaga Listrik.

11. Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2016 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2013 tentang Tata Cara Perizinan Usaha Ketenagalistrikan.
12. Peraturan Menteri ESDM Nomor 46 Tahun 2017 tentang Standardisasi Kompetensi Tenaga Teknik Ketenagalistrikan.

Selain regulasi yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan inspeksi, terdapat pula standar-standar teknis yang digunakan sebagai pedoman dalam pemeriksaan Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik, diantaranya adalah:

1. *The American Society of Mechanical Engineers (ASME) Standards.*
2. *American Standard Testing and Material (ASTM) Standards.*
3. *National Fire Protection Association (NFPA) Standard.*
4. *International Electrotechnical Commission (IEC) Standards.*
5. *American National Standards (ANSI) Standards.*
6. Standar Nasional Indonesia (SNI).
7. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN).

4.5. Persiapan Pengujian

1. Persiapan Administrasi

Berdasarkan *Standard Operational Procedure (SOP)*, pelaksanaan pengujian sistem tenaga listrik membutuhkan beberapa persiapan administrasi yang dilaksanakan oleh inspektur ketenagalistrikan adalah sebagai berikut:

- a. Surat Tugas Inspeksi dan Pengujian Sistem Tenaga Listrik
Kegiatan inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik merupakan kegiatan resmi. Untuk itu perlu dilakukan dengan mengikuti administrasi yang berlaku di tempat kerja. Di beberapa instansi kegiatan ini memerlukan surat tugas bagi personil yang akan melakukan.

- b. Surat Pengantar dan Pengujian Sistem Tenaga Listrik
Untuk menjamin kegiatan inspeksi dan pengujian dilakukan oleh personil yang berwenang dan kompeten, diperlukan surat pengantar kepada tim yang akan melaksanakan pekerjaan pemeriksaan dan pengujian. Surat pengantar harus ditandatangani oleh pejabat berwenang yang mempunyai kemampuan dalam bidang pemeriksaan dan pengujian unit pembangkit listrik.

- c. Persiapan Peralatan Inspeksi dan Pengujian Sistem Tenaga Listrik
Peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk kegiatan inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik diantaranya:

1) *Tool Set*



Gambar 4.2. *Toolset*

2) *Multimeter*



Gambar 4.3. Alat ukur multimeter analog dan digital

3) Mega Ohm Meter (*Megger*)



Gambar 4.4. Alat ukur tahanan isolasi

4) Tang Ampere



Gambar 4.5. Tang Ampere

5) *Sound Level Meter*



Gambar 4.6. *Sound Level Meter*

6) *Vibration Analyzer*



Gambar 4.7. Alat ukur vibrasi

7) *Infrared Thermography*



Gambar 4.8. *Infrared Thermography*

8) *Partial Discharge Tester*



Gambar 4.9. *Partial Discharge Tester*

9) Tan Delta Meter



Gambar 4.10. Tan Delta Meter

2. Persiapan Pelaksanaan

Persiapan pelaksanaan inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik harus dilakukan agar didapat hasil yang sesuai dengan kondisi real di lapangan. Persiapan pelaksanaan berkaitan dengan hal-hal yang terkait dengan teknis pelaksanaan pemeriksaan dan pengujian yang meliputi:

- Persiapan tenaga pelaksana.
- Persiapan *checklist* bagian-bagian mana yang akan diperiksa.
- Persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan.

4.6. Pelaksanaan Pengujian

Kegiatan inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik dilaksanakan oleh tim ketenagalistrikan yang mempunyai kompetensi di bidang teknik tenaga listrik. Apabila tidak mempunyai tim ketenagalistrikan yang kompeten, instansi yang akan melakukan kegiatan inspeksi dan pengujian dapat meminta bantuan dari tim Inspektur Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Tim inspeksi dapat terdiri atas dua sampai dengan empat orang.



Gambar 4.11. Pelaksanaan pengujian sistem tenaga listrik

Kegiatan inspeksi unit pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan selama dua sampai dengan tujuh hari tergantung dari lokasi instalasi sistem tenaga listrik listrik dan tingkat kerumitan inspeksi.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan oleh Inspektur Ketenagalistrikan saat kegiatan inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik berlangsung adalah sebagai berikut:

1. Inspektur Ketenagalistrikan harus selalu menggunakan atribut Inspektur Ketenagalistrikan (rompi dan *safety shoes*).
2. Inspektur Ketenagalistrikan harus menaati peraturan yang berlaku di wilayah Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik.
3. Inspektur Ketenagalistrikan harus bertindak secara profesional dan transparan dalam kegiatan inspeksi.

Langkah-langkah yang harus dilaksanakan oleh Inspektur Ketenagalistrikan dalam pelaksanaan inspeksi adalah sebagai berikut:

1. Melakukan wawancara dengan pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik.
2. Melakukan pemeriksaan dokumen dan pemeriksaan visual berdasarkan *checklist* pemeriksaan penerapan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan *checklist* pemeriksaan teknis.

3. Mendokumentasikan kegiatan pemeriksaan penerapan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan pemeriksaan teknis.
4. Melakukan klarifikasi kepada pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik apabila ditemukan ketidaksesuaian berdasarkan hasil pemeriksaan.
5. Membuat risalah inspeksi yang berisi hasil pemeriksaan yang disepakati oleh Tim Inspektur Ketenagalistrikan dan pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik.

4.7. Pelaporan Kegiatan Inspeksi dan Pengujian

Kegiatan yang dilakukan setelah inspeksi dan pengujian sistem tenaga listrik selesai dilaksanakan adalah menyusun laporan hasil inspeksi yang telah dilaksanakan. Laporan yang disusun oleh tim pemeriksa dan penguji pada unit pembangkit tenaga listrik harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus mengunggah dokumen risalah inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik pada *website* Sistem Informasi Inspektur Ketenagalistrikan (www.inspektur.djk.esdm.go.id) sesuai dengan akun masing-masing Inspektur Ketenagalistrikan maksimal pada hari terakhir inspeksi dilaksanakan.
2. Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus menyampaikan hasil kegiatan inspeksi kepada Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan melalui Nota Dinas Atasan.
3. Apabila berdasarkan poin (2) Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan menghendaki adanya rekomendasi untuk pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik, maka Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus menyusun rekomendasi kepada pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik sesuai arahan Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan.
4. Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus menyusun Laporan Inspeksi Pembangkit Tenaga Listrik dengan format terlampir

dan mengunggah laporan tersebut pada *website* Sistem Informasi Inspektur Ketenagalistrikan (www.inspektur.djk.esdm.go.id) sesuai dengan akun masing-masing Inspektur Ketenagalistrikan maksimal 3 (tiga) hari kerja setelah inspeksi dilaksanakan.

4.8. Latihan Soal

1. Salah satu contoh pengujian yang bersifat merusak yaitu pada pengujian peralatan listrik berikut ini ...
 - a. Pengujian tahanan isolasi
 - b. Pengujian *Partial Discharge*
 - c. Pengujian *Tangen Delta*
 - d. Pengujian KHA Kabel
 - e. Pengujian Tahanan Pentanahan
2. Pengujian Tahanan isolasi pada belitan stater motor listrik induksi dapat dilakukan dengan menggunakan ...
 - a. Multimeter
 - b. *Infrared Thermography*
 - c. *Megger*
 - d. Cos phi Meter
 - e. Watt meter
3. Untuk mengetahui apakah sebuah instalasi listrik sudah memenuhi persyaratan, maka harus dilakukan pengujian tahanan isolasi dengan nilai minimal sebesar ...
 - a. 100 kali tegangan kerja
 - b. 500 kali tegangan kerja
 - c. 1.000 kali tegangan kerja
 - d. 5.000 kali tegangan kerja
 - e. 10.000 kali tegangan kerja

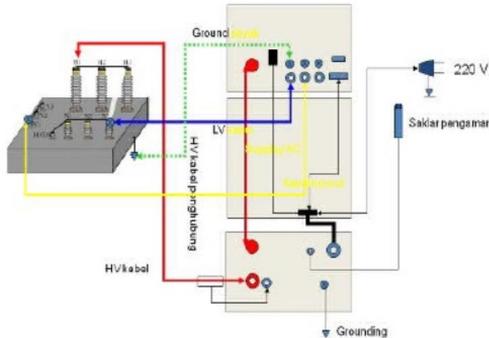
4. Apabila hasil pengujian suatu instalasi tenaga listrik ternyata hasilnya tidak memenuhi persyaratan, maka harus dilakukan tindakan ...
 - a. Membongkar
 - b. Perbaikan
 - c. Penggantian
 - d. Pengerjaan ulang
 - e. Pemutusan
5. Pengujian instalasi listrik yang tidak boleh dilakukan pada saat kondisi listrik menyala yaitu ...
 - a. Pengujian drop tegangan
 - b. Pengujian tahanan isolasi
 - c. Pengujian kemampuan hantar arus
 - d. Pengujian intensitas pencahayaan
 - e. Pengujian ketahanan *circuit breaker*
6. Suatu instalasi listrik rumah tinggal menggunakan kabel jenis NYA untuk memasang Lampu dan Stop kontak. Bagaimana langkah pengamanan kabel NYA yang benar ...
 - a. Diisolasi
 - b. Dilindungi kabel *tray*
 - c. Dipasang di atas plafon
 - d. Dipasang di dalam tembok
 - e. Dilindungi dengan pipa paralon
7. Perhatikan gambar berikut ini



Gambar di atas digunakan untuk ...

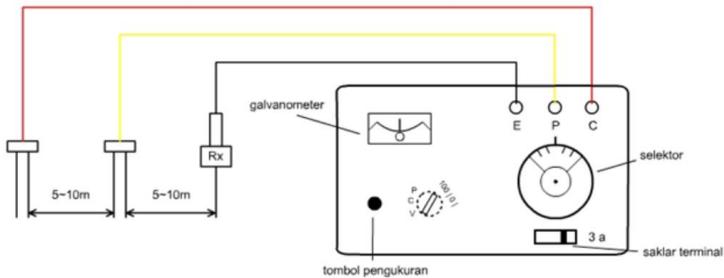
- a. Mengukur $\tan \delta$
- b. Mengukur *sound*
- c. Mengukur tahanan isolasi
- d. Mengukur polaritas indeks
- e. Mengukur *partial discharge level*

8. Untuk mengukur arus listrik yang besar, dengan menggunakan ampere meter, diperlukan alat tambahan yaitu ...
- Tang Ampere
 - Trafo Arus
 - Trafo Tegangan
 - Konverter
 - Penyearah
9. Perhatikan gambar berikut ini



Gambar di atas merupakan rangkaian pengujian ...

- Tangen Delta*
 - Tahanan Isolasi
 - Partial Discharge*
 - Hi-pot test
 - Polaritas Indeks
10. Perhatikan gambar berikut ini



Gambar di atas merupakan rangkaian pengujian ...

- Tahanan Isolasi
- Polaritas Indeks
- Tangen Delta*
- Partial Discharge*
- Tahanan tanah

BAB 5

INSPEKSI DAN TES UNIT PEMBANGKIT LISTRIK

Pembangkit listrik merupakan salah satu mesin yang bertujuan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada umumnya pembangkit listrik menggunakan prinsip kerja thermal dengan menghasilkan uap bertekanan tinggi dan suhu tinggi untuk menggerakkan turbin dengan kecepatan cukup tinggi. Hal ini menimbulkan potensi bahaya baik bagi keselamatan pekerja, teknisi, orang lain yang berada di tempat kerja, peralatan-peralatan pembangkit dan pendukungnya serta lingkungan sekitar. Bahaya yang ditimbulkan oleh adanya gangguan atau tidak bekerjanya unit pembangkit dapat berupa kecelakaan kerja, kebakaran, atau bahkan bahaya ledakan. Oleh karena itu, unit pembangkit perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian berkaitan dengan persyaratan dan standar yang berlaku agar unit pembangkit dapat bekerja dengan baik.

Sesuai dengan amanah Undang Undang Nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan bahwa pembangunan ketenagalistrikan bertujuan untuk menjamin ketersediaan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup, kualitas yang baik, dan harga yang wajar dalam rangka meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat secara adil dan merata serta mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan. Untuk memastikan ketentuan regulasi dan kebijakan yang telah ditetapkan, dilaksanakan

dengan optimal, maka pemerintah perlu melakukan pembinaan dan pengawasan usaha penyediaan tenaga listrik yang diantaranya adalah dengan melakukan pengawasan keteknikan di lapangan dan melakukan penelitian serta evaluasi atas laporan pelaksanaan usaha di bidang ketenagalistrikan.

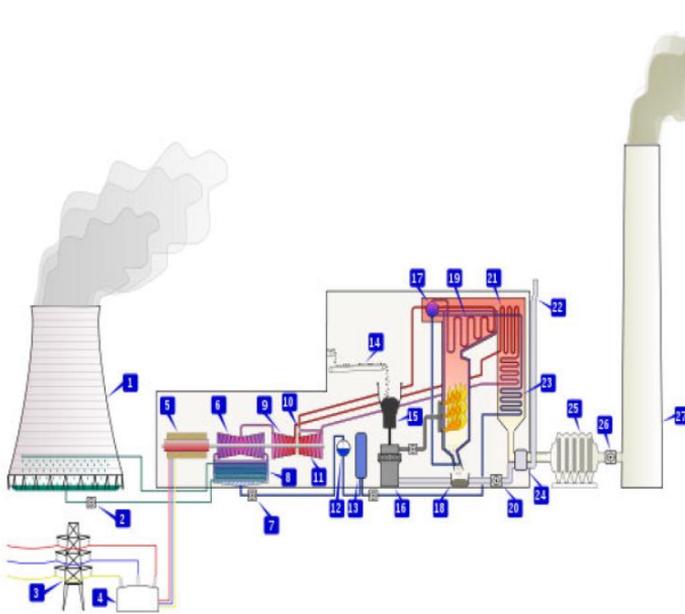
Dalam hal pengawasan keteknikan, pemerintah dibantu oleh Inspektur Ketenagalistrikan. Inspektur Ketenagalistrikan memiliki tugas pokok yaitu melakukan inspeksi, pengujian, penelaahan proses dan gejala berbagai aspek ketenagalistrikan, mengembangkan metode dan teknik inspeksi, melaporkan, dan menyebarkan hasil inspeksi. Untuk mendapatkan hasil kegiatan inspeksi yang optimal, diperlukan petunjuk teknis pelaksanaan inspeksi instalasi pembangkit tenaga listrik sebagai pedoman dalam pelaksanaan kegiatan inspeksi baik dalam tahap persiapan, pelaksanaan dan melaporkan hasil inspeksi.

Secara umum, unit pembangkit tenaga listrik terdiri atas pekerjaan lintas bidang yang meliputi struktur, mekanika dan elektrik. Oleh karena itu, dalam kegiatan pemeriksaan pemeriksaan dan pengujian harus diperhatikan faktor-faktor yang memengaruhinya.

5.1. Jenis-Jenis Pembangkit Listrik

1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang paling banyak digunakan di Indonesia. Pertimbangan penggunaan PLTU adalah karena ketersediaan bahan baku batu bara yang melimpah dan harga yang relatif murah. Contoh PLTU yang ada di Indonesia adalah PLTU Paiton Jawa Timur, PLTU Adipala Cilacap, PLTU Suralaya Jawa Barat, PLTU Pelabuhan Ratu Banten, PLTU Muara Karang Jakarta, dan PLTU lainnya. Komponen-komponen yang menyusun PLTU dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Bagian-bagian PLTU dengan fungsinya dapat dicermati dalam Tabel 5.1. berikut.

No.	Nama Bagian	Fungsi
1.	<i>Cooling Tower</i>	Mendinginkan air panas sisa dari uap yang digunakan untuk memutar turbin sebelum dikembalikan ke lingkungan.
2.	<i>Cooling Water Pump</i>	Memompa air.
3.	<i>Transmission Line</i>	Mentransmisikan energi listrik dari pembangkit ke <i>grid</i> .
4.	Unit Transformator	Mengubah tegangan menengah menjadi tegangan tinggi.
5.	Generator Listrik	Mengubah energi mekanik (putaran turbin) menjadi energi listrik.
6.	<i>Low Pressure Turbin</i>	Mengonversikan energi panas dari uap air menjadi energi listrik.
7.	<i>Pompa Condensate Extraction</i>	Mengalirkan air kondensat dari <i>hotwell</i> melintasi sistem air kondensat menuju ke deaerator.
8.	Kondensor	Mengubah uap bekas turbin menjadi air kondensat.
9.	<i>Intermediate Pressure Turbin</i>	Mengonversikan energi panas dari uap air menjadi energi listrik.
10.	<i>Steam Governor Valve</i>	Mengatur buka tutup valve untuk mendapatkan putaran turbin yang diinginkan.
11.	<i>High Pressure Turbin</i>	Mengonversi energi panas dari uap air menjadi energi listrik.
12.	Deaerator	Membuang gas-gas yang tidak dibutuhkan dari dalam air kondensat seperti oksigen (O ₂),

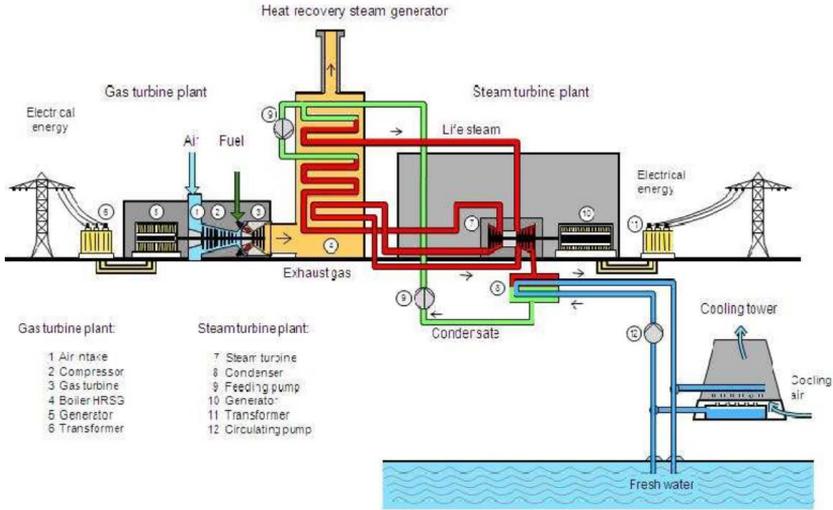
No.	Nama Bagian	Fungsi
		karbon dioksida (CO ₂), dan non <i>condensable</i> gas lainnya.
13.	<i>Feed Water Heater</i>	Meningkatkan efisiensi generator.
14.	<i>Cold Conveyor</i>	Memindahkan batu bara menuju tempat penggilingan agar mudah dibakar.
15.	<i>Coal Hopper</i>	Tempat penampungan batu bara sebelum dihaluskan.
16.	<i>Pulverised Fuel Mill</i>	
17.	<i>Boiler Drum</i>	Tempat untuk memasak air guna mengubah menjadi uap.
18.	<i>Ash Hopper</i>	Tempat penampungan debu yang telah ditangkap.
19.	<i>Super heater</i>	Memanaskan uap sehingga menghasilkan uap yang memenuhi persyaratan untuk memutar turbin.
20.	<i>Force Draught Fan</i>	Menghasilkan udara sekunder untuk mencampur udara dan bahan bakar di- <i>burner</i> sebagai udara pembakaran di dalam <i>furnace</i> .
21.	<i>Reheater</i>	Pemanasan kembali uap air yang telah mengalami penurunan suhunya.
22.	<i>Air Intake</i>	Tempat masuknya udara untuk pembakaran.
23.	<i>Economizer</i>	Memanaskan air pengisi <i>boiler</i> dengan memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran di dalam <i>boiler</i> .

No.	Nama Bagian	Fungsi
24.	<i>Air Preheater</i>	Memanaskan udara pembakaran yang akan masuk ke <i>boiler</i> dengan cara mengambil panas dari gas buang.
25.	<i>Precipitator</i>	Penangkat debu hasil pembakaran batu bara.
26.	<i>Induced Graugt Fan</i>	Mempertahankan <i>pressure</i> pada <i>furnace boiler</i> dan bekerja pada tekanan atmosfer rendah karena digunakan untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran pada <i>boiler</i> untuk selanjutnya dibuang melalui <i>stack</i> .
27.	<i>Chimney Stack</i>	Cerobong tempat pembuangan udara yang sudah aman ke alam.

Tabel 5.1 Bagian-bagian PLTU

2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

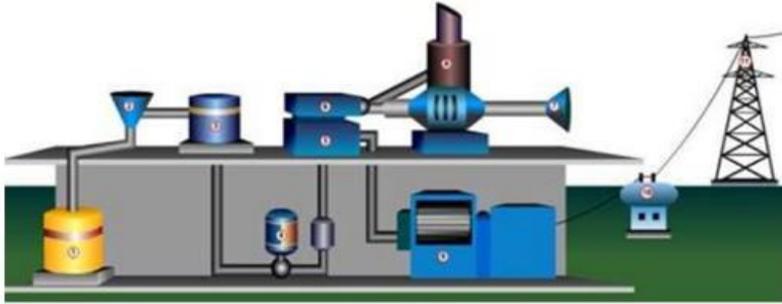
PLTG merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang sekarang ini banyak dikembangkan di Indonesia untuk mengganti PLTD dan PLTU. Pertimbangan penggunaan PLTG adalah karena ketersediaan bahan baku gas yang melimpah, efisiensi yang tinggi dan tingkat kebersihan dan dampak lingkungan yang lebih baik dari PLTU serta harga yang relatif murah. Contoh PLTU yang ada di Indonesia yaitu PLTG Paiton Jawa Timur, PLTG Tambak Lorok Semarang, PLTG Muara Karang Jakarta, dan PLTG lainnya. Komponen-komponen yang menyusun PLTG dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas

3. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

PLTD merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang sekarang ini banyak dikembangkan di Indonesia untuk mengganti PLTD dan PLTU. Pertimbangan penggunaan PLTG adalah karena ketersediaan bahan baku gas yang melimpah, efisiensi yang tinggi dan tingkat kebersihan, dan dampak lingkungan yang lebih baik dari PLTU, serta harga yang relatif murah. Contoh PLTU yang ada di Indonesia yaitu PLTG Paiton Jawa Timur, PLTG Tambak Lorok Semarang, PLTG Muara Karang Jakarta, dan PLTG lainnya. Komponen-komponen yang menyusun PLTG dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



- | | | |
|---|------------------------------|-----------------------|
| 1. Tangki penyimpanan bahan bakar. | 4. Pengabut | 9. Generator |
| 2. Penyaring bahan bakar | 5. Mesin diesel. | 10. Trafo |
| 3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara | 6. Turbo charger. | 11. Saluran transmisi |
| | 7. Penyaring gas pembuangan. | |
| | 8. Tempat pembuangan gas. | |

Gambar 5.3. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Kegiatan inspeksi dan pengujian Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik bertujuan untuk:

1. Memastikan bahwa pembangkit listrik yang digunakan sebagai sumber daya listrik dalam kondisi yang baik dan siap kerja serta memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh pemerintah.
2. Mengecek kondisi peralatan dan perlengkapan unit pembangkit listrik layak digunakan.

Dengan inspeksi dan pengujian yang baik, maka diharapkan unit pembangkit dapat dioperasikan secara aman dan andal.

5.2. Regulasi dan Standar

Pelaksanaan inspeksi dan pengujian Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik harus dilakukan dengan mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral serta Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi. Untuk itu, kegiatan inspeksi dan pengujian pembangkit tenaga listrik harus mengacu pada regulasi yang menjadi acuan Inspektur

Ketenagalistrikan dalam melaksanakan inspeksi, diantaranya sebagai berikut:

1. Undang Undang Nomor 30 tahun 2007 tentang Energi;
2. Undang Undang Nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan;
3. Undang Undang Nomor 32 tahun 2009 tentang Lingkungan;
4. Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik;
5. Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik;
6. Peraturan Menteri ESDM Nomor 35 Tahun 2013 tentang Tata Cara Perizinan Usaha Ketenagalistrikan;
7. Peraturan Menteri ESDM Nomor 38 Tahun 2013 tentang Kompensasi Atas Tanah, Bangunan dan Tanaman yang Berada di Bawah Ruang Bebas Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi;
8. Peraturan Menteri ESDM Nomor 05 Tahun 2014 tentang Tata Cara Akreditasi dan Sertifikasi Ketenagalistrikan;
9. Peraturan Menteri ESDM Nomor 28 Tahun 2014 tentang Kualifikasi Jasa Penunjang Tenaga Listrik;
10. Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2015 tentang Ruang bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah untuk Penyaluran Tenaga Listrik;
11. Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2016 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2013 tentang Tata Cara Perizinan Usaha Ketenagalistrikan;
12. Peraturan Menteri ESDM Nomor 46 Tahun 2017 tentang Standardisasi Kompetensi Tenaga Teknik Ketenagalistrikan.

Selain regulasi yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan inspeksi, terdapat pula standar-standar teknis yang digunakan sebagai pedoman dalam pemeriksaan Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik, diantaranya adalah:

1. *The American Society of Mechanical Engineers (ASME) Standards;*
2. *American Standard Testing and Material (ASTM) Standards;*
3. *National Fire Protection Association (NFPA) Standard;*
4. *International Electrotechnical Commission (IEC) Standards;*
5. *American National Standards (ANSI) Standards;*
6. Standar Nasional Indonesia (SNI);
7. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN).

5.3. *Persiapan Inspeksi dan Pengujian*

1. Persiapan Administrasi

Berdasarkan Standing Operational Procedure (SOP) pelaksanaan inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik, beberapa persiapan administrasi yang perlu dilaksanakan oleh inspektur ketenagalistrikan adalah sebagai berikut:

- a. Surat Tugas Inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik
Kegiatan inspeksi dan pengujian Inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik merupakan kegiatan resmi. Untuk itu perlu dilakukan dengan mengikuti administrasi yang berlaku di tempat kerja. Di beberapa instansi, kegiatan ini memerlukan surat tugas bagi personel yang akan melakukan.
- b. Surat Pengantar Inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik
Untuk menjamin kegiatan inspeksi dan pengujian dilakukan oleh personil yang berwenang dan kompeten, diperlukan surat pengantar kepada tim yang akan melaksanakan pekerjaan pemeriksaan dan pengujian. Surat pengantar harus ditandatangani oleh pejabat berwenang yang mempunyai

kemampuan dalam bidang pemeriksaan dan pengujian unit pembangkit listrik.

- c. Peralatan Pemeriksaan Inspeksi Pembangkit Tenaga Listrik
Peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk kegiatan inspeksi dan pengujian pembangkit tenaga listrik diantaranya:

1) *Tool Set*



Gambar 5.4. Tool set

2) Megger



Gambar 5.5. Alat ukur tahanan isolasi

3) Tang Ampere



Gambar 5.6. Tang Ampere

4) *Sound Level Meter*



Gambar 5.7. *Sound Level Meter*

5) *Vibration Analyzer*



Gambar 5.8. Alat ukur vibrasi

6) *Infrared Thermography*



Gambar 5.9. *Infrared Thermography*

7) *Partial Discharge Tester*



Gambar 5.10. *Partial Discharge Tester*

2. Persiapan Pelaksanaan

Persiapan pelaksanaan pemeriksaan unit pembangkit harus dilakukan agar didapat hasil yang sesuai dengan kondisi real di lapangan. Persiapan pelaksanaan berkaitan dengan hal-hal yang terkait dengan teknis pelaksanaan pemeriksaan yang meliputi:

- a. Persiapan tenaga pelaksana.
- b. Persiapan *checklist* bagian-bagian mana yang akan diperiksa.
- c. Persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan.

5.4. Pemeriksaan

Kegiatan pemeriksaan dan pengujian unit pembangkit listrik dilakukan melalui berbagai tahapan. Tahap awal pemeriksaan adalah pengecekan dokumen-dokumen terkait dengan unit pembangkit listrik. Berikut ini adalah daftar pemeriksaan dokumen yang diperlukan.

Tabel 5.1. Pemeriksaan Awal

URAIAN	PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK	PENGERAK MULA
No. item		
Pabrik Pembuat		
Tipe/Model		
No Seri		
Tahun Pembuatan		
No. Sertifikat Pabrik		
Kapasitas		
Putaran		
Kelas Isolasi		
Selungkup		
Temperatur Ruang		
Tegangan		
Arus Nominal		
Frekuensi		
Faktor Daya		
Tegangan Eksiter		
Arus Eksiter		

Tabel 5.2. Pemeriksaan Dokumen

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
A. PENELAAHAN DOKUMEN				
1	Gambar diagram satu garis	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
2	Gambar diagram pengawatan	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
3	Daftar komponen	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
4	Gambar lay out	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
5	Gambar area klasifikasi	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
6	Data hasil uji pabrik pembuat	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
7	Buku manual	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
8	Buku pemeliharaan & operasi	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
9	Tanda peringatan	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen
10	Sertifikat pabrik pembuat	Ada/Tidak Ada	PUIL 2011	Penilaian dokumen

Tabel 5.3. Pemeriksaan Visual

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1	Konstruksi unit pembangkit tenaga	Baik/Tidak Baik	<i>Manufacture</i> standar	Penilaian
2	Dudukan pembangkit tenaga	Baik/Tidak Baik	<i>Manufacture</i> standar	Penilaian
3	Verifikasi plat nama	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar /PUIL	Penilaian
4	Area klasifikasi	Baik/Tidak Baik	PUIL BAB 8	Penilaian
6	Perlengkapan <i>start</i>	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar /PUIL	Penilaian
7	Perlengkapan <i>stop</i>	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar /PUIL	Penilaian
8	Peralatan pengaman	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar /PUIL	Penilaian
9	a. Instrumen Voltmeter	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar /PUIL	Penilaian
	b. Instrumen Ampere meter	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar /PUIL	Penilaian
	c. Instrumen Pengukur Lain	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar /PUIL	Penilaian
10	Lampu indikator	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
11	Peralatan alarm	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
12	Fasilitas keselamatan & tanda bahaya	Ada/Tidak Ada	PUIL, UU No 1 Tahun 1970	Penilaian
13	Terminal kabel utama & penetralan	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar	Penilaian

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
			/PUIL	
14	Kondisi <i>air battery</i> (dengan <i>start battery</i>)	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
15	Kondisi tekanan <i>angin start</i> (dengan <i>start angin</i>)	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar	Penilaian
16	Minyak pelumas penggerak mula	Baik/Tidak Baik	<i>Manufacture</i> standar	Penilaian
17	<i>Terminal battery</i>	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
18	Penempatan <i>battery</i>	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
19	Pemanas anti kondensasi	Ada/Tidak Ada	<i>Manufacture</i> standar	Penilaian
20	Kabel masuk terminal boks	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
21	Kabel keluar terminal boks	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
22	Air pendingin penggerak mula	Baik/Tidak Baik	PUIL	Penilaian
23	Ukuran Kabel BC pentanahan	Sesuai/tidak sesuai	35 mm ²	Penilaian
24	Gedung – Ruang a. Generator b. Penerangan sirkulasi Udara/ventilasi c. Pintu keluar/masuk d. Pintu darurat e. Alat pemadam	Sesuai/tidak sesuai	PUIL Bab 8	Penilaian

5.5. Pengujian

Kegiatan pengujian unit pembangkit listrik dilakukan melalui berbagai tahapan. Tahap awal pemeriksaan adalah pengecekan

dokumen-dokumen terkait dengan unit pembangkit listrik. Berikut ini adalah daftar pemeriksaan dokumen yang diperlukan.

	1. PENGUJIAN	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1.	Pengujian Tahanan isolasi penghantar	..... M Ω	PUIL 2011: 2000 Ω per volt + 1 M ohm dan tabel	Pengukuran
2.	Uji fungsi instalasi listrik	Berfungsi/ Tidak berfungsi	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
3.	Pengujian fungsi <i>local panel control</i>	Berfungsi/ Tidak berfungsi	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
	a. Sakelar pilih <i>local/ selector switch</i>	Berfungsi/ Tidak berfungsi	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
	b. <i>Start</i>	Berfungsi/ Tidak berfungsi	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
	c. <i>Stop</i>	Berfungsi/ Tidak berfungsi	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
	d. Lampu indikator	Menyala/Tidak	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
4.	Relay proteksi	Ada/Tidak Ada Berfungsi/ Tidak berfungsi	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
5.	Tegangan & arus tanpa beban dan berbeban	..... V A	<i>Manufacture</i> standar	Pengukuran
6.	Tingkat kebisingan	..... dB	Permen 13/2011: 85 dB	Pengukuran
7.	Analisis getaran	Normal/Tidak normal	<i>Manufacture</i> standar	Pengukuran
8.	Uji jalan / unjuk kerja	Baik/tidak baik	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan
9.	Uji parallel (bila ada)	Baik/tidak baik	<i>Manufacture</i> standar	Pengetesan

10.	Pengujian Pentanahan	.... Ohm	5 Ohm	Pengukuran
11.	KHA penghantar utama	..... A	PUIL 2011: 125 % x Ifl	Perhitungan
12.	Rating Proteksi utama	..... A	PUIL 2011: 115 % x Ifl	Perhitungan
13.	Belitan Stator dan Rotor:	..... Ω	IEEE P43-2000: 100 M Ω	Pengukuran
	a. Pengujian Tahanan Isolasi (TI) Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE	.....	IEEE: DAR : < 1,6 PI : \leq 2	Pengukuran
	b. Pengujian Dielectric of Ratio (DAR) dan Polaritas Index Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE	..... V	IEEE 400.2, NEMA, VDE530 ANSI C 57.12.90 NETA 100.3, SPLN	Pengukuran
		..... %	HVM, B2 Electronic GmbH	Pengukuran
	c. Pengujian Hi-Pot Test Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE	..... pC		Pengukuran
d. Pengujian Tangen Delta Test Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE				
e. Partial Discharge Test				

A. Pengujian Tahanan Isolasi		
<ul style="list-style-type: none"> - Nama Alat Ukur : - Pabrik Pembuat : - Rating Tegangan : 		
1.	3 Fasa – <i>ground</i>	MΩ
2.	Fasa – Fasa (R-S)	MΩ
3.	Fasa – Fasa (S-T)	MΩ
4.	Fasa – Fasa (R-T)	MΩ
5.	Kondisi Pengukuran	Basah Kering Dingin Panas
B. Pengujian Tegangan Tinggi		
<ul style="list-style-type: none"> - Nama Alat ukur : - Pabrik Pembuat : - Rating Tegangan : 		
1.	Waktu	Menit
2.	Tegangan Uji	Volt
3.	3 Fasa – <i>Ground</i>	
4.	Fasa – Fasa (R-T)	
5.	Fasa – Fasa (R-S)	
6.	i(S-T)	
D. Pengujian Kecepatan Putar Lebih		
1.	Kecepatan Putar Nominal	RPM
2.	Kecepatan Putar Lebih	RPM
3.	Waktu	Menit
E. Analisis Getaran		
1.	Kecepatan Putar	RPM
2.	Deskripsi	Vertikal Horizontal
3.	<i>Velocity / Vrms</i> , cm/s	
F. Pengukuran Tingkat Kebisingan		
1.	Kecepatan Putar	RPM
2.	Tingkat Kebisingan	dBA
A. Pengujian Urutan Fasa		
1.	Fasa R – <i>Ground</i>	Ohm

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE	
1.	Name <i>Plate</i>	a. Nama pabrik, tempat dan pembuatan b. Jenis dan No. Seri c. Kapasitas/Daya/ <i>Frequency</i> d. <i>Primary Voltage/Secondary Voltage</i> e. <i>Primary Current/Secondary Current</i> f. <i>Vector Group</i> g. <i>Impedance</i> h. <i>Insulation level/Kelas</i> Isolasi i. <i>Cooling system</i>	Sesuai / tidak sesuai	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian dokumen
2.	<i>Bushing</i>	a. Memeriksa kebersihan <i>body bushing</i> b. Memeriksa fisik <i>body</i> yang berkarat/gompal c. Memeriksa kekencangan mur, baut, dan klem terminal utama d. Memeriksa kebocoran gasket e. Memeriksa kesesuaian <i>Spark gap bushing</i> primer f. Memeriksa kesesuaian <i>Spark gap bushing</i> sekunder	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
3.	Sistem pendingin	a. Memeriksa kebersihan sirip-sirip radiator b. Memeriksa kebocoran minyak trafo c. Memeriksa level minyak trafo d. Memeriksa kondisi minyak trafo	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian

4.	Alat Pernapasan (<i>Breather</i>)	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa level konservator <i>main tank</i> b. Memeriksa level konservator <i>tap changer</i> c. Memeriksa warna <i>silica gel</i> 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
5.	Sistem Kontrol dan Proteksi				
	5.1. Panel Kontrol	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kekencangan mur baut terminal kontrol b. Memeriksa kebersihan kontaktor c. Memeriksa kebersihan <i>limit switch</i> d. Memeriksa sumber tegangan AC/DC 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
	5.2. <i>Relay Bucholz</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi <i>seal</i> 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
	5.3. <i>Relay Jansen</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi <i>seal</i> 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
	5.4. <i>Relay Sudden pressure</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi seal c. Memeriksa kebersihan <i>thermo couple</i> d. Memeriksa kabel-kabel kontrol dan pipa-pipa kapiler 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
6.	OLTC	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kesesuaian indikator posisi tap b. Memeriksa pelumasan gigi penggerak c. Memeriksa kebersihan 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian

		<p>kontaktor</p> <p>d. Memeriksa kebersihan <i>limit switch</i></p> <p>e. Memeriksa kesesuaian sumber tegangan AC/DC</p> <p>f. Menguji posisi lokal dan remote</p> <p>g. Memeriksa kondisi minyak <i>diverter switch</i> OLTC</p>			
7.	Sistem <i>Grounding</i>	<p>a. Memeriksa kawat pentanahan pada titik netral primer/sekunder</p> <p>b. Memeriksa kawat pentanahan pada <i>body/enclousure/BKT</i> trafo</p> <p>c. Memeriksa kawat pentanahan pada Arrester</p> <p>d. Memeriksa kawat pentanahan pada BKE (Bagian konduktif ekstra)</p> <p>e. Memeriksa kekencangan mur baut terminal pentanahan</p> <p>f. Mengukur/menguji nilai pentanahan</p>	Baik / Tidak baik	<i>Manufac ture</i> Standar dan SNI	Penilai an
8.	<i>Main tank</i>	<p>a. Memeriksa kebersihan <i>body</i> dan <i>bushing</i></p> <p>b. Memeriksa karat/gompal fisik <i>body</i></p> <p>c. Memeriksa kondisi gasket</p>	Baik / Tidak baik	<i>Manufac ture</i> Standar dan SNI	Penilai an
9.	Konstruksi/ struktur mekanik	<p>a. Memeriksa kondisi konstruksi bangunan, fondasi, dan baut pengikat</p> <p>b. Memeriksa kebersihan</p>	Baik / Tidak baik	<i>Manufac ture</i> Standar dan SNI	Penilai an

		lingkungan gardu c. Memeriksa sirkulasi udara d. Memeriksa penerangan e. Memeriksa pembatas/halang rintang f. Memeriksa Tanda Peringatan			
10.	<i>Fire protection</i>	a. Memeriksa tekanan gas N2 b. Memeriksa alarm kebakaran c. Memeriksa sensor detector d. Memeriksa APAR	Baik / Tidak baik	<i>Manufac ture</i> Standar dan SNI	Penilai n

5.6. Pelaksanaan Pengujian

Kegiatan inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik dilaksanakan oleh tim ketenagalistrikan yang mempunyai kompetensi di bidang teknik tenaga listrik. Apabila tidak mempunyai tim ketenagalistrikan yang kompeten, instansi yang akan melakukan kegiatan inspeksi dan tes dapat meminta bantuan dari tim inspektur ketenagalistrikan kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Tim inspeksi dapat terdiri atas dua sampai dengan empat orang.

Kegiatan inspeksi unit pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan selama dua sampai dengan tujuh hari tergantung dari lokasi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik dan tingkat kerumitan inspeksi.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan oleh Inspektur Ketenagalistrikan saat kegiatan inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik berlangsung adalah sebagai berikut:

1. Inspektur Ketenagalistrikan harus selalu menggunakan atribut Inspektur Ketenagalistrikan (rompi dan *safety shoes*).
2. Inspektur Ketenagalistrikan harus menaati peraturan yang berlaku di wilayah Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik.
3. Inspektur Ketenagalistrikan harus bertindak secara profesional dan transparan dalam kegiatan inspeksi.

Langkah-langkah yang harus dilaksanakan oleh Inspektur Ketenagalistrikan dalam pelaksanaan inspeksi adalah sebagai berikut:

1. Melakukan wawancara dengan pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik.
2. Melakukan pemeriksaan dokumen dan pemeriksaan visual berdasarkan *checklist* pemeriksaan penerapan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan *checklist* pemeriksaan teknis.
3. Mendokumentasikan kegiatan pemeriksaan penerapan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan pemeriksaan teknis.
4. Melakukan klarifikasi kepada pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik apabila ditemukan ketidaksesuaian berdasarkan hasil pemeriksaan.
5. Membuat risalah inspeksi yang berisi hasil pemeriksaan yang disepakati oleh Tim Inspektur Ketenagalistrikan dan pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik.

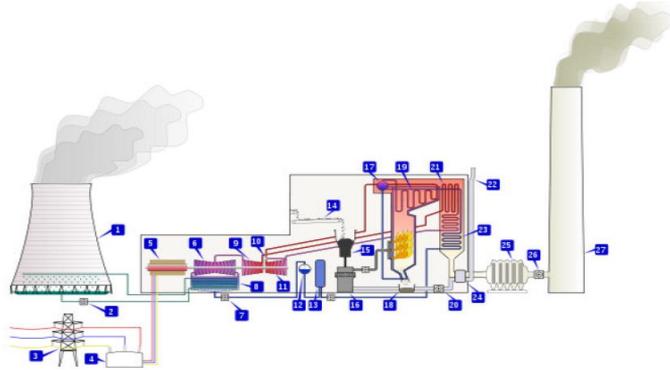
5.7. Pelaporan Kegiatan Inspeksi dan Pengujian

Kegiatan yang dilakukan setelah inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik selesai dilaksanakan adalah menyusun laporan hasil inspeksi yang telah dilaksanakan. Laporan yang disusun oleh tim pemeriksa dan penguji pada unit pembangkit tenaga listrik harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus mengunggah dokumen risalah inspeksi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik pada *website* Sistem Informasi Inspektur Ketenagalistrikan (www.inspektur.djk.esdm.go.id) sesuai dengan akun masing-masing Inspektur Ketenagalistrikan maksimal pada hari terakhir inspeksi dilaksanakan.
2. Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus menyampaikan hasil kegiatan inspeksi kepada Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan melalui Nota Dinas Atasan.
3. Apabila berdasarkan poin (2) Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan menghendaki adanya rekomendasi untuk pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik, maka Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus menyusun rekomendasi kepada pemilik Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik sesuai arahan Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan.
4. Tim Inspektur Ketenagalistrikan harus menyusun Laporan Inspeksi Pembangkit Tenaga Listrik dengan format terlampir dan mengunggah laporan tersebut pada *website* Sistem Informasi Inspektur Ketenagalistrikan (www.inspektur.djk.esdm.go.id) sesuai dengan akun masing-masing Inspektur Ketenagalistrikan maksimal 3 (tiga) hari kerja setelah inspeksi dilaksanakan.

5.8 Latihan Soal

1. Perhatikan gambar berikut



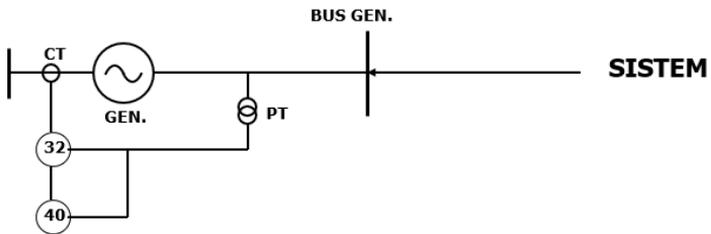
Gambar di atas merupakan pembangkit listrik tenaga ...

- a. PLTA
 - b. PLTG
 - c. **PLTU**
 - d. PLTN
 - e. PLTGU
2. Komponen dari pembangkit yang mempunyai fungsi untuk membuang gas-gas yang tidak dibutuhkan dari dalam air kondensat seperti oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2) dan *non condensable gas* lainnya yaitu...
 - a. *Feed Water Heater*
 - b. ***Deaerator***
 - c. *Coal Hopper*
 - d. *Steam Governor Valve*
 - e. *Economizer*
 3. Alat ukur *Megger* seperti pada gambar di bawah ini berfungsi untuk ...



- a. Mengukur Harmonik
 - b. Mengukur Resistansi Tanah
 - c. Mengukur Tahanan Isolasi**
 - d. Mengukur Efisiensi Generator
 - e. Mengukur Konsumsi Daya Listrik
4. Salah satu tahap dalam pemeriksaan dan pengujian pembangkit listrik yaitu menelaah dokumen diantaranya kecuali ...
- a. Diagram garis tunggal
 - b. Buku manual
 - c. Sertifikat pabrik pembuat
 - d. **Verifikasi Nameplate**
 - e. Tanda Peringatan
5. Dalam melakukan pengecekan pembangkit listrik, perlu dicek penghantar yang digunakan harus mempunyai kemampuan hantar arus (KHA) yang sesuai yaitu ...
- a. 100% Kali I Full Load
 - b. 110% Kali I Full Load
 - c. 125% Kali I Full Load**
 - d. 135% Kali I Full Load
 - e. 150% Kali I Full Load
6. Nilai tahanan pentanahan pada instalasi unit pembangkit tenaga listrik yaitu sebesar ...
- a. 1 Ohm
 - b. 5 Ohm**
 - c. 10 Ohm

- b. VL2
 - c. VL1-N
 - d. VL2-N
 - e. **VL3-L2**
9. Peralatan proteksi pada generator yang berfungsi untuk mengamankan dari gangguan generator berubah menjadi motor adalah...
- a. *Lock out Relay*
 - b. **Power Reverse Relay**
 - c. *Loss of Excitation Relay*
 - d. *Voltage balance Relay*
 - e. *Anti Motorized Relay*
10. Perhatikan gambar diagram garis tunggal berikut ini



Komponen sistem proteksi No 40 adalah ...

- a. *Lock out Relay*
- b. *Power Reverse Relay*
- c. *Differential Relay*
- d. **Loss of Excitation Relay**
- e. *Over Current Relay*

BAB 6

INSPEKSI DAN TES SALURAN TRANSMISI

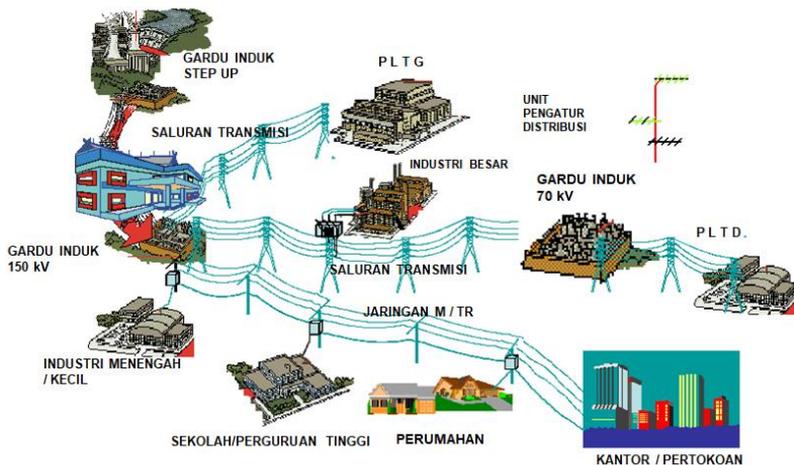
6.1. Pendahuluan

Secara etimologi, yang dimaksud saluran transmisi adalah pengiriman, jaringan, atau penyaluran. Adapun penyaluran dapat diartikan proses, perbuatan, dan cara menyalurkan. Dalam konteks pembahasan ini, yang dimaksud transmisi (penyaluran) adalah penyaluran energi listrik sehingga mempunyai maksud proses dan cara menyalurkan energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya. Pada sistem tenaga listrik, saluran transmisi dapat terjadi dari pembangkit listrik ke gardu induk, atau dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya, atau dari gardu induk ke jaring tegangan menengah dan gardu distribusi.

Saluran transmisi tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari suatu tempat ke tempat lainnya. Dalam praktiknya, saluran transmisi menggunakan tegangan tinggi yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya. Saluran transmisi tenaga listrik terdiri atas konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (tower) melalui isolator-isolator, dengan sistem tegangan tinggi. Standar tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia adalah: 30 KV, 70 KV, dan 150 KV. Saluran transmisi tenaga listrik tegangan 30 KV dan 70 KV digunakan di luar pulau Jawa khususnya di

Kalimantan, Sulawesi, dan Papua dan secara berangsur-angsur mulai diganti dengan saluran transmisi tegangan tinggi.

Saluran transmisi tenaga listrik 70 KV dan 150 KV digunakan di beberapa daerah di Indonesia khususnya di luar pulau Jawa seperti Nusa Tenggara, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Sedangkan, saluran transmisi tegangan tinggi 275 KV banyak dikembangkan di Pulau Sumatra. Saluran transmisi tenaga listrik tegangan ekstra tinggi 500 KV ada di Pulau Jawa dengan istilah Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).



Gambar 6.1. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Di Indonesia, konstruksi saluran transmisi tenaga listrik terdiri atas saluran transmisi udara, saluran transmisi kabel tanah, dan saluran transmisi bawah laut. Tegangan yang digunakan adalah tegangan tinggi yang pada umumnya digunakan pada pembangkitan dengan kapasitas di atas 500 MW. Tujuannya adalah agar drop tegangan dan penampang kawat dapat direduksi secara maksimal sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien.

Permasalahan mendasar pembangunan saluran transmisi tegangan ekstra tinggi adalah konstruksi menara penyangga

(tower). Dengan tegangan yang sangat tinggi dibutuhkan menara yang besar dan tinggi sehingga membutuhkan tapak tanah yang luas. Hal ini juga berdampak pada kebutuhan isolator penyangga yang banyak. Konsekuensi dari penggunaan saluran transmisi tegangan yang sangat tinggi yaitu berkaitan dengan biaya yang besar. Permasalahan lain yang timbul dalam pembangunan saluran transmisi tegangan sangat tinggi, yaitu berkaitan dengan masalah sosial. Tata kelola wilayah yang kurang baik menyebabkan pembangunan saluran transmisi harus melewati lahan-lahan pertanian maupun hunian penduduk. Hal ini menjadikan permasalahan karena berkaitan dengan pembebasan lahan dan penolakan dari warga yang terkena dampak pembangunan saluran transmisi tegangan tinggi. Permasalahan sosial masyarakat berujung pada pembiayaan, antara lain:

1. Timbulnya protes dari masyarakat yang menentang pembangunan saluran transmisi tegangan tinggi.
2. Permintaan ganti rugi tanah untuk tapak tower yang terlalu tinggi.
3. Adanya permintaan ganti rugi sepanjang jalur yang dilewati saluran transmisi tegangan tinggi, dan lain sebagainya.

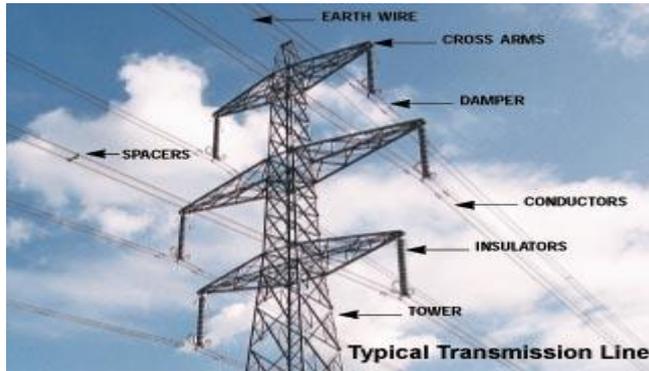
Desain saluran transmisi tergantung pada jumlah daya yang harus disalurkan, jarak, jalur yang harus dilalui, biaya yang tersedia, dan pertumbuhan beban di masa yang akan datang. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain saluran transmisi, antara lain:

1. Pemilihan tegangan;
2. Pemilihan jenis kawat;
3. Pemilihan sistem pelindung terhadap gangguan;
4. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik;
5. Pembebasan tanah yang dilalui.

6.2. Jenis Saluran Transmisi

1. Transmisi Udara

Saluran transmisi yang banyak digunakan di dunia yaitu transmisi udara. Di Indonesia listrik disalurkan dari pembangkit ke pusat beban melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).



Gambar 6.2. Saluran transmisi udara

Saluran transmisi udara mempunyai banyak potensi gangguan diantaranya adalah

1. Gangguan sambaran petir baik langsung maupun tidak langsung.
2. Gangguan dari binatang (burung, monyet, tupai, dan hewan lainnya).
3. Gangguan cuaca yang diakibatkan oleh angin kencang, hujan deras, gempa bumi, dll.
4. Gangguan oleh pepohonan yang menjulang tinggi.
5. Gangguan sabotase oleh pihak yang tidak bertanggung jawab termasuk pencurian komponen-komponen menara dan kawat penghantar netral dan *ground*.
6. Gangguan-gangguan lainnya.

Untuk meminimalisir terjadinya gangguan pada saluran transmisi udara, perlu dilakukan pemeriksaan, pengujian, pemeliharaan, dan perbaikan yang baik secara rutin. Pemanfaatan teknologi untuk membantu dalam melakukan pemeliharaan seperti penggunaan *drone* untuk memeriksa kondisi peralatan pada saluran transmisi udara.

2. Transmisi Bawah Tanah

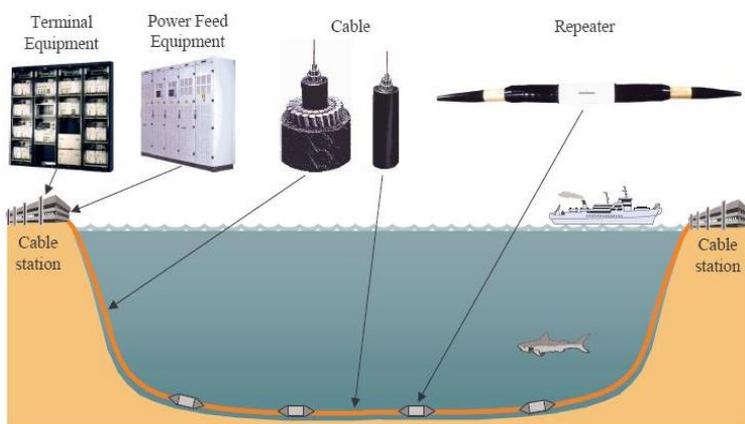
Saluran transmisi bawah tanah mempunyai banyak kelebihan di banding transmisi udara. Dengan instalasi bawah tanah, gangguan-gangguan alam dapat diminimalisir. Namun, saluran transmisi bawah tanah membutuhkan biaya yang sangat besar untuk penggunaan kabel bawah tanah, penggalian tanah dan pemasangan peralatan pelindung. Di beberapa negara maju, saluran transmisi bawah tanah diintegrasikan dengan berbagai saluran dan transportasi bawah tanah. Penggabungan saluran transmisi bawah tanah yang terintegrasi jalur kereta bawah tanah, saluran air, jaringan transmisi data serat optik, dan berbagai jaringan transmisi dapat menghemat biaya.



Gambar 6.3. Saluran transmisi bawah tanah terintegrasi

3. Transmisi Bawah Laut

Saluran transmisi bawah laut digunakan untuk menghubungkan daerah yang terpisah lautan. Sistem transmisi tenaga listrik Jawa, Bali, dan Madura yang terpisah oleh laut harus menggunakan saluran transmisi bawah laut untuk menghubungkan sistem tenaga listrik di Jawa, Bali, dan Madura. Saluran transmisi bawah laut mempunyai tingkat kesulitan yang tinggi dan membutuhkan perawatan dan perbaikan yang baik agar tidak menimbulkan bahaya bagi ekosistem di laut.



Gambar 6.4. Saluran transmisi bawah laut

Berdasarkan jarak antar gardu transmisi, saluran transmisi dibagi menjadi 3 yaitu saluran pendek, saluran menengah, dan saluran panjang.

1. Saluran Pendek

Saluran transmisi dikatakan saluran pendek apabila panjang saluran transmisi < 80 km (50 mil).

2. Saluran Menengah

Saluran transmisi dikatakan saluran pendek apabila panjang saluran transmisi 80 km–250 km (50–150 mil).

3. Saluran Panjang

Saluran transmisi dikatakan saluran pendek apabila panjang saluran transmisi di atas 250 km (>150 mil).

6.3. Komponen Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Saluran transmisi tenaga listrik terdiri atas 3 (tiga) bagian utama, yaitu gardu transmisi, saluran transmisi, dan pusat pengaturan beban. Sedangkan, komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik, meliputi konduktor, isolator, dan struktur pendukung. Jenis-jenis konduktor dalam desain sistem distribusi yang digunakan meliputi:

1. Kawat tembaga (BCC = *Bare Copper Cable*)
2. Aluminium (AAC = *All Aluminium Cable*)
3. Campuran aluminium dan Baja (ACSR = *Aluminium Cable Steel Reinforced*)
4. Aluminium punter berisolasi (*Twisted Wire*)
5. Kawat baja, biasanya dipakai pada kawat petir dan kawat pentanahan.

1. Transformator Daya

Komponen pertama dalam saluran transmisi tenaga listrik yaitu transformator atau lebih dikenal dengan istilah trafo daya. Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Pada umumnya tegangan keluaran pembangkit listrik besar (PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP, dan PLTD) menggunakan tegangan menengah 3 – 20 KV. Untuk masuk ke saluran transmisi, maka tegangan menengah keluaran dari pembangkit listrik perlu dinaikkan menjadi tegangan tinggi melalui trafo daya.



Gambar 6.5. Tranformator Tenaga

Dalam operasi umumnya, trafo-trafo tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV, dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 kV nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

Transformator tenaga dapat diklasifikasikan berdasar instalasi pemasangannya menjadi trafo pasangan dalam dan trafo pasangan luar. Untuk mempermudah pengawasan dalam operasi trafo dapat dibagi menjadi trafo besar, trafo sedang, dan trafo kecil.

a. Cara Kerja dan Fungsi Tiap-tiap Bagian

Suatu transformator terdiri atas beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing:

- 1) Bagian utama
 - a) Inti besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi. Hal ini bertujuan untuk

mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan karena Arus Eddy (*Eddy Current*).

b) Kumparan trafo

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax, dan lain-lain. Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menginduksi tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya beban) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus. Kumparan tertier diperlukan untuk memperoleh tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumparan tertier selalu dihubungkan delta. Kumparan tertier sering dipergunakan juga untuk penyambungan peralatan bantu seperti kondensator *synchrone*, kapasitor *shunt* dan *reactor shunt*. Namun, tidak semua trafo daya mempunyai kumparan tertier.

c) Minyak trafo

Sebagian besar trafo tenaga kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak-trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (sirkulasi) dan bersifat pula sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

i. Kekuatan isolasi tinggi.

- ii. Penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
 - iii. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
 - iv. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan.
 - v. Tidak merusak bahan isolasi padat.
 - vi. Sifat kimia yang stabil.
- d) *Bushing*
Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah busing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.
- e) Tangki dan Konservator
Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuatan minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.
- f) Peralatan Bantu
- g) Pendingin
Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi di dalam trafo, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut trafo perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar trafo. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa udara/gas, minyak, dan air. Pengalirannya

(sirkulasi) dapat dengan cara: Alamiah (natural) dan Tekanan/paksaan (*forced*). Macam-macam dan sistem pendingin trafo berdasarkan media dan cara pengalirannya dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 6.1.

h) *Tap Changer* (pengubah tap)

Tap Changer adalah pengubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. *Tap changer* dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (*on-load*) atau dalam keadaan tak berbeban (*off load*), tergantung jenisnya.

i) Alat pernapasan

Karena pengaruh naik turunnya beban trafo maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan trafo. Permukaan minyak trafo akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang menurunkan nilai tegangan tembus minyak trafo, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat higroskopis.

j) Indikator

Untuk mengawasi selama trafo beroperasi, maka perlu adanya indikator pada trafo sebagai berikut:

i. Indikator suhu minyak.

- ii. Indikator permukaan minyak.
 - iii. Indikator sistem pendingin.
 - iv. Indikator kedudukan tap, dan sebagainya.
- k) Peralatan Proteksi
- i. *Relay* Bucholz
Relay Bucholz adalah *relay* alat/*relay* untuk mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo yang menimbulkan gas. Gas yang timbul diakibatkan oleh:
 - Hubung singkat antar lilitan pada/dalam fasa.
 - Hubung singkat antar fasa.
 - Hubung singkat antar fasa ke tanah.
 - Busur api listrik antar laminasi.
 - Busur api listrik karena kontak yang kurang baik.
 - ii. Pengaman tekanan lebih
Alat ini berupa membran yang dibuat dari kaca, plastik, tembaga, atau katup berpegas, berfungsi sebagai pengaman tangki trafo terhadap kenaikan tekan gas yang timbul di dalam tangki yang akan pecah pada tekanan tertentu dan kekuatannya lebih rendah dari kekuatan tangki trafo.
 - iii. *Relay* tekanan lebih
Relay ini berfungsi hampir sama seperti *relay* Bucholz, yakni mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo. Bedanya, *relay* ini hanya bekerja oleh kenaikan tekanan gas yang tiba-tiba dan langsung mentripkan PMT.
 - iv. *Relay* Diferensial
Berfungsi mengamankan trafo dari gangguan di dalam trafo antara lain flash over antara kumparan dengan kumparan atau kumparan dengan tangki

atau belitan dengan belitan di dalam kumparan ataupun beda kumparan.

- v. *Relay* Arus lebih
Berfungsi mengamankan trafo arus yang melebihi dari arus yang diperkenankan lewat dari trafo tersebut dan arus lebih ini dapat terjadi oleh karena beban lebih atau gangguan hubung singkat.
- vi. *Relay* Tangki tanah
Berfungsi untuk mengamankan trafo bila ada hubung singkat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada trafo.
- vii. *Relay* Hubung tanah
Berfungsi untuk mengamankan trafo bila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
- viii. *Relay* Termis
Berfungsi untuk mencegah/mengamankan trafo dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkan oleh arus lebih. Besaran yang diukur di dalam *relay* ini adalah kenaikan temperatur.

b. Pengujian Transformator

Pengujian transformator tenaga dilakukan berdasar peraturan PLN SPLN 50-1982 dengan melalui tiga macam pengujian, sebagaimana diuraikan juga dalam IEC 76 (1976), yaitu:

- 1) Pengujian Rutin
Pengujian rutin adalah pengujian yang dilakukan terhadap setiap transformator, meliputi:
 - a) Pengujian tahanan isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo, untuk menghindari kegagalan yang fatal dan pengujian selanjutnya, pengukuran dilakukan antara:

- i. Sisi HV - LV
- ii. Sisi HV - *Ground*
- iii. Sisi LV- *Groud*
- iv. X1/X2-X3/X4 (trafo 1 fasa)
- v. X1-X2 dan X3-X4 trafo 1 fasa yang dilengkapi dengan *circuit breaker*.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur Mega Ohm Meter (*Megger*). Nilai tahanan isolasi digunakan untuk kriteria kering tidaknya trafo, juga untuk mengetahui apakah ada bagian-bagian yang terhubung singkat.

2) Pengujian tahanan kumparan

Pengukuran tahanan kumparan dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai tahanan listrik pada kumparan yang akan menimbulkan panas bila kumparan tersebut dialiri arus. Nilai tahanan belitan dipakai untuk perhitungan rugi-rugi tembaga trafo. Pada saat melakukan pengukuran yang perlu diperhatikan adalah suhu belitan pada saat pengukuran yang diusahakan sama dengan suhu udara sekitar, oleh karenanya diusahakan arus pengukuran kecil. Peralatan yang digunakan untuk pengukuran tahanan di atas 1 ohm adalah *Wheatstone Bridge*, sedangkan untuk tahanan yang lebih kecil dari 1 ohm digunakan *Precision Double Bridge*. Pengukuran dilakukan pada setiap fasa trafo, yaitu antara terminal:

- i. Untuk terminal tegangan tinggi:
 - a. Trafo 3 fasa
 - fasa A - fasa B
 - fasa B - fasa C
 - fasa C - fasa A
 - b. Trafo 1 fasa
 - terminal H1-H2 untuk trafo *double bushing*
 - terminal H1-Ground untuk trafo *single bushing*
 - ii. Untuk sisi tegangan rendah
 - a. Trafo 3 fasa
 - fasa a - fasa b
 - fasa b - fasa c
 - fasa c - fasa a
 - b. Trafo 1 fasa
 - Terminal X1-X4 dengan X2-X3 dihubung singkat.
 - Pengukuran dengan *Wheatstone bridge* digunakan untuk tahanan di atas 1 ohm. Rangkaian pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1. Pada keadaan seimbang berlaku rumus:
 - Rx adalah harga tahanan belitan yang diukur sama dengan faktor pengali. Pengukuran dengan *Precision double bridge* digunakan untuk tahanan yang lebih kecil dar 1 ohm.
- Pengujian perbandingan belitan
 - Pengujian *vector group*
 - Pengujian rugi besi dan arus beban kosong
 - Pengujian rugi tembaga dan impedansi
 - Pengujian tegangan terapan (*Withstand Test*)
 - Pengujian tegangan induksi (*Induce Test*).

3) Pengujian jenis

Pengujian jenis adalah pengujian yang dilaksanakan terhadap sebuah trafo yang mewakili trafo lainnya yang sejenis, guna menunjukkan bahwa semua trafo jenis ini memenuhi persyaratan yang belum termasuk dalam pengujian rutin.

Pengujian jenis meliputi:

- a) Pengujian kenaikan suhu
- b) Pengujian impedansi

4) Pengujian khusus

Pengujian khusus adalah pengujian yang lain dari uji rutin dan jenis, dilaksanakan atas persetujuan pabrik dengan pembeli dan hanya dilaksanakan terhadap satu atau lebih trafo dari sejumlah trafo yang dipesan dalam suatu kontrak.

Pengujian khusus meliputi:

- a) Pengujian dielektrik;
- b) Pengujian impedansi urutan nol pada trafo tiga fasa;
- c) Pengujian hubung singkat;
- d) Pengujian harmonik pada arus beban kosong;
- e) Pengujian tingkat bunyi akustik;
- f) Pengukuran daya yang diambil oleh motor-motor kipas dan pompa minyak.

5) Pengukuran perbandingan belitan

Pengukuran perbandingan belitan adalah untuk mengetahui perbandingan jumlah kumparan sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada setiap tapping, sehingga tegangan output yang dihasilkan oleh trafo sesuai dengan yang dikehendaki. Toleransi yang diizinkan adalah: 1) 0,5% dari rasio tegangan; atau 2) 1/10 dari persentase impedansi pada *tapping* nominal. Pengukuran perbandingan belitan dilakukan pada saat semi assembling yaitu setelah coil trafo di assembling dengan inti besi dan setelah *tap changer* terpasang, pengujian kedua ini bertujuan untuk mengetahui

apakah posisi tap trafo telah terpasang secara benar dan juga untuk pemeriksaan *vector group* trafo. Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan *Transformer Turn Ratio Test* (TTR), misalnya merk James G. Biddle Co Cat. No.55005 atau Cat. No. 550100-47.

6) Pemeriksaan *Vector Group*

Pemeriksaan *vector group* bertujuan untuk mengetahui apakah polaritas terminal-terminal trafo positif atau negatif. Standar dari notasi yang dipakai adalah *additive* dan *subtractive*.

7) Pengukuran rugi dan arus beban kosong

Pengukuran ini untuk mengetahui berapa daya yang hilang yang disebabkan oleh rugi histerisis dan *eddy current* dari inti besi (*core*) dan besarnya arus yang ditimbulkan oleh kerugian tersebut. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka.

8) Pengukuran rugi tembaga dan impedansi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya yang hilang pada saat trafo beroperasi akibat dari tembaga (W_{cu}) dan *stray loss* (W_s) trafo yang digunakan. Pengukuran dilakukan dengan memberi arus nominal pada salah satu sisi dan pada sisi yang lain dihubung singkat, dengan demikian akan terbangkit juga arus nominal pada sisi tersebut, sehingga trafo seolah-olah dibebani penuh. Perhitungan rugi beban penuh (W_{cu}) dan impedansi (I_z), dimana pada waktu pengukuran tahanan belitan (R), W_{cu} dan I_z dilakukan pada saat suhu rendah (udara sekitar (t)), maka W_{cu} dan I_z perlu dikoreksi terhadap suhu acuan 75°C .

9) Pengujian tegangan terapan (*Withstand Test*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menguji kekuatan isolasi antara kumparan dan badan tangki. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan uji sesuai dengan standar uji dan dilakukan pada:

- a) Sisi tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah dan body yang ditanahkan.
- b) Sisi tegangan rendah terhadap sisi tegangan tinggi dan body yang ditanahkan.

Waktu pengujian 60 detik.

10) Pengujian tegangan induksi

Pengujian tegangan induksi bertujuan untuk mengetahui kekuatan isolasi antara layer dari tiap-tiap belitan dan kekuatan isolasi antara belitan trafo. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan *supply* dua kali tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka. Untuk mengatasi kejenuhan pada inti besi (*core*) maka frekuensi yang digunakan harus dinaikkan sesuai dengan kebutuhan. Lama pengujian tergantung pada besarnya frekuensi pengujian berdasarkan rumus, yaitu waktu pengujian maksimum adalah 60 detik.

11) Pengujian kebocoran tangki

Pengujian kebocoran tangki dilakukan setelah semua komponen trafo terpasang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan kondisi paking dan las trafo. Pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan nitrogen (N₂) sebesar kurang lebih 5 psi dan dilakukan pengamatan pada bagian-bagian las dan paking dengan memberikan cairan sabun pada bagian tersebut. Pengujian dilakukan sekitar 3 jam apakah terjadi penurunan tekanan.

12) Pengujian Jenis (*Type Test*)

13) Pengujian kenaikan suhu

Pengujian kenaikan suhu dimaksudkan untuk mengetahui berapa kenaikan suhu oli dan kumparan trafo yang disebabkan oleh rugi-rugi trafo apabila trafo dibebani. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat apakah penyebab panas trafo sudah cukup efisien atau belum. Pada trafo dengan tapping tegangan di atas 5% pengujian kenaikan suhu

dilakukan pada *tapping* tegangan terendah (arus tertinggi), pada trafo dengan *tapping* maksimum 5% pengujian dilakukan pada *tapping* nominal.

Pengujian kenaikan suhu sama dengan pengujian beban penuh, pengujian dilakukan dengan memberikan arus trafo sedemikian hingga membangkitkan rugi-rugi trafo, yaitu rugi beban penuh dan rugi beban kosong. Suhu kumparan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

t adalah suhu sekitar pada saat akhir pengujian.

14) Pengujian tegangan *impulse*

Pengujian *impulse* ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan dielektrik dari sistem isolasi trafo terhadap tegangan surya petir. Pengujian *impulse* adalah pengujian dengan memberi tegangan lebih sesaat dengan bentuk gelombang tertentu. Bila trafo mengalami tegangan lebih, maka tegangan tersebut hampir didistribusikan melalui efek kapasitansi yang terdapat pada:

- a) Antar lilitan trafo.
- b) Antar *layer* trafo.
- c) Antara *coil* dengan *ground*.

15) Pengujian tegangan tembus minyak (oli)

Pengujian tegangan tembus minyak dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan dielektrik dari minyak. Hal ini dilakukan karena selain berfungsi sebagai pendingin dari trafo, minyak juga berfungsi sebagai isolasi. Persyaratan yang ditentukan adalah sesuai dengan standar SPLN 49 - 1: 1982, IEC 158 dan IEC 296, yaitu:

- a) ≥ 0 KV/2,5 mm sebelum *purifying*.
- b) ≥ 50 KV/2,5 mm setelah *purifying*.

Peralatan yang dapat digunakan misalnya merk *Hipotronics type EP600CD*. Cara pengujian:

- a) Bersihkan tempat sample oli dari kotoran dengan mencucinya dengan oli sampai bersih.

- b) Ambil contoh/sampel oli yang akan diuji, usahakan pada saat pengambilan sampel oli tidak tersentuh tangan atau terlalu lama terkena udara luar karena oli ini sangat sensitif.
- c) Tempatkan sampel oli pada alat tetes.
- d) Nyalakan *power* alat tetes.
- e) Tekan tombol *start* dan *counter* akan mencatat secara otomatis sejauh mana kemampuan dielektrik oli tersebut. Setelah *counter* berhenti dan tombol *reset* menyala, tekan tombol *reset* untuk mengembalikan ke posisi semula.
- f) Hasil pengujian tegangan tembus diambil rata-rata setelah dilakukan 5 (lima) kali dengan selang waktu 2 menit.

2. Menara Transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. Menurut penggunaannya menara transmisi dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Tiang baja, tiang beton bertulang, dan tiang kayu, umumnya digunakan untuk saluran-saluran transmisi dengan tegangan kerja yang relatif rendah (di bawah 70 kV).
- b. Menara baja, digunakan untuk saluran transmisi yang tegangan kerjanya tinggi (SUTT) dan tegangan ekstra tinggi (SUTET).

Menara baja dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, menjadi:

- a. Menara Dukung;
- b. Menara Sudut;
- c. Menara Ujung;
- d. Menara Percabangan;
- e. Menara Transposisi.

3. Isolator

Isolator merupakan komponen utama dari saluran transmisi udara yang digunakan untuk menyangga penghantar dengan menara transmisi. Pada saluran transmisi, isolator yang digunakan pada umumnya terbuat dari bahan porselen atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya, isolator diklasifikasikan menjadi:

a. Isolator jenis pasak

Isolator jenis pasak digunakan pada jaringan distribusi atau saluran transmisi dengan tegangan antara 22-33 KV. Bahan yang digunakan terbuat dari porcelain atau gelas.



Gambar 6.6. Isolator Pasak

b. Isolator jenis pos-saluran

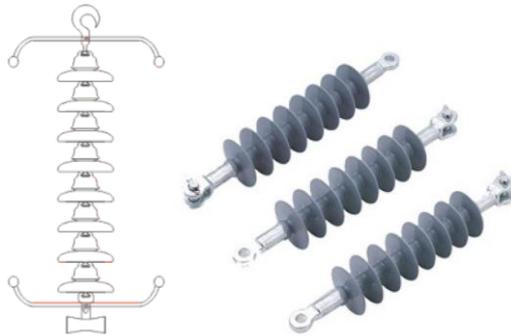
Isolator pos-saluran digunakan pada jaringan distribusi atau saluran transmisi dengan tegangan antara 22-33 KV. Bahan yang digunakan terbuat dari porselen atau gelas.



Gambar 6.7. Isolator Pos Saluran (*Line Post Insulator*)

c. Isolator gantung

Isolator gantung merupakan isolator yang dapat digandeng menjadi rentengan/rangkaian isolator yang jumlahnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Isolator jenis ini banyak digunakan pada saluran transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi dengan menyesuaikan jumlah rentengan isolatornya dan dipasang dengan cara digantung pada menara transmisi udara.



Gambar 6.8. Isolator gantung (*Suspension Insulator*)

4. Kawat Penghantar

Komponen utama dari saluran transmisi adalah penghantar atau konduktor yang digunakan untuk menyalurkan arus listrik. Konduktor yang digunakan pada saluran transmisi harus memenuhi persyaratan agar mampu mengalirkan arus listrik yang besar dan mampu menahan beban mekanis. Kawat penghantar yang digunakan pada saluran transmisi biasanya terbuat dari bahan tembaga (Cuprum) atau aluminium (Al). Konduktor jenis Tembaga (BC: *Bare copper*) merupakan penghantar yang baik karena memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanikalnya cukup baik. Namun, karena harganya mahal maka konduktor jenis tembaga rawan pencurian. Aluminium harganya lebih rendah dan lebih ringan namun konduktivitas dan kekuatan mekanikalnya lebih rendah dibanding tembaga.

Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran transmisi tenaga listrik perlu memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Konduktivitas tinggi;
- b. Kekuatan tarik mekanikal tinggi;
- c. Titik berat;
- d. Biaya rendah;
- e. Tidak mudah patah.

Pada umumnya saluran transmisi udara menggunakan kawat penghantar jenis ACSR. Bagian dalam kawat berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya mempunyai konduktivitas tinggi. Karena sifat elektron lebih menyukai bagian luar kawat daripada bagian sebelah dalam kawat maka ACSR cocok dipakai pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi (SUTT) dan Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Daerah yang kondisinya udaranya mengandung kadar belerang cukup tinggi biasanya perlu penambahan lapisan aluminium dengan menambahkan ACSR/AS, yaitu kawat *steel* dilapisi dengan aluminium.

Pada saluran transmisi yang perlu dinaikkan kapasitas penyalurannya namun SUTT tersebut berada di daerah yang rawan longsor, maka dipasang konduktor jenis TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang mempunyai kapasitas besar tetapi berat kawat tidak mengalami perubahan yang banyak. Konduktor pada SUTT/SUTET merupakan kawat berkas (*stranded*) atau serabut yang dipilin agar mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding kawat pejal.

Pada aplikasi di lapangan, sekarang ini telah berkembang berbagai bahan paduan dan campuran logam yang memenuhi persyaratan elektrik dan mekanis. Berikut ini adalah bahan-bahan yang digunakan pada saluran transmisi tenaga listrik, yaitu:

- a. Tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%);
- b. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%);

c. Aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%).

Kawat penghantar yang terbuat dari tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitas dan kuat tariknya yang lebih tinggi. Namun, kawat tembaga juga memiliki kelemahan, yaitu untuk besar tahanan yang sama tembaga lebih berat dan lebih mahal dari aluminium. Oleh karena itu, dewasa ini kawat penghantar aluminium telah mulai menggantikan kedudukan kawat penghantar tembaga.

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, di mana jarak antara menara/tiang berjauhan mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

Kawat penghantar aluminium, terdiri atas berbagai jenis dengan lambang sebagai berikut:

a. AAC (*All-Aluminium Conductor*)

Kawat penghantar jenis AAC merupakan kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari bahan aluminium.

b. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conductor*)

Kawat penghantar jenis AAAC merupakan kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.

c. ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*)

Kawat penghantar jenis ACSR merupakan yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.

d. ACAR (*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*)

Kawat penghantar jenis ACAR merupakan yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Luas penampang dan jumlah konduktor pada kawat penghantar disesuaikan dengan arus yang mengalir pada saluran transmisi. Semakin besar arus, maka luas penampang penghantar juga semakin besar. Jarak pemasangan antar kawat penghantar fasa maupun kawat berkas disesuaikan dengan tegangan operasi. Semakin besar tegangan maka jaraknya akan semakin panjang. Penggunaan ukuran kawat penghantar yang tidak sesuai dengan persyaratan (terlalu kecil) dapat menyebabkan permasalahan pada saluran transmisi. Salah satu permasalahannya adalah panas yang ditimbulkan sehingga dapat menyebabkan rugi-rugi transmisi. Jumlah kawat penghantar dan jarak antara kawat berkas memengaruhi besarnya korona yaitu gejala medan tegangan tinggi yang ditandai oleh bunyi desis atau berisik dan cahaya keunguan.

Jarak kawat penghantar antar fasa pada saluran transmisi udara SUTT dengan tegangan 70kV idealnya minimal 3 (tiga) meter. Sedangkan, untuk saluran transmisi udara 150 KV, jarak ideal minimal 6 (enam) meter. Untuk Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), jarak ideal minimal dua belas (12) meter. Jarak minimal bertujuan untuk menghindari terjadinya efek ayunan yang dapat menimbulkan *flash over* antar fasa.

Instalasi saluran transmisi udara tegangan tinggi membutuhkan perlengkapan atau *fitting* pada kawat penghantar diantara adalah *Spacer* dan *vibration damper*. Untuk keperluan perbaikan, dipasang *repair sleeve* maupun *armor rod*. Sambungan kawat disebut *mid span joint*.

Repair sleeve adalah selongsong aluminium yang terbelah menjadi dua bagian dan dapat ditangkapkan pada kawat penghantar, berfungsi untuk memperbaiki konduktivitas kawat yang rantas. Cara pemasangannya di *press* dengan *hydraulic* tekanan tinggi.

Bola pengaman adalah rambu peringatan terhadap lalu lintas udara, berfungsi untuk memberi tanda kepada pilot pesawat terbang bahwa terdapat kawat transmisi udara. Bola

pengaman dipasang pada ground wire pada setiap jarak 50-75 meter sekitar lapangan/bandar udara. Sedangkan, lampu aviasi berfungsi untuk rambu peringatan berupa lampu terhadap lalu lintas udara, berfungsi untuk memberi tanda kepada pilot pesawat terbang bahwa terdapat kawat transmisi. Jenis lampu aviasi adalah sebagai berikut.

- a. Lampu aviasi yang terpasang pada tower dengan suplai dari jaringan tegangan rendah.
- b. Lampu aviasi yang terpasang pada kawat penghantar dengan sistem induksi dari kawat penghantar.

Peralatan perlengkapan lainnya yaitu *Archiving Horn* yaitu sebuah peralatan yang dipasang pada sisi *Cold* (tower) dari rencengan isolator. Fungsi *arching horn* yaitu sebagai berikut:

- a. Media pelepasan busur api dari tegangan lebih antara sisi *Cold* dan *Hot* (kawat penghantar).
- b. Pada jarak yang diinginkan, berguna untuk memotong tegangan lebih bila terjadi sambaran petir; *switching*; dan gangguan sehingga dapat mengamankan peralatan yang lebih mahal di Gardu Induk (Trafo).

Media semacam *arching horn* yang terpasang pada sisi *Hot* (kawat penghantar) adalah:

- 1) *Guarding ring*: berbentuk oval, mempunyai peran ganda yaitu sebagai *arching horn* maupun pendistribusi tegangan pada beberapa isolator sisi *hot*. Umumnya dipasang di setiap *tower tension* maupun *suspension* sepanjang transmisi.
- 2) *Archiving ring*: berbentuk lingkaran, mempunyai peran ganda yaitu sebagai *arching horn* maupun pendistribusi tegangan pada beberapa isolator sisi *hot*. Umumnya hanya terpasang di *tower dead end* dan *gantry GI*.

5. Kawat Tanah

Kawat tanah atau dalam Bahasa Inggris bernama *ground wire*, sering disebut dengan istilah kawat pelindung (*shield wire*)

yang merupakan komponen penting dalam saluran transmisi maupun jaringan tenaga listrik. Kawat tanah berfungsi untuk melindungi penghantar-penghantar fasa dari gangguan sambaran petir secara langsung. Kawat tanah harus dipasang di atas kawat fasa (R-S dan T) agar jika ada petir yang menyambar saluran transmisi maka akan mengenai kawat tanah yang sudah di-*ground*-kan. Pada umumnya kawat tanah menggunakan kawat yang terbuat dari baja (*steel wire*) dengan harga yang lebih murah. Di beberapa aplikasi terkadang juga menggunakan kawat ACSR.

Konduktor adalah media untuk tempat mengalirkan arus listrik dari Pembangkit listrik ke Gardu induk atau dari GI ke GI lainnya, yang terentang lewat tower-tower. Konduktor pada *tower tension* dipegang oleh *tension clamp*, sedangkan pada *tower suspension* dipegang oleh *suspension clamp*. Di belakang *clamp* tersebut dipasang rencengan isolator yang terhubung ke tower.

Kawat Tanah atau *Earth wire* (kawat petir/kawat tanah) adalah media untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Kawat ini dipasang di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, karena dianggap petir menyambar dari atas kawat. Namun, jika petir menyambar dari samping maka dapat mengakibatkan kawat fasa tersambar dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan.

Kawat pada *tower tension* dipegang oleh *tension clamp*, sedangkan pada *tower suspension* dipegang oleh *suspension clamp*. Pada *tension clamp* dipasang kawat jumper yang menghubungkannya pada tower agar arus petir dapat dibuang ke tanah lewat tower. Untuk keperluan perbaikan mutu pentanahan maka dari kawat jumper ini ditambahkan kawat lagi menuju ke tanah yang kemudian dihubungkan dengan kawat pentanahan.

Kawat tanah terbuat dari bahan baja (*steel*) yang sudah dilapisi dengan galvanis atau dilapisi aluminium. Pada saluran transmisi udara yang dibangun pada tahun 1990an, di dalam kawat tanah diberi serat optik (*fibre optic*) yang berguna untuk

keperluan telemetri, tele proteksi maupun telekomunikasi yang dikenal dengan OPGW (*Optic Ground Wire*).

Jumlah kawat tanah paling tidak ada satu buah di atas kawat fasa, namun umumnya di setiap tower dipasang dua buah. Pemasangan yang hanya satu buah untuk dua penghantar akan membuat sudut perlindungan menjadi besar sehingga kawat fasa mudah tersambar petir. Jarak antara ground wire dengan kawat fasa di tower adalah sebesar jarak antar kawat fasa, namun pada daerah tengah gawangan dapat mencapai 120% dari jarak tersebut.

5. Peralatan Proteksi

Komponen lain yang tidak kalah pentingnya pada saluran transmisi adalah proteksi. Saluran transmisi terutama udara, banyak mengalami potensi gangguan baik dari dalam (internal) maupun dari luar. Untuk menjamin saluran transmisi dapat bekerja dengan baik, maka perlu ditambah dengan peralatan proteksi yang akan memutuskan gangguan secepatnya sehingga tidak sampai merusakkan peralatan dan menyebabkan *blackout*.

Pengertian proteksi transmisi tenaga listrik adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga saluran distribusi listrik (*substation distribution*) dapat disalurkan sampai pada konsumen/pengguna listrik dengan aman. Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat terjadi perawatan dalam kondisi menyala. Jika proteksi bekerja dengan baik, maka pekerja dapat melakukan pemeliharaan transmisi tenaga listrik dalam kondisi bertegangan. Jika saat melakukan pemeliharaan tersebut terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang terpasang harus bekerja demi

mengamankan sistem dan manusia yang sedang melakukan perawatan.

Proteksi berbeda dengan pengaman. Jika pengaman suatu sistem berarti sistem tersebut tidak merasakan gangguan sekali pun. Sedangkan proteksi atau pengaman sistem merasakan gangguan tersebut namun dalam waktu yang sangat singkat dapat diamankan sehingga sistem tidak mengalami kerusakan akibat gangguan yang terlalu lama.

Gangguan pada transmisi tenaga listrik dapat berupa: Gangguan transmisi akibat hubung singkat; Gangguan transmisi akibat sambaran petir; Gangguan transmisi akibat hilangnya salah satu kabel fasa disebabkan oleh manusia.

a. *Circuit Breaker*

Circuit Breaker (CB) adalah salah satu peralatan pemutus daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi terhubung ke beban secara langsung dan aman, baik pada kondisi normal maupun saat terdapat gangguan. *Circuit breaker* pada tegangan tinggi dan menengah biasanya digerakkan oleh *relay* proteksi yang akan memerintahkannya untuk *trip*.



Gambar 6.9. *Circuit Breaker* Tegangan Tinggi

Pada tegangan menengah dan tinggi dengan arus yang besar, maka proses pemutusan maupun pelepasan rangkaian akan menghasilkan busur api. Oleh karena itu, *circuit breaker* perlu dilengkapi dengan peralatan pemadam busur api. Berdasarkan media pemutus listrik/pemadam bunga api, terdapat empat jenis CB sebagai berikut:

a. *Air Circuit Breaker (ACB)*

ACB menggunakan udara yang disemprotkan (ditekan) untuk memadamkan busur api.



Gambar 6.10. *Air Circuit Breaker*

b. *Vacuum Circuit Breaker (VCB)*

VCB menggunakan media berupa *vacuum* untuk memadamkan busur api



Gambar 6.11. *Vacuum Circuit Breaker*

c. *Gas Circuit Breaker (GCB)*

GCB menggunakan media berupa gas yang biasanya adalah jenis SF₆ untuk memadamkan busur api.



Gambar 6.12. *Gas Circuit Breaker*

d. *Oil Circuit Breaker (OCB)*

OCB menggunakan media berupa minyak untuk memadamkan busur api yang terjadi pada proses penyambungan maupun pelepasan beban.



Gambar 6.13. *Oil Circuit Breaker*

Berikut ini adalah syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu peralatan untuk menjadi pemutus daya:

- a. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara kontinyu.
- b. Mampu memutuskan atau menutup jaringan dalam keadaan berbeban ataupun dalam keadaan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
- c. Mampu memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi.

b. *Disconnecter Switch*



Gambar 6.14. *Disconnecter Switch* (Pemisah)

c. *Relay* Proteksi

1) *Relay* Arus Lebih (RAL)

RAL merupakan *relay* pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada Jaringan Tegangan tinggi, Tegangan menengah juga pada pengaman Transformator tenaga. *relay* ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa-fasa. Jika dalam suatu transmisi terdapat gangguan yang berupa arus lebih, maka dalam waktu yang singkat *relay* arus lebih akan bekerja sehingga jaringan transmisi

akan tidak terhubung sementara. Jika gangguan telah hilang, maka jaringan transmisi akan terhubung kembali.

2) *Relay* Gangguan Tanah

Relay gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) merupakan *relay* proteksi yang berfungsi untuk mengamankan saluran transmisi apabila terjadi hubung singkat antara kabel fasa dengan tanah. *Relay* gangguan tanah akan langsung bekerja dalam waktu yang sangat singkat, sehingga sistem menjadi aman karena tidak terjadi kerusakan yang sangat banyak.

3) *Relay* Diferensial

Relay diferensial merupakan peralatan proteksi yang bekerja berdasarkan keseimbangan (*balance*) antara arus yang mengalir pada kedua sisi trafo daya melalui suatu perantara yaitu trafo arus (CT).

4) *Relay* Jarak

Relay jarak merupakan proteksi yang paling utama pada saluran transmisi. *Relay* jarak menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Di sebut *relay* jarak karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu, *relay* jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap *relay* proteksi. Impedansi yang diukur dapat berupa Z , R , ataupun X saja, tergantung *relay* yang dipakai. *Relay* jarak mengukur tegangan pada titik *relay* dan arus gangguan yang terlihat dari *relay* dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan.

d. *Arrester*

Inspeksi Saluran Transmisi Tenaga Listrik

A. TRANSFORMATOR DAYA

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE	
1.	Name Plate	a. Nama pabrik, tempat dan pembuatan b. Jenis dan No. Seri c. Kapasitas/Daya/ <i>Frequency</i> d. <i>Primary Voltage/ Secondary Voltage</i> e. <i>Primary Current/ Secondary Current</i> f. <i>Vector Group</i> g. <i>Impedance</i> h. <i>Insulation level/ Kelas Isolasi</i> i. <i>Cooling system</i>	Sesuai/ tidak sesuai	<i>Manufacture Standar dan SNI</i>	Penilaian
2.	<i>Bushing</i>	a. Memeriksa kebersihan <i>body bushing</i> b. Memeriksa fisik <i>body</i> yang berkarat/ gompal c. Memeriksa kekencangan mur baut klem terminal utama d. Memeriksa kebocoran gasket e. Memeriksa kesesuaian <i>Spark gap bushing</i> primer f. Memeriksa kesesuaian <i>Spark gap</i>	Baik/ Tidak baik	<i>Manufacture Standar dan SNI</i>	Penilaian

		<i>bushing</i> sekunder			
3.	Sistem pendingin	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan sirip-sirip radiator b. Memeriksa kebocoran minyak trafo c. Memeriksa level minyak trafo d. Memeriksa kondisi minyak trafo e. Pengujian/pengetesan tegangan tembus minyak trafo 	Baik/ Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
4.	Alat Pernapasan (<i>Breather</i>)	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa level konservator <i>main tank</i> b. Memeriksa level konservator <i>tap changer</i> c. Memeriksa warna <i>silica gel</i> 	Baik/ Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI Biru/Ungu	Penilaian
5.	Sistem Kontrol dan Proteksi 5.1. Panel Kontrol 5.2. <i>Relay Bucholz</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kekencangan mur baut terminal kontrol b. Memeriksa kondisi Elemen pemanas c. Memeriksa kebersihan kontaktor d. Memeriksa kebersihan <i>limit switch</i> e. Memeriksa sumber tegangan AC/DC 	Baik/ Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
		<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi seal 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian

	5.3. <i>Relay Jansen</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi <i>seal</i> 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture Standar dan SNI</i>	Penilaian
	5.4. <i>Relay Sudden pressure</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi <i>seal</i> c. Memeriksa kebersihan <i>thermo couple</i> d. Memeriksa kabel-kabel kontrol dan pipa-pipa kapiler 			
6.	OLTC	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kesesuaian indikator posisi tap b. Memeriksa pelumasan gigi penggerak c. Memeriksa kebersihan kontaktor d. Memeriksa kebersihan limit switch e. Memeriksa kesesuaian sumber tegangan AC/DC f. Menguji posisi lokal dan <i>remote</i> g. Memeriksa kondisi minyak <i>diverter switch</i> OLTC 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture Standar dan SNI</i>	Penilaian
7.	Sistem <i>Grounding</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kawat pentanahan pada titik netral primer/ 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture Standar dan SNI</i>	Penilaian

		sekunder b. Memeriksa kawat pentanahan pada <i>body/enclousure</i> /BKT trafo c. Memeriksa kawat pentanahan pada BKE (Bagian Konduktif Ekstra) d. Memeriksa kekencangan mur baut terminal pentanahan e. Mengukur/menguji nilai pentanahan			
8.	<i>Main tank</i>	a. Memeriksa kebersihan <i>body</i> dan bushing b. Memeriksa karat/gompal fisik <i>body</i> c. Memeriksa kondisi gasket	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
9.	Konstruksi/struktur mekanik	a. Memeriksa kondisi konstruksi bangunan, pondasi dan baut pengikat b. Memeriksa kebersihan lingkungan gardu c. Memeriksa sirkulasi udara d. Memeriksa penerangan e. Memeriksa pembatas/	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian

		<ul style="list-style-type: none"> d. Memeriksa Katup-katup e. Memeriksa kontak pemisah f. Memeriksa <i>relay</i> g. Memeriksa panel kontrol lokal h. Memeriksa kawat pentanahan <p>Pengujian / Pengukuran :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pengukuran tahanan isolasi b. Pengukuran tahanan kontak c. Pemeriksaan kerja dari lokal secara mekanis dan elektris d. Pengukuran <i>interlock</i> mekanis & elektris e. Pengukuran fungsi kontak bantu f. Pengukuran indikasi buka / tutup g. Pengujian tegangan tinggi 	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Pengetesan
3.	Trafo Arus	<p>Pemeriksaan Visual :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa papan nama pemasangan b. Memeriksa <i>Bushing</i> c. Memeriksa kawat pentanahan <p>Pengujian / Pengukuran :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pemeriksaan rasio b. Pemeriksaan polaritas c. Pengukuran tahanan searah d. Pengukuran tahanan isolasi 	Ada/ Tidak ada	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
		<p>Pengujian / Pengukuran :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pemeriksaan rasio b. Pemeriksaan polaritas c. Pengukuran tahanan searah d. Pengukuran tahanan isolasi 	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Pengetesan

		e. Pengujian tegangan tinggi			
4.	Trafo Tegangan	<p>Pemeriksaan Visual :</p> <p>a. Memeriksa papan nama pemasangan</p> <p>b. Memeriksa <i>Bushing</i></p> <p>c. Memeriksa kawat pentanahan</p> <p>Pengujian / Pengukuran :</p> <p>a. Pemeriksaan rasio</p> <p>b. Pemeriksaan polaritas</p> <p>c. Pengujian tegangan tinggi</p>	<p>Ada/ Tidak ada</p> <p>Sesuai/ Tidak sesuai</p>	<p><i>Manufacture Std.</i></p> <p><i>Manufacture Std.</i></p>	<p>Penilaian</p> <p>Pengetesan</p>
5.	<i>Arrester</i>	<p>Pemeriksaan Visual :</p> <p>a. Memeriksa papan nama pemasangan</p> <p>b. Memeriksa <i>Bushing</i></p> <p>c. Memeriksa kawat pentanahan</p>	<p>Ada/ Tidak ada</p>	<p><i>Manufacture Std.</i></p>	<p>Penilaian</p>
6.	<i>Relay</i> Proteksi	<p>a. Pemeriksaan visual pada OCR, diferensial <i>relay</i>, REF, GFR, UVR, OVR, dll</p> <p>b. Pengetesan pada OCR, diferensial <i>relay</i>, REF, GFR, UVR, OVR, dll</p>	<p>Ada/ Tidak ada</p> <p>Berfungsi/ Tidak berfungsi</p>	<p><i>Manufacture Std.</i></p> <p><i>Manufacture Std.</i></p>	<p>Penilaian</p> <p>Pengetesan</p>
7	Meter	<p>a. Pemeriksaan visual dan unjuk kerja pada Ampere meter, Volt meter, Watt meter, VAR meter, KWH meter, Cos phi meter, dan <i>Frequency</i> meter</p> <p>b. Pemeriksaan indikator Fasa</p>	<p>Ada/Tidak ada</p> <p>Berfungsi/ Tidak berfungsi</p>	<p><i>Manufacture Std.</i></p> <p><i>Manufacture Std.</i></p>	<p>Penilaian</p> <p>Pengetesan</p>

C. JARINGAN TRANSMISI SUTET DAN SUTT

NO	OBJEK		HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1.	Tower dan Jaringan	Ground Patrol : a. Kawat penghantar b. <i>Ground wire</i> c. Ruang bebas (Right of Way/ROW) d. Tower dan halamannya e. Lingkungan dan aktivitas masyarakat sekitarnya	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI /SPLN	Penilaian
		<i>Climb up Inspection :</i> a. Besi Tower dan kelengkapannya b. Kawat penghantar sekitar tower c. <i>Ground wire</i> sekitar tower d. Klem pemegang kawat dan aksesorinya e. Isolator dan aksesorinya f. Benda asing yang terdapat pada tower, isolator dan kawat.	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI /SPLN	Penilaian
2.	Sistem Proteksi	a. Pemeriksaan dan pengukuran pentanahan tower b. Pemeriksaan jaringan-jaring pengaman c. Pemeriksaan bola-bola pengaman (<i>ballistor</i>)	..... Ω Sesuai/ Tidak sesuai	SNI : 5 Ω SNI	Pengukuran Penilaian

6.4. Latihan Soal

1. Saluran transmisi digunakan untuk menyalurkan daya listrik sebesar 1000 MVA. Jika digunakan tegangan 150 KV, berapakah arus yang mengalir pada saluran transmisi tersebut ...
 - a. 6666 A
 - b. 5555 A
 - c. 4321 A
 - d. **3853 A**
 - e. 3067 A
2. *Circuit Breaker* yang digunakan pada tegangan tinggi yaitu sebagai berikut, *kecuali* ...
 - a. **NFB**
 - b. ACB
 - c. OCB
 - d. GCB
 - e. VCB
3. Untuk melindungi kawat penghantar fasa saluran transmisi dari gangguan sambaran petir secara langsung digunakan ...
 - a. Kawat Netral
 - b. *Arrester*
 - c. **Kawat Tanah**
 - d. Penangkal Petir
 - e. *Surge Protector Device*
4. Perhatikan gambar berikut



Gambar di atas merupakan komponen

- a. Isolator
- b. *Bushing* trafo
- c. Trafo arus
- d. **Diskonektor**
- e. Trafo tegangan

5. Penggunaan tegangan ekstra tinggi pada saluran transmisi membawa dampak pada gejala-gejala yang dapat menyebabkan keresahan pada manusia diantaranya ...
- a. Gangguan cuaca
 - b. Interferensi
 - c. Disimilasi
 - d. Erifikasi
 - e. **Korona**

BAB 7

INSPEKSI DAN TES JARINGAN DISTRIBUSI

7.1. Pengantar

Salah satu komponen sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen adalah jaringan distribusi. Listrik yang dihasilkan oleh pembangkit biasanya terletak dekat pantai (PLTG, PLTU, dan PLTD) atau dekat dengan bendungan (PLTA) atau di tempat yang luas (PLTS). Listrik yang dihasilkan dari pembangkit selanjutnya ditransmisikan melalui saluran transmisi dengan tegangan tinggi dan selanjutnya didistribusikan ke konsumen melalui gardu induk dan jaringan distribusi.

Gardu induk merupakan bagian dari jaringan distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk menstransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi ke tegangan tinggi yang lain atau dari tegangan tinggi ke tegangan menengah. Pada gardu induk dilakukan pengukuran, pengawasan operasi dan pengaturan pengaman sistem tenaga listrik. Selain itu juga dilakukan pengaturan pelayanan beban (daya) menuju gardu-gardu induk melalui tegangan tinggi dan menuju gardu-gardu distribusi setelah melalui *step down transformer* yang dilanjutkan ke penyulang tegangan menengah.

Pengaturan beban di Indonesia dilakukan oleh Unit Pengatur Beban (UPB). Dalam sistem tenaga listrik di Jawa dan

Bali, unit pengatur beban terdapat di beberapa lokasi diantaranya UPB Gandul di Jakarta, UPB Cawang di Jakarta, UPB Cigelereng di Jawa Barat, UPB Ungaran di Jawa Tengah, dan UPB Waru di Jawa Timur. Masing-masing UPB berfungsi untuk melakukan pengaturan operasional sistem tenaga listrik agar dapat berjalan dengan baik.

Jaringan distribusi tenaga listrik dilakukan oleh perusahaan listrik yang di Indonesia dikelola oleh PT PLN. Pengelolaan jaringan distribusi diawali dari Gardu Induk, jaringan distribusi primer, jaringan distribusi sekunder dan jaringan distribusi penyaluran kepada konsumen. Jaringan distribusi tenaga listrik pada umumnya menggunakan jaringan udara atau jaringan bawah tanah. Jaringan distribusi udara digunakan pada daerah pedesaan, sedangkan jaringan distribusi bawah tanah banyak digunakan pada daerah perkotaan. Pemilihan jenis instalasi jaringan tenaga listrik dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut: Kemudahan; Biaya; Estetika; Keamanan; dan Kemudahan perawatan dan perbaikan.

Jaringan distribusi dalam operasinya tidak bisa dipisahkan dengan gardu induk distribusi. Gardu induk distribusi ada yang berada di ujung saluran transmisi, yang berfungsi mengatur distribusi daya yang diterima dari saluran transmisi sekaligus menurunkan tegangan dari level saluran transmisi ke level jaringan distribusi. Gardu induk juga ada yang berada di antara jaringan distribusi yang berfungsi untuk membagi aliran daya dan menurunkan tegangan distribusi ke tegangan rendah. Berdasarkan jenis pemasangannya gardu distribusi terdapat dua jenis yaitu gardu pasang luar dan gardu pasang dalam.

Gardu distribusi pasangan luar umumnya disebut gardu portal untuk konstruksi 2 tiang dan gardu cantol untuk konstruksi 1 tiang, masing-masing dengan kapasitas transformator terbatas. Gardu portal terdiri atas FCO (*Fused Cut Out*) dan LA (*Lightning Arrester*). FCO berfungsi sebagai pengaman hubung singkat trafo dengan elemen pelebur (*Fuse Link*) tipe *Expulsion*. LA berfungsi

sebagai sarana pencegahan naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

Gardu distribusi pasangan dalam seringkali dikenal dengan istilah gardu beton (*Masonry Wall Distribution Substation*) dengan kapasitas transformator yang cukup besar. Pemasangan jenis ini dipakai untuk daerah padat beban tinggi.



Gambar 7.1. Jaringan Distribusi Listrik Udara

7.2. Klasifikasi Jaringan Distribusi

Berdasarkan level tegangannya jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV

Jaringan distribusi tegangan menengah berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari gardu induk menuju ke konsumen-konsumen baik melalui saluran udara (SUTM) maupun kabel bawah tanah (SKTM). Tegangan menengah 20 kV digunakan untuk menyalurkan listrik dari gardu induk ke konsumen yang berlangganan di atas 200 kVA. Pada umumnya konsumen listrik seperti pabrik, hotel, rumah sakit, perguruan tinggi, dan konsumen menengah lainnya berlangganan listrik yang cukup besar sehingga menggunakan tegangan menengah 20 kV.

Jaringan distribusi tegangan menengah biasanya menggunakan jaringan 3 fase 4 kawat dengan tegangan antara

fasa dengan tanah (netral) 20 kV. Jaringan distribusi merupakan penghubung antar gardu induk tegangan menengah atau yang menghubungkan gardu induk tegangan menengah dengan trafo distribusi tegangan rendah. Tegangan menengah 20 kV juga digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen-konsumen kecil melalui trafo distribusi. Tegangan menengah selanjutnya diturunkan menjadi tegangan rendah 380/220 Volt untuk didistribusikan ke konsumen kecil berupa perumahan, tempat ibadah, sekolah, toko dan konsumen kecil lainnya.

2. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah 380/220 V

Jaringan distribusi tegangan rendah yaitu bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik yang dihubungkan langsung kepada konsumen. Jaringan distribusi tegangan rendah ada yang menggunakan jaringan 3 fase 4 kawat untuk beban-beban yang relatif besar. Untuk beban yang relatif kecil termasuk beban rumah tangga lebih banyak menggunakan satu fase 2 kawat dengan tegangan 220 volt dari fasa ke netral. Dalam praktiknya, trafo tegangan yang digunakan mempunyai tiga terminal output, yaitu satu netral yang juga dihubungkan ke tanah dan dua terminal fasa yang mempunyai tegangan 220 volt.

Bila jaringan tegangan rendah dan jaringan tegangan menengah menggunakan tiang yang sama maka kawat penghantar yang digunakan cukup satu saja, sebagai kawat netral kedua sistem tersebut. Untuk pelanggan yang menggunakan cukup besar, biasanya berlangganan dengan tegangan menengah 20 kV. Untuk kepentingan menurunkan tegangan dan pendistribusiannya pihak pelanggan mengelola gardu distribusi sendiri. Pelanggan beban yang relatif kecil yang menggunakan tegangan rendah dilayani dengan jaringan transmisi tegangan rendah yang menghubungkan pelanggan dengan trafo distribusi tegangan rendah.

Berdasarkan nilai tegangannya jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer terletak pada sisi primer dari trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo substation pada gardu induk sampai titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Selain tegangan 20 kV. Terdapat juga tegangan 70 kV atau 150 kV dapat disebut jaringan distribusi bila langsung melayani pelanggan. Tegangan 70 KV dan 150 KV digunakan untuk menyuplai konsumen yang berlangganan listrik dengan daya yang sangat besar seperti pabrik.

2. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder terletak pada sisi sekunder trafo, yaitu antara titik sekunder sampai titik cabang menuju beban. Jaringan distribusi sekunder bisa menggunakan tegangan menengah 20 KV atau tegangan rendah 380/220 V.

Berdasarkan nilai bentuk tegangannya jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2, yaitu:

1. *Jaringan distribusi tenaga listrik DC (Direct Current) yang menggunakan sistem tegangan searah*

Jaringan distribusi listrik DC sebenarnya mempunyai banyak keunggulan karena kebanyakan peralatan listrik rumah tangga menggunakan listrik DC. Namun, pertimbangan biaya dan kerumitan dalam hal konversi tegangan menjadikan jaringan distribusi listrik DC masih belum banyak diimplementasikan. Dengan perkembangan peralatan elektronika untuk konversi tegangan DC tidak menutup kemungkinan di masa depan jaringan distribusi DC akan banyak dikembangkan di dunia termasuk Indonesia

2. *Jaringan distribusi tenaga listrik AC dan jaringan distribusi listrik AC (Alternating Current) yang menggunakan tegangan bolak-balik*

Di Indonesia kebanyakan karena berbagai pertimbangan diantaranya: 1) keandalan; 2) kapasitas penyaluran; 3) keamanan; 4) pemeliharaan; dan 5) biaya.

Berdasarkan jenis/tipe konduktornya jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Jaringan Distribusi Udara
Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan *support* (tiang) dan perlengkapannya, dibedakan atas:
 - a. Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang atau tanpa isolasi pembungkus.
 - b. Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
2. Saluran Bawah Tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*).
3. Saluran Bawah Laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*)

Berdasarkan susunan (konfigurasi) saluran jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Saluran Konfigurasi Vertikal
Dikatakan saluran distribusi dengan konfigurasi vertikal bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal.
2. Saluran Konfigurasi Horisontal
Dikatakan saluran distribusi dengan konfigurasi horisontal apabila saluran antar fasa atau fasa dengan netral, positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horisontal.
3. Saluran Konfigurasi Delta
Dikatakan saluran distribusi dengan konfigurasi apabila kedudukan saluran satu dengan yang lain membentuk suatu segitiga.



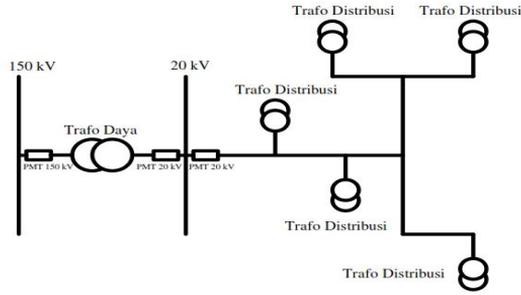
Gambar 7.1. Saluran konfigurasi delta

7.3. Topologi Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara maupun bawah tanah. Terdapat bermacam-macam topologi jaringan pada jaringan distribusi primer, antara lain:

1. Jaringan Distribusi Radial

Pada jaringan distribusi sistem radial, suatu gardu induk digunakan untuk melayani beban gardu induk yang lain yang kapasitasnya lebih kecil. Adapun masing-masing dari gardu induk tersebut tidak saling berhubungan. Kemudian masing-masing gardu induk melayani beberapa beban. Pada sistem ini biaya pembangunannya juga relatif murah dan pengelolaannya lebih sederhana, karena aliran dayanya hanya satu arah dan jumlah jaringannya relatif sedikit. Kelemahan sistem ini adalah apabila terjadi gangguan pada suatu gardu induk atau jaringan yang mengakibatkan kerusakan, maka semua beban yang melalui jaringan atau gardu induk tersebut akan terputus.

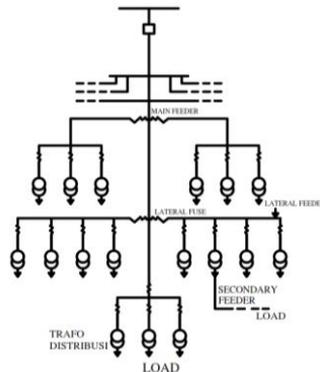


Gambar 7.2. Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial memiliki beberapa modifikasi, antara lain:

a. Jaringan Radial Tipe Pohon

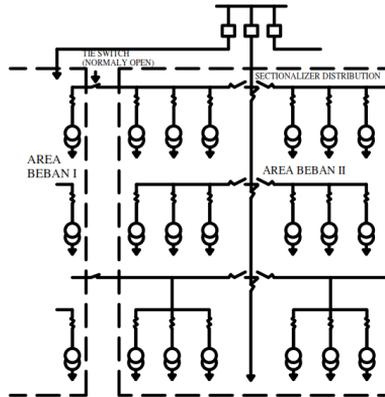
Jaringan radial tipe pohon merupakan bentuk jaringan yang paling dasar. Pada sistem ini saluran utama dibentangkan berdasarkan kebutuhan. Selanjutnya, dicabangkan dengan saluran cabang (lateral penyulang). Lateral penyulang dicabangkan lagi dengan sublateral penyulang. Sistem ini disesuaikan dengan kerapatan arus yang melewati masing-masing saluran, ukuran penyulang utama, ukuran lateral, dan ukuran sublateral.



Gambar 7.3. Jaringan Radial Tipe Pohon

b. Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

Sistem ini merupakan modifikasi dari sistem jaringan paling dasar. Pada sistem ini hanya ditambahkan *tie* dan *switch* pemisah. Tambahan komponen ini diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan pada konsumen bila terjadi gangguan. Cara pemasangannya dengan menghubungkan area yang tidak terganggu pada penyulang yang mengalami gangguan dengan penyulang di sekitarnya sehingga penyulang yang mengalami gangguan dapat dilokalisasi, sedangkan penyulang yang tidak mengalami gangguan dapat dioperasikan kembali. Pengoperasian kembali dilakukan dengan melepas *switch* yang terhubung dengan penyulang yang mengalami gangguan dan menghubungkan penyulang yang tidak terkena gangguan dengan penyulang di sekitarnya.

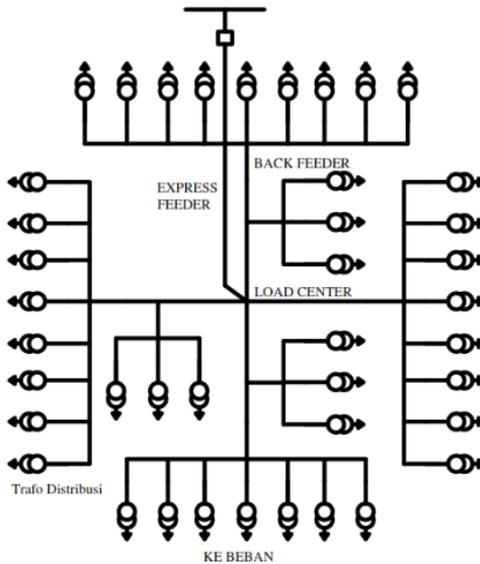


Gambar 7.4. Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

c. Radial dengan Pusat Beban

Sistem ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) atau yang disebut dengan *express feeder* langsung menuju pusat beban. Penyebaran dari

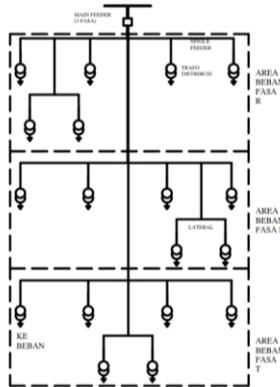
titik beban dilakukan dengan menggunakan *back feeder* secara radial.



Gambar 7.5. Jaringan Radial Tipe Pusat Beban

d. Radial dengan Pembagian Fasa Area

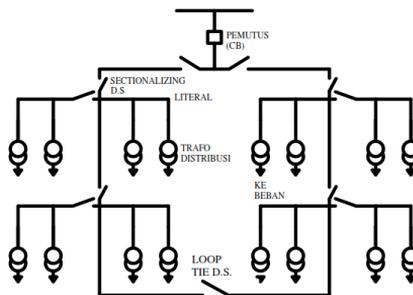
Masing-masing fasa dari jaringan pada sistem ini bertugas untuk melayani daerah beban yang berlainan. Jaringan dengan sistem ini dapat mengakibatkan sistem 3 fasa tidak seimbang (asimetris) bila digunakan pada daerah yang pembagian bebannya belum mantap dan daerah beban yang baru. Sistem ini cocok digunakan pada daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat secara merata serta simetris pada setiap fasanya.



Gambar 7.6. Jaringan Distribusi Radial Fasa Area

2. Jaringan Distribusi *Loop (Ring)*

Kelemahan yang ada pada sistem di atas diselesaikan dengan menggunakan sistem *ring* atau *loop*, yaitu diupayakan ada interkoneksi antar gardu induk yang ada melalui jaringan distribusi. Bila terjadi gangguan pada salah satu gardu induk, beban dapat dilayani oleh gardu induk yang lain. melalui jaringan distribusi yang berbeda. Demikian pula jika gangguan terjadi pada suatu saluran distribusi. Pengelolaan sistem ini tentunya lebih rumit dan biaya pembangunannya lebih mahal, tetapi tingkat pelayanan tenaga listrik ke pelanggan menjadi lebih baik.



Gambar 7.7. Jaringan Distribusi *Loop*

Bentuk dari jaringan distribusi *loop* ada dua macam, yaitu:

a. Bentuk *Close Loop*

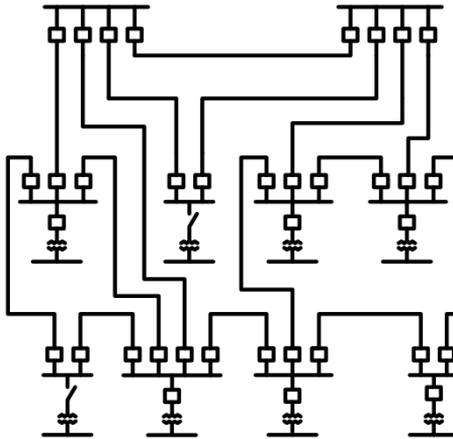
Dikatakan bentuk *Close Loop* apabila pada konfigurasi dilengkapi dengan *normally-close switch* dalam keadaan normal rangkaian akan selalu tertutup.

b. Bentuk *Open Loop*

Dikatakan bentuk *Open Loop* apabila pada konfigurasi dilengkapi dengan *normally-open switch* dalam keadaan normal rangkaian akan selalu terbuka.

3. Jaringan Distribusi Jaring-Jaring (NET)

Jaringan distribusi jaring-jaring (NET) merupakan sistem distribusi yang terdiri atas gabungan beberapa saluran mesh, di mana terdapat lebih dari satu sumber yang membentuk saluran interkoneksi. Sistem distribusi ini berbentuk jaring-jaring yang mengombinasikan jaringan radial dan jaringan *loop*.

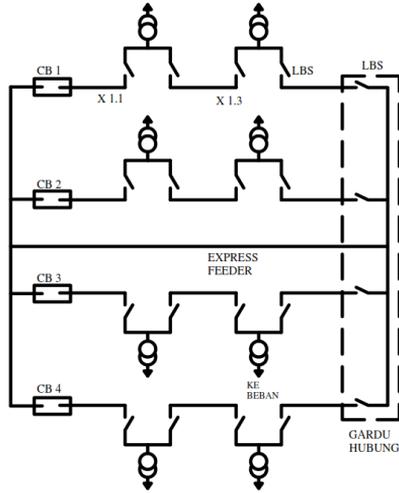


Gambar 7.8. Jaringan Distribusi NET
Sumber: dedi Jabo

Keuntungan menggunakan sistem ini yaitu pada titik beban memiliki banyak alternatif penyulang, sehingga bila pada salah satu penyulang terjadi gangguan dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain. Oleh karena itu, sistem ini memiliki kontinuitas penyaluran daya yang terjamin. Selain itu, kualitas tegangan pada sistem ini memiliki kualitas yang baik, rugi daya pada saluran sangat kecil, dan dibandingkan sistem lain paling fleksibel dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban. Kelemahan sistem ini adalah sebelum pelaksanaannya memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit. Selain itu, dalam pembangunannya memerlukan investasi yang mahal dan memerlukan tenaga-tenaga yang terampil dalam pengoperasiannya. Oleh karena itu, sistem ini hanya cocok untuk melayani daerah beban yang benar-benar memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas yang tinggi, antara lain: instalasi militer, rumah sakit, pusat sarana komunikasi dan perhubungan, dll.

4. Jaringan Distribusi *Spindle*

Jaringan distribusi *spindle* merupakan modifikasi dari sistem jaringan dasar. Tujuan modifikasi ini untuk meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Sistem ini biasanya terdiri atas maksimum enam penyulang dalam keadaan dibebani dan salah satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Pada keadaan normal salah satu penyulang memang sengaja dioperasikan tanpa beban. Penyulang ini berfungsi sebagai salah satu cadangan apabila terjadi gangguan pada salah satu *working feeder*. Selain itu juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi dalam keadaan operasi normal.



Gambar 7.9. Jaringan Distribusi *Spindle*

5. Saluran Radial Interkoneksi

Sistem ini dikatakan saluran radial interkoneksi karena terdiri lebih dari satu saluran radial tunggal yang dilengkapi dengan LBS/AVS sebagai sakelar interkoneksi. Saluran ini digunakan pada daerah dengan kepadatan beban yang tinggi dan tidak menuntut keandalan yang tinggi.

7.4. Komponen Jaringan Distribusi

1. Transformator

Transformator sering disebut dengan istilah trafo merupakan suatu komponen dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Setiap elemen jaringan distribusi pada lokasi tertentu dipasang trafo-trafo distribusi, di mana tegangan distribusi 20 KV diturunkan ke level tegangan yang lebih rendah menjadi 380/220 Volt.



Gambar 7. 10. Trafo distribusi

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, transformator dapat dibagi berdasarkan sistem kerja menjadi dua macam yaitu: 1) Transformator *Step Up* (11,6 KV menjadi 150 KV); dan 2) Transformator *Down* (150 KV menjadi 20 KV) dan (20 KV menjadi 380/220 Volt). Sistem distribusi menggunakan jenis transformator *step down* untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan.

2. Metering

Meter adalah suatu alat untuk mengukur besaran listrik (ampere meter, voltmeter, watt meter, VAR meter, VARH meter).

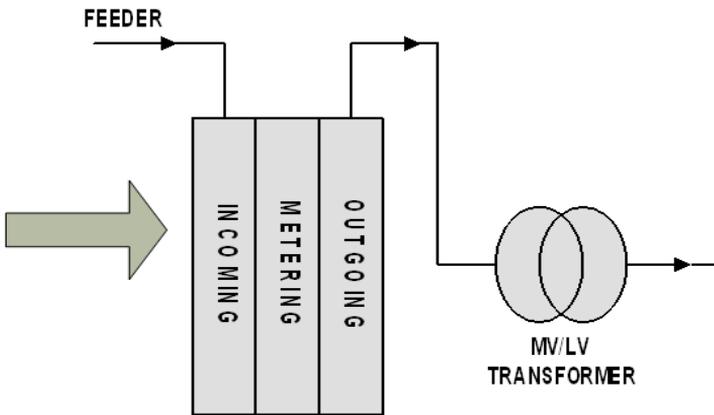


Gambar 7. 11. kWh Meter

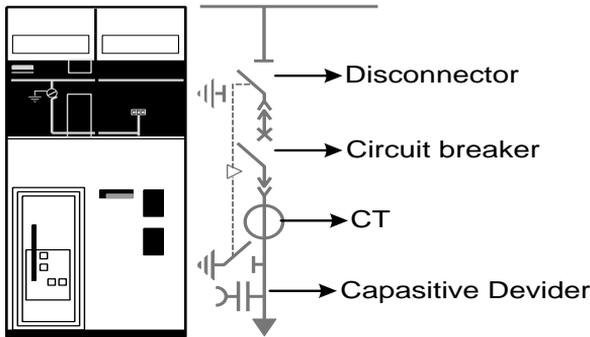
1. Pemasangan alat mengukur besaran listrik dapat secara langsung dan tidak langsung.
 - a. Pemasangan langsung terhadap tegangan rendah.
 - b. Pemasangan tidak langsung yaitu melalui trafo arus dan trafo tegangan.
2. Ketelitian alat ukur/meter yaitu ditunjukkan berdasarkan kelas meter.
 - a. Kelas 0.1, 0.2, 0.5 biasanya dipakai di meja tera.
 - b. Kelas 1,2 biasanya pada KWH meter.
 - c. Kelas 1.5, 2.5, 5 untuk pengukuran kasar.

3. Panel Tegangan Menengah (Kubikel)

Kubikel pada dasarnya sebagai tempat terpasangnya peralatan kontrol, pengukuran, proteksi dan *annunciator* dimaksudkan untuk memudahkan operasi dan pemeliharaan keamanan operator. Secara umum, kubikel yang ditempatkan untuk proteksi tegangan menengah terdiri 3 macam, yaitu kubikel *incoming*, kubikel *metering*, dan kubikel *outgoing*.



Gambar 7. 12. Konstruksi kubikel



Gambar 7. 13. Diagram Garis tunggal kubikel

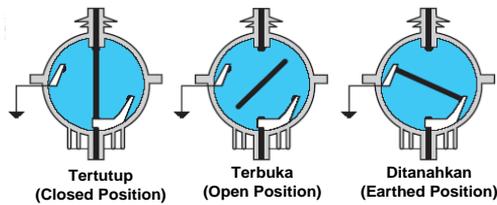
a. Komponen Kubikel

1) *Disconnector* (Sakelar Pemisah)

Disconnector adalah sakelar untuk memisahkan atau menghubungkan sirkit dalam keadaan tidak atau hampir tidak berbeban (PUIL 2000). Bentuk *disconnector* yang berada di dalam kubikel DM1-W seperti gambar 45.20. *Disconnector* dapat dioperasikan 3 posisi (gambar 45.21), yaitu posisi tertutup, posisi terbuka, dan posisi pentanahan (*earthed*). Ketiga posisi tersebut yang berperan penting agar pintu depan sisi bawah dapat dilepas dan ditutup kembali adalah saat posisi pentanahan. Karena *disconnector* digunakan untuk memisahkan atau menghubungkan sirkit yang tidak ada atau hampir tidak berbeban, maka *disconnector* harus dalam keadaan posisi tertutup terlebih dahulu jika akan memasukkan daya (*energize*).



Gambar 7.14. Bentuk *Disconnector Switch*



Gambar 7.15. Posisi Pengoperasian *Disconnector* Tipe DM1-W

2) *Circuit Breaker*

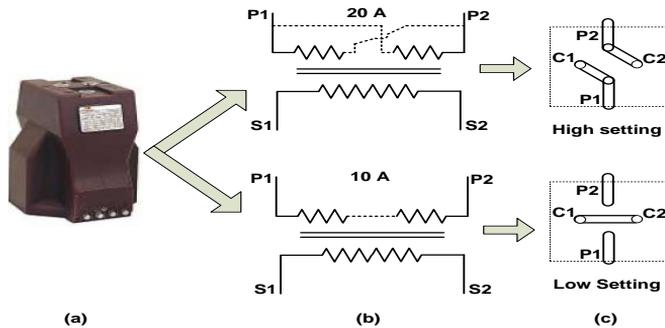
Circuit breaker adalah sakelar mekanis yang mampu menghubungkan, mengalirkan dan memutuskan arus pada kondisi sirkuit normal dan juga mampu menghubungkan, mengalirkan untuk jangka waktu tertentu dan memutuskan secara otomatis arus pada kondisi sirkuit tidak normal tertentu seperti pada kondisi hubung singkat (PUIL 2011).



Gambar 7.16. *Circuit Breaker SF6*

3) **Current Transformer (CT)**

Trafo arus (CT) berfungsi untuk mentransformasikan besaran arus dari nilai arus yang besar menjadi arus yang kecil yang digunakan untuk pengukuran atau proteksi. Gambar 7.18.(a) memperlihatkan bentuk trafo arus yang digunakan untuk proteksi pada kubikel.



Gambar 7.17. (a) CT, (b) Diagram Elektrikal, (c) Diagram Mekanikal

Elemen-elemen mekanik pengoperasian kubikel proteksi tegangan menengah DM1-W ini terdapat pada *disconnector*, *circuit breaker* dan sakelar pentanahan (*grounding*). Pengoperasian ketiga mekanik tersebut terdapat keterkaitan *interlock* (saling mengunci) agar operator dapat mengoperasikan kubikel proteksi dengan aman dan tidak membahayakan manusia serta terjancinya kerusakan peralatan.

Panel yang menggunakan *disconnector* dan *circuit breaker* seperti DM1-W mempunyai karakteristik pengoperasian fungsi *interlock* sebagai berikut:

- a) *Disconnecter* dapat ditutup (*closed position*) jika *circuit Breaker* dalam status terbuka (*open position*) dan pintu masukan depan panel sisi bawah dalam status terkunci (*interlock*).
- b) Sakelar pembumian (*earth switch*) dapat dilakukan setelah *disconnecter* dalam status terbuka.
- c) Pintu masukan depan panel sisi bawah yang digunakan penyambungan kabel tegangan menengah dapat dibuka jika pemutus rangkaian (*circuit breaker*) dalam status terkunci dan *disconnecter* dalam status ditanahkan.

Sebagai contoh kubikel tegangan 20 kV terdiri atas empat kompartemen:

1. Kompartemen pemutus tenaga /PMT
Kompartemen PMT merupakan tempat terpasangnya *Withdrawable Circuit Breaker*. PMT dan mekanisme penggerakannya dapat dengan mudah dikeluarkan/dimasukkan ke dalam kubikel untuk keperluan pemeliharaan.
2. Kompartemen Busbar
Kompartemen Busbar semua tertutup oleh bagian metal (tembaga atau aluminium) dan dibuat agar bagian yang bergerak seminimal mungkin.
3. Kompartemen Sambungan Kabel
Kompartemen sambungan kabel, terdiri atas:
 - a. Terminasi kabel tegangan rendah.
 - b. *Potensial divider*/pembagi tegangan terpasang pada setiap fasa terminal kabel yang disambung dengan tiga *neon indicator* yang dipasang di muka panel. Fungsinya untuk melihat secara visual bahwa kabel tersebut dalam keadaan bertegangan atau tidak.
 - c. Pemisah tanah untuk di sisi kabel dan mekanisme operasinya di depan panel.

- d. Trafo arus dan trafo tegangan.
4. Kompartemen *Auxiliary* tegangan rendah
Kompartemen tegangan rendah ini dibuat untuk memperkecil risiko propagasi saat terjadi kegagalan. *Auxiliary* disambung ke PMT oleh susunan *multi pin connector*.

Jenis-jenis relai pengaman di Kubikel 20 kV

1. Relai arus lebih, berfungsi sebagai pengaman terhadap gangguan hubung singkat fasa-fasa penyulang tegangan menengah. Di-*setting* 1,1–1,3 kali arus nominal CT/kabel.
2. Relai gangguan tanah, berfungsi sebagai pengaman terhadap gangguan tanah pada penyulang tegangan menengah. Di-*setting* 0,4–0,5 kali In untuk saluran udara tegangan menengah dan 1,3 kali 3 lor untuk saluran kabel tanah.
3. *Reclosing relay*, berfungsi sebagai pengaman gangguan yang sifat temporer dan akan menormalkan kembali saluran udara tegangan menengah tersebut.
4. Relay frekuensi kurang, berfungsi sebagai pelepas beban pada penyulang jika terjadi gangguan di sistem.

Secara umum kubikel 20 kV untuk penyulang di gardu induk adalah suatu PHB (penghubung beban) yang berkemampuan besar dilengkapi dengan scalar (pemutus tenaga/PMT) rangkaian kontrol, rangkaian pengukur dan rangkaian pengaman beserta kelengkapannya.

Adapun fungsi dan macam-macam kubikel yang terdapat di gardu induk, sebagai berikut:

1. Kubikel *incoming*, berfungsi untuk menghubungkan sisi sekunder trafo utama dengan rel 20 kV.
2. Kubikel Kopel, berfungsi menghubungkan rel 20 kV yang satu dengan rel 20 kV yang lain dengan PMT yang berkemampuan sama dengan PMT *incoming*.

3. Kubikel *interface*, berfungsi menghubungkan rel 20 kV yang satu dengan rel yang lain sebelum kubikel kopel karena terdapat perbedaan konstruksi.
4. Kubikel *potensial transformer* yang berisi trafo tegangan dan rangkaian kabel control untuk pengukuran dan kontrol.
5. Kubikel penyulang, berfungsi menghubungkan rel 20 kV dengan jaringan tegangan menengah.
6. Kubikel PS (pemakaian sendiri) berisi LBS (*load break switch*) yang menghubungkan antara rel 20 kV dengan trafo PS untuk keperluan pemakaian sendiri gardu induk.

Pengoperasian PMT 20 kV Merlin Gerlin (630 A)

1. Cara melepas PMT
 - a. Pastikan PMT dalam kondisi ON/masuk dengan melihat indikator "I" pada blok mekanikal PMT.
 - b. Pastikan untuk *spring* dalam kondisi siap.
 - c. Posisikan *switch selector* pada posisi lokal dan *off auto reclose*.
 - d. Putar kunci *switch* operasi PMT dari posisi netral/di tengah-tengah ke arah kanan pada posisi *open*.
 - e. Jika dengan menggunakan *switch* operasi mengalami kegagalan maka pelepasan dapat dilakukan pada mekanika PMT yaitu dengan menekan tombol 0 (merah) pada mekanikal PMT.
 - f. Pastikan kondisi PMT telah betul-betul lepas, dengan indikasi:
 - 1) PMT mekanikal telah menunjuk posisi "O".
 - 2) Amperemeter ketiga fasa tidak menunjuk.
 - 3) kV meter tidak menunjuk.
 - 4) Lampu indikator tegangan tidak menyala.
 - 5) *Semaphore* PMT pada *single line* terputus.
 - g. Laporkan jam pelepasan PMT pada piket APJ.
2. Cara memasukkan PMT
 - a. Indikator "O" pada mekanikal PMT.

- b. Pastikan *spring* dalam kondisi siap.
 - c. Posisikan *switch selector* pada posisi lokal dan *off auto reclose*.
 - d. Putar kunci *switch* operasi PMT dari posisi netral/di tengah-tengah ke arah kiri pada posisi *close*.
 - e. Jika dengan menggunakan *switch* operasi mengalami kegagalan maka pelepasan dapat dilakukan pada mekanik PMT yaitu dengan menekan tombol I (hijau) pada mekanikal PMT.
 - f. Pastikan kondisi PMT telah masuk secara sempurna, dengan indikasi:
 - 1) PMT mekanikal telah menunjuk posisi "I".
 - 2) Amperemeter ketiga fasa telah menunjuk.
 - 3) Kv meter telah menunjuk.
 - 4) Lampu indikator tegangan menyala.
 - 5) *Semaphore* PMT pada *single line* terhubung (dalam kondisi tegak lurus).
 - g. Posisikan *switch Auto Reclose* pada kondisi semula.
 - h. Laporkan jam pemasangan PMT pada piket APJ.
3. Test posisi
- a. Yakinkan PMT pada kondisi *off* di mana mekanikal PMT telah menunjuk tanda "O".
 - b. Geser tuas pada posisi 2 sambil menekan tombol "I" (hijau) pada PMT.
 - c. Tarik PMT keluar setengah bagian sebatas jangkauan konektor *control panel*.
 - d. Untuk kondisi RACK OUT maka konektor harus dilepas kemudian pindahkan tuas dari posisi 2 ke posisi 3 dan PMT dikeluarkan keseluruhan dari kubikel.
 - e. Masukkan *grounding*.
4. RACK IN
- a. Lepas *grounding*.
 - b. Yakinkan PMT dalam kondisi *off*.

- c. *Handle* posisikan 3.
 - d. Atur posisi PMT di depan kubikel dan dorong ke dalam sampai setengah bagian.
 - e. Pasang *secondary jungtion*.
 - f. Yakinkan soket atau konektor kontrol panel telah terpasang dengan baik.
 - g. Yakinkan batang *interlock* di sebelah atas PMT telah masuk penuh.
 - h. Geser tuas ke posisi 2.
 - i. Dorong PMT masuk ke dalam kubikel sampai masuk sepenuhnya, secara otomatis tuas akan berpindah ke posisi 1.
 - j. PMT siap untuk dioperasikan.
5. *GROUNDING*
- a. Langkah pemasangan *grounding*:
 - 1) Yakinkan bahwa tegangan pada kabel keluar telah padam (lampu indikasi sudah padam, KV meter tidak menunjuk pada ketiga fasanya), untuk lebih meyakinkan dapat berkoordinasi dengan *dispatcher* ABSW untuk melepas ABSW pertama.
 - 2) PMT posisikan *test*.
 - 3) Posisi test sudah dalam posisi yang sempurna di mana kabel-kabel konektor telah maksimal keluar.
 - 4) Putar kunci pentanahan ke arah kiri.
 - 5) Tarik *lock handle grounding* kompartemen selanjutnya menarik *handle grounding*.
 - 6) Pastikan pentanahan telah terhubung baik dengan melihat indikasi *semaphore* pada *single line* telah terhubung.
 - 7) Jika PMT hendak dikeluarkan penuh dari PMT maka soket/ konektor panel harus lepas.
 - b. Langkah-langkah pelepasan *grounding*

- 1) Putar kunci ke arah kanan selanjutnya tekan *handle grounding* sampai handle masuk secara maksimal.
- 2) Pastikan *grounding* telah lepas sempurna dengan melihat kondisi *semaphore* pada *single line* telah lepas.
- 3) Posisi *lock* pembebas pentanahan.

2. Panel ATS/AMF

Panel ATS (*Automatic Transfer Switch*) merupakan jenis panel listrik yang bekerja sebagai saklar transfer otomatis. Panel ATS berfungsi untuk memindahkan suplai daya listrik ke beban dari sumber listrik utama dengan sumber listrik cadangan.

Panel AMF (*Automatic Main Failure*) merupakan panel yang berfungsi untuk memerintah *Generator Set* (Genset) sebagai sumber listrik cadangan pada saat sumber listrik utama mengalami kegagalan dalam mensuplai daya listrik. Panel AMF akan bekerja kegagalan PLN dalam mensuplai daya listrik apabila terjadi *under voltage* dari batas normal (220 V atau 380 V), tegangan PLN yang terlalu tinggi, atau hilang tegangan.



Gambar 7.18. Contoh Panel ATS AMF

3. LVMDP

Panel LVMDP berfungsi sebagai panel penerima daya dari transformator dan mendistribusikan daya ke panel *Low Voltage Sub Distribution* (LVSDP) menggunakan *Air Circuit Breaker* atau *Moulded Case Circuit Breaker*. Panel sub distribution akan mendistribusikan daya ke sub-sub panel SDP. Keuntungan menggunakan panel ini adalah:

- a. Menghemat proses distribusi listrik.
- b. Lebih aman terhadap bahaya listrik.
- c. Menawarkan fasilitas konversi daya dan distribusi dari sumber-sumber primer dan sekunder untuk berbagai perangkat eksternal dan peralatan.
- d. Panel LVMDP menjaga sumber-sumber daya primer dan sekunder secara terus-menerus sehingga aman dan stabil memberikan kekuatan untuk peralatan atau perangkat eksternal.
- e. Membagi sumber pasokan listrik ke beberapa sirkuit dengan fuse atau pemutus beban untuk setiap rangkaian.
- f. Panel ini dirancang untuk menerima *incoming* 3 fasa dan mendistribusikan berbagai kombinasi *outgoing* 3 fasa dan 1 fasa.

7.5. Pemeriksaan dan Pengujian Jaringan Distribusi

Tabel 7.1 Pemeriksaan dan Pengujian Transformator Distribusi

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE	
1.	Name Plate	a. Nama pabrik, tempat dan pembuatan b. Jenis dan No. Seri c. Kapasitas/Daya / Frequency d. Primary Voltage/Secondary Voltage e. Primary Current/Secondary Current f. Vector Group g. Impedance h. Insulation level/ Kelas Isolasi i. Cooling system	Sesuai/ tidak sesuai	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian
2.	Bushing	a. Memeriksa kebersihan body bushing b. Memeriksa fisik body yang berkarat/gompal c. Memeriksa kekencangan mur baut klem terminal utama d. Memeriksa kebocoran gasket e. Memeriksa kesesuaian Spark gap bushing primer f. Memeriksa kesesuaian Spark gap bushing sekunder	Baik/ Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUKUKAN	METODE	
3.	Sistem pendingin	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan sirip-sirip radiator b. Memeriksa kebocoran minyak trafo c. Memeriksa level minyak trafo d. Memeriksa kondisi minyak trafo 	Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian
4.	Alat Pernafasan (<i>Breather</i>)	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa level konservator main tank b. Memeriksa level konservator <i>tap changer</i> c. Memeriksa warna <i>silica gel</i> 	Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI Biru/Ungu	Penilaian
5.	Sistem Kontrol dan Proteksi	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kekencangan mur baut terminal kontrol b. Memeriksa kebersihan kontaktor c. Memeriksa kebersihan limit switch d. Memeriksa sumber tegangan AC/DC 	Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian
	5.1. Panel Kontrol				
	5.2. Relay Bucholz		Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian
	5.3. Relay Jansen	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi <i>seal</i> 	Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian
	5.4. Relay Sudden pressure	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa 	Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
	kondisi <i>seal</i> a. Memeriksa kebersihan terminal b. Memeriksa kondisi <i>seal</i> c. Memeriksa kebersihan <i>thermo couple</i> d. Memeriksa kabel-kabel kontrol dan pipa-pipa kapiler			
6.	OLTC	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
7.	Sistem <i>Grounding</i>	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE	
	<ul style="list-style-type: none"> b. Memeriksa kawat pentanahan pada <i>body/enclousure/BKT</i> trafo c. Memeriksa kawat pentanahan pada <i>Arrester</i> d. Memeriksa kawat pentanahan pada BKE (Bagian konduktif ekstra) e. Memeriksa kekencangan mur baut terminal pentanahan f. Mengukur/menguji nilai pentanahan 				
8.	<i>Main tank</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kebersihan <i>body</i> dan <i>bushing</i> b. Memeriksa karat/gompal fisik <i>body</i> c. Memeriksa kondisi gasket 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	Penilaian
9.	Kontruksi/struktur mekanik	<ul style="list-style-type: none"> a. Memeriksa kondisi konstruksi bangunan, pondasi dan baut pengikat b. Memeriksa kebersihan lingkungan gardu c. Memeriksa sirkulasi udara 	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture</i> Standar dan SNI	

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE	
		d. Memeriksa penerangan e. Memeriksa pembatas/halangan rintang f. Memeriksa Tanda Peringatan			
10.	<i>Fire protection</i>	a. Memeriksa tekanan gas N ₂ b. Memeriksa alarm kebakaran c. Memeriksa <i>sensor detector</i> d. Memeriksa APAR	Baik / Tidak baik	<i>Manufacture Standar dan SNI</i>	Penilaian
11.	Bagian Sekunder Trafo	a. Pengukuran Arus Fasa R (Ir) b. Pengukuran Arus Fasa S (Is) c. Pengukuran Arus Fasa T (Ir) d. Pengukuran Arus Penghantar Netral (In) e. Pengukuran Arus Penghantar PE (Ipe) f. Perhitungan persentase pemakaian trafo g. Perhitungan persentase keseimbangan beban h. Pengujian Tahanan Isolasi (TI) Fasa-Fasa, Fasa-Netral, Fasa-PE	..... ... A A A A A % % % Ω	<i>Manufacture Std.</i> <i>Manufacture Std.</i> <i>Manufacture Std.</i> <i>Manufacture Std.</i> <i>Manufacture Std.</i> <i>Manufacture Std.</i> 80 % 8 % PUIL 2011: 2000 Ω / Volt + I MΩ	Pengukuran Pengukuran Pengukuran Pengukuran Pengukuran Pengukuran Perhitungan Perhitungan Pengukuran

NO	OBJEK		HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
12.	Belitan Trafo	a. Pengujian Tahanan Isolasi (TI) Fasa-Fasa, Fasa-Netral, Fasa-PE	..... Ω	IEEE P43-2000: 100 MΩ	Pengukuran
		b. Pengujian <i>Dielectric of Ratio</i> (DAR) dan Polaritas Index Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE	.....	IEEE: DAR : < 1,6 PI : ≤ 2	Pengukuran
		c. Pengujian Hi-Pot Test Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE	..... V	IEEE 400.2, NEMA, VDE530	Pengukuran
		d. Pengujian Tangen Delta Test Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE	..... %	ANSI C 57.12.90 NETA 100.3, SPLN	Pengukuran
		e. <i>Partial Discharge Test</i>	..... pC	HVM, B2 <i>Electronic GmbH</i>	Pengukuran

Tabel 7.2. Pemeriksaan Panel Tegangan Menengah (Kubikel)

No	OBJEK			METODE
		HASIL	NILAI RUJUKAN	
A. Spesifikasi Switch Gear				
1	<i>Rated Voltage / Frequency</i>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian

No	OBJEK			METODE
		HASIL	NILAI RUJUKAN	
2	<i>Rated power freq withstand voltage</i>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
3	<i>Rated impulse withstand voltage</i>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
4	<i>Symmetrical breaking current</i>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
5	<i>Degree of protection</i>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
B. Pemeriksaan visual tampak luar Switch Gear				
1	Lampu indikator pada panel	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
2	Alat ukur atau metering berupa Ampere Meter, Volt Meter Watt meter, VAR meter, KWH meter, Cos phi meter, dan <i>Frequency meter</i> pada panel	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
3	Nama/label dan nama perusahaan instalator pada pintu panel	Ada/ Tidak ada	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
4	Tanda bahaya pada pintu panel	Ada/ Tidak ada	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
5	<i>Selector Switch</i> dan kunci pintu panel	Ada/ Tidak ada	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
C. Pemeriksaan visual tampak dalam Switchgear				
1	Gambar <i>single line diagram</i> dan kartu riwayat perawatan	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
2	Kabel <i>bonding</i> untuk pengaman sentuh tidak langsung	Ada/ Tidak ada	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
3	<i>Labeling</i>	Ada/	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian

No	OBJEK			METODE
		HASIL	NILAI RUJUKAN	
		Tidak ada		
4	Kode warna kabel	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
5	Kebersihan Panel	Baik/ Tidak baik	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
D. Pemeriksaan visual pada sistem terminasi				
1	Busbar/penghantar	Baik/ Tidak baik	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
2	Pengaman	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
3	Sepatu kabel	Baik/ Tidak baik	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
4	Sistem pembumiaan	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
5	Jarak busbar to busbar	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
E. Pemeriksaan visual Daerah Kerja				
1.	Jarak bagian depan	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI : 75 cm	Pengukuran
2.	Jarak bagian samping	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI: 150 cm	Pengukuran
3.	Jarak bagian belakang	Sesuai/ Tidak sesuai	-	Pengukuran
4.	Bebas buka pintu panel	Sesuai/ Tidak sesuai	-	Pengukuran
5.	Pencahayaan	Sesuai/ Tidak sesuai	100 Lux	Pengukuran

No	OBJEK			METODE
		HASIL	NILAI RUJUKAN	
6.	Barang-barang yang tidak terpakai	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI	Penilaian

Tabel 7.3. Pemeriksaan Peralatan Proteksi

NO	OBJEK		HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1.	PMT (Pemutus Tenaga) Dan PMB (LBS)	Pemeriksaan Visual : a. Memeriksa label b. Memeriksa kontak pemisah c. Memeriksa <i>relay</i> d. Memeriksa kawat pentanahan Pengujian/ Pengukuran : a. Pengukuran tahanan isolasi b. Pemeriksaan kerja dari lokal secara mekanis dan elektrik c. Pengukuran <i>interlock</i> mekanis dan elektrik d. Pengukuran indikasi buka / tutup	Sesuai/ Tidak sesuai Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i> <i>Manufacture Std.</i>	Penilaian Pengetesan
2.	PMS (Pemisah)	Pemeriksaan Visual : a. Memeriksa kontak pemisah	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian

		<p>b. Memeriksa <i>relay</i> c. Memeriksa kawat pentanahan</p> <p>Pengujian/Pengukuran :</p> <p>a. Pengukuran tahanan isolasi b. Pemeriksaan kerja dari lokal secara mekanis dan elektrik c. Pengukuran <i>interlock</i> mekanis & elektrik</p>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Pengetesan
3.	Trafo Arus	<p>Pemeriksaan Visual :</p> <p>a. Memeriksa kawat pentanahan</p> <p>Pengujian/Pengukuran :</p> <p>a. Pemeriksaan rasio b. Pengukuran tahanan isolasi</p>	Ada/ Tidak ada	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
		<p>Pengujian/Pengukuran :</p> <p>a. Pemeriksaan rasio b. Pengukuran tahanan isolasi</p>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Pengetesan
4.	Trafo Tegangan	<p>Pemeriksaan Visual :</p> <p>a. Memeriksa kawat pentanahan</p> <p>Pengujian / Pengukuran :</p> <p>a. Pemeriksaan rasio b. Pemeriksaan polaritas</p>	Ada/ Tidak ada	<i>Manufacture Std.</i>	Penilaian
		<p>Pengujian / Pengukuran :</p> <p>a. Pemeriksaan rasio b. Pemeriksaan polaritas</p>	Sesuai/ Tidak sesuai	<i>Manufacture Std.</i>	Pengetesan

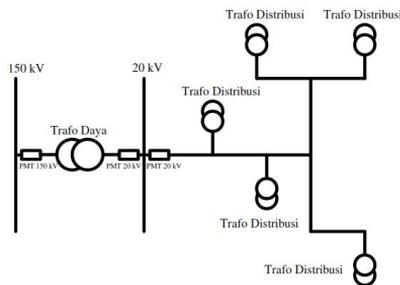
6.	Relay Proteksi	<p>a. Pemeriksaan visual pada OCR, diferensial <i>relay</i>, REF, GFR, UVR, OVR, dll</p> <p>b. Pengetesan pada OCR, diferensial <i>relay</i>, REF, GFR, UVR, OVR, dll</p>	<p>Ada/Tidak ada</p> <p>Berfungsi/Tidak berfungsi</p>	<p><i>Manufacture Std.</i></p> <p><i>Manufacture Std.</i></p>	<p>Penilaian</p> <p>Pengetesan</p>
7	Meter	<p>a. Pemeriksaan visual dan unjuk kerja pada Ampere meter, Volt meter, Watt meter, VAR meter, KWH meter, Cos phi meter, dan <i>Frequency</i> meter</p> <p>b. Pemeriksaan indikator fasa</p>	<p>Berfungsi/Tidak berfungsi</p> <p>Berfungsi/Tidak berfungsi</p>	<p>Manufacture Std.</p> <p>Manufacture Std.</p>	<p>Penilaian</p> <p>Penilaian</p>

Tabel 7.4. Pemeriksaan Jaringan SKM

NO	OBYEK		HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1.	Tiang dan Jaringan	Pemeriksaan visual : a. Kawat penghantar b. Ruang bebas (<i>Right of Way/ROW</i>) c. Pentanahan d. Jarak aman e. Tiang dan kelengkapannya f. Klem pemegang kawat dan aksesorinya g. Isolator dan aksesorinya h. Benda asing yang terdapat pada tower, isolator dan kawat.	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI /SPLN	Penilaian
2.	Sistem Proteksi	a. Pemeriksaan dan pengukuran pentanahan tiang b. Pemeriksaan jaring-jaring pengaman c. Pemeriksaan bola-bola pengaman (<i>ballistor</i>) d. <i>Arrester</i>	..... Ω Sesuai/ Tidak sesuai	SNI : 5 Ω SNI	Pengukuran Penilaian

7.6. Latihan Soal

1. Peralatan listrik yang berfungsi untuk memisahkan atau mengisolasi rangkaian listrik adalah ...
 - a. *Disconnecter Switch*
 - b. *Circuit Breaker*
 - c. *Earthing Switch*
 - d. Pemutus
 - e. Fuse
2. Berikut ini adalah jenis *circuit breaker* yang digunakan pada tegangan menengah ...
 - a. MCCB
 - b. MCB
 - c. NFB
 - d. GCB
 - e. MC
3. Sistem pendingin trafo yang menggunakan minyak dan udara secara alami dikenal dengan istilah ...
 - a. ONAN
 - b. OFAN
 - c. ONAF
 - d. OFAF
 - e. ONAM
4. Berdasarkan rekomendasi IEEE, pengukuran Polaritas Indeks tahanan isolasi pada belitan trafo distribusi adalah ...
 - a. ≤ 1
 - b. ≤ 2
 - c. ≤ 3
 - d. ≤ 10
 - e. ≤ 50
5. Perhatikan gambar berikut ini



Gambar tersebut merupakan jaringan distribusi yang menggunakan topologi...

- a. *Bus*
 - b. *Radial*
 - c. *Mesh*
 - d. *Ring*
 - e. *Simple*
6. Penghantar yang digunakan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 KV instalasi bawah tanah yaitu ...
- a. ACSR
 - b. ACCSR
 - c. ACAR
 - d. NYGBY
 - e. NYY
7. Berikut ini adalah peralatan proteksi yang terdapat pada Transformator Distribusi ...
- a. *Power Relay*
 - b. *Distance Relay*
 - c. *Relay Bucholt*
 - d. *Relay Stock*
 - e. *Relay Loss of Exitacion*
8. Peralatan yang digunakan untuk menurunkan arus yang besar pada distribusi listrik sehingga dapat dibaca oleh alat ukur dan indikator pada panel listrik yaitu ...
- a. Konverter
 - b. Trafo tegangan
 - c. Trafo Arus
 - d. Trafo pengukuran
 - e. Penurun arus
9. Perhatikan gambar berikut ini



Gambar di atas merupakan peralatan

- a. *Circuit Breaker*

- b. *Arrester*
 - c. *Disconnecter*
 - d. Trafo Arus
 - e. Trafo Tegangan
10. Peralatan proteksi pada jaringan distribusi tenaga listrik yang mempunyai karakteristik untuk memutus gangguan arus lebih yang diakibatkan oleh beban lebih dan hubung singkat yaitu ...
- a. *Relay*
 - b. Fuse
 - c. *Disconnetor*
 - d. *Circuit Breaker*
 - e. *Ground Fault Circuit Interupter*

BAB 8

INSPEKSI DAN TES INSTALASI PEMANFAATAN

Komponen sistem tenaga listrik yang banyak berhubungan dengan konsumen yaitu instalasi pemanfaatan. Pada umumnya listrik digunakan untuk memenuhi kebutuhan konsumen dalam hal penerangan, sumber daya listrik untuk peralatan yang menggunakan listrik, pemanas listrik, pendingin dan tata udara, dan beban-beban listrik lainnya. Untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan yang diakibatkan oleh listrik, maka sebaiknya instalasi yang sudah terpasang baik baru terpasang maupun telah mengalami perubahan perlu diperiksa dan diuji terlebih dahulu oleh seorang ahli sebelum akhirnya instalasi tersebut dikatakan aman untuk dioperasikan dan boleh dihubungkan dengan sumber tegangan.

8.1. Prinsip Dasar Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan pekerjaan yang mempunyai risiko bahaya sehingga harus ditangani oleh ahli dan dalam pelaksanaannya perlu memperhatikan berbagai faktor dan pertimbangan. Ahli instalasi listrik perlu memahami prinsip dasar dalam pekerjaan instalasi listrik yang merupakan pola pikir dan pola tindak yang harus dijadikan pegangan oleh para profesional pada bidang pekerjaan instalasi listrik. Pedoman utama yang harus menjadi pegangan ahli teknik instalasi listrik

adalah PUIL, standar-standar lain yang terkait serta peraturan perundangan lain yang berlaku sesuai regulasi yang diwajibkan dalam wilayah hukum di Indonesia. Berikut ini adalah prinsip yang harus dipegang oleh ahli teknik instalasi listrik dalam melaksanakan pekerjaan kelistrikan yaitu:

1. Prinsip *Safety* (Keamanan)

Keamanan merupakan prinsip utama yang harus dipegang oleh setiap profesional dalam melaksanakan pekerjaan baik sebagai perencana system kelistrikan, pelaksana pekerjaan instalasi, pemeriksa dan penguji, maupun pemelihara sistem tenaga listrik. Setiap orang yang bekerja di bidang teknik instalasi listrik harus mengutamakan keamanan. Setiap melakukan pekerjaan, dan hasil pekerjaan harus mampu dipertanggungjawabkan mengacu pada standar keamanan yang ditetapkan oleh regulasi yang ditetapkan ditempat kerja dan regulasi nasional. Wujud dari sikap profesional mengacu pada prinsip ini, setiap melaksanakan pekerjaan, dan hasil pekerjaan yang dibuat akan mengacu pada PUIL dan peraturan terkait lainnya.

2. Prinsip *Reliability* (Keandalan)

Prinsip kedua yang harus dipegang oleh seorang ahli teknik instalasi listrik adalah keandalan, yaitu kemampuan sistem dalam merespons gangguan yang mungkin terjadi. Seorang ahli teknik instalasi listrik harus memperhatikan segala kemungkinan gangguan yang terjadi dan bagaimana cara mengatasinya agar sistem dapat bekerja dengan baik. Kondisi ini terkait dengan unjuk kerja sistem, operasi sistem, dan kemampuan peralatan yang digunakan.

Wujud dari sikap profesional mengacu pada prinsip ini, adalah kemampuan menilai setiap pekerjaan, mutu peralatan, dan operasi sistem sesuai ekspektasi yang

diharapkan dalam mencapai keandalan. Kemampuan dalam menilai keandalan akan terkait dengan pengalaman, dan pengetahuan yang senantiasa dikembangkan oleh belajar terus menerus dari para profesional. Pendekatan minimal sebagai langkah awal untuk mengimplementasikan prinsip keandalan adalah menilai mutu peralatan dari kode *safety marking*, kode ini adalah hasil uji dari laboratorium uji dari bermacam negara.

3. Prinsip *Accessibility* (Kemudahan)

Prinsip ketiga yang harus diperhatikan adalah kemudahan. Prinsip dilandasi pemikiran bahwa setiap hasil pekerjaan diperhatikan kebermanfaatannya bagi pengguna, masyarakat, dan kepentingan umum. Setiap pekerjaan instalasi listrik mempunyai umur pakai sehingga dapat rusak oleh gangguan sehingga perlu diperhatikan *life time* atau masa pakai dari sistem instalasi listrik yang dirancang atau dikerjakan. Prinsip ini secara sederhana menekankan pada setiap produk yang dihasilkan harus mudah dioperasikan oleh siapa saja sehingga tidak membutuhkan alat bantu. Instalasi listrik perlu menyediakan fasilitas untuk perbaikan dengan seminimal mungkin perubahan. Pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan harus didesain semudah mungkin, tanpa perlu melakukan perusakan dan penggantian yang berlebih. Kondisi yang harus dicapai adalah kemudahan terhadap pengoperasian, perawatan dan perbaikan sistem, pemasangan dan penggantian peralatan sistem, pengembangan dan perluasan sistem.

4. Prinsip *Availability* (Ketersediaan)

Prinsip ketersediaan terkait dengan penyediaan cadangan sumber atau catu daya dan peluang

perluasan/penambahan daya sistem, serta fasilitas cadangan untuk mengatasi pergantian alat.

Contoh prinsip ketersediaan yaitu setiap perencana pekerjaan instalasi listrik perlu menyediakan cadangan catu daya pada Panel Hubung Bagi (PHB) berupa pengaman fuse atau MCB untuk mengantisipasi pengembangan/penambahan daya di masa yang akan datang. Contoh lain yaitu para pemasang menambah kabel cadangan sebagai antisipasi penggantian komponen pada kotak hubung atau kotak sakelar, dan lain sebagainya.

5. Prinsip *Environment* (Lingkungan)

Salah satu prinsip yang tidak boleh diabaikan adalah masalah lingkungan. Setiap pelaksana pekerjaan instalasi listrik harus memperhatikan dampak lingkungan yang ditimbulkan. Oleh karena itu, perlu diupayakan bagaimana mewujudkan kondisi akrab lingkungan dari instalasi, dengan memberikan perlindungan terhadap terjadinya pencemaran dan/atau pencegahan terhadap terjadinya kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan instalasi listrik.

6. Prinsip Ekonomis

Prinsip ekonomi berkaitan dengan biaya atau *cost* dari pekerjaan instalasi listrik. Prinsip ini perlu dipegang tanpa mengorbankan prinsip-prinsip lainnya seperti keamanan, keandalan, dan pada dampak lingkungan. Jangan mengorbankan prinsip utama demi mencapai prinsip ekonomi.

7. Prinsip Estetika

Prinsip estetika merupakan pertimbangan terakhir dalam melaksanakan pekerjaan teknik instalasi listrik. Setelah prinsip-prinsip utama diperhatikan, barulah memikirkan bagaimana untuk memperindah atau

mempercantik penampilan dari pekerjaan instalasi listrik. Prinsip estetika setara dengan dengan prinsip ekonomis. Prinsip estetika akan memberi nilai tambah bagi seorang profesional. Oleh karena itu, rasa estetika harus dilatih terus menerus.

Pemeriksaan dan pengujian instalasi pemanfaatan listrik dilakukan antara lain mengenai hal berikut (PUIL 2011 : 9.4.3.2)

- a. Berbagai macam tanda pengenal dan papan peringatan.
- b. Perlengkapan listrik yang dipasang.
- c. Cara memasang perlengkapan listrik.
- d. Polaritas, sesuai dengan 2.5.2.
- e. Penumaian sesuai dengan 3.18.
- f. Resistansi isolasi, sesuai dengan 3.20.
- g. Kesenambungan sirkit.
- h. Fungsi proteksi sistem instalasi listrik.

8.2. Pemilihan Perlengkapan Listrik

Setiap bagian perlengkapan listrik yang akan digunakan dalam pekerjaan instalasi pemanfaatan listrik harus dipilih dengan mempertimbangkan karakteristik sebagai berikut:

a. Tegangan

Perlengkapan listrik yang digunakan pada instalasi listrik harus mampu menahan tegangan kontinyu maksimum (nilai efektif) yang mungkin diterapkan, dan tegangan lebih yang mungkin terjadi. Untuk perlengkapan tertentu, perlu diperhatikan tegangan terendah yang mungkin terjadi.

b. Arus

Semua perlengkapan listrik harus dipilih dengan memperhatikan arus kontinyu maksimum (nilai efektif) yang terjadi pada pelayanan normal dan dengan mengingat pula arus yang mungkin terjadi pada kondisi tidak normal dan

lamanya arus tersebut diperkirakan mengalir (misalnya waktu operasi dari gawai pengaman bila ada).

c. Frekuensi

Apabila frekuensi berpengaruh pada karakteristik perlengkapan listrik, frekuensi pengenal dari perlengkapan itu harus sesuai dengan frekuensi yang mungkin terjadi dalam sirkuit itu.

d. Daya

Semua perlengkapan listrik yang dipilih berdasarkan karakteristik dayanya harus sesuai dengan tugas yang dibebankan kepada perlengkapan tersebut dengan memperhitungkan faktor beban dan kondisi pelayanan normal.

e. Kondisi Instalasi

Dalam memilih perlengkapan instalasi listrik, termasuk juga menentukan jenis, ukuran, tegangan, dan kemampuannya harus diperhatikan hal berikut:

- 1) Kesesuaian dengan maksud pemasangan dan penggunaannya;
- 2) Kekuatan dan keawetannya, termasuk bagian yang dimaksudkan untuk melindungi;
- 3) Perlengkapan lain;
- 4) Keadaan dan resistans isolasinya;
- 5) Pengaruh suhu, baik pada keadaan normal maupun tidak normal
- 6) Pengaruh api;
- 7) Pengaruh kelembapan.

Semua perlengkapan listrik harus dipilih sehingga mampu dengan aman menahan tekanan (stres) dan kondisi lingkungan yang dialaminya. Namun, apabila suatu bagian perlengkapan yang menurut rancangannya tidak memiliki sifat yang sesuai dengan lokasinya, perlengkapan itu mungkin masih bisa digunakan dengan syarat dilengkapi proteksi

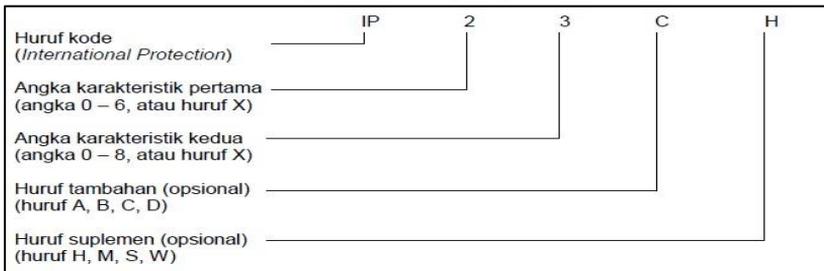
tambahan yang memadai sebagai bagian dari instalasi listrik yang lengkap.

f. Pencegahan dari efek yang merusak

Semua perlengkapan listrik harus dipilih sehingga tidak memengaruhi dan tidak menyebabkan efek merusak pada perlengkapan lain atau mengganggu suplai selama pelayanan normal, termasuk operasi penyakelaran. Dalam konteks ini, faktor-faktor yang mungkin berpengaruh antara lain: Faktor daya; Arus kejut awal (*inrush current*); Beban tak seimbang; Harmonik.

8.3. Kode Proteksi International

Kode proteksi internasional (*International Protection*) atau sering ditulis dengan IP adalah sistem kode untuk menunjukkan tingkat proteksi yang diberikan oleh selungkup dari sentuh langsung ke bagian yang berbahaya, dari masuknya benda asing padat, dari masuknya air, dan untuk memberikan informasi tambahan dalam hubungannya dengan proteksi tersebut.



Gambar 8.1. Kode Proteksi Internasional

Apabila angka karakteristik tidak ada syarat untuk ditentukan, maka dapat diganti dengan huruf X (atau XX jika kedua angka dihilangkan). Huruf tambahan dan/atau huruf suplemen dapat dihilangkan tanpa pengganti. Apabila digunakan lebih dari satu huruf suplemen, maka harus diterapkan urutan abjad. Apabila suatu selungkup memberikan tingkat proteksi yang berbeda untuk susunan pemasangan yang berbeda, maka tingkat proteksi

yang relevan harus ditunjukkan oleh pabrik dalam buku instruksi yang berkaitan dengan masing-masing susunan pemasangan.

1	2	3	4
Elemen	Angka atau huruf	Artinya untuk proteksi perlengkapan	Artinya untuk proteksi manusia
Kode huruf	IP		
		Dari masuknya benda asing padat	Dari sentuh langsung ke bagian berbahaya dengan :
Angka karakteristik pertama	0 1 2 3 4 5 6	(tanpa proteksi) diameter \geq 50 mm diameter \geq 12,5 mm diameter \geq 2,5 mm diameter \geq 1,0 mm debu kedap debu	(tanpa proteksi) belakang telapak tangan jari perkakas kawat kawat kawat
1	2	3	4
		Dari masuknya air dengan efek merusak	
Angka karakteristik kedua	0 1 2 3 4 5 6 7 8	(tanpa proteksi) tetesan air secara vertikal tetesan air (miring 15°) semprotan dengan butir air halus semprotan dengan butir air lebih besar pancaran air pancaran air yang kuat perendaman sementara perendaman kontinu	
			Dari sentuh langsung ke bagian berbahaya dengan :
Huruf tambahan (opsi)	A B C D		belakang telapak tangan jari perkakas kawat
		Informasi suplemen khusus untuk	
Huruf suplemen (opsi)	H M S W	Aparat tegangan tinggi Gerakan selama uji air Stasioner selama uji air Kondisi cuaca	

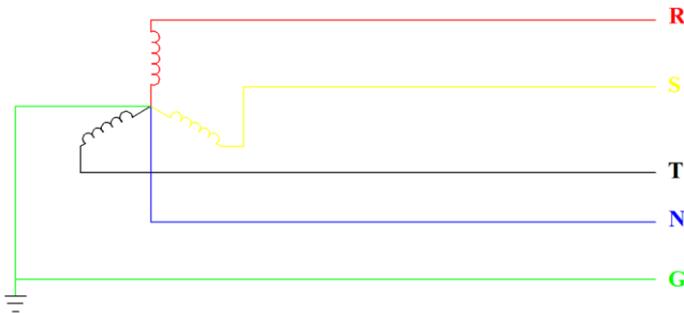
Gambar 8.2. Kode Tingkat Proteksi

8.4. Pentanahan

Pemeriksaan dan pengujian tersebut di atas kemudian dilanjutkan dengan uji coba. Semua perlengkapan yang dipasang pada instalasi listrik harus memenuhi standar yang berlaku. Adapun lingkup pemeriksaan dalam instalasi listrik yang baru dipasang atau telah mengalami perubahan sesuai dengan

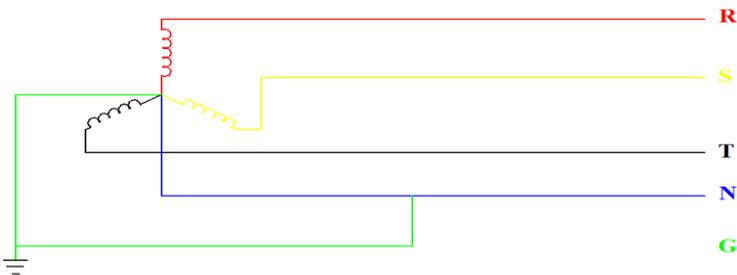
ketentuan PUIL 2011 dan standar lain yang digunakan, antara lain:

1. Pemeriksaan dan pengujian sistem pembumian instalasi domestik dan non domestik harus mengikuti ketentuan sistem pembumian yang diterapkan.
2. Sistem pembumian yang diatur dalam PUIL adalah:
 - a. Sistem TN-S (*Tera Neutral-Separated*), di mana penghantar pengaman terpisah di seluruh sistem. Pada sistem ini penghantar netral dan penghantar pentanahan dipisah walaupun sebenarnya pada bagian sumber digabung.



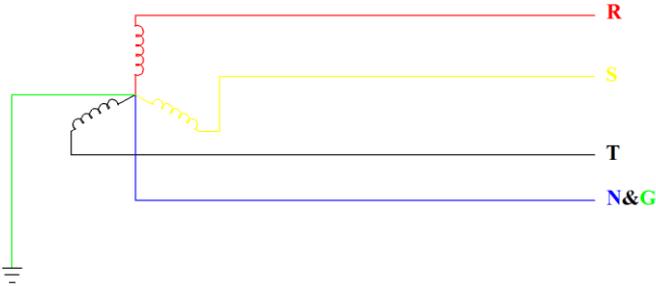
Gambar 8. 3. Sistem TN-S

- b. Sistem TN-C-S (*Tera Neutral-Combined-Separated*), di mana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di sebagian sistem. Sistem ini merupakan kombinasi dari TN-S dan TN-C.



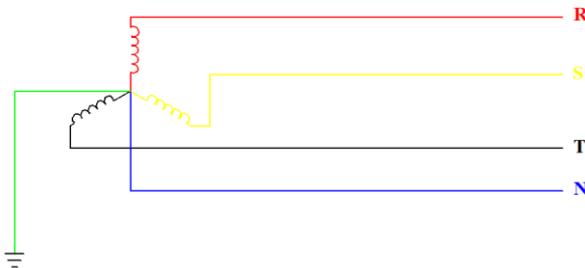
Gambar 8.4. Sistem TN-C-S

- c. Sistem TN-C (*Tera Neutral-Combined*) di mana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar proteksi di seluruh sistem. Pada sistem ini penghantar netral dan pentanahan digabung, sehingga pada peralatan, terminal pengaman pentanahan dihubungkan pada penghantar netral. Sistem ini jarang digunakan.



Gambar 8.5. Sistem TN-C

- d. Sistem TT, di mana bagian konduktif terbuka instalasi dihubungkan ke elektrode bumi yang secara listrik yang secara listrik terpisah dari elektrode bumi sistem sehingga tidak ada penghantar pentanahan pada jalur distribusi melainkan masing masing perangkat diamankan langsung (setiap perangkat dihubungkan ke tanah).



Gambar 8.6. Sistem TT

Catatan: Sistem TN-C-S digunakan pada instalasi yang disambung pada jaringan PLN berdasarkan SPLN-3.

3. Pengujian sistem pembumian harus meliputi:
 - a. Pemeriksaan awal yang teliti terhadap bagian instalasi yang penting.
 - b. Pengukuran yang dapat menunjukkan keefektifan sistem pengaman (a.l. pengukuran dan pengujian resistansi pembumian dan berfungsinya alat pengaman GPAS–gawai proteksi arus sisa dan GPAL–gawai proteksi arus lebih).
4. Pemeriksaan awal mengenai:
 - a. Kesesuaian ukuran penghantar fase dan pengaman arus lebih.
 - b. Luas penampang minimum penghantar pengaman dan kesesuaian pemasangannya.
 - c. Kontinuitas penghantar pengaman.
 - d. Apakah penghantar pengaman terhubung dengan penghantar fase atau tidak.
 - e. Tanda pengenal penghantar nol dan penghantar pengaman.
 - f. Apakah kotak kontak dan tusuk kontak telah mempunyai penghantar pengaman dengan luas penampang yang cukup dan telah terhubung pada kotak pengamannya?
 - g. Apakah tegangan nominal sakelar pengaman cocok dengan tegangan nominal jaringan atau tidak.

Instalasi listrik yang selesai dipasang atau yang mengalami perubahan harus diperiksa dan diuji dahulu sebelum dialiri listrik sesuai lingkup pemeriksaan dan pengujian yang ditetapkan dan harus digunakan sesuai dengan ketentuan dalam PUIL.

Penyimpangan dari ketentuan ini dapat dilakukan pada instalasi sementara dan instalasi kedutaan asing, dengan izin khusus dari instansi yang berwenang.

Pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik dilakukan antara lain mengenai hal berikut:

1. Perlengkapan listrik yang dipasang

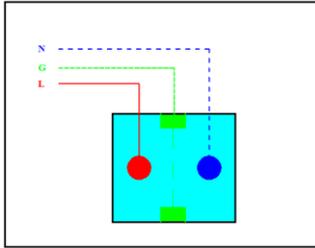
Perlengkapan listrik yang dipasang harus diperiksa satu persatu untuk mengetahui apakah peralatan seperti sakelar, kotak kontak, lampu, dan peralatan lain yang terpasang sudah sesuai standar, spesifikasi, dan kontrak. Selain itu, juga untuk memastikan bahwa kondisi peralatan seperti sakelar, kotak kontak, lampu, dan peralatan lain yang terpasang dalam kondisi baik tidak ada cacat fisik, fungsi, kinerja, dan lain-lain. Pastikan jenis penghantar, warna penghantar, dan ukuran penghantar yang digunakan sesuai dengan standar, kebutuhan, dan spesifikasi kontrak.

2. Cara memasang perlengkapan listrik

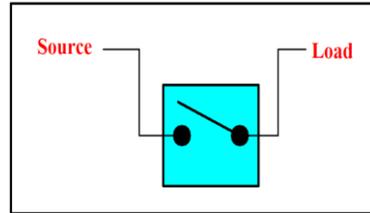
Pemasangan perlengkapan listrik juga perlu diperiksa kembali, sebagai contoh pemeriksaan pada pemasangan kotak kontak apakah sudah sesuai dengan standar yang digunakan, apakah lampu penerangan yang terpasang telah mampu memenuhi kebutuhan cahaya sesuai fungsi dari ruangan tersebut.

3. Polaritas

Pemeriksaan polaritas pada instalasi rumah tinggal dapat dilakukan pada kotak kontak, sakelar, dan terminasi. Polaritas pada kotak kontak harus seragam sesuai standar yang berlaku, penghantar bertegangan atau fasa dipasang pada kontak sisi kiri penguji dan penghantar netral dipasang pada kontak sisi kanan penguji. Pada sakelar pemasangan harus pada posisi yang seragam untuk posisi *on* atau *off*, kemudian pada saat sakelar dalam kondisi terbuka bagian yang bergerak tidak boleh bertegangan.



Gambar 8.7. Pemasangan Kotak Kontak



Gambar 8.8. Pemasangan Sakelar

4. Pemasangan

Pemeriksaan atau pengujian pbumian dapat menggunakan alat ukur *earth tester*. Hasil yang ditunjukkan dari pengujian harus menunjukkan besaran tahanan pbumian maksimum 5Ω . apabila hasil pemeriksaan melebihi 5Ω , maka sistem pbumian tidak layak untuk digunakan karena tidak mampu mengamankan instalasi, pengguna, dan perangkat yang digunakan secara optimal.

5. Resistansi isolasi

Resistansi isolasi pada penghantar perlu diuji untuk mengetahui kondisi isolasi penghantar dalam keadaan mampu menahan dari tegangan kerja yang terpasang sehingga tidak terjadi tegangan tembus yang membahayakan pengguna, peralatan, maupun instalasi itu sendiri. Nilai resistansi isolasi menurut PUIL 2.000 adalah sekurang-kurangnya adalah 1.000Ω setiap 1 Volt tegangan kerja yang digunakan. Apabila dalam suatu instalasi menggunakan tegangan kerja 220 Volt maka hasil pengujian resistansi isolasi menggunakan alat ukur *insulation tester* minimum adalah 220.000Ω .

6. Kesenambungan sirkuit

Hubungan atau percabangan antara sirkuit cabang 1 dengan yang lainnya harus diperiksa apakah kondisi sambungannya dalam kondisi yang baik dan aman.

Pastikan bahwa setiap sambungan diamankan dengan isolator yang mampu menahan tegangan kerja. Kemudian pastikan bahwa kesinambungan antar sirkuit terjadi pada penghantar yang memang diperbolehkan untuk terhubung secara langsung, pastikan penghantar dengan fungsi yang berbeda (fasa dengan netral atau pentanahan) tidak terhubung.

7. Tegangan jatuh

Tegangan jatuh (*drop voltage*) adalah susut atau rugi tegangan yang terjadi akibat jarak yang terlalu jauh antara titik beban dengan sumber tegangan. Tegangan jatuh pada titik beban atau titik akhir pada instalasi maksimum 5%. Sehingga apabila tegangan pada sumber tegangan bernilai 220 V maka tegangan pada titik beban atau titik akhir dalam suatu instalasi tidak boleh lebih kecil dari 209 V.

8. Fungsi pengamanan sistem instalasi listrik

Pengaman instalasi listrik dalam suatu sistem instalasi listrik merupakan komponen yang sangat penting fungsinya. Pengaman yang dapat bekerja dengan baik dapat mengamankan instalasi terhadap berbagai gangguan seperti gangguan arus hubung singkat, beban lebih, hingga tegangan sentuh. Pengaman yang tidak dapat bekerja dengan baik dapat menyebabkan kecelakaan akibat listrik karena gangguan yang terjadi tidak dapat dideteksi dan diamankan dengan baik.

Pemeriksaan dan pengujian disusul dengan uji coba. Acuan Pemeriksaan dan Pengujian Pemeriksa instalasi listrik harus menaati ketentuan dalam PUIL 2000 dan peraturan-peraturan lain sebagaimana disebut dalam PUIL 2000:

1. UU No. 1 Tahun 1970;
2. Peraturan Bangunan Nasional;
3. Peraturan Pemerintah RI tentang Pengusahaan Kelistrikan;
4. Peraturan Pemerintah RI tentang Keselamatan Kerja;

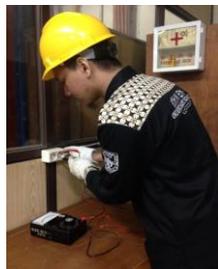
5. Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi tentang Izin Usaha Kelistrikan;
6. Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi tentang Standar Nasional Indonesia (SNI);
7. Peraturan lainnya mengenai kelistrikan dan usaha penunjangnya.

8.5 Pengujian

Instalasi yang telah diperiksa dan diuji dengan hasil baik, sesuai ketentuan PUIL, jika dipandang perlu harus diuji coba dengan tegangan dan arus kerja menurut batas yang ditentukan dan dalam waktu yang disyaratkan.

- a. Pada waktu uji coba, semua peranti yang terpasang dan akan digunakan harus dijalankan, baik secara sendiri-sendiri maupun serempak sesuai dengan rencana dan tujuan penggunaannya.
- b. Hasil pemeriksaan dan pengujian, termasuk hasil uji coba, harus dilaporkan dalam bentuk berita acara.
- c. Jika uji coba menunjukkan ada kesalahan dalam instalasi, uji coba itu harus dihentikan dan hanya dapat diulangi setelah instalasi diperbaiki.

Karena instalasi mengalami aus, penuaan, atau kerusakan yang akan mengganggu instalasi jika dibiarkan, secara berkala instalasi harus diperiksa dan diperbaiki, dan bagian yang aus, rusak atau mengalami penuaan diganti.



Gambar 8.9. Pengujian Instalasi Listrik Rumah Tinggal

Perlengkapan tertentu seperti relai dan kontaktor yang bagiannya lebih cepat terganggu kerjanya karena mengalami aus, penuaan, atau kerusakan harus secara berkala diperiksa dan dicoba, baik segi mekanis maupun listriknya.

Semua bagian instalasi listrik harus diperiksa dan dibersihkan secara berkala dan teratur berdasarkan petunjuk, metode, dan program yang telah ditentukan.

- a. Hasil pemeriksaan berkala suatu instalasi harus dimuat dalam laporan tertulis pemeriksaan.
- b. Instalasi listrik yang disiapkan untuk melayani keadaan darurat, harus diperiksa dan dicoba secara berkala agar keamanan dan keandalannya terjamin.
- c. Pemeliharaan semua instalasi listrik sementara di lapangan pembangunan harus diawasi oleh orang yang berwenang dan memikul tanggung jawab penuh atas keamanan menggunakan, mengubah, dan menambah instalasi. Instalasi sementara tersebut harus diperiksa dan diuji secara berkala sesuai ketentuan mengenai instalasi sementara, paling lama tiga bulan sekali sesuai dengan keadaan dan tempat instalasi.
- d. Pemeriksa instalasi listrik harus menggunakan tenaga kerja yang kompeten sesuai dengan bidangnya dan bersertifikat yang dikeluarkan oleh lembaga sertifikasi yang diakreditasi oleh lembaga akreditasi yang ditetapkan berdasarkan Undang Undang.
- e. Pemeriksa instalasi listrik wajib menjaga keselamatan dan kesehatan tenaga kerjanya sesuai dengan peraturan perundang-undangan keselamatan dan kesehatan kerja yang berlaku.
- f. Lembaga sertifikasi yang melakukan pemeriksaan dan pengujian instalasi harus netral (tidak berpihak).
- g. Pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik domestik dan non domestik dengan daya sampai 199 kVA dan penerbitan sertifikasi laik operasi dilakukan oleh konsuil.

Sertifikat laik operasi dikeluarkan setelah instalasi listrik diperiksa dan diuji dengan hasil baik.

- a. Pelaksanaan pemeriksaan dan pengujian instalasi di atas 199 kVA tegangan rendah dan tegangan tinggi dilakukan oleh instansi lain yang netral.

Direktorat Jendral Pembinaan Pengawasan Ketenagakerjaan, sesuai dengan peraturan perundang-undangan terkait K3 Listrik melakukan pemeriksaan instalasi listrik penerangan dan tenaga yang merupakan objek pengawasan di bidang K3 Listrik, di mana tenaga kerja melakukan kegiatannya.

Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi, sesuai dengan peraturan perundang-undangan di bidang ketenagalistrikan, menetapkan sistem standarisasi dan sertifikasi di bidang ketenagalistrikan, termasuk diantaranya sertifikasi tenaga ahli/teknisi dan sertifikasi instalasi listrik domestik dan non domestik. Untuk instalasi non domestik telah ditunjuk 15 perusahaan pemeriksa.

Orang yang disertai tanggung jawab atas semua pekerjaan pemeriksaan instalasi listrik harus ahli (memiliki sertifikat kompetensi) di bidang kelistrikan, memahami peraturan perlistrikan, menguasai pekerjaan memasang instalasi listrik, dan memiliki izin bekerja dari instansi yang berwenang. Penguji harus mampu menjaga keselamatan dirinya dan juga orang lain di dekat tempat pengujian. Sikap dan tindakan pengujian yang harus dilakukan oleh seorang penguji mencakup diantaranya hal-hal sebagai berikut:

- 1) Meyakini bahwa tindakan keselamatan dan pengamanan dipatuhi.
- 2) Mempunyai pemahaman tentang instalasi, bagaimana rancangannya dan bagaimana pemasangannya.
- 3) Meyakini bahwa instrumen uji yang akan digunakan memenuhi standar yang ditentukan dan masih

mempunyai tanda lulus kalibrasi untuk menjamin ketelitiannya.

- 4) Memeriksa bahwa penghantar uji yang akan dipakai dalam keadaan baik perlu diproteksi oleh pengaman lebur.

Penguji demikian pula pengguna instalasi harus memperoleh data yang jelas tentang instalasi dan bagaimana melaksanakan fungsi tersebut. Data yang diperlukan oleh seorang pemeriksa dan penguji adalah sebagai berikut:

- 1) Gambar situasi;
- 2) Gambar instalasi sesuai ketentuan;
- 3) Jenis suplai apa fasa tunggal atau fasa tiga;
- 4) Kebutuhan maksimum instalasi;
- 5) Tindakan pembumian bagi instalasi;
- 6) Rincian rancangan instalasi termasuk susunan PHB utama dan PHB cabang serta sirkuit cabang dan sirkuit akhir;
- 7) Data mengenai rancangan instalasi termasuk perhitungan untuk menentukan kebutuhan maksimum, penampang penghantar fasa, dan netral, penghantar pengaman dan lainnya.
- 8) Metode yang diterapkan untuk menghindari tegangan sentuh jika terjadi gangguan bumi.
- 9) Daftar semua sirkuit dan perlengkapan yang mungkin menjadi rusak karena adanya pengujian.

Tanpa informasi yang lengkap ini penguji tidak dapat memverifikasi apakah instalasi telah memenuhi Regulasi dan Persyaratan atau bahwa instalasi telah dilaksanakan sesuai rancangan.

Tabel 8.1. Pemeriksaan dan Pengujian Instalasi Pemanfaatan Listrik

DATA INSTALASI LISTRIK		
1.	PEMILIK	:
2.	ALAMAT	:
3.	PEMAKAI	:
4.	PENGURUS KONTRAKTOR UTAMA/SUB KONTRAKTOR/ PENANGGUNG JAWAB	:
5.	INSTALATIR PEMASANG	:
6.	ALAMAT	:
7.	SURAT PENUNJUKAN	:
8.	AS BUILT DRAWING	:
9.	KEABSAHAN SERTIFIKAT TEKNISI K3 LISTRIK	
-	NAMA	:
-	NOMOR SERITIFIKAT DAN TANGGAL DIKELUARKAN	:
-	SESUAI/TIDAK SESUAI DENGAN KUALIFIKASINYA	:
10.	SUMBER DAYA LISTRIK : PLN / PEMBANGKIT SENDIRI	:
11.	JUMLAH Fasa	:
12.	FREKUENSI	:
13.	JENIS ARUS	:
14.	TEGANGAN	:

Tabel 8.2. Pemeriksaan Dokumen

NO.	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1.	PERENCANA MEMILIKI IJIN/ PENUNJUKAN /SLO/SURAT KETERANGAN	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
2.	PETA LOKASI	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
3.	GAMBAR DIAGRAM GARIS TUNGGAL LENGKAP DENGAN	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian

	BESARAN NOMINALNYA			
4.	GAMBAR LAYOUT INSTALASI, PENGABELAN, PEMBEBANAN, SISTEM PENGAMANAN LENGKAP DENGAN BESARAN NOMINALNYA.	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
5.	GAMBAR DIAGRAM PENGAWATAN	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
6.	GAMBAR AREA KLASIFIKASI	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
7.	DAFTAR KOMPONEN PANEL	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
8.	PERHITUNGAN ARUS HUB. SINGKAT	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
9.	BUKU MANUAL	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
10.	BUKU PEMELIHARAAN & OPERASI	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
11.	TANDA PERINGATAN	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
12.	SERTIFIKAT PABRIK PEMBUAT	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
13.	SPEKIFIKASI TEKNIK PERALATAN DAN PERLENGKAPAN LISTRIK.	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
14.	SPEKIFIKASI TEKNIS DAN SERTIFIKASI PERALATAN	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
15.	PERHITUNGAN REKAPITULASI DAYA	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
16.	<i>RECORD DAILY</i>	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
17.	DATA PENUNJANG LAINNYA	Ada/ Tidak ada	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian

Tabel 8.3. Pemeriksaan Visual

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1.	KONSTRUKSI UNIT LVMDP	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
2.	DUDUKAN DAN PENEMPATAN	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
3.	VERIFIKASI PLAT NAMA	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
4.	KLASIFIKASI AREA	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
5.	PERLINDUNGAN TERHADAP KEJUTAN LISTRIK & BENDA ASING	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
6.	PINTU PANEL DILENGKAPI PENAHAN SAAT POSISI TERBUKA	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
7.	SEMUA BAUT DAN SEKRUP TELAH KUAT	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
8.	BUSBAR TERISOLASI DENGAN KUAT	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
9.	MINIMAL RUANG MAIN & JARAK RAMBAT BUSBAR	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
10.	PEMASANGAN KABEL	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
11.	KABEL YANG TERPASANG PADA PINTU PANEL DILINDUNGI TERHADAP KERUSAKAN	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
12.	SEMUA SEKERING DAPAT DIGANTI DENGAN AMAN TANPA BAHAYA LISTRIK	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
13.	TERMINAL KABEL DILENGKAPI DENGAN PELINDUNG KABEL / SOKET	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
14.	INSTRUMEN PENGUKUR MEMPUNYAI BATAS UKUR YANG CUKUP DAN DIBERI TANDA PADA NILAI NOMINAL	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
15.	SEMUA PERALATAN & TERMINAL DIBERI KODE DAN NAMA INDIKASI	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/ SNI	Penilaian
16.	PEMASANGAN KABEL MASUK & KELUAR	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
17.	UKURAN BUSBAR	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
18.	BUSBAR & PERLENGKAPAN YANG TERPASANG BERSIH TANPA KOTORAN DAN DEBU	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
19.	PENANDAAN BUSBAR (FASA)	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
20.	PEMASANGAN KABEL PEMBUMIAN	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
21.	PEMASANGAN SEMUA PINTU-PINTU PANEL	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
22.	SUKU CADANG TELAH MEMENUHI SPESIFIKASI	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
23.	FASILITAS KESELAMATAN DAN TANDA BAHAYA	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
24.	PEMERIKSAAN DATA PEMUTUS DAYA	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
-	RATING ARUS	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
-	RATING TEGANGAN	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
-	RATING ARUS PEMUTUSAN	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
-	TEGANGAN KONTROL	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
-	PABRIK PEMBUAT PEMUTUS DAYA	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
-	TIPE	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
-	NO. SERI	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Penilaian
C. PENGUJIAN				
1.	PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI FASA-FASA, FASA-NETRAL, DAN FASA-PE		PUIL 2011: 2000 Ω / Volt + 1 M Ω	Pengukuran
2.	PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN	..... .....	SNI 5 Ω	Pengukuran
3.	PENGUJIAN PERLENGKAPAN PEMUTUS DAYA	Berfung si/ Tidak berfung si	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	TRAFO ARUS (CT)	Berfung si/ Tidak berfung si	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	TRAFO TEGANGAN (PT)	Berfung si/ Tidak berfung si	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	INSTRUMEN/ METER PENGUKUR	Berfung si/ Tidak berfung si	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	RATING SEKRING	Berfung	Mnfct.	Pengetesan

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
		si/ Tidak berfungsi	Standar/SNI	
-	PEMUTUS DAYA MEKANIKAL	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
	TERMINAL KABEL	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	PENANDAAN TERMINAL	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	<i>SYSTEM INTERLOCK</i>	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	SAKELAR BANTU	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
-	KERJA TRIP MEKANIS	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
4.	UJI TRIP TEGANGAN JATUH (<i>OVER LOAD</i>)	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
5.	UJI RELAY DAYA BALIK	Berfungsi/ Tidak berfungsi	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
6.	UJI RELAY ARUS LEBIH	Berfungsi	Mnfct.	Pengetesan

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
		si/ Tidak berfung si	Standar/SNI	
7.	UJI TRIP PEMUTUS DAYA	Berfung si/ Tidak berfung si	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
8.	PENGUKURAN TEMPERATUR	..... ..	SNI : 70 derajat	
9.	UJI FUNGSI LAMPU INDIKATOR	Berfung si/ Tidak berfung si	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
10.	UJI KESALAHAN / PENYIMPANGAN METER	Baik/ Tidak baik	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
11.	UJI FUNGSI SINKRONISASI (jika ada)	Berfung si/ Tidak berfung si	Mnfct. Standar/SNI	Pengetesan
12.	KHA PENGHANTAR	..... A	SNI : 125 % x In	Perhitungan
13.	RATING PROTEKSI	..... A	SNI : 115 % x In	Perhitungan
14.	SUSUT TEGANGAN (<i>DROP VOLTAGE</i>)	..... %	SNI : 4 %	
15.	<i>LOSS CONNECTION</i>	.....	SNI : 51 derajat	Pengukuran

Tabel 8.4 Pemeriksaan visual Panel LVMDP

No	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
A. Pemeriksaan visual tampak depan PHB				
1	Lampu indikator pada Panel	Sesuai/ Tidak sesuai	Manufacture Std.	Penilaian
2	Alat ukur atau metering berupa Ampere Meter, Volt Meter dan lainnya pada panel	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
3	Nama/label dan nama perusahaan instalator pada pintu panel	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
4	Tanda bahaya pada pintu panel	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
5	<i>Selector Switch</i> dan kunci pintu panel	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
B. Pemeriksaan visual tampak dalam PHB				
1	<i>Cover</i> pelindung tegangan sentuh langsung	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
2	Gambar <i>single line diagram</i> dan kartu riwayat perawatan	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
3	Kabel <i>bonding</i> untuk pengaman sentuh tidak langsung	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
4	Labeling	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian
5	Kode warna kabel	Sesuai/ Tidak sesuai	Manufacture Std.	Penilaian
6	Kebersihan Panel	Baik/ Tidak baik	Manufacture Std.	Penilaian
7	Kerapian Instalasi	Baik/ Tidak baik	Manufacture Std.	Penilaian

No	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
C. Pemeriksaan visual pada sistem terminasi				
1	<i>Busbar</i> /penghantar	Baik/ Tidak baik	Manufacture Std.	Penilaian
2	Pengaman (CB, FUSE)	Sesuai/ Tidak sesuai	Manufacture Std.	Penilaian
3	Sepatu kabel	Baik/ Tidak baik	Manufacture Std.	Penilaian
4	Sistem pembumiaan	Sesuai/ Tidak sesuai	Manufacture Std.	Penilaian
5	Jarak <i>busbar to busbar</i>	Sesuai/ Tidak sesuai	Manufacture Std.	Penilaian
D. Pemeriksaan visual Daerah Kerja				
1.	Jarak bagian depan	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI : 75 cm	Pengukuran
2.	Jarak bagian samping	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI: 150 cm	Pengukuran
3.	Jarak bagian belakang	Sesuai/ Tidak sesuai	-	Pengukuran
4.	Bebas buka pintu panel	Sesuai/ Tidak sesuai	-	Pengukuran
5.	Pencahayaan	Sesuai/ Tidak sesuai	100 Lux	Pengukuran
6.	Barang-barang yang tidak terpakai	Sesuai/ Tidak sesuai	SNI	Penilaian
7.	Ventilasi	Baik/ Tidak baik	SNI	Penilaian
8.	Tanda bahaya pintu ruang panel	Ada/ Tidak ada	Manufacture Std.	Penilaian

No	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
E. PENGUJIAN				
1.	Tegangan Fasa R S T	.....	Manufacture Std. / SNI	Pengukuran
2.	Arus Fasa R S T, Pengantar Netral, dan PE	.....	Manufacture Std. / SNI	Pengukuran
3.	Sistem pembumian	.....	Manufacture Std. / SNI	Pengukuran
4.	Susut tegangan	.....	Beban Daya : 3 % Beban Penerangan: 1,5%	Pengukuran dan perhitungan
5.	Panas penghantar/Terminasi	.....	Penghantar : 70 °C Terminasi : 51°C	Pengukuran
6.	Pentanahan	.....	SNI : 5 Ω	Pengukuran
7.	KHA pengantar utama	..... .....	125 % x In	Perhitungan
8.	Rating Proteksi utama	.....	115 % x In	Perhitungan

Tabel 8.5. Instalasi Penerangan

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE	
1.	Perlengkapan Instalasi	Panel Khusus Penerangan	Ada/ Tidak ada	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Penggunaan armatur	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Pembumian armatur	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Pelabelan pada sakelar	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE	
		Pelabelan pada panel	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Pengelompokan lampu	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
2.	Kondisi Ruang	Penempatan sakelar di luar ruangan	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Penempatan sakelar di dalam ruangan	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Penempatan armatur merata	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Penempatan armatur tidak merata	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Penempatan panel lampu di ruangan	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Penempatan panel lampu di luar ruangan	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
3.	Kondisi Instalasi	Kerapian Instalasi	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Kebersihan lampu	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Kebersihan Armatur	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Pemasangan sakelar (kokoh/tidak)	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Pemasangan Lampu (kokoh/tidak)	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian
		Pemasangan armatur (kokoh/tidak)	Baik/ Tidak baik	Mnfc. Std. / SNI	Penilaian

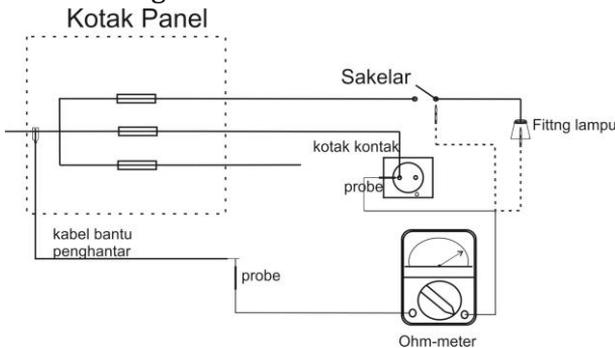
Tabel 8.6. Instalasi Daya (Beban Motor)

NO	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODA	
1.	Name Plate	a. Nama pabrik, tempat dan pembuatan b. Jenis dan No. Seri c. Kapasitas/Daya /Frequency d. Insulation level/Kelas Isolasi	Sesuai/ tidak sesuai	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian dokumen
2.	Sistem Grounding	a. Memeriksa kawat pentanahan pada body/enclousure/BKT	Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian
3.	Konstruksi/ struktur mekanik	a. Memeriksa kondisi konstruksi bangunan, fondasi dan baut pengikat b. Memeriksa Tanda Peringatan	Baik / Tidak baik	Manufacture Standar dan SNI	Penilaian
4.	Instalasi Motor	a. Arus Nominal (Ir) b. Rating Over Thermal Load Relay c. Rating Kontaktor d. Rating CB e. KHA Penghantar f. Pengujian Tahanan Isolasi (TI) Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE	..... A A A A Ω	Manufacture Std. SNI: $\leq I_n$ SNI : $115 \% \times I_n$ SNI : $115 \% \times I_n$ SNI : $115 \% \times I_n$ PUIL 2011: $2000 \Omega / Volt + I M\Omega$	Pengukuran Pengukuran Pengukuran Pengukuran Pengukuran Pengukuran

5.	Belitan Trafo	<p>a. Pengujian Tahanan Isolasi (TI) Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE</p> <p>b. Pengujian Dielectric of Ratio (DAR) dan Polaritas Index Fasa-Fasa, Fasa-Netral, dan Fasa-PE</p>	<p>..... .. Ω</p> <p>..... .</p>	<p>IEEE P43-2000: 100 MΩ</p> <p>IEEE: DAR : < 1,6 PI : ≤ 2</p>	<p>Pengukur an</p> <p>Pengukur an</p>
----	---------------	--	--	---	---------------------------------------

8.6. Latihan Soal

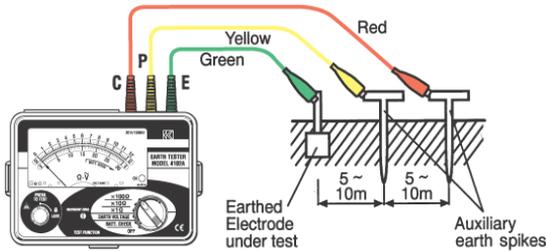
- Pemasangan stop kontak yang benar menurut PUIL 2011 letak penghantar fasa adalah ...
 - Sebelah kiri
 - Sebelah kanan
 - Boleh kanan atau kiri
 - Di antara fasa dan netral
 - Di ujung
- Perhatikan gambar skema berikut ini



Gambar di atas menunjukkan skema untuk melakukan pengujian...

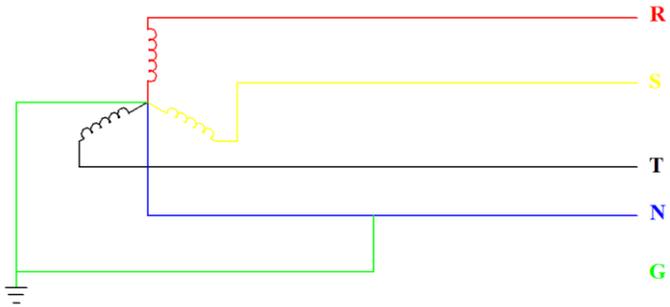
- Polaritas
- Sakelar
- Stop kontak
- Fiting lampu
- Tahanan isolasi

3. Perhatikan gambar di bawah ini



Gambar di atas adalah cara melakukan pengujian ...

- a. Tahanan Isolasi
 - b. **Tahanan**
 - c. Tangen Delta
 - d. Kelayakan Petir
 - e. Elektrode
- Pentanahan**
4. Pemasangan sakelar pada lampu yang benar adalah penghantar yang dimasukkan pada sakelar adalah ...
- a. Penghantar netral
 - b. Penghantar *ground*
 - c. Penghantar fasa
 - d. Penghantar fasa dan netral
 - e. Penghantar fasa dan *ground*
5. Pemberian kode warna penghantar pada instalasi listrik dimaksudkan untuk memberikan standar kepada perencana, pelaksana, pengawas dan pemelihara instalasi listrik. Warna penghantar untuk sistem instalasi listrik tiga fasa menurut PUIL 2011 yaitu ...
- a. Merah, kuning, hitam, biru dan hijau-kuning
 - b. Merah, hitam, kuning, biru dan hijau-kuning
 - c. Merah, biru, kuning, hitam dan hijau-kuning
 - d. **Coklat, abu-abu, hitam, biru dan hijau-kuning**
 - e. Coklat, biru, kuning, hitam dan hijau-kuning
6. Sistem instalasi listrik dimana netral ditanahkan tetapi tidak didistribusikan disebut dengan ...



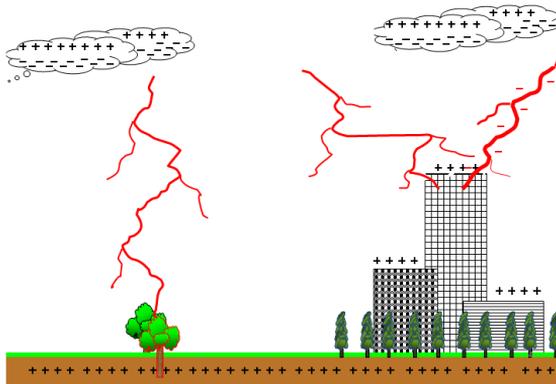
- a. TNS
- b. TNC
- c. TNC-S
- d. TT
- e. IT

BAB 9

INSPEKSI DAN TES SISTEM PROTEKSI PETIR

9.1 Pendahuluan

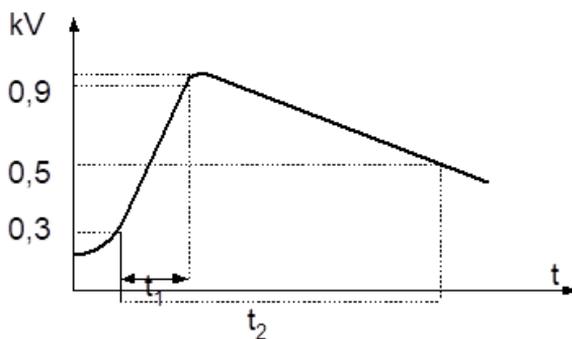
Petir merupakan salah satu fenomena listrik alam yang mempunyai potensi untuk mengganggu dan merusak bangunan dan instalasi listrik yang ada di dalamnya. Oleh karena itu, setiap bangunan dan sistem tenaga listrik perlu diberikan perlindungan dari bahaya sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung. Petir merupakan kejadian alam yang terjadi akibat adanya lompatan listrik awan yang bermuatan negatif ke bumi yang bermuatan positif.



Gambar 9.1. Fenomena terjadinya petir

Energi listrik yang dibawa oleh petir sangat besar dan mempunyai potensi merusak apa saja yang terkena. Menurut data statistik yang pernah tercatat, kekuatan petir mempunyai arus ribuan hingga ratusan ribu ampere. Arus sebesar ini mempunyai kekuatan yang sangat dahsyat untuk merusak apa saja yang dikenai secara langsung maupun rambatannya. Secara alami, energi petir dimodelkan dengan bentuk gelombang impuls dengan waktu yang sangat cepat yaitu di bawah 100 mikro detik. Efek yang ditimbulkan dari sambaran petir secara langsung dapat mengakibatkan terbakarnya gedung, pohon, kerusakan peralatan listrik, dan peralatan-peralatan elektronik. Bahkan petir dapat menyebabkan kematian bagi manusia dan makhluk hidup lainnya yang terkena sambaran baik langsung maupun tidak langsung.

Petir yang menyambar bangunan dan jaringan listrik mempunyai bentuk yang berubah-ubah tetapi mempunyai karakteristik tegangan dan arus yang sangat besar dalam waktu yang sangat singkat. Untuk itu para ilmuwan memodelkan gelombang petir dengan bentuk impuls atau surja dengan karakteristik sebagaimana digambarkan berikut ini.



Gambar 9.2. Model gelombang petir

Standar gelombang petir menurut standard Jepang yaitu waktu muka atau *front time* (t_1) sebesar antara 1-2 μs dan waktu ekor atau *tail time* (t_2) = 30–60 μs . waktu muka adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai maksimum. Sedangkan waktu ekor yaitu waktu yang dibutuhkan dari awal hingga mencapai nilai maksimal dan turun sampai nilai setengah dari nilai maksimal.

Petir yang mengenai logam seperti kawat saluran transmisi dan distribusi dapat merambat jauh dan mempunyai potensi merusak berbagai macam peralatan listrik dan elektronik seperti televisi, telepon, faksimile, komputer dan peralatan elektronik lainnya. Selain itu pada saat petir menyambar akan ada loncatan muatan listrik ke benda yang bersifat konduktor di sekitar pusat hantaman, loncatan ini bahkan bisa mengalir ke mana pun hingga puluhan kilometer.

Sebagai tindakan pencegahan di atas diperlukan penangkal petir yang sangat baik terutama untuk gedung, fasilitas umum, dan pusat bisnis yang menggunakan komputer atau peralatan elektronik untuk seluruh kegiatan bisnis. Menurut Undang Undang Nomor 28 Tahun 2002 Pasal 20 ayat 1 tentang Bangunan Gedung, Pengamanan terhadap bahaya petir melalui sistem penangkal petir sebagaimana dimaksud dalam Pasal 17 ayat 4 merupakan kemampuan bangunan gedung untuk melindungi semua bagian bangunan gedung, termasuk manusia di dalamnya terhadap sambaran petir.

Petir telah banyak membuat kerugian pada manusia dan kerusakan pada peralatan sejak dahulu. Semakin banyaknya pemakaian alat elektronik dan peralatan tegangan rendah saat ini telah meningkatkan jumlah statistik kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh sambaran petir baik langsung maupun tidak langsung. Indonesia memiliki hari guruh yang tinggi dengan jumlah sambaran petirnya yang banyak sehingga kerusakan dan kerugian yang ditimbulkannya pun lebih besar.

Lokasi yang mempunyai nilai bisnis tinggi seperti industri kimia, pemancar TV, sarana telekomunikasi, gedung perkantoran dengan sistem perkantoran, dan industri strategis seperti pusat pertahanan dan keamanan serta bandar udara memerlukan proteksi yang dilakukan seoptimal mungkin, sedangkan lokasi dengan nilai bisnis rendah mungkin makin sederhana sistem proteksi yang akan dipasang. Berkembangnya teknologi yang sangat pesat hingga kini, maka pelepasan muatan petir dapat merusak jaringan listrik dan peralatan elektronik yang lebih sensitif.

Sambaran petir pada tempat yang jauh sudah mampu merusak sistem elektronik dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrumen, serta peralatan elektronik sensitif lainnya. Untuk mengatasi masalah ini, maka perlindungan yang sesuai harus diberikan dan dipasang pada peralatan atau instalasi terhadap bahaya sambaran petir langsung maupun induksinya. Salah satu penyebab semakin tingginya kerusakan peralatan elektronika karena induksi sambaran petir tersebut adalah karena sangat sedikitnya informasi mengenai petir dan masalah yang dapat ditimbulkannya.

Upaya proteksi manusia dan peralatan telah dilakukan, namun dengan semakin luas, semakin banyak dan semakin canggihnya peralatan listrik dan elektronik yang digunakan, menyebabkan semakin rumitnya sistem yang diperlukan. Keadaan alam iklim tropis Indonesia pada umumnya termasuk daerah dengan hari petir yang tinggi setiap tahun, tetapi karena keterbatasan data besarnya hari petir untuk setiap lokasi di Indonesia. Pada saat ini diasumsikan bahwa di lokasi yang tinggi di atas gunung atau menara dan gedung yang menjulang tinggi di tengah-tengah area yang bebas atau di lahan terbuka seperti sawah, ladang, mempunyai kemungkinan sambaran lebih tinggi. Tempat-tempat dengan tingkat sambaran tinggi frekuensi maupun intensitasnya mendapat prioritas pertama untuk

penanggulangannya, sedangkan tempat-tempat yang relatif kurang bahaya petirnya mendapat prioritas ke dua dengan pemasangan proteksi yang lebih sederhana.

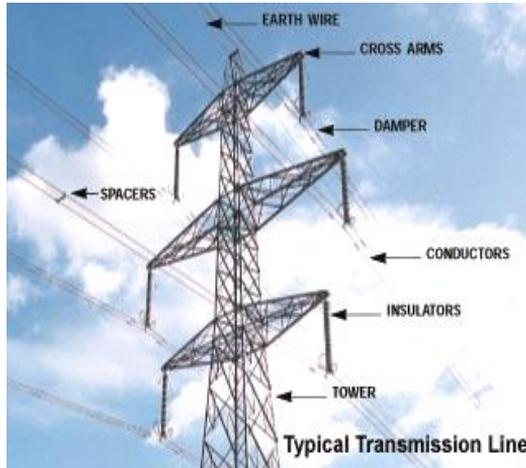
9.2. Sistem Proteksi Petir

Mengacu pada beberapa standar dan peraturan yang ada seperti Permenaker Nomor 02/MEN/1989 tentang Proteksi Petir, SNI 04-0225-2000 Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011, SNI IEC 62305-1:2009 : Proteksi Petir : Prinsip-prinsip Umum, dan SNI IEC 62305-2:2009 : Proteksi Petir : Manajemen Resiko, secara umum sistem proteksi petir pada instalasi sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Sistem Proteksi Petir pada Jaringan Listrik
2. Sistem Proteksi Petir pada Bangunan

9.2.1 Sistem Proteksi Petir pada Jaringan Listrik

Jaringan listrik seperti saluran transmisi dan distribusi tenaga listrik kebanyakan menggunakan sistem saluran udara (*over head*). Hal ini didasarkan pada biaya yang lebih murah. Namun, saluran udara mempunyai banyak gangguan salah satunya adalah petir. Untuk itu, saluran transmisi dan jaringan distribusi harus dilindungi dari sambaran petir baik yang sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung.



Gambar 9.3. Saluran transmisi tenaga listrik

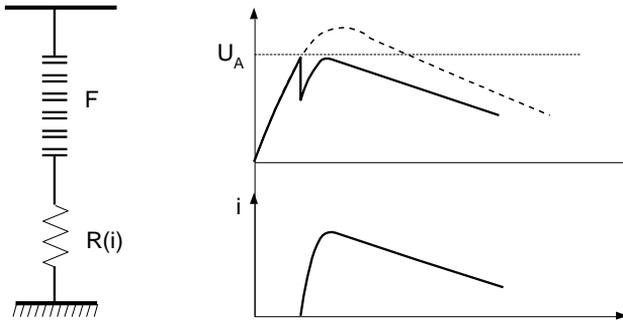
Pada saluran transmisi dan jaringan distribusi yang menggunakan saluran udara seperti Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), proteksi sambaran langsung dilakukan dengan menggunakan kawat tanah (*Earth Wire*) yang dipasang pada bagian paling atas dari jaringan listrik seperti ditunjukkan pada gambar 9.3. Fungsi kawat tanah yaitu:

- a. Sebagai penerima petir, dan
- b. Mengurangi gangguan tegangan lebih pada hantaran gelombang berjalan yang masih dapat mencapai gardu dapat menimbulkan kerusakan.

Adapun untuk proteksi peralatan listrik dari gangguan sambaran petir tidak langsung, dapat digunakan peralatan *arrester* yang dipasang antara kawat fasa dengan tanah berfungsi untuk:

- a. Mencegah terjadinya tegangan lebih pada peralatan;

- b. Menyalurkan tegangan lebih ke tanah sampai pada batas aman untuk peralatan.

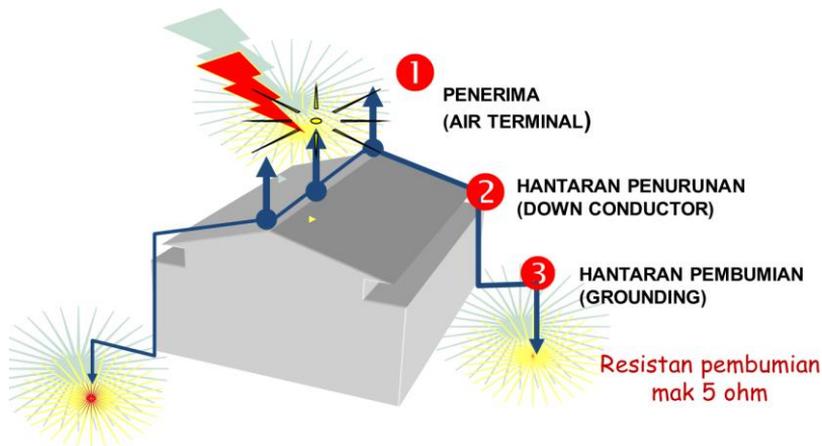


Gambar 9.4. Pemasangan *arrester*

9.2.2 Sistem Proteksi Petir pada Bangunan

Bangunan yang ditempati oleh manusia mempunyai potensi gangguan sambaran petir yang dapat membahayakan bangunan dan penghuninya. Oleh karena itu bangunan perlu dilindungi dengan sistem proteksi petir dari gangguan sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung.

Sistem proteksi petir pada bangunan merupakan instalasi dan alat-alat di luar sebuah struktur bangunan untuk meredam dan menghantarkan arus petir ke sistem pembumian atau berfungsi sebagai ujung tombak penangkap muatan listrik/ arus petir di tempat tertinggi. Proteksi bangunan dari sambaran petir secara langsung dilakukan dengan memasang sistem penyalur petir yang terdiri dari terminal udara, kawat pentanahan, dan elektrode pentanahan.



Gambar 9.5. Sistem proteksi petir pada bangunan

9.2.2.1 Komponen Sistem Proteksi Petir pada Bangunan

a. Penerima atau *Air Termination*

Air termination adalah bagian dari proteksi petir yang berfungsi untuk menerima sambaran petir secara langsung. *Air termination* sering disebut dengan nama split atau terminal udara. Bentuk *air termination* biasanya bulat, panjang, dan ujungnya runcing.



Gambar 9.6. *Air Termination* (Split) proteksi petir pada bangunan

Penerima atau *Air Termination* pada sistem proteksi petir pada bangunan dapat menggunakan:

- 1) Logam yang berbentuk bulat dan panjang yang terbuat dari bahan tembaga.
- 2) Hiasan-hiasan pada atap, tiang-tiang, atau cerobong-cerobong dari logam yang disambung baik dengan instalasi penyalur petir.
- 3) Atap-atap dari logam yang disambung secara elektrik dengan baik.
- 4) Bagian penerima sambaran petir harus mempunyai ukuran minimum sebagai berikut:
 - a) Jika terbuat dari bahan tembaga (Cu) maka luas penampang minimal adalah 35 mm².
 - b) Jika terbuat dari bahan besi (Fe), maka luas penampang minimal adalah 50 mm².
 - c) Jika terbuat dari bahan Aluminium (Al), maka luas minimal penampang adalah 70 mm².
- 5) Bagian penerima harus dipasang di tempat atau bagian yang diperkirakan dapat tersambar petir.
- 6) Jika bangunan yang terdiri dari bagian-bagian seperti bangunan yang mempunyai menara, antena, papan reklame, atau suatu blok bangunan harus dipandang sebagai suatu kesatuan.
- 7) Pemasangan pada atap yang mendarat harus benar-benar menjamin bahwa seluruh luas atap yang bersangkutan termasuk dalam daerah perlindungan.
- 8) Jumlah dan jarak antara masing-masing penerima harus diatur sedemikian rupa sehingga dapat menjamin bangunan itu termasuk dalam daerah perlindungan.
- 9) Ketinggian Air Termination minimum :
 - a) 10 inci (SNI 03-715-2004)
 - b) 15 cm Permenaker 02/Men/1989
- 10) Untuk air Termination yang tingginya lebih dari 600 cm, harus diberi penyangga yang tidak boleh kurang dari setengah tinggi total.

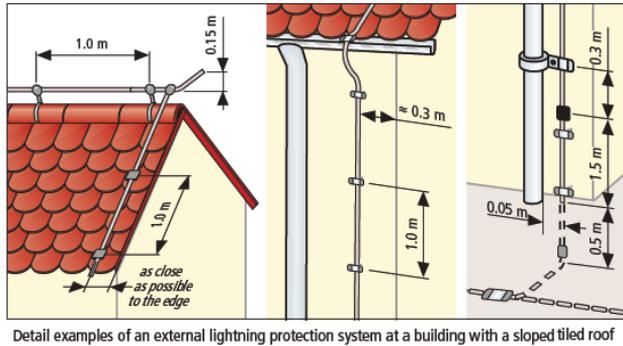
b. *Down Conductor*/Penghantar Penurunan

Down Conductor disebut juga dengan istilah penghantar penurunan merupakan salah satu komponen penting sistem proteksi petir yang berfungsi untuk menyalurkan arus petir yang mengenai bagian penerima menuju ke tanah. Karena arus petir mempunyai magnitudo yang sangat besar, maka kriteria penghantar penurunan harus mampu menahan arus listrik akibat sambaran petir.

Penghantar penurunan harus dipasang sepanjang bubungan (nok) dan atau sudut-sudut bangunan ke tanah. Dari suatu bangunan paling sedikit harus mempunyai 2 (dua) buah penghantar penurunan. Jarak tidak kurang 15 cm dari atap yang dapat terbakar kecuali atap dari logam, genteng, atau batu. Penghantar penurunan yang digunakan harus memenuhi standar IEC 62305 harus terbuat dari salah satu bahan dengan ukuran minimal sebagai berikut:

- 1) Jika terbuat dari bahan Tembaga (Cu), maka luas penampang minimal adalah 16 mm².
- 2) Jika terbuat dari bahan Besi (Fe), maka luas penampang minimal adalah 50 mm².
- 3) Jika terbuat dari bahan Aluminium (Al), maka luas penampang minimal adalah 25 mm².
- 4) Rekomendasi yang dikeluarkan oleh Asosiasi Ahli Petir, penghantar penurunan minimal mempunyai luas penampang 50 mm² pada semua kasus dan bahan. Hal ini diperkuat dengan peraturan menteri tenaga kerja Permenaker 02/men/1989 di mana penghantar penurunan harus menggunakan kawat tembaga atau bahan yang sederajat dengan ketentuan :
 - a) Luas penampang sekurang-kurangnya 50 mm².

- b) Setiap bentuk penampang dapat dipakai dengan tebal serendah-rendahnya 2 mm.
- 5) Jarak antara alat-alat pemegang penghantar penurunan satu dengan yang lainnya tidak boleh lebih dari 1,5 meter



Gambar 9.7. *Down Conductor*/Penghantar Penurunan pada bangunan

- 6) *Down Conductor* sebagai penghantar penurunan petir dapat digunakan bagian-bagian dari atap, pilar-pilar, dinding-dinding, atau tulang-tulang baja yang mempunyai massa logam yang baik.
- 7) Khusus tulang-tulang baja dari kolom beton harus memenuhi syarat berikut, kecuali:
 - a) Sudah direncanakan sebagai penghantar penurunan dengan memperhatikan syarat-syarat sambungan yang baik dan syarat-syarat lainnya;
 - b) Ujung-ujung tulang baja mencapai garis permukaan air di bawah tanah sepanjang waktu;
 - c) Kolom beton yang bertulang baja yang dipakai sebagai penghantar penurunan harus digunakan kolom beton bagian luar

- 8) Jarak minimum antara penghantar penurunan yang satu dengan yang lain diukur sebagai berikut;
 - a) Pada bangunan yang tingginya kurang dari 25 meter maximum 20 meter;
 - b) Pada bangunan yang tingginya antara 25-50 meter maka jaraknya $(30 - (0,4 \times \text{tinggi bangunan}))$
 - c) Pada bangunan yang tingginya lebih dari 50 meter maksimum 10 meter.
 - d) Harus merupakan suatu sambungan elektrik, tidak ada kemungkinan terbuka, dan dapat menahan kekuatan tarik sama dengan sepuluh kali berat penghantar yang menggantung pada sambungan itu.
- 9) Penyambungan dilakukan dengan cara:
 - Dilas;
 - Diklem (plat klem, bus kontak klem) dengan panjang sekurang-kurangnya 5 cm;
 - Disolder dengan panjang sekurang-kurangnya 10 cm.

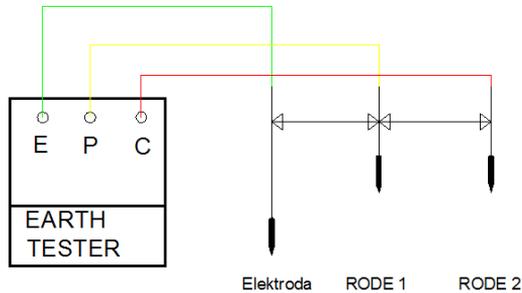
c. **Grounding**

Grounding atau biasa dikenal dengan istilah *earthing* atau pbumian yaitu menghubungkan instalasi listrik mulai dari penerima (*split*) menuju ke tanah melalui *down conductor*. Arus petir memiliki amplitude yang sangat besar sehingga perlu segera dibuang ke tanah. Oleh karena itu, diperlukan sistem pentanahan yang baik sesuai dengan standar.

Elektrode bumi harus dibuat dan dipasang sedemikian rupa sehingga tahanan pbumian mempunyai nilai yang sekecil mungkin. Berdasar standar SNI, tahanan pbumian dari seluruh sistem pbumian tidak boleh lebih dari 5 ohm.

Panjang suatu elektrode bumi yang dipasang tegak dalam bumi tidak boleh kurang dari 4 meter, kecuali jika sebagian dari elektrode bumi itu sekurang-kurangnya 2 meter di bawah batas minimum permukaan air dalam bumi.

Untuk memastikan nilai tahanan pembumian memenuhi standar, perlu dilakukan pengujian kualitas *grounding* dengan *earth tester*. Hasil yang ditunjukkan dari hasil pengukuran maksimum 5Ω . Berikut ini adalah cara melakukan pengukuran pentanahan pada *grounding* sistem proteksi petir.



Gambar 9.8. Pengukuran tahanan pentanahan

Jarak antara elektrode menuju elektrode bantu 1 (rode 1) dan rode 1 menuju elektrode bantu 2 (rode 2) masing-masing adalah 5-10m dengan jarak yang sama. Jika jarak elektrode menuju rode 8 meter, maka jarak rode 1 menuju rode 2 juga harus 8 meter. Pastikan melakukan pemeriksaan baterai (jika diperlukan) dan rangkaian sebelum pengujian dilakukan. Sebaiknya pengujian *grounding* dilakukan lebih dari satu kali pengujian dengan arah yang berbeda (disarankan empat arah berbeda). Apabila pengujian pertama elektrode, rode 1, dan rode 2 dibentangkan ke arah utara maka percobaan selanjutnya

dilakukan dengan membentangkan ke arah selain utara. Hasil pengujian kemudian dicatat dan diambil rata-rata pengujian sebelum dilakukannya pengambilan kesimpulan yang dicatat di kolom keterangan.

Tabel 9.1. Pengujian Tahanan Pentanahan

Pengujian ke-	Hasil Pengukuran	Rata-rata Hasil Pengukuran	Keterangan
1			
2			
3			
4			

9.3. Pemeriksaan dan Pengujian Sistem Proteksi Petir

Untuk menjamin sistem proteksi petir pada bangunan telah diinstal dengan baik sesuai dengan standar yang berlaku, maka dibutuhkan *checklist* pemeriksaan dan pengujian. Pemeriksaan dan pengujian instalasi sistem proteksi petir dilakukan mulai dari pemeriksaan dokumen perencanaan, pemilihan material, penggunaan material, instalasi, dan pemasangan serta pengujian unjuk kerja sesuai dengan standar.

Pemeriksaan dan pengujian sistem proteksi petir pada bangunan dimulai dari bagian penerima sambaran langsung (*split*), penghantar penurun (*down conductor*), elektrode pentanahan dan aksesorinya. Berikut ini adalah data-data yang harus dilakukan pengecekan dan pengujian.

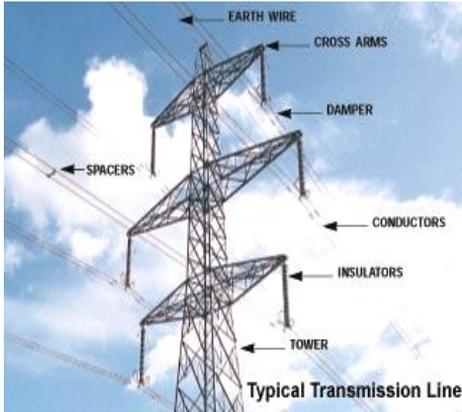
NO.	OBJEK	HASIL	NILAI RUJUKAN	METODE
1	PENERIMA			
	a. JENIS PENERIMA	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	b. JARAK / RADIUS PROTEKSI	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	c. TINGGI AIR TERMINAL	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	d. JUMLAH DAN JARAK	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	e. TERMINAL (BERKARAT/TIDAK)	Sesuai /tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	f. GAMBAR BENTUK ATAP DAN UKURANNYA	Sesuai /tidak sesuai	Permenaker 2/89	Penilaian
2	PENGHANTAR PENURUNAN			
	a. JUMLAH <i>DOWN CONDUCTOR</i>	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	b. JARAK ANTAR KAKI PENERIMA DAN TITIK PERCABANGAN	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	c. LUAS PENAMPANG	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	d. TEBAL PENAMPANG	Sesuai /tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	e. JARAK ANTAR PENGHANTAR PENURUNAN DENGAN LAIN	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	f. TINGGI BANGUNAN	..... m		pengukuran
	g. LUAS BANGUNAN	..... m ²		pengukuran
3	PEMBUMIHAN			
	a. JENIS ELETRODE BUMI (BATANG/ROD, PITA, MESH)	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	b. DIAMETER	Sesuai/	Permenaker	Penilaian

	PENAMPANG	tidak sesuai	2/89/SNI	
	c. KEDALAMAN ELEKTRODE	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	d. LUAS PENAMPANG	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	e. JARAK ANTAR ELEKTRODE BUMI SATU DENGAN LAIN	Sesuai/ tidak sesuai	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
4	KONDISI MATERIAL			
	a. AIR TERMINAL KLEM, BAUT, DAN PENYANGGA	Baik/ Tidak baik	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	b. PENGHANTAR DAERAH ATAP	Baik/ Tidak baik	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	KLEM, BAUT, DAN PENYANGGA			
	c. PENGHANTAR TURUN KE TANAH	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	KLEM, BAUT, DAN PENYANGGA			
	d. KOTAK HUBUNG/ BAK KONTROL KLEM. BAUT	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	e. AKAR/BATANG PEMBUMIAN	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/ Manufactur std.	Penilaian
	KLEM, BAUT		Permenaker 2/89/SNI	
	f. PPENGHANTAR AKAR KE AKAR	Baik/ buruk		Penilaian
5	KONDISI PEMASANGAN SAMBUNGAN			
	a. SAMBUNGAN KEPALA AIR TERMINAL	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	b. KLEM, BAUT & PENYANGGA	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	c. SAMBUNGAN HANTARAN PENURUNAN (<i>DOWN CONDUCTOR</i>) KE KEPALA PENANGKAL	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian

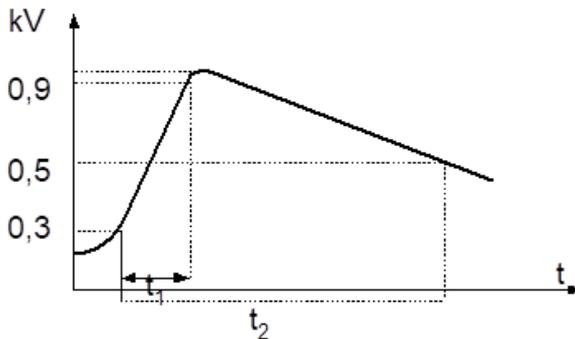
	d. SAMBUNGAN HANTARAN PENURUNAN (<i>DOWN CONDUCTOR</i>) KE HANTARAN	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	e. SAMBUNGAN HANTARAN PENURUNAN (<i>DOWN CONDUCTOR</i>) KE KOTAK HUBUNG (BAK KONTROL)	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
	f. SAMBUNGAN HANTARAN PENURUNAN (<i>DOWN CONDUCTOR</i>) KE PEMBUMIAN	Baik/ buruk	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian
6	TAHANAN PEMBUMIAN			
	PENGUJIAN TAHANAN PEMBUMIAN		SNI : 5 Ohm	pengukuran
7	HASIL PERHITUNGAN			
	RUANG LINGKUP PERLINDUNGAN	Baik/ Tidak baik	Permenaker 2/89/SNI	Penilaian

9.4. Latihan Soal

1. Kawat tanah (*earth wire*) pada saluran transmisi yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini berfungsi untuk ...



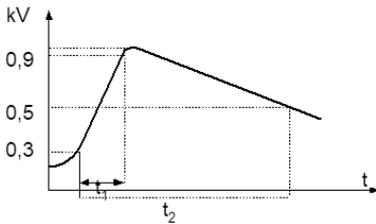
- a. *Grounding* sistem
 - b. Proteksi sambaran petir
 - c. Penyeimbang tegangan
 - d. *Coupling*
 - e. Menghilangkan tegangan induksi
2. Gambar di bawah ini merupakan model gelombang petir. Berapakah nilai t_1 dan t_2



- a. $t_1 = 40 - 50 \mu\text{s}$, dan $t_2 = 1000 - 3000 \mu\text{s}$
- b. $t_1 = 1 - 5 \mu\text{s}$, dan $t_2 = 30 - 60 \mu\text{s}$
- c. $t_1 = 10 - 20 \mu\text{s}$, dan $t_2 = 100 - 300 \mu\text{s}$

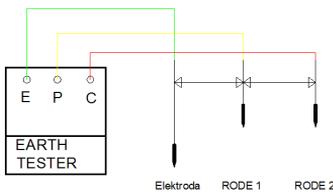
- d. $t_1 = 100 - 500 \mu\text{s}$, dan $t_2 = 1000 - 3000 \mu\text{s}$
 - e. $t_1 = 1 - 5 \mu\text{s}$, dan $t_2 = 100 - 300 \mu\text{s}$
3. Berapakah nilai maksimum yang diperbolehkan pada pentanahan sistem proteksi petir ...
- a. 1Ω
 - b. 2Ω
 - c. 3Ω
 - d. 5Ω
 - e. 10Ω
4. *Arrester* pada sistem tenaga listrik dipasang pada ...
- a. Kawat fasa dengan tanah
 - b. Kawat fasa dengan fasa
 - c. Kawat fasa dengan netral
 - d. Kawat netral dengan ground
 - e. Sembarang kawat
5. Panjang atau ketinggian minimal bagian penerima sambaran petir langsung (*Air Termination*) menurut standar IEC adalah ...
- a. 5 inci
 - b. 6 inci
 - c. 7 inci
 - d. 8 inci
 - e. 10 inci
6. Bila dalam pengukuran tanahan pentanahan sistem proteksi petir menunjukkan nilai 8 Ohm, maka untuk mencapai agar sesuai standar dapat dilakukan dengan cara ...
- a. Mengulang pengukuran
 - b. Mengganti elektrode pentanahan
 - c. Menambah elektro pentanahan
 - d. Memindah elektro pentanahan
 - e. Menambah air
7. Penyambungan *air termination* dengan penghantar penurunan dapat dilakukan dengan cara, *kecuali* ...

- a. Dilas
 - b. Diklem
 - c. Disekrup
 - d. Disambung manual
 - e. Sepatu kabel
8. Untuk memproteksi peralatan elektronik terhadap sambaran petir secara tidak langsung dapat digunakan peralatan ...
- a. *Circuit Breaker*
 - b. ELCB
 - c. *Arrester*
 - d. GFCI
 - e. *Air Termination*
9. Perhatikan gambar berikut ini



Daerah manakah yang disebut dengan waktu muka (*Front time*) pada gelombang petir ...

- a. t_1
 - b. t_2
 - c. $t_2 - t_1$
 - d. $t_1 + t_2$
 - e. $(t_1 + t_2)/2$
10. Perhatikan gambar berikut ini



Berapakah jarak antara elektrode dengan Rode 1 dan Rode 2 ...

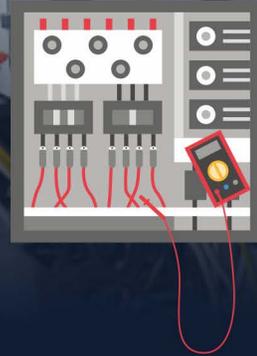
- a. 1 meter
- b. 2 meter
- c. 5 meter
- d. 10 meter
- e. 15 meter

DAFTAR PUSTAKA

- Blitz, Jack. (1997). *Electrical and Magnetic Methods of Non-destructive Testing*. Springer Science and Business Media Dordrecht.
- Gill, Paul. (2009). *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing Second Edition*. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.
- Jewet, Serway. (1994). *Physics for Scientist and Engineers*. California State Politechnic University, Ponomo.
- Kelompok Kerja Standar Kontruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia. (2010). *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta: Indonesia
- Kitcher, Christopher. (2013). *Practical Guide to Inspection, Testing and Certification of Electrical Installations, Third Edition*. Routledge Publisher. London and New York.
- Kularatna, Nihal. (2003). *Digital and Analogue Instrumentation Testing and Measurement*. The Institution of Engineering and Technology. London: Inggris.
- Kusmantoro, A., Sukamta, S. (2013). *Pemeriksaan Kondisi Peralatan Mekanikal dan Elektrikal Gedung Menggunakan Metode Infrared Thermography*. Jurnal Teknik Elektro Vol. 5 No. 1, Januari – Juni 2013. Jakarta: Indonesia.

- Muhamad Ali, dkk. (2017). *Modul Pekerjaan Instalasi Listrik Bangunan Rumah, Testing dan Komisioning Sistem Kelistrikan Rumah*. Modul Pendidikan dan Pelatihan. PT Summarecon. Jakarta: Indonesia
- Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011
PLN, Persero. (2010). *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah*. PT PLN Persero. Jakarta: Indonesia.
- _____. (2010). *Standar Kompetensi Teknik Ketenagalistrikan Bidang Distribusi Sub Bidang Perencanaan*. PT PLN Persero. Jakarta: Indonesia.
- Scaddan, Brian. 2012. *IEE Wiring Regulations, Inspection, Testing and Certification, Fortheenth Edition, Newnes*. OXFORD AUCKLAND BOSTON JOHANNESBURG MELBOURNE NEW DELHI.
- Standar Kompetensi Tenaga Teknik Ketenagalistrikan.
Standar Nasional Indonesia.

Pemeriksaan dan Pengujian **SISTEM TENAGA LISTRIK**



Buku ini membahas tentang materi teknik Inspeksi dan Tes Sistem Kelistrikan baik teori maupun aplikasinya dalam dunia kerja. Secara garis besar, buku ini membahas tentang konsep dasar sistem tenaga listrik, potensi bahaya listrik, Inspeksi Sistem Tenaga Listrik, Pengujian Sistem Tenaga Listrik, Inspeksi dan Tes pada Pembangkit Listrik, Saluran Transmisi, Jaringan Distribusi, Instalasi Listrik Pemakaian dan Sistem Proteksi. Pembahasan dilengkapi dengan contoh aplikasi, baik di sistem tenaga listrik baik rumah tangga maupun industri sehingga akan memudahkan pembaca dalam memahaminya.



UNY Press

Jl. Gejayan, Gg. Alamanda, Komplek Fakultas Teknik UNY
Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Telp: 0274 - 589346

E-Mail: unypenerbitan@uny.ac.id

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

Anggota Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)