

STANDAR

PT PLN (PERSERO)

SPLN D3.002-1: 2020

Lampiran Peraturan Direksi

PT PLN (Persero) No. 0028.P/DIR/2020

SPESIFIKASI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Bagian 1: Transformator Fase Tiga



PLN

PT PLN (Persero)

**Jl. Trunojoyo Blok M-1/135 Kebayoran Baru
Jakarta Selatan 12160**

SPESIFIKASI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
Bagian 1: Transformator Fase Tiga



PLN

PT PLN (Persero)
Jl. Trunojoyo Blok M - 1/135 Kebayoran Baru
Jakarta Selatan 12160

SPESIFIKASI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Bagian 1: Transformator Fase Tiga

Disusun oleh :

**Kelompok Bidang Distribusi Standardisasi
dengan Surat Keputusan
General Manager PT PLN (Persero) Pusat Penelitian dan
Pengembangan Ketenagalistrikan
(*Research Institute*)
No. 0008.K/GM/2019**

**Kelompok Kerja Standardisasi
Revisi SPLN D3 002-1:2007 Transformator 3 Fasa dan Non CSP
(Transformator Distribusi)
dengan Surat Keputusan
General Manager PT PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan
Ketenagalistrikan (*Research Institute*)
No. 0296.K/GM/2019**

Diterbitkan oleh:

**PT PLN (Persero)
Jl. Trunojoyo Blok M - 1/135, Kebayoran Baru
Jakarta Selatan 12160**



PT PLN (PERSERO)

PERATURAN DIREKSI PT PLN (PERSERO)

NOMOR : 0028 .P/DIR/2020

TENTANG

SPLN D3.002-1

SPESIFIKASI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
BAGIAN 1: TRANSFORMATOR FASE TIGA

DIREKSI PT PLN (PERSERO)

- Menimbang :
- a. bahwa dalam rangka pelaksanaan pemilihan transformator distribusi fase tiga yang terarah dan seragam, maka perlu untuk menerbitkan pedoman spesifikasi transformator distribusi fase tiga yang dituangkan dalam SPLN D3.002-1 Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1: Transformator Fase Tiga;
 - b. bahwa setelah dilakukan pembahasan dan diperoleh persetujuan Direksi, *Draft* Standar Final (DSF) SPLN D3.002-1 yang disusun oleh Kelompok Standardisasi Bidang Distribusi, dipandang telah memenuhi syarat untuk disahkan menjadi SPLN D3.002-1;
 - c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud pada huruf a dan b, perlu menetapkan Peraturan Direksi PT PLN (Persero) tentang SPLN D3.002-1 Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1: Transformator Fase Tiga.
- Mengingat :
- 1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2003 tentang Badan Usaha Milik Negara;
 - 2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas;
 - 3. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan;
 - 4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1994 tentang Pengalihan Bentuk Perusahaan Umum (Perum) Listrik Negara Menjadi Perusahaan Perseroan (Persero);
 - 5. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2005 tentang Pendirian, Pengurusan, Pengawasan dan Pembubaran Badan Usaha Milik Negara;

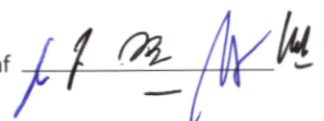
6. Peraturan ...

Paraf



6. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah RI Nomor 23 Tahun 2014;
7. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 62 Tahun 2012 tentang Usaha Jasa Penunjang Tenaga Listrik;
8. Anggaran Dasar PT PLN (Persero);
9. Keputusan Menteri Badan Usaha Milik Negara Selaku Rapat Umum Pemegang Saham Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara Nomor SK-211/MBU/10/2015 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Anggota-Anggota Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara;
10. Keputusan Menteri Badan Usaha Milik Negara Selaku Rapat Umum Pemegang Saham Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara Nomor SK-138/MBU/07/2017 tentang Pemberhentian, Perubahan Nomenklatur Jabatan, Pengalihan Tugas, dan Pengangkatan Anggota-Anggota Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara;
11. Keputusan Menteri Badan Usaha Milik Negara Selaku Rapat Umum Pemegang Saham Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara Nomor SK-109/MBU/05/2019 tentang Pemberhentian, Pengalihan Tugas dan Pengangkatan Anggota-Anggota Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara;
12. Keputusan Menteri Badan Usaha Milik Negara Selaku Rapat Umum Pemegang Saham Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara Nomor SK-325/MBU/12/2019 tentang Pemberhentian Anggota Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara;
13. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 304.K/DIR/2009 tentang Batasan Kewenangan Pengambilan Keputusan di Lingkungan PT PLN (Persero) sebagaimana telah beberapa kali diubah, terakhir dengan Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0297.P/DIR/2016;
14. Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0051.P/DIR/2018 tentang Organisasi dan Tata Kerja PT PLN (Persero) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0220.P/DIR/2019;

15. Keputusan ...

Paraf 



15. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 033.K/DIR/2005 tentang Penetapan PT PLN (Persero) Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan sebagai Penanggung Jawab Kegiatan Standardisasi di Lingkungan PT PLN (Persero).

MEMUTUSKAN:

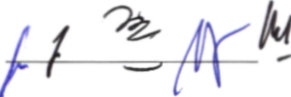
- Menetapkan : PERATURAN DIREKSI PT PLN (PERSERO) TENTANG SPLN SPLN D3.002-1 SPESIFIKASI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BAGIAN 1: TRANSFORMATOR FASE TIGA.
- PERTAMA : Mengesahkan SPLN D3.002-1 Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1: Transformator Fase Tiga, sebagaimana terdapat pada Lampiran Peraturan ini.
- KEDUA : SPLN D3.002-1 sebagaimana dimaksud dalam Diktum PERTAMA diberlakukan di lingkungan PT PLN (Persero) dan Anak Perusahaan PT PLN (Persero) berdasarkan Keputusan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) Anak Perusahaan.
- KETIGA : Pada saat Peraturan ini mulai berlaku, ketentuan-ketentuan lain yang bertentangan dengan Peraturan ini dicabut dan dinyatakan tidak berlaku.

Peraturan ini mulai berlaku terhitung sejak tanggal diterbitkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 24 Juni 2020

DIREKTUR UTAMA,

ZULKIFLI ZAINI

Paraf 

Susunan Kelompok Bidang Standardisasi Distribusi

Keputusan General Manager PT PLN(Persero) Pusat Penelitian dan
Pengembangan Ketenagalistrikan (*Research Institute*)

No. 0008.K/GM/2019

1. Ir. Rudy Setyobudi, M.T. : Sebagai Ketua merangkap Anggota
2. Sriyono, S.T., M.T. : Sebagai Sekretaris merangkap Anggota
3. Ir. I. K. Gede Agus Sutopo : Sebagai Anggota
4. Ir. M. Rusli, M.M., M.T. : Sebagai Anggota
5. Ir. Indradi Setiawan, M.M. : Sebagai Anggota
6. Ir. Nyoman S. Astawa, M.B.A. : Sebagai Anggota
7. Ir. A. Y. Harimurti Nugraha, M.Eng. : Sebagai Anggota
8. Haryo Lukito, S.T., M.T. : Sebagai Anggota
9. Firdaus Solihin, S.T. : Sebagai Anggota
10. Iman Faskayana, S.T., M.M. : Sebagai Anggota
11. Alam Awaludin, S.T., M. Eng. : Sebagai Anggota
12. Ignatius Rendroyoko, S.T., M.Sc. : Sebagai Anggota
13. Andre Heru Sumaryanto, S.T. : Sebagai Anggota
14. Rahmat Heru Basuki, S.T. : Sebagai Anggota

Susunan Kelompok Kerja Standardisasi
Spesifikasi Transformator Distribusi
Bagian 1: Transformator Fase Tiga, 20 kV - 400 V dan
Transformator Fase Tunggal, 20 kV - 231 V
dan $20/\sqrt{3}$ kV - 231 V

dengan Keputusan General Manager PT PLN (Persero)

Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan
No. 042.K/LITBANG/2006

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Ir. Nyoman Ardana | : Sebagai Ketua merangkap Anggota |
| 2. Satyagraha A. Kadir, S.T. | : Sebagai Sekretaris merangkap Anggota |
| 3. Ir. Hernadi Buhron | : Sebagai Anggota |
| 4. Ir. Achmad Riandhie | : Sebagai Anggota |
| 5. Ir. M. Tabrani Machmudsyah | : Sebagai Anggota |
| 6. Ir. Sri Budi Santoso | : Sebagai Anggota |
| 7. Ir. Didik Djarwanto, M.T. | : Sebagai Anggota |

Susunan Kelompok Kerja Standardisasi
Revisi SPLN D3 002-1:2007 Transformator 3 Fasa dan Non
CSP (Transformator Distribusi)

dengan Keputusan

General Manager PT PLN (Persero) Pusat Penelitian dan
Pengembangan Ketenagalistrikan (*Research Institute*)
No. 0296.K/GM/2019

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Haryo Lukito, S.T., M.T. | : Sebagai Ketua merangkap Anggota |
| 2. Oksa Prasetyawan Wijayadi, S.T. | : Sebagai Sekretaris merangkap Anggota |
| 3. Febi Hadi Permana, S.T. | : Sebagai Anggota |
| 4. Ahmad Jumaidi, S.T. | : Sebagai Anggota |
| 5. Muchtar Buchori, S.T. | : Sebagai Anggota |
| 6. Sriyono, S.T., M.T. | : Sebagai Anggota |
| 7. Ir. Nyoman S. Astawa, M.B.A. | : Sebagai Anggota |
| 8. Alam Awaludin, S.T., M.Eng. | : Sebagai Anggota |

Daftar Isi

Daftar Isi	i
Daftar Tabel.....	iii
Daftar Gambar	iii
Prakata	v
1. Ruang Lingkup	1
2. Tujuan	1
3. Acuan Normatif.....	1
4. Istilah dan Definisi	2
4.1 Transformator dengan metode pendinginan ONAN	2
4.2 Transformator kedap udara (<i>hermetically sealed</i>)	2
4.3 <i>Hermetically-sealed fully filled</i>	2
4.4 Terminal fase	2
4.5 Tegangan pengenalan (U_r)	2
4.6 Rasio tegangan pengenalan	2
4.7 Frekuensi pengenalan (f_r)	3
4.8 Daya pengenalan (S_r).....	3
4.9 Arus pengenalan (I_r)	3
4.10 Sadapan utama (<i>principal tapping</i>)	3
4.11 Faktor sadapan (berkaitan dengan suatu sadapan)	3
4.12 Langkah sadapan	3
4.13 Julat sadapan	3
4.14 Rugi tanpa beban (rugi besi).....	3
4.15 Arus tanpa beban	4
4.16 Rugi berbeban (rugi belitan).....	4
4.17 Rugi total	4
4.18 Tegangan impedans	4
4.19 Kenaikan suhu	4
4.20 Tegangan maksimum (U_m).....	4
4.21 Tingkat insulasi pengenalan.....	5
4.22 Hubungan bintang.....	5
4.23 Hubungan delta	5
4.24 Hubungan zigzag.....	5
4.25 Kelompok vektor	5
4.26 Pengujian jenis	5
4.27 Pengujian rutin.....	6
4.28 Pengujian serah-terima.....	6

4.29	Pengujian pengawasan	6
4.30	Transformator pasangan luar.....	6
4.31	Transformator pasangan dalam.....	6
5.	Kondisi Pelayanan	6
6.	Karakteristik	7
6.1	Daya pengenalan	7
6.2	Kelompok vektor.....	7
6.3	Tegangan pengenalan.....	7
6.4	Tegangan sadapan.....	8
6.5	Frekuensi	8
6.6	Rugi-rugi.....	8
6.7	Tegangan impedans	9
6.8	Tingkat insulasi.....	9
6.9	Kelas suhu insulasi dan kenaikan suhu	9
6.10	Tingkat bising	10
7.	Konstruksi	10
7.1	Umum.....	10
7.2	Inti besi.....	10
7.3	Belitan	11
7.4	Penyambungan belitan	12
7.5	Minyak insulasi	13
7.6	Tangki dan radiator.....	13
8.	Komponen.....	14
8.1	Bushing tegangan tinggi	14
8.2	Bushing tegangan rendah.....	15
8.3	Konektor bushing.....	15
8.4	Pipa pengisi minyak.....	17
8.5	Indikator tinggi minyak	17
8.6	Pengaman tekanan lebih	17
8.7	Pengubah sadapan (<i>tap changer</i>)	18
8.8	Kantong termometer	18
8.9	Terminal pembumian	18
8.10	Lubang penguras minyak	18
8.11	Kuping pengangkat.....	19
8.12	Penggantung (<i>hanger</i>).....	19
8.13	Penyangga Lightning Aresster.....	19
8.14	Lengkapan.....	20
9.	Penandaan.....	22
9.1	Penandaan transformator	22

9.2	Penandaan terminal.....	23
9.3	Pelat nama	24
10.	Pemeriksaan dan Pengujian	25
10.1	Pengujian jenis	25
10.2	Pengujian rutin.....	25
10.3	Pengujian serah-terima.....	26
10.4	Pengujian khusus	27
10.5	Pengujian pengawasan.....	28

Daftar Tabel

Tabel 1.	Tegangan pengenalan	7
Tabel 2.	Tegangan sadapan	8
Tabel 3.	Rugi-rugi transformator, tegangan impedans dan tingkat bising	9
Tabel 4.	Daftar komponen.....	21
Tabel 5.	Macam pengujian.....	28

Daftar Gambar

Gambar 1.	Konektor bushing 1 kV 250 A.....	16
Gambar 2.	Konektor bushing 1 kV 630 A.....	16
Gambar 3.	Konektor bushing 1 kV 1000 A dan 1 kV 2000 A.....	17
Gambar 4.	Konstruksi tangki transformator bentuk persegi-empat.....	19
Gambar 5.	Konstruksi detail penggantung transformator bentuk tangki persegi-empat.	20
Gambar 6.	Penandaan transformator.....	23
Gambar 7.	Urutan penandaan terminal transformator fase tiga.....	24

Prakata

SPLN D3.002-1: 2020 merupakan revisi dari SPLN D3.002-1:2007 Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1: Transformator Fase Tiga, 20 kV-400 V dan Transformator Fase Tunggal, 20 kV-231 V dan $20/\sqrt{3}$ kV-231 V dan SPLN 50: 1997 Spesifikasi Transformator Distribusi.

Perubahan spesifikasi ditekankan pada:

1. Penambahan ruang lingkup transformator dengan vektor YNd5;
2. Rugi-rugi transformator (rugi besi);
3. Penetapan transformator dengan vektor YNyn0 menggunakan desain *five legs*;
4. Menyederhanakan varian dan menghilangkan transformator fasa tunggal.

Dengan ditetapkannya SPLN D3.002-1: 2020, maka SPLN D3.002-1:2007 dan SPLN 50: 1997 terkait vektor YNd5 dinyatakan tidak berlaku lagi.

Spesifikasi Transformator Distribusi

Bagian 1: Transformator Fase Tiga

1. Ruang Lingkup

Standar ini menetapkan persyaratan transformator distribusi fase tiga dengan metode pendinginan ONAN yang dipergunakan di lingkungan PT PLN (Persero).

Spesifikasi transformator distribusi dengan daya pengenal ≥ 1.000 kVA dalam standar ini hanya untuk transformator tipe YNd5.

2. Tujuan

Sebagai pedoman perencanaan, pengadaan, pemesanan, dan pengoperasian transformator distribusi bagi unit-unit PT PLN (Persero), serta ketentuan desain pembuatan dan pengujian bagi pabrikan, laboratorium uji, dan institusi sertifikasi produk.

Dalam penggunaan yang bersifat khusus, dapat ditetapkan spesifikasi secara khusus berdasarkan kebutuhan dan pengalaman.

3. Acuan Normatif

Kecuali ditetapkan secara khusus pada standar ini, maka ketentuan lainnya dapat mengikuti standar berikut ini. Dalam hal terjadi revisi pada standar tersebut maka ketentuan dapat mengikuti edisi terakhirnya.

- a. *IEC 60076-1: 2011, Power transformers – Part 1: General;*
- b. *IEC 60076-2: 2011, Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers;*
- c. *IEC 60076-3: 2013, Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air;*
- d. *IEC 60076-4: 2002, Power transformers – Part 4: Guide to lightning impulse and switching impulse testing of power transformers and reactor;*
- e. *IEC 60076-5: 2006, Power transformers – Part 5: Ability to withstand short-circuit;*
- f. *IEC 60076-7: 2018, Power transformers – Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers;*
- g. *IEC 60076-10: 2016, Power transformers – Part 10: Determination of sound levels;*

- h. IEC TS 60076-20: 2017, *Power transformers – Part 20: Energy efficiency*;
- i. IEC 60296: 2012, *Fluid for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*;
- j. IEC 60137: 2017, *Insulated bushings for alternating voltages above 1000 V*.

4. Istilah dan Definisi

4.1 Transformator dengan metode pendinginan ONAN

Transformator dengan media pendinginan belitan berupa minyak dengan mekanisme sirkulasi alami dan media pendinginan eksternal berupa udara dengan mekanisme sirkulasi alami.

4.2 Transformator kedap udara (*hermetically sealed*)

Transformator yang tertutup sedemikian rupa sehingga tidak ada pertukaran antara isinya dengan atmosfer luar. Transformator kedap udara dinyatakan sebagai *hermetically-sealed*.

4.3 *Hermetically-sealed fully filled*

Transformator kedap udara dengan minyak mengisi penuh seluruh ruang di dalam tangki.

4.4 Terminal fase

Terminal yang dimaksud untuk hubungan ke penghantar fase sistem.

4.5 Tegangan pengenalan (U_r)

Tegangan yang akan diterapkan, atau yang diperoleh dalam keadaan tanpa beban, antara terminal fase belitan sadapan utama transformator fase tiga atau antara terminal belitan sadapan utama transformator fase tunggal.

4.6 Rasio tegangan pengenalan

Rasio dari tegangan pengenalan sebuah belitan terhadap tegangan pengenalan belitan lainnya.

4.7 Frekuensi pengenalan (f_r)

Frekuensi dimana transformator didesain untuk beroperasi.

4.8 Daya pengenalan (S_r)

Nilai konvensional daya semu (dalam kVA atau MVA), yang dijadikan dasar untuk desain, jaminan pabrik, pengujian dan yang menentukan nilai arus pengenalan pada tegangan pengenalan, di dalam kondisi yang ditentukan oleh standar ini.

4.9 Arus pengenalan (I_r)

Arus yang mengalir melalui terminal fase belitan, diperoleh dari daya pengenalan belitan dibagi dengan tegangan pengenalan dan faktor fase. Faktor fase transformator fase tiga adalah $\sqrt{3}$ dan transformator fase tunggal adalah 1.

4.10 Sadapan utama (*principal tapping*)

Sadapan yang menentukan besaran-besaran pengenalnya.

4.11 Faktor sadapan (berkaitan dengan suatu sadapan)

Rasio pada kondisi tanpa beban antara tegangan terminal suatu belitan sadapan dengan tegangan belitan sadapan utama.

4.12 Langkah sadapan

Perbedaan antara faktor sadapan, dalam persen, dari dua sadapan yang berurutan.

4.13 Julat sadapan

Variasi julat dari faktor sadapan dalam persen dibandingkan dengan nilai 100.

4.14 Rugi tanpa beban (rugi besi)

Daya aktif yang diserap ketika tegangan pengenalan pada frekuensi pengenalan diberikan pada terminal salah satu belitan, sedangkan belitan lainnya terbuka.

4.15 Arus tanpa beban

Nilai arus (rms) yang mengalir pada terminal fase belitan ketika tegangan pengenal pada frekuensi pengenal diberikan pada belitan tersebut, sedangkan belitan lainnya terbuka.

CATATAN:

Arus tanpa beban pada transformator fase tiga adalah nilai rata-rata dari ketiga arus fase dan dinyatakan dalam persen terhadap arus pengenal.

4.16 Rugi berbeban (rugi belitan)

Daya aktif yang diserap pada frekuensi pengenal dan suhu acuan ketika arus pengenal mengalir melalui terminal fase salah satu belitan, sedangkan terminal belitan lainnya dihubungkan-singkat.

CATATAN:

Nilai rugi berbeban ditetapkan pada suhu acuan 75°C.

4.17 Rugi total

Jumlah dari rugi tanpa beban dan rugi berbeban.

4.18 Tegangan impedans

Tegangan pada frekuensi pengenal yang diperlukan untuk diberikan ke terminal belitan, yang menyebabkan mengalirnya arus pengenal saat terminal sisi lainnya dihubungkan-singkat.

CATATAN:

Tegangan impedans dinyatakan dalam persen dari tegangan pengenal belitan yang diberikan tegangan dan nilainya ditetapkan pada suhu acuan 75°C.

4.19 Kenaikan suhu

Selisih antara suhu pada bagian yang diamati dengan suhu udara ambien.

4.20 Tegangan maksimum (Um)

Tegangan efektif tertinggi fase-fase pada sistem fase tiga dimana belitan transformator dirancang sesuai dengan insulasinya.

4.21 Tingkat insulasi pengenalan

Nilai ketahanan tegangan standar yang mengkarakterisasi ketahanan dielektrik dari insulasi.

CATATAN:

Tingkat insulasi dinyatakan dengan: LI/AC

LI : tegangan ketahanan impuls petir dari terminal fase dan netral setiap belitan

AC : tegangan ketahanan frekuensi-daya dari terminal fase dan netral setiap belitan

4.22 Hubungan bintang

Hubungan belitan yang disusun sedemikian rupa sehingga salah satu ujung dari setiap belitan transformator fase tiga, atau salah satu ujung setiap belitan transformator fase tunggal yang bertegangan pengenalan sama dalam gugus fase tiga, dihubungkan ke titik bersama (titik netral) dan ujung lainnya adalah terminal fase.

4.23 Hubungan delta

Hubungan belitan yang disusun sedemikian rupa sehingga belitan-belitan fase transformator fase tiga, atau belitan dari tiga unit transformator fase tunggal yang bertegangan pengenalan sama dalam gugus fase tiga, dihubungkan seri membentuk sirkuit tertutup.

4.24 Hubungan zigzag

Hubungan belitan yang disusun sedemikian rupa sehingga salah satu ujung dari setiap belitan fase transformator fase tiga, dihubungkan ke titik bersama (titik netral) dan tiap belitan fase terdiri dari dua bagian yang tegangan induksinya berbeda fase. Kedua bagian ini mempunyai jumlah lilitan yang sama.

4.25 Kelompok vektor

Notasi konvensi yang menunjukkan hubungan belitan tegangan-tinggi dan tegangan rendah serta pergeseran fase relatif yang digambarkan sebagai jam-lonceng.

4.26 Pengujian jenis

Pengujian secara lengkap terhadap sampel yang mewakili suatu jenis desain transformator yang disiapkan oleh pabrikan untuk membuktikan apakah jenis tersebut memenuhi karakteristik yang ditetapkan dalam standar ini. Pengujian jenis dilakukan sebelum

diadakan produksi masal untuk menjaga kemungkinan adanya kesalahan prinsip sehingga kerugian yang besar dapat dihindarkan.

4.27 Pengujian rutin

Pengujian yang dilakukan oleh pabrikan terhadap seluruh transformator yang diproduksi untuk memisahkan yang cacat atau yang menyimpang dari persyaratan standar.

4.28 Pengujian serah-terima

Pengujian yang dilakukan terhadap sampel yang mewakili sejumlah transformator yang akan diserahkan-terimakan.

4.29 Pengujian pengawasan

Pengujian yang dilakukan terhadap sejumlah sampel transformator maupun komponennya yang diambil oleh PLN untuk melihat kesesuaian mutunya.

4.30 Transformator pasangan luar

Transformator yang didesain untuk dipasang pada gardu tiang (*pole mounted*).

4.31 Transformator pasangan dalam

Transformator yang didesain untuk dipasang di dalam ruangan/selungkup.

5. Kondisi Pelayanan

Kondisi pelayanan transformator adalah kondisi pelayanan normal:

a. Ketinggian.

Ketinggian tidak lebih dari 1000 meter di atas permukaan laut.

b. Suhu udara ambien.

Suhu udara ambien tidak melebihi 40 °C

Suhu udara acuan untuk desain transformator:

- Suhu rata-rata harian 30 °C
- Suhu rata-rata tahunan 30 °C

c. Bentuk gelombang tegangan suplai.

Bentuk gelombang tegangan suplai mendekati sinusoidal dengan nilai total harmonik tidak lebih dari 5%.

d. Simetris dari tegangan pelayanan.

Untuk transformator fase tiga, tegangan suplai mendekati simetris.

e. *Load current harmonic content*

Total harmonic content dari arus beban tidak melebihi 5% arus pengenal

f. Lingkungan pemasangan

- Tingkat polusi sedang (*moderate*) sesuai IEC TS 60815.
- Tidak terekspos gangguan seismik.

6. Karakteristik

6.1 Daya pengenal

Daya pengenal transformator tercantum pada Tabel 3 kolom 1.

6.2 Kelompok vektor

Kelompok vektor untuk penggunaan pada:

- a. JTM dengan sistem pembumian dengan resistans:
 - daya pengenal ≤ 160 kVA: Yzn5.
 - daya pengenal > 160 kVA: Dyn5
- b. JTM dengan sistem pembumian langsung: YNyn0
- c. Transformator penaik tegangan pada Pusat listrik: YNd5

6.3 Tegangan pengenal

Tegangan pengenal sesuai pada Tabel 1.

Tabel 1. Tegangan pengenal

Kelompok vektor	Tegangan primer	Tegangan sekunder
Yzn5, Dyn5 dan YNyn0	20 kV	400 V
YNd5	400 V	20 kV

CATATAN:

Notasi huruf besar menunjukkan sisi tegangan tinggi

6.4 Tegangan sadapan

Penyadapan pada belitan tegangan tinggi dengan langkah sadapan 2,5% menggunakan jumlah sadapan 7 (tujuh) langkah, julat sadapan + 2x2,5%, - 4x2,5%. Sadapan No. 3 merupakan sadapan utama.

Nilai-nilai tegangan sadapan tercantum pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Tegangan sadapan

No. Sadapan	Tegangan
1	21 kV
2	20,5 kV
3	20 kV
4	19,5 kV
5	19 kV
6	18,5 kV
7	18 kV

6.5 Frekuensi

Frekuensi pengenal adalah 50 Hz.

6.6 Rugi-rugi

Rugi tanpa beban tercantum pada Tabel 3 kolom 2, sedangkan rugi berbeban pada 75° C tercantum pada Tabel 3 kolom 3. Nilai rugi-rugi tersebut merupakan nilai maksimum.

Tabel 3. Rugi-rugi transformator, tegangan impedans dan tingkat bising

Daya	Rugi tanpa beban	Rugi berbeban	Tegangan impedans	Tingkat bising
kVA	W	W	%	dB
1	2	3	4	5
50	90	800	4	50
100	145	1420	4	51
160	210	2000	4	55
250	300	2750	4	55
400	430	3850	4	56
630	600	5400	4	56
1000 ^{*)}	1100	8550	5	58
1250 ^{*)}	1400	10600	5.5	59
1600 ^{*)}	1680	13550	6	60

CATATAN:

*) hanya untuk tipe YNd5

6.7 Tegangan impedans

Nilai tegangan impedans pada sadapan utama dan suhu acuan 75°C tercantum pada Tabel 3 kolom 4. Toleransi dari tegangan impedans adalah $\pm 10\%$.

6.8 Tingkat insulasi

Tingkat insulasi transformator:

- Belitan tegangan tinggi : LI/AC 125/50 kV
- Belitan tegangan rendah : LI/AC -/3 kV

Tegangan ketahanan impuls petir:

- Terminal fase dan netral pada belitan tegangan tinggi : 125 kV

Tegangan ketahanan frekuensi daya:

- Terminal fase dan netral pada belitan tegangan tinggi : 50 kV
- Terminal fase dan netral pada belitan tegangan rendah : 3 kV

6.9 Kelas suhu insulasi dan kenaikan suhu

Kelas suhu insulasi transformator adalah kelas A (105°C).

Batas maksimum kenaikan suhu:

- Suhu minyak atas : 50 K
- Suhu belitan rata-rata : 55 K

6.10 Tingkat bising

Tingkat bising maksimum pada kondisi tanpa beban, tercantum pada Tabel 3 kolom 5.

7. Konstruksi

7.1 Umum

7.1.1 Transformator harus dirancang dan dibuat dari komponen dan bahan baku yang baru dan sesuai dengan persyaratan desain untuk transformator pada kondisi pelayanan sebagaimana ditetapkan pada pasal 5. Komponen dan bahan baku serta penyelesaiannya harus disesuaikan dengan kondisi geografi dan iklim Indonesia, khususnya mempunyai sifat tahan karat.

7.1.2 Desain konstruksi transformator adalah:

- Pasangan luar: daya pengenalan ≤ 400 kVA
- Pasangan dalam: daya pengenalan ≥ 160 kVA

7.1.3 Berat total transformator dengan daya pengenalan ≤ 100 kVA tidak melebihi 700 kg.

7.1.4 Lebar total transformator pasangan dalam dengan daya pengenalan 400 s/d 630 kVA tidak melebihi 1200 mm.

7.1.5 Pabrikan harus mendokumentasi gambar teknik beserta ukuran-ukurannya, meliputi:

- Bentuk dan susunan belitan termasuk jenis dan ukuran konduktor belitan.
- Torsi (Nm) dari baut klem vertikal dan horizontal inti besi.
- Dimensi tangki
- Dimensi dan jumlah sirip pendingin

7.2 Inti besi

7.2.1 Inti besi dibentuk dari laminasi baja silikon (*cold-rolled grain oriented*) atau baja amorphous (*amorphous steel*).

7.2.2 Konstruksi inti besi dapat dibentuk dengan dua cara:

- Susunan (*stacking*)
- Gulungan (*wound type*)

Khusus kelompok vektor YNyn0 konstruksi inti besi harus lima kaki (*five legs*).

7.2.3 Klem penjepit inti besi (bila terbuat dari logam) harus bebas dari runcing-runcing yang diakibatkan proses pembuatannya.

7.2.4 Baut klem vertikal dan horizontal inti besi harus dikencangkan dengan dua buah mur. Bagian ujung ulir dari baut klem-klem tersebut harus dimatikan (dipahat atau dilas) setelah kekencangan mur tercapai.

7.2.5 Pabrikan harus mendokumentasi nilai torsi kekencangan dari setiap baut klem inti besi dan mencantumkannya dalam gambar konstruksi.

7.2.6 Inti besi harus dilengkapi *grounding core* untuk menghubungkannya ke struktur logam besi terdekat. Bahan *grounding core* harus tembaga.

7.3 Belitan

7.3.1 Bahan konduktor belitan adalah tembaga (Cu) atau aluminium (Al).

7.3.2 Konduktor belitan tegangan rendah dapat berbentuk segi empat (rectangular) atau lembaran (*sheet/foil*). Bahan insulasi dari konduktor belitan harus sesuai dengan suhu kerja transformator dan tahan terhadap minyak.

7.3.3 Belitan tidak boleh diimpregnasi dengan varnis.

7.3.4 *Lead wire* untuk belitan yang mempunyai konduktor berbentuk lembaran harus menggunakan jenis bahan yang sama dengan belitan tersebut. Penyambungan antara *lead wire* dengan lembaran belitan ini harus dengan pengelasan.

7.3.5 Untuk belitan yang menggunakan konduktor aluminium, busbar netral pada belitan hubungan bintang dan penghubung antara busbar tersebut dengan konektor bushing sekunder (7.4.2) dapat menggunakan busbar atau konduktor tembaga.

7.3.6 Bahan yang dapat digunakan untuk pasak belitan:

- *Laminated wood, press board*, atau material yang diproduksi masal sebagai komponen transformator.
- Kayu alam yang dikeringkan. Dalam hal ini, pabrikan harus menyatakan jenis kayu yang digunakan dan mempunyai metode untuk memastikan bahwa kadar

air pada kayu cukup rendah, sehingga tidak menyebabkan pemburukan minyak saat transformator beroperasi.

- 7.3.7** Bila *lead wire* belitan menggunakan pemegang/penahan, bahan yang digunakan harus mempunyai kekuatan mekanis yang terukur. Kayu alam yang dikeringkan dapat digunakan hanya jika diperkuat dengan logam non magnetik.

7.4 Penyambungan belitan

7.4.1 Penyambungan belitan tegangan tinggi dengan pengubah sadapan.

Penyambungan belitan tegangan tinggi dengan pengubah sadapan dapat menggunakan salah satu cara berikut:

- a. Pengelasan, *lead wire* pengubah sadapan dilas dengan *lead wire* belitan sadapan.
- b. Pengepresan langsung ke terminal pengubah sadapan dengan alat *press* yang direkomendasi oleh pabrikan pengubah sadapan.
- c. Pengepresan menggunakan konektor-lurus dan dapat digunakan hanya jika celah di dalam konektor diisi dengan timah solder.

7.4.2 Penyambungan belitan tegangan rendah dengan *bushing*

- 7.4.2.1** Hubungan antara *lead wire* belitan sekunder dengan *bushing* harus menggunakan konektor siku atau konektor fleksibel. Penggunaan sepatu kabel (*cable lug*) sebagai konektor tidak diperbolehkan.

- 7.4.2.2** Konektor dari bahan aluminium hanya dapat digunakan pada belitan aluminium dan berukuran minimal satu tingkat lebih besar dari ukuran konduktor belitan.

7.4.2.3 Penyambungan *lead wire* belitan dengan konektor:

- Untuk bahan sejenis (Al – Al atau Cu – Cu) harus secara pengelasan;
- Untuk bahan berlainan jenis (Al – Cu) dengan mur-baut;
- Untuk konektor fleksibel dapat menggunakan pengelasan atau mur-baut.

7.4.3 Penyambungan pada busbar netral

Penyambungan antara *lead wire* belitan tegangan rendah pada busbar netral:

- Untuk busbar sejenis (Al – Al atau Cu – Cu) harus secara pengelasan atau;
- Untuk busbar berlainan jenis (Al - Cu) dengan mur-baut.

7.5 Minyak insulasi

- 7.5.1 Minyak sebagai media pendingin dan insulasi adalah minyak mineral dan bebas PCB.
- 7.5.2 Minyak mineral yang digunakan dapat dari jenis naphtanic atau parafinic
- 7.5.3 Minyak harus memenuhi persyaratan IEC 60296 dengan tegangan tembus ≥ 50 kV/2,5 mm. Pabrikan harus menyediakan sertifikat hasil uji dari laboratorium independen untuk merek minyak yang digunakan.
- 7.5.4 Pengisian minyak harus diproses secara vakum.
- 7.5.5 Minyak yang digunakan dalam satu tangki transformator harus dari jenis yang sama.

7.6 Tangki dan radiator

- 7.6.1 Bagian luar tangki dan radiator harus dicat dengan cat sesuai kategori C3.03 ISO 12944 dengan klasifikasi *high durability*. Untuk transformator yang dipasang di lokasi dekat pantai dapat menggunakan cat dengan kategori *marine coated*.
- 7.6.2 Lapisan cat dasar dan cat luar harus menggunakan warna yang berbeda.
- 7.6.3 Penghilangan karat, lemak, minyak, maupun percikan las pada proses pengecatan diutamakan dengan sistem *sand blasting*.
- 7.6.4 Untuk transformator daya pengenalan ≥ 200 kVA, penutup tangki pada lokasi terpasangnya bushing tegangan rendah harus menggunakan pelat *stainless steel*.
- 7.6.5 Permukaan tutup tangki di sekeliling tempat pemasangan bushing tegangan tinggi, bushing tegangan rendah dan pengubah sadapan harus dibuat lebih tinggi (*di-emboss*).
- 7.6.6 Tebal pelat penutup tangki transformator minimum 4 mm.
- 7.6.7 Penutupan antara tangki dengan penutup (*tank cover*) dapat dilakukan dengan pengelasan atau mur-baut.
- 7.6.8 Untuk penutupan secara las, sisi dalam dari bibir tangki (*tank flange*, bagian tangki yang berfungsi sebagai landasan bagi penutup) harus dipasangkan bahan pelapis yang sesuai untuk menghindari masuknya partikel/percikan ke dalam tangki saat pengelasan.

7.6.9 Untuk penutupan dengan mur-baut harus memenuhi :

- a. Bagian mur-baut pada penutup tangki harus di varnish pada proses akhir untuk mereduksi potensi karat.
- b. Setiap mur baut harus menggunakan 2 ring pelat dan 1 ring per.
- c. Bibir tangki sebelah luar harus dipasangkan pembatas tekanan gasket (*gasket compression stopper*) yang terbuat dari baja galvanis bulat dengan diameter yang sesuai dan dilas pada bibir tangki.
- d. Gasket harus yang tahan minyak dan sesuai dengan suhu kerja transformator.
- e. Jumlah sambungan pada gasket hanya diperbolehkan satu buah.
- f. Ketebalan gasket minimum 2 kali ketebalan pembatas tekanan gasket.
- g. Jumlah gasket dan pembatas tekanan gasket yang digunakan pada satu tangki disesuaikan dengan ukuran tangki transformator.

7.6.10 Ukuran konduktor penghubung tangki dan penutup minimum 30 mm². Apabila penyambungan antara tangki dan penutup menggunakan konduktor pilin harus menggunakan sepatu kabel.

7.6.11 Tangki, radiator dan sistem *sea*/ harus mampu menahan tekanan 50 kPA (0,5 bar) selama 24 jam, tanpa mengalami kebocoran.

7.6.12 Sistem preservasi minyak:

Sistem kedap udara yang diterapkan adalah *hermetically sealed - fully filled* dimana minyak mengisi seluruh ruang kosong di dalam tangki.

Pelat baja untuk sirip pendingin transformator harus cukup fleksibel, namun mampu menahan fluktuasi tekanan dari beban operasi. Tekanan di dalam tangki akibat beban operasi dan beban lebih yang diizinkan harus tidak menyebabkan bekerjanya pengaman tekanan lebih (pasal 8.6).

8. Komponen

Transformator dilengkapi dengan alat-alat pelengkap yang baru dan sesuai untuk penggunaan seperti ditetapkan pada pasal 5. Daftar jenis perlengkapan transformator tercantum pada Tabel 4.

8.1 Bushing tegangan tinggi

8.1.1 Jenis bushing adalah porselin untuk transformator pasangan luar atau *plug-in* untuk transformator pasangan dalam.

8.1.2 Tegangan maksimum bushing (Um) adalah 24 kV dengan arus pengenal yang sesuai dengan arus pengenal transformator.

- 8.1.3** Bushing porselin adalah untuk tingkat polusi sedang dengan jarak rambat nominal 480 mm.
- 8.1.4** Bushing jenis porselin harus memenuhi IEC 60137 atau setara. Pabrikan harus menyediakan sertifikat uji dari laboratorium independen untuk setiap merek bushing yang digunakan.
- 8.1.5** Pemasangan bushing porselin pada penutup tangki harus menggunakan *fixing ring* yang sesuai dengan tipe bushing, menggunakan gasket bahan *cork rubber* pada bagian dasar.
- 8.1.6** Penempatan bushing primer mengikuti ketentuan pasal 9.2 dengan jarak udara minimum 220 mm.
- 8.1.7** Untuk transformator kelompok vektor YNyn0, bushing netral menggunakan kelas insulasi tegangan yang sama dengan bushing fase.

8.2 Bushing tegangan rendah

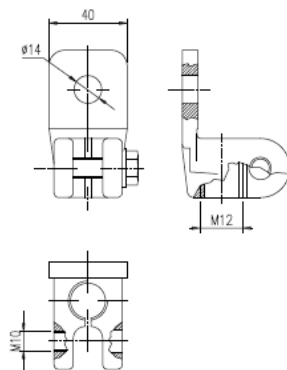
- 8.2.1** Bushing tegangan rendah adalah jenis porselin dengan tegangan pengenalan 1 kV dengan arus pengenalan yang sesuai dengan arus pengenalan transformator, minimum 250A. Ukuran dari ulir konduktor bushing adalah minimum M12.
- 8.2.2** Untuk jenis bushing yang bagian bawahnya datar menggunakan gasket bahan *cork rubber*. Sedangkan untuk jenis bushing yang bagian bawahnya cekung menggunakan *neoprene* dengan konstruksi yang dapat memberikan perlindungan dari sinar *ultraviolet*.
- 8.2.3** Pabrikan harus menyediakan sertifikat uji dari laboratorium independen untuk setiap merek bushing yang digunakan.

8.3 Konektor bushing

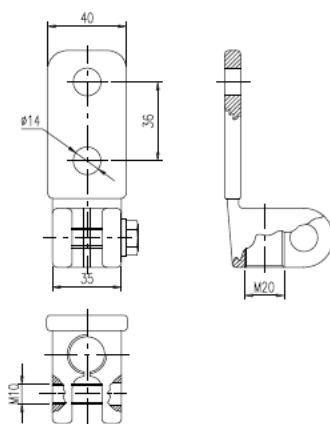
- 8.3.1** Bushing tegangan tinggi untuk semua daya pengenalan harus dilengkapi dengan konektor bantu. Konektor bantu dapat berupa L-connector yang terbuat dari tembaga dilapis timah atau flag-konektor yang terbuat dari tembaga.
- 8.3.2** Bushing tegangan rendah untuk transformator dengan daya pengenalan ≥ 200 kVA menggunakan konektor jenis flag-konektor dengan jumlah lubang baut:
- Kapasitas ≤ 400 kVA: 2 (dua) buah sesuai pada Gambar 2;
 - Kapasitas > 400 kVA: 4 (empat) buah sesuai pada Gambar 3.

Sedangkan bushing tegangan rendah untuk kapasitas hingga 160 kVA menggunakan L-konektor seperti pada Gambar 1.

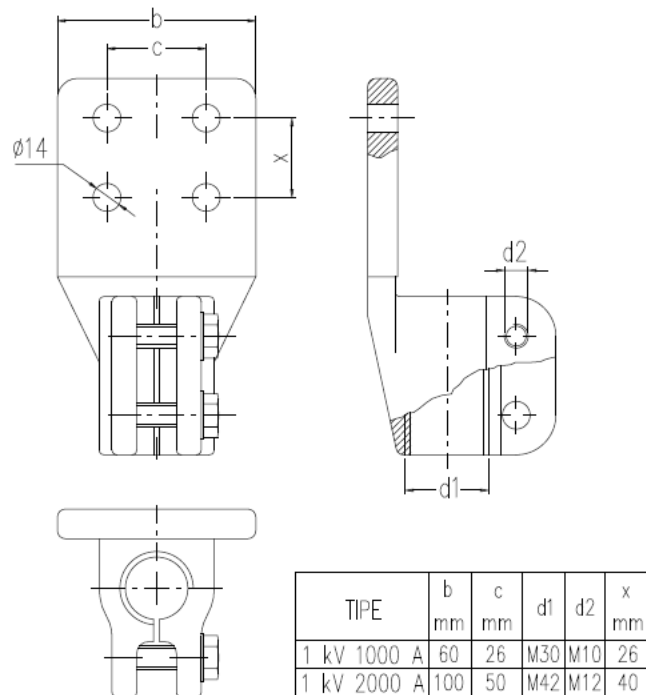
8.3.3 Konektor terminal bushing harus dilengkapi dengan mur-baut.



Gambar 1. Konektor bushing 1 kV 250 A



Gambar 2. Konektor bushing 1 kV 630 A



Gambar 3. Konektor bushing 1 kV 1000 A dan 1 kV 2000 A

8.4 Pipa pengisi minyak

8.4.1 Pipa pengisi minyak dipasang pada penutup tangki.

8.4.2 Tinggi pipa adalah sama dengan ketinggian minyak pada bushing tegangan tinggi porselin. Posisi penempatan adalah sedemikian, sehingga jarak udara seperti pada 8.1.6 dapat terpenuhi.

8.5 Indikator tinggi minyak

8.5.1 Indikator tinggi minyak ditempatkan pada pipa pengisi minyak.

8.5.2 Jenis indikator adalah *visual oil level eye indicator*. Pelapis/gasket yang digunakan pada lengkapan ini harus sesuai dengan suhu kerja transformator, tahan minyak dan tahan sinar UV.

8.6 Pengaman tekanan lebih

8.6.1 Pengaman tekanan lebih (*pressure relief device*) dipasang pada ujung atas pipa pengisi minyak.

- 8.6.2** Tekanan pengenalan dan diameter pengaman tekanan lebih harus disesuaikan dengan tekanan operasi di dalam tangki, sehingga tidak bekerja saat transformator dibebani beban pengenalan dan beban lebih yang diizinkan, tetapi dapat bekerja mengamankan tekanan pada saat terjadi gangguan di dalam transformator.


8.7 Pengubah sadapan (*tap changer*)

- 8.7.1** Jenis yang digunakan adalah pengubah sadapan tanpa beban. Perubahan posisi sadapan dilakukan dengan mengubah komutator pada keadaan tanpa tegangan.
- 8.7.2** Pengubah sadapan dilengkapi dengan penandaan dengan tulisan "perubahan posisi sadapan tanpa tegangan"

8.8 Kantong termometer

- 8.8.1** Transformator pasangan dalam harus dilengkapi dengan kantong (*pocket*) termometer, tetapi termometer itu sendiri bukan merupakan perlengkapan yang diwajibkan. Kantong termometer dibuat dari bahan non magnetik.
- 8.8.2** Kantong termometer harus terisi minyak dan ditutup sedemikian rupa, sehingga tidak bocor saat transportasi.

8.9 Terminal pembumian

- 8.9.1** Tangki transformator dilengkapi dengan terminal pembumian yang dibuat dari kuningan, satu buah pada penutup tangki dan satu buah pada bagian bawah tangki.
- 8.9.2** Ukuran terminal pembumian adalah M12 dan harus dilengkapi dengan penandaan 

8.10 Lubang penguras minyak

- 8.10.1** Lubang penguras minyak dilengkapi dengan penandaan "Tidak boleh dibuka dan uji minyak tidak diperlukan"
- 8.10.2** Katup (*valve*) pada pipa dari lubang penguras minyak bukan merupakan perlengkapan yang diwajibkan, namun pabrikan dapat menggunakannya untuk memudahkan proses pengisian minyak.

8.11 Kuping pengangkat

Transformator harus dilengkapi kuping pengangkat (*lifting lug*) yang dipasang dengan sistem las dan ditempatkan sedemikian rupa, sehingga mampu mengangkat berat transformator tanpa kerusakan.

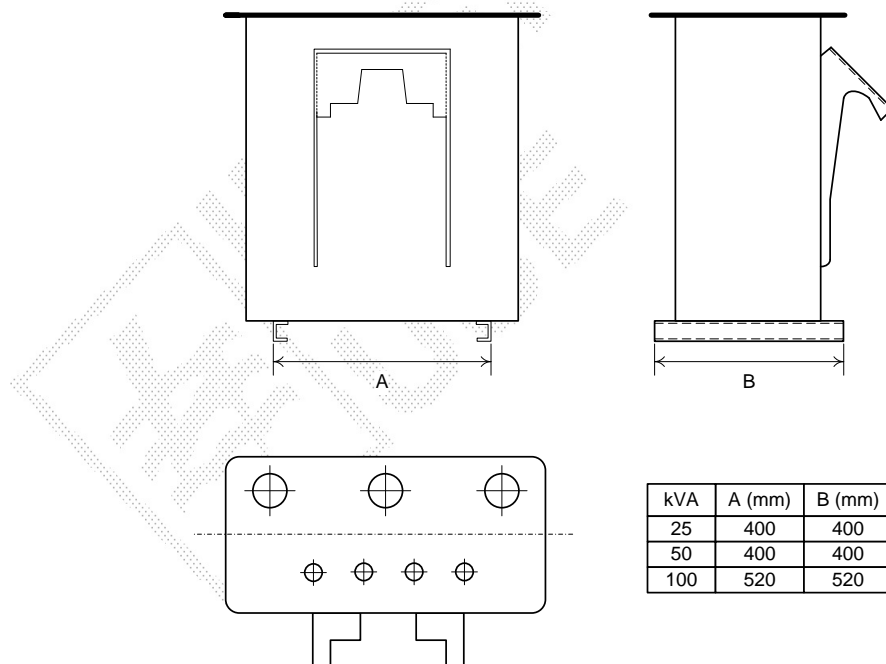
8.12 Penggantung (*hanger*)

8.12.1 Penggantung digunakan untuk transformator kapasitas ≤ 100 kVA

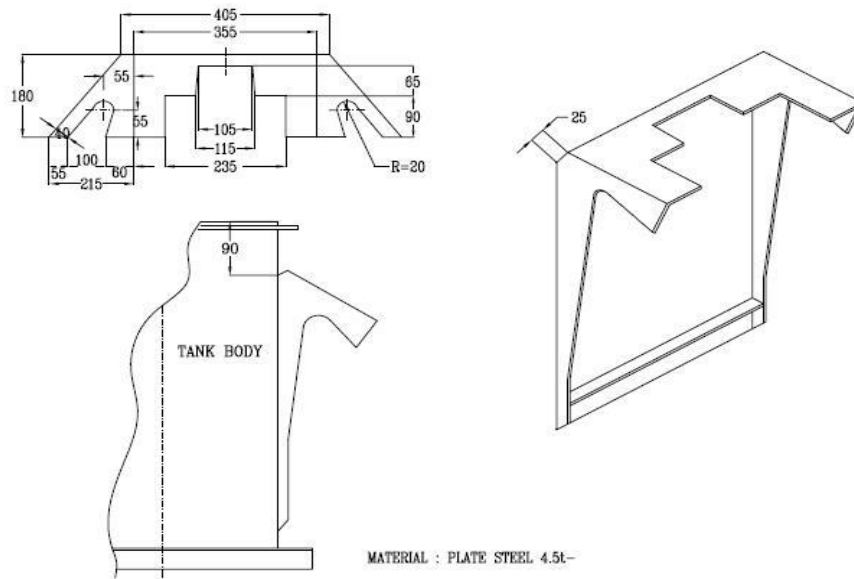
8.12.2 Bentuk dan dimensi penggantung ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

8.13 Penyangga *lightning* Arrester

8.13.1 Penyangga *lightning arrester* digunakan untuk tempat dudukan *lightning arrester*.



Gambar 4. Konstruksi tangki transformator bentuk persegi-empat



Gambar 5. Konstruksi detail penggantung transformator bentuk tangki persegi-empat

8.14 Lengkapan

8.14.1 Transformator pasangan dalam harus dilengkapi dengan roda. Diameter roda disesuaikan dengan ukuran transformator.

8.14.2 Pelindung terminal dan konektor bushing

Terminal bushing tegangan tinggi dan tegangan rendah dapat dilengkapi insulasi pelindung berupa *silicon rubber* atau material lain dengan metode pemasangan *heat/cold shrink* yang sesuai untuk pasangan luar.

8.14.3 Transformator dapat dilengkapi dengan termometer. Selain indikator suhu aktual, termometer harus dilengkapi dengan indikator suhu maksimum.

8.14.4 Daftar komponen pada transformator distribusi ditunjukkan pada Tabel 4

Tabel 4. Daftar komponen

Jenis Komponen	$\leq 100 \text{ kVA}$	$160 \text{ kVA} \leq S_r \leq 1000 \text{ kVA}$	$> 1000 \text{ kVA}$
Bushing tegangan tinggi	☑	☑	☑
Bushing tegangan rendah	☑	☑	☑
Pipa pengisi minyak	☑	☑	☑
Indikator tinggi minyak	☑	☑	☑
Pengaman tekanan lebih	☑	☑	☑
Pengubah sadapan	☑	☑	☑
Kantong thermometer	☒	☑ *)	☑
Terminal pembumian	☑	☑	☑
Lubang penguras minyak	☑	☑	☑
Kuping pengangkat	☑	☑	☑
Penggantung	☑	☒	☒
Roda	☒	☑ *)	☑
Pelindung terminal bushing**)	☑	☑	☑

CATATAN:

*) hanya untuk transformator pasangan dalam, lihat sub-pasal 8.8 dan 8.13.

**) sesuai kebutuhan di lapangan

9. Penandaan

Penandaan pada transformator distribusi ini terdiri dari penandaan transformator, penandaan terminal, dan pelat nama.

9.1 Penandaan transformator

9.1.1 Transformator pasangan luar harus dilengkapi penandaan pada tangki yang mengikuti ketentuan sebagai berikut:

Tahun pembuatan (empat digit)	-	Nomenklatur
----------------------------------	---	-------------

9.1.2 Nomenklatur pada transformator mengikuti ketentuan sebagai berikut:

XXX	-	YY	-	ZzZz
-----	---	----	---	------

Keterangan:

XXX : Daya pengenalan (kVA)

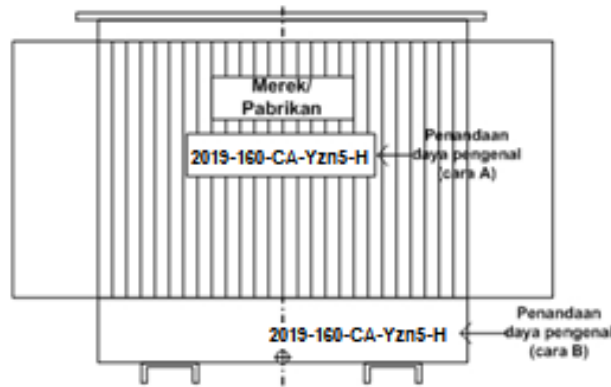
YY : Notasi Y pertama menunjukkan bahan material dari belitan primer dan Notasi Y kedua menunjukkan bahan material dari belitan sekunder. C untuk tembaga dan A untuk Aluminium.

ZzZz : Kelompok vektor

Contoh penulisan:

160-CA-Yzn5, menandakan transformator 3 fasa dengan kapasitas 160 kVA berbahan belitan primer tembaga dan belitan sekunder aluminium, dengan kelompok vektor Yzn5.

9.1.3 Penandaan ditulis dengan cat warna hitam dengan tinggi huruf 100 mm.



Gambar 6. Penandaan transformator

9.1.4 Untuk transformator yang tidak dilengkapi sirip pendingin, penandaan dapat dituliskan langsung pada bagian tengah badan tangki.

9.1.5 Lokasi penandaan untuk transformator ≤ 100 kVA adalah pada sisi yang tidak dipasang penggantung (*hanger*), sedangkan untuk transformator lainnya pada bidang tangki yang berdekatan dengan sisi tegangan tinggi.

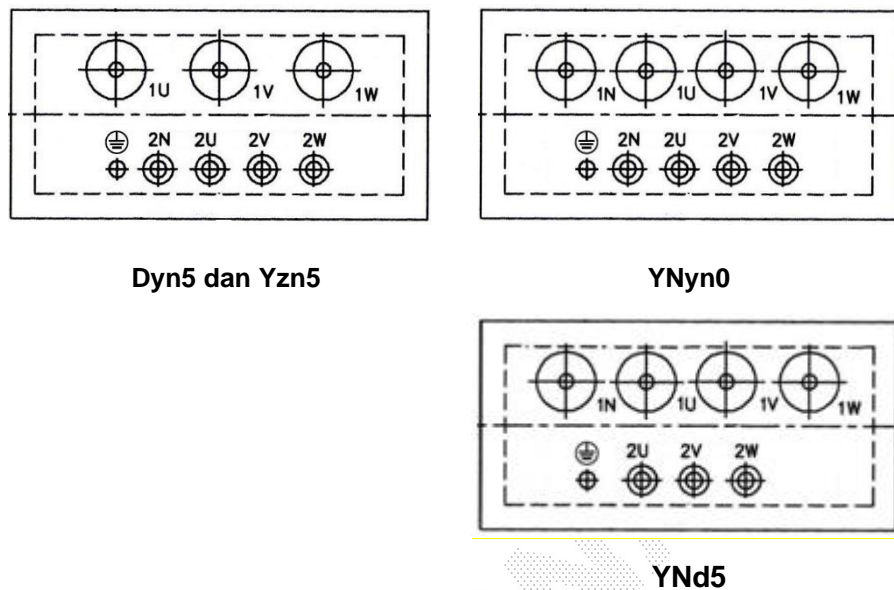
9.2 Penandaan terminal

Urutan penandaan terminal transformator YNd5 dari kiri ke kanan dilihat dari sisi terminal tegangan rendah adalah:

- Terminal tegangan tinggi : (1N) - 1U - 1V - 1W
- Terminal tegangan rendah : 2U - 2V - 2W

Urutan penandaan terminal transformator Dyn5, Yzn5 dan YNyn0 dari kiri ke kanan dilihat dari sisi tegangan rendah adalah:

- Terminal tegangan tinggi : (1N) - 1U - 1V - 1W
- Terminal tegangan rendah : (2N) - 2U - 2V - 2W



Gambar 7. Urutan penandaan terminal transformator fase tiga

9.3 Pelat nama

Transformator harus dilengkapi pelat nama yang kuat, tahan karat, dan mudah dikenali. Tulisan pada pelat ini harus jelas dan tidak mudah hilang/luntur, data pada pelat nama sekurang-kurangnya adalah sebagai berikut:

Informasi	Keterangan informasi
Jenis transformator	Transformator distribusi
Tipe transformator	sesuai nomenklatur
Nomor spesifikasi/standar	SPLN D3.002-1: 2020
Nomor seri (diawali dua digit tahun pembuatan)	contoh 07-001
Frekuensi pengenal	50 Hz
Tegangan pengenal primer dan sekunder	
Arus pengenal primer dan sekunder	
Tegangan impedans	
Rugi tanpa beban - rugi berbeban	contoh: 200W – 1400 W

Informasi	Keterangan informasi
Berat total	
Volume minyak	
Jenis minyak	Mineral
merek minyak transformator	

Selain pelat nama, transformator harus dilengkapi dengan identitas pabrikan dan diagram hubungan.

10. Pemeriksaan dan Pengujian

Jenis pengujian pada setiap klasifikasi pengujian tercantum pada Tabel 5.

10.1 Pengujian jenis

Mata uji pengujian jenis (*type test*) tercantum pada Tabel 5 kolom 5. Pengujian jenis dilaksanakan oleh laboratorium PLN.

Untuk keperluan pengujian jenis, pabrikan perlu menyediakan data dan informasi mengenai:

- Gambar konstruksi seperti diuraikan pada sub-pasal 7.1.5.
- Sertifikat dari laboratorium independen dari peralatan/komponen pada sub-pasal 7.5, 8.1, 8.2, dan 8.7.

Sampel transformator untuk pengujian jenis adalah transformator pasangan luar.

Jika pabrikan mengubah desain atau konstruksi sehingga kriteria identik pada sub-pasal 10.3.2 tidak terpenuhi, maka transformator tersebut memerlukan pengujian jenis ulang.

Setiap perubahan desain transformator yang tidak mempengaruhi kriteria identik sub-pasal 10.3.2, maka transformator tersebut dapat dilakukan uji ulang sebagian terhadap mata uji yang terpengaruh perubahan desain tersebut.

10.2 Pengujian rutin

Mata uji pengujian rutin tercantum pada Tabel 5 kolom 4. Pada setiap transformator yang lulus uji rutin, pabrikan harus memberikan stiker QC sebagai tanda lulus uji rutin.

10.3 Pengujian serah-terima

Mata uji pengujian serah-terima adalah sama dengan mata uji pengujian rutin Tabel 5 kolom 4, tetapi PLN dapat menambah mata uji lainnya berdasarkan evaluasi terhadap permasalahan baik pada proses pengujian serah terima maupun yang terjadi di lapangan.

Item pengujian yang dilakukan terhadap masalah tersebut berdasarkan kajian teknis baik pihak PLN maupun pabrikan. Pengujian serah-terima dapat dilaksanakan di laboratorium PLN maupun pabrikan.

10.3.1 Prosedur pengujian serah terima

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Transformator yang akan diserahkan-terima harus telah lulus uji jenis dan identik dengan transformator yang diuji jenis.
- b. Transformator yang akan diserahkan-terima harus lulus uji rutin dan dilengkapi dengan laporan pengujiannya.
- c. Pengujian serah terima disaksikan oleh PT PLN.
- d. Jumlah sampel adalah 10% (dibulatkan) dari jumlah yang akan diserahkan-terima dengan jumlah minimum 1 (satu) unit pada kelompok tersebut.

10.3.2 Transformator identik

Sebuah transformator dapat dinyatakan identik satu sama lain bila:

- a) Daya pengenal, tegangan tertinggi (U_m) sisi belitan tegangan tinggi dan tegangan rendah, kelompok vektor harus sama.
- b) Tegangan impedans harus sama dengan toleransi $\pm 10\%$
- c) Rugi tanpa beban harus sama dengan toleransi $\pm 10\%$
- d) Rugi I^2R pada belitan primer dan sekunder harus sama dengan toleransi $\pm 10\%$
- e) Arus tanpa beban harus sama dengan toleransi 30%.
- f) Keterangan pada pasal 7.1, 7.2, 7.3 dan 7.4 harus sama.
- g) Letak bushing tegangan tinggi maupun tegangan rendah harus sama, tetapi jenis bushing dapat berbeda (porselin atau *plug-in*).
- h) Jumlah dan ukuran sirip pendingin harus sama, toleransi ukuran sirip 5%
- i) Dimensi tangki harus sama dengan toleransi 5%

CATATAN:

1. Merek *bushing*, minyak mineral dan pengubah sadapan dapat berbeda dengan merek pada transformator yang diuji jenis, sepanjang pabrikan dapat memberikan sertifikat dari laboratorium independen yang membuktikan bahwa peralatan baru tersebut mempunyai mutu yang setara.
2. Penerapan toleransi pada kriteria identik di atas harus tetap memperhatikan batas nilai maksimum dan minimum yang ditetapkan standar ini.

10.3.3 Penilaian pengujian serah terima

Kriteria penilaian pengujian serah-terima:

- a) Sampel transformator dinyatakan baik, jika hasil pengujian dari seluruh mata uji pada Tabel 5 kolom 6 berhasil baik.
- b) Seluruh transformator yang akan diserahterimakan dinyatakan diterima jika semua sampel yang diuji hasilnya baik.
- c) Jika lebih dari 1 (satu) sampel mengalami kegagalan, maka semua transformator yang diajukan (akan diserahterimakan) ditolak, karena dianggap dalam kelompok tersebut masih ada cacat.
- d) Jika 1 (satu) sampel mengalami kegagalan, pada dasarnya semua transformator yang diajukan belum dapat diterima dan pengujian dapat diulang dengan mengambil sampel baru. Jika semua sampel baru diuji dengan hasil baik, maka semua transformator yang diajukan dianggap baik dan dapat diterima. Jika dalam pengujian ulang masih ada 1 (satu) sampel saja mengalami gagal, maka seluruh transformator yang diajukan ditolak.
- e) Terhadap kelompok Transformator pada butir d), pabrikan atau pemasok harus segera melakukan evaluasi terhadap kelompok Transformator sebelum pengambilan sampel baru. Adapun jumlah sampel pada pengujian ini sejumlah 20 % dari total yang diajukan kembali dan tidak boleh ada yang gagal.

10.4 Pengujian khusus

Pengujian khusus dilakukan terutama untuk transformator kapasitas besar.

Mata uji pengujian khusus meliputi:

- a) Pengukuran impedans urutan nol
- b) Pengukuran harmonik pada arus tanpa beban
- c) Pengujian fungsi peralatan

PLN harus menyampaikan adanya pengujian khusus ini saat pemesanan.

10.5 Pengujian pengawasan

Mata uji pengawasan dapat diambil dari mata uji jenis atau pengujian lain dalam rangka memverifikasi kualitas transformator, menyesuaikan dengan kebutuhan di lapangan. Pengujian pengawasan dilakukan terhadap sejumlah sampel transformator distribusi yang diambil oleh PLN untuk melihat kesesuaian mutunya.

Mata uji pengawasan dapat diambil dari mata uji jenis atau pengujian lain dalam rangka memverifikasi kualitas transformator distribusi, menyesuaikan dengan kebutuhan di lapangan.

Tabel 5. Macam pengujian

No.	Mata uji	Metoda uji / acuan	Rutin	Jenis	Serah terima
1	2	3	4	5	6
1.	Pemeriksaan dimensi/konstruksi transformator <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pemeriksaan dimensi ▪ Pemeriksaan konstruksi ▪ Pemeriksaan lengkapan ▪ Pengukuran jarak udara dan jarak rambat bushing ▪ Pengujian berat 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pasal 7 ▪ Spesifikasi pabrikan ▪ Pasal 7 ▪ Pasal 8 ▪ IEC 60076-3 ▪ Sub-pasal 8.1.3 dan 8.1.6 ▪ Sub-pasal 7.1.3 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ - 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ -
2.	Pengukuran tahanan belitan	▪ IEC 60076-1, sub pasal 10.2	✓	✓	✓
3.	Pengukuran rasio tegangan dan pemeriksaan kelompok vektor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEC 60076-1, sub pasal 10.3 ▪ Deviasi pada nominal tapping adalah nilai terkecil (10 % x impedans atau 0,5 %) 	✓	✓	✓
4.	Pengukuran rugi berbeban dan tegangan impedans	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sub pasal 6.6 dan 6.7 ▪ IEC 60076-1, sub-pasal 10.4 	✓	✓	✓
5.	Pengukuran rugi dan arus tanpa beban	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sub pasal 6.6 ▪ IEC 60076-1, sub pasal 10.5 	✓	✓	✓
6.	Pengujian ketahanan tegangan frekuensi-haya	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sub pasal 6.8 ▪ IEC 60076-3 	✓	✓	✓
7.	Pengujian tegangan lebih induksi	▪ IEC 60076-3	✓	✓	✓

No.	Mata uji	Metoda uji / acuan	Rutin	Jenis	Serah terima
1	2	3	4	5	6
8.	Pengukuran tahanan insulasi	▪ IEC 60076-3	✓	✓	✓
9.	Pengujian Load rejection (untuk trafo YNd5)	▪ IEC 60076-1 ▪ Pengulangan item uji no 2 - 8 dengan kondisi baik	-	✓	-
10.	Pengujian ketahanan tegangan impuls petir	▪ IEC 60076-3 ▪ IEC 60076-4	-	✓	-
11.	Pengujian kenaikan suhu	▪ Sub-pasal 6.9 ▪ IEC 60076-2 ▪ Tekanan maksimum 0,3 bar	-	✓ ⁽¹⁾	-
12.	Pengujian tingkat bising	▪ IEC 60076-10 ▪ Sub pasal 6.10	-	✓	-
13.	Pengujian ketahanan hubung-singkat ▪ Kemampuan termal ▪ Kemampuan dinamik	▪ IEC 60076-5, sub pasal 4.1 ▪ IEC 60076-5, sub pasal 4.2 ▪ Pasak dan struktur penyangga belitan tidak kendor atau lepas	- -	✓ ✓	- -
13.	Pengujian tegangan tembus minyak	▪ Sub pasal 7.5.3	✓ ⁽³⁾	-	✓ ⁽³⁾
14.	Pengujian kebocoran tangki	▪ Sub pasal 7.6.11	✓ ⁽²⁾	✓	✓ ⁽²⁾
15.	Pengujian enerjais tanpa beban	▪ Durasi uji = 24 jam	-	-	-
16.	Pengujian cross hatch	ISO 2409	-	✓	✓
17.	Pengujian korosi garam	▪ ISO 7253 dengan durasi 480 jam ▪ Setelah pengujian tidak boleh terlihat ada tanda karat dan cat tidak boleh terkelupas	-	✓	-

CATATAN:

1. Setelah pengujian kenaikan suhu, transformator harus mampu dienerjais tanpa beban pada 105% tegangan pengenal selama 2 jam.
2. Dapat dilakukan dengan waktu uji lebih singkat.
3. tegangan tembus minyak $\geq 50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$.



Pengelola Standardisasi:

PT PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan

Jl. Duren Tiga, Jakarta 12760, Telp. 021-7973774, Fax. 021-7991762,

www.pln-litbang.co.id

Pengelola Standardisasi:

PT PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan
Jl. Duren Tiga, Jakarta 12760, Telp. 021-7973774, Fax. 021-7991762,
www.pln-litbang.co.id