

# **Analisis Perbandingan Transformator Konvensional Dan Completely Self Protection (CSP) Pada Tingkat Beban Nominal Di PT. PLN- UPJ Dinoyo**

*Indi Irawan, H. M. Taqijuddin Alawy<sup>1</sup>, Oktriza Melfazen<sup>2</sup>  
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang jl. MT. Haryono 193 Malang  
Email: [indiirawan@gmail.com](mailto:indiirawan@gmail.com)*

## **ABSTRAK**

*Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pengguna energi listrik, terutama pengguna energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Biasanya pada sistem distribusi sering kali terjadi gangguan yang disebabkan oleh penggunaan transformator yang kurang sesuai dengan keadaan beban, baik itu secara kapasitas maupun kualitas.*

*Kondisi kelistrikan jaringan di seluruh Indonesia pada saat ini mengalami susut sebesar 5% yang diakibatkan berbagai macam faktor, salah satu diantaranya adalah penggunaan transformator yang kurang sesuai dengan karakteristik beban. Dengan adanya kondisi tersebut diperlukan evaluasi dan perencanaan kembali yang memperhatikan kriteria-kriteria perencanaan seperti karakteristik beban, pemilihan jenis transformator yang sesuai dengan karakteristik beban, penempatan transformator, penyesuaian daya transformator, pola beban dan keandalan sistem.*

**Kata Kunci:** *Sistem distribusi, jenis transformator, karakteristik beban, penempatan transformator.*

## **1. PENDAHULUAN**

Dengan semakin berkembangnya beban listrik, maka peningkatan penggunaan daya listrik juga semakin tinggi. Jenis beban yang bervariasi pada satu daerah tertentu seperti beban peralatan industri, peralatan rumah tangga maupun jenis beban lainnya sangat berhubungan dengan pemilihan penggunaan transformator, yaitu dengan karakteristik dan daya transformator yang sesuai dengan karakteristik beban tersebut, baik itu transformator konvensional ataupun transformator Completely Self Protection (CSP). Kurang sesuainya karakteristik dan daya transformator terhadap karakteristik dan keadaan beban akan mengakibatkan rugi-rugi pada transformator sehingga akan terjadi penurunan kapasitas dan kualitas pada transformator distribusi, atau dengan kata lain terjadi penurunan efisiensi pada transformator.

Disamping itu perlu juga diperhatikan pola operasional beban, dimana perbedaan beban maksimum dan minimum juga berpengaruh dengan rugi-rugi tetap berkaitan dengan kapasitas transformator. Dengan kondisi semacam ini perlu dilakukan upaya-upaya memperkecil timbulnya rugi-rugi transformator melalui analisa pembebanan serta pemilihan jenis transformator yang sesuai berdasarkan jenis atau macam-macam

beban maupun karakter-karakter operasional beban.

### **1.1. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang sebagaimana dikemukakan di atas, maka rumusan masalah dalam skripsi ini adalah :

- a. Mengetahui keandalan masing-masing transformator, baik jenis konvensional maupun CSP di distribusi terpasang.
- b. Menganalisis pemakaian jenis transformator untuk mengetahui keefektifan operasional transformator pada sistem distribusi.

### **1.2. Batasan Masalah.**

Agar penulisan skripsi ini sesuai dengan tujuan yang diharapkan, maka perlu adanya batasan-batasan masalah sesuai dengan topik bahasan.

Batasan-batasan tsb. antara lain :

- a. Membahas dan membandingkan transformator jenis konvensional dan Completely Self Protection (CSP)
- b. Perbandingan transformator hanya meliputi radius penyaluran, pembebanan lebih dan susut usia transformator.
- c. Transformator adalah transformator distribusi pada Unit Pelayanan Jaringan (UPJ) Dinoyo.
- d. Diambil salah satu dari tiap jenis transformator sebagai sampel.
- e. Tidak membuat perencanaan transformator.

- f. Tidak membuat simulasi program untuk pengujian transformator.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

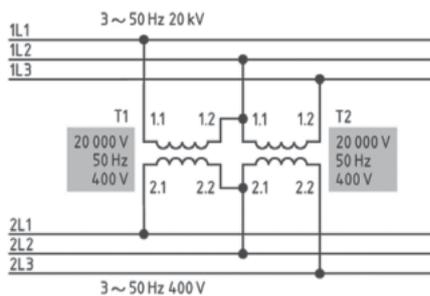
### 2.1. Transformator Distribusi

Tujuan dari penggunaan transformator distribusi adalah untuk mengurangi tegangan utama dari sistem distribusi listrik untuk tegangan pemanfaatan penggunaan konsumen. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step-down* 20kV/400V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada tegangan rendahnya dibuat diatas 380V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380V. Transformator distribusi yang terpasang pada tiang dapat dikategorikan menjadi dua macam, yaitu :

- *Conventional transformers*

*Transformator konvensional* tidak memiliki peralatan proteksi terintegrasi terhadap petir, gangguan dan beban lebih sebagai bagian dari trafo. Oleh karena itu dibutuhkan fuse *cutout* untuk menghubungkannya dengan jaringan distribusi primer. *Lightning arrester* juga perlu ditambahkan untuk trafo jenis ini.

Pada dasarnya transformator tiga phase ini terdiri dari tiga buah transformator, satu phase dengan tiga buah teras besi yang dipasang pada satu kerangka. Dari tiga teras besi ini ditempatkan masing-masing sepasang kumparan yakni kumparan primer dan kumparan sekunder. Dengan demikian seluruhnya akan terdapat tiga buah kumparan primer dan tiga buah kumparan sekunder. Trafo jenis ini memiliki karakteristik yang mampu menahan beban lebih hingga 110 % dari ratingnya tanpa menimbulkan kerusakan. Gambar 2.1 adalah singgel line transformator konvensional 3 phase.



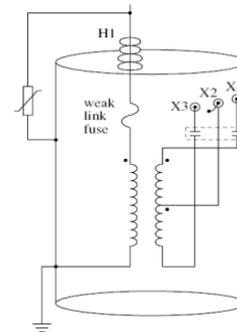
**Gambar 2.1.** Singgel Line Transformator konvensional 3 Phase

Sumber : PT. PLN APJ Malang

- *Completely self-protecting ( CSP ) transformers*

*Transformator Completely self-protecting ( CSP )* memiliki peralatan proteksi terintegrasi terhadap petir, beban lebih, dan hubung singkat. *Lightning arrester* terpasang langsung pada tangki trafo sebagai proteksi terhadap petir. Untuk proteksi terhadap beban lebih, digunakan fuse yang dipasang di dalam tangki. Fuse ini disebut *weak link*. Proteksi trafo terhadap gangguan internal menggunakan hubungan proteksi internal yang dipasang antara beliran primer dengan *bushing* primer.

Penggunaan trafo jenis CSP tanpa perlu menambahkan perlengkapan pengaman sebagaimana pada trafo konvensional. Jenis trafo CSP adalah trafo 1 fasa, sehingga pada sistem distribusi yang menggunakan trafo ini selalu berbentuk /tersusun secara bank. adalah singgel line transformator CSP distribusi terpasang diperlihatkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Trafo distribusi model CSP.

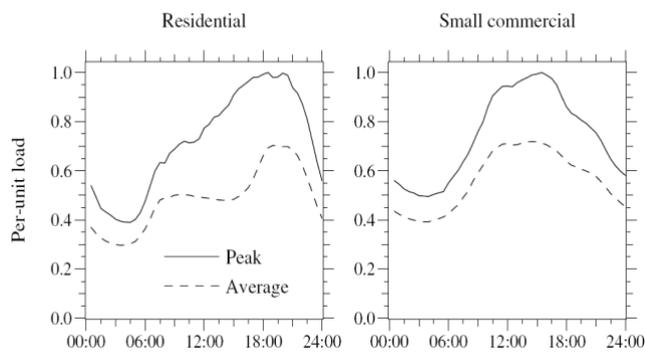
Sumber : *Transformer Engineering, Kulkarni, 2005.*

## 2.2. Beban

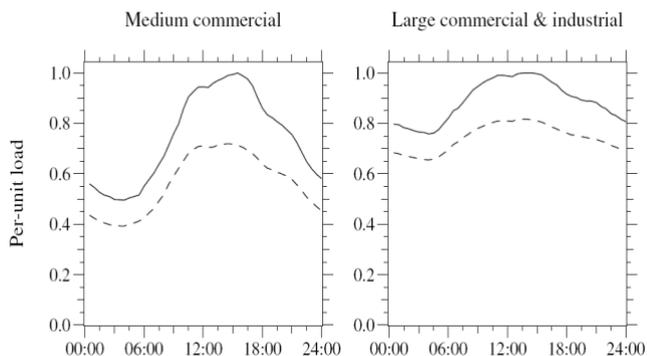
### 2.2.1. Karakteristik Beban

Pengertian beban adalah pengguna daya listrik pada sisi sekunder trafo distribusi. Sesuai dengan pengertian ini maka akan terdapat bermacam-macam beban. Dari berbagai macam jenis beban tersebut maka di dapat juga berbagai macam karakteristik beban.

Karakteristik beban dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis. Karakteristik ini menggambarkan hubungan antara jumlah daya yang diserap konsumen per satuan waktu dalam 24 jam. Dibawah ini diberikan beberapa bentuk karakteristik beban yang dimaksud.



**Gambar 2.3.** Karakteristik beban perumahan dan komersial (kecil).



**Gambar 2.4.** Karakteristik beban komersial dan industri

### 2.3.Kapasitas Penghantar

Sistem distribusi di Indonesia menggunakan beberapa jenis penghantar sesuai dengan kriteria dan kebutuhan sistem pendistribusian. Berikut adalah jenis penghantar saluran yang dipergunakan di sistem distribusi di PT. PLN di Indonesia:

- Panghantar tidak terisolasi AAAC, AAC, ACSR. (ACSR tidak secara luas dipergunakan sebagai penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah)
- Penghantar berisolasi AAAC-S, NAAXSEY. (Kabel Pilin Tegangan Menengah)
- Penghantar LVTC (Low Voltage Twisted Cable) NFAAX

Berikut ini adalah tabel kapasitas penghantar yang ditabulasikan pada tabel 2.1. dan 2.2.

**Tabel 2.1.**Kapasitas Dan Karakteristik Penghantar Kabel Pilin Inti Alumunium Tegangan Rendah (NFAAX)

Penampang penghantar nominal (mm <sup>2</sup> )	penampang penggantung (mm <sup>2</sup> )	Diameter Total (mm)	Berat (Isolasi XLPE) (kg/km)	Tahanan pada 20°C /fasa (Ohm/km)
3x25	54,6	26	574	1,2
3x35	54,6	30	696	0,867
3x50	54,6	33,1	819	0,641
3x70	54,6	38,5	1059	0,4433

**Tabel 2.2.** Kapasitas Dan Karakteristik Penghantar All Alumunium Alloy Conductor (AAAC)

Penampang penghantar (mm <sup>2</sup> )	Diameter nominal (mm)	Berat (kg/km)	Tahanan pada 20°C/fasa (Ohm/km)
35	7,5	94	1,50
50	8,5	126	0,603
120	13,75	310	0,357
150	15,75	406	0,224
240	20,25	670	0,142
300	22,50	827	0,115

Dengan mengetahui spesifikasi penghantar tersebut maka dapat diketahui tegangan untuk arus impedansi dengan menggunakan rumus:

$$z = \frac{E}{I} \quad (2.1)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari I adalah dengan rumus :

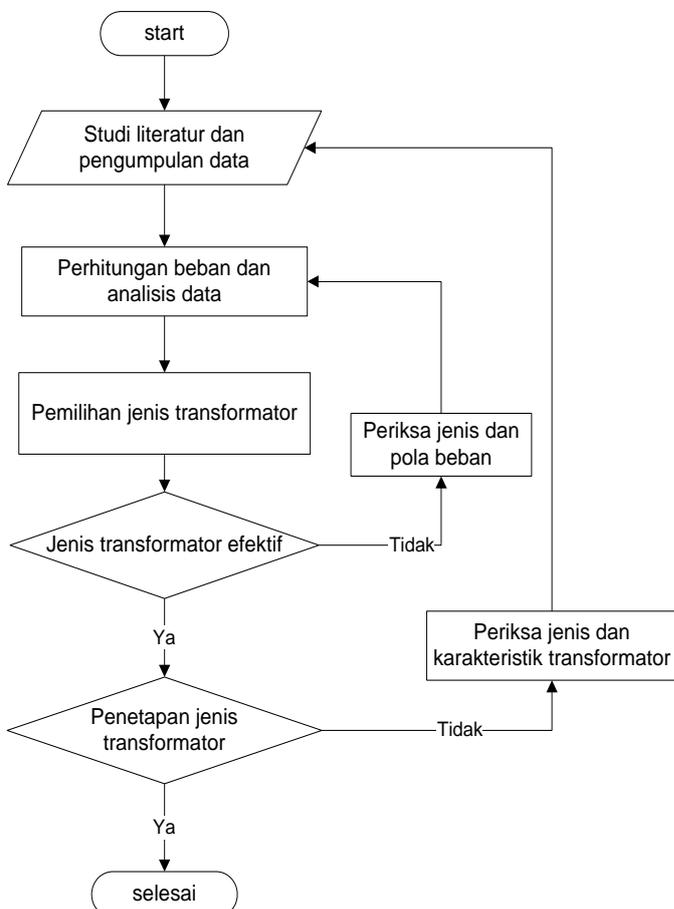
$$I = \frac{p}{E} \quad (2.2)$$

Sedangkan untuk radius pelayanannya dinyatakan dengan rumus:

$$r = \frac{Z}{R} \quad (2.3)$$

## 3. METODE PENELITIAN DAN KOMPONEN BEBAN TERPASANG.

### 3.1 Metode Penelitian



### 3.2. Transformator Distribusi

Untuk nilai pengenalan kapasitas transformator distribusi yang saat ini terpasang pada sistem distribusi di PT. PLN APJ Malang mempunyai data-data seperti ditabulasikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Transformator pada PT. PLN APJ Malang

Kapasitas (kVA)	Keterangan
75	trafo 3x1 fasa, CSP
75	Trafo 1 fasa, konvensional
100	Trafo 1x3 fasa, konvensional.
150	Trafo 3x1 fasa, CSP.
160	Trafo 1x3 fasa, konvensional.
200	Trafo 1x3 fasa, konvensional.
250	Trafo 1x3 fasa, konvensional.

### 3.3. Data pemakaian Transformator Dan pembebanan

Berikut ini adalah sebagian dari data pemakaian transformator dan pembebanannya yang terdapat di PT. PLN APJ Malang yang ditabulasikan pada tabel 3.2. dan 3.3.

Tabel 3.2. Data Pemakaian Trafo Konvensional dan Pembebanannya

NO. GTT	DAYA (KVA)	JAM	BEBAN (A)				TEGANGAN			BEBAN (KVA)
			R	S	T	N	R-N	S-N	T-N	
902	160	18:30	15	11	13	10	22	22	22	91
964	100	18:15	16	85	82	76	20	20	20	69
1418	250	18:25	18	12	19	11	21	22	21	111
35	250	18:29	26	20	19	88	22	23	22	152
138	200	18:21	23	28	21	11	22	22	23	167
138	200	18:21	23	28	21	11	22	22	23	167
166	160	18:04	70	2	10	72	22	22	22	65
274	160	18:39	17	17	23	10	22	22	22	131
349	160	18:15	18	21	23	60	22	22	22	139

747	100	18:35	15	18	90	57	19	19	19	82
902	160	18:30	15	11	13	10	22	22	22	91
639	250	18:55	27	18	25	21	22	22	22	160
703	250	18:35	29	37	22	23	22	21	22	197
724	160	18:09	14	15	15	66	22	22	22	101
740	160	18:14	17	19	12	73	22	22	22	111
1417	250	18:55	24	19	16	90	22	23	22	138

Tabel 3.3. Data Pemakaian Transformator CSP dan Pembebanannya

No. GTT	DAYA (KVA)	JAM	BEBAN (A)				TEGANGAN			BEBAN (KVA)
			R	S	T	N	R-N	S-N	T-N	
591	150	18:25	22	13	15	17	22	21	21	111
109	150	18:25	20	18	17	11	20	21	20	116
289	150	18:05	97	11	11	72	22	22	22	75
307	150	18:15	17	22	18	11	20	21	21	124
265	150	21:46	81	99	94	37	22	22	22	62
219	150	18:25	12	21	93	10	20	21	21	92
423	150	18:35	15	15	22	11	22	22	22	116
594	150	19:15	20	10	18	13	22	22	22	108
519	150	18:45	14	94	12	45	22	23	22	85
163	150	18:56	15	16	12	36	21	21	21	95
143	150	18:44	17	20	14	60	23	23	23	123
311	150	18:36	24	19	43	27	22	22	23	20
324	75	18:59	11	10	94	29	21	22	22	68
422	75	18:41	74	76	50	51	22	22	23	46
589	150	18:07	16	12	20	78	22	22	23	112
136	150	18:25	16	17	11	10	21	20	21	97
106	150	12:30	13	18	10	97	23	23	24	100
371	150	18:15	14	18	12	10	20	20	20	88
380	150	19:05	22	11	19	50	22	22	22	117

310	150	18:4 5	23 8	20 2	19 2	10 9	22 4	21 8	22 1	140
137	150	18:3 5	15 5	20 6	19 6	98	22 1	21 7	22 0	122

250	Trafo 1x3 fasa	0.050022	112.9156
-----	----------------	----------	----------

#### 4. Transformator Dan Penghantar Terpasang di PT. PLN UPJ Dinoyo

Untuk menghitung dan mengetahui keandalan transformator terpasang Pada saluran distribusi listrik tegangan rendah di PT. PLN UPJ Dinoyo maka perlu diketahui data-data transformator terpasang dan pengharntarnya seperti yang ditabulasikan pada tabel-tabel diatas.

##### 4.1. Perhitungan Radius Transformator

Dengan data yang di peroleh maka dapat dihitung radius pelayanan transformator. Diambil contoh transformator konvensional dengan daya 160 kVA, dengan menggunakan rumus 2.1 maka:

$$I = \frac{160}{\sqrt{3.380}} = 243.09 A$$

Dan untuk mencapai rugi tegangan sebesar 5% maka impedansi salurannya sesuai dengan rumus 2.2 yaitu:

$$z = \frac{5\%.380}{243.09} = 0.078 \Omega$$

Sehingga dengan rumus (2.3) diketahui radius pelayananya :

$$r = \frac{0.078}{0.443} = 176 m$$

Dengan menggunakan perhitungan diatas maka dapat diketahui radius pelayanan transformator konvensional sesuai dengan besar daya sesuai dengan Tabel 4.1 :

Tabel 4.1. Impedansi dan Radius Penyaluran transformator konvensional

Daya (kVA)	Keterangan	Imp. Saluran ( $\Omega/km$ )	Radius (m)
50	Trafo 1 fasa	0.0836	188.7133
100	Trafo 1x3 fasa	0.125054	282.2891
160	Trafo 1x3 fasa	0.078159	176.4307
200	Trafo 1x3 fasa	0.062527	141.1445

Sedangkan untuk transformator CSP karena mempunyai kelebihan dapat menanggung beban lebih hingga 150% dari dayanya maka perhitungan radiusnya adalah sebagai berikut. maka :

$$I = \frac{150}{\sqrt{3.380}} = 227.9 A$$

Sehingga:

$$I = 1.5 \times 227.9 = 341.85 A$$

Dan untuk mencapai rugi tegangan sebesar 5% maka impedansi salurannya sesuai dengan rumus 2.2 yaitu:

$$z = \frac{5\%.380}{341.85} = 0.055 \Omega$$

Sehingga dengan rumus (2.3) diketahui radius pelayananya :

$$r = \frac{0.055}{0.443} = 125 m$$

Dengan model perhitungan yyang sama maka dapat diketahui impedansi dan radius penyaluran transformator CSP seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Impedansi dan Radius Penyaluran transformator CSP

Daya (kVA)	Keterangan	Imp. Saluran ( $\Omega/km$ )	Radius (m)
75	3x1 fasa	0.111159	250.9236
150	3x1 fasa	0.055579	125.4618

#### 4.2. Pengaruh Temperatur Sekitar dan Pembebanan Lebih Terhadap Susut Usia Transformator

Indonesia termasuk negara dengan iklim tropis sehingga mempunyai suhu yang panas, pembebanan lebih pada transformator dapat mempercepat naiknya temperatur pada sebuah transformator. Hal ini dapat mempercepat terjadinya kerusakan dan susut usia transformator. Berikut salah satu contoh nyata perhitungan susut

usia transformator yang terpasang di PT. PLN UPJ Dinoyo:

- Transformator dengan nomor gardu 1408, alamat Jl. Candi Panggung dengan daya pengenal 100 kVA di bebani 104 kVA.

Dengan data diatas dapat di ketahui presentase pembebanan :

$$\begin{aligned} \text{Beban (\%)} &= \frac{104}{100} \times 100\% \\ &= 104\% \end{aligned}$$

sehingga perhitungan susut usia transformator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} k &= \frac{s}{s_r} \\ &= \frac{104}{100} \\ &= 1.04 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perbandingan ruginya ( $d$ )

$$\begin{aligned} d &= \frac{\text{rugi tembaga pada daya pengenal}}{\text{rugi beban nol}} \\ &= \frac{450}{100} \\ &= 4.5 \end{aligned}$$

Untuk kenaikan temperatur top oil:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{ou} &= 40 \left[ \frac{1+4.5(1.04)^2}{1+4.5} \right]^1 \\ &= 40 \left[ \frac{5.867}{5.5} \right] \\ &= 42.67^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka selisih temperatur antara hot spot dengan top oil :

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{td} &= (78 - 40)x(1.04)^{2(0.8)} \\ &= 38x1.064 \\ &= 40.461^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dari selisih diatas dan suhu udara rata-rata di Indonesia yang sebesar  $30^\circ\text{C}$ , maka dapat diketahui temperatur hot spot :

$$\begin{aligned} \theta_{hn} &= 30 + 42.67 + 40.461 \\ &= 113.131 \end{aligned}$$

Sehingga laju penuaan thermal relatif menjadi :

$$\begin{aligned} V &= 2^{(113.131-98)/6} \\ &= 5.743 \end{aligned}$$

Karena beban dianggap konstan maka besarnya laju penuaan relatif untuk tiap jam perhari sama. Maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{3 \times 24} \{ 5.743 + 4(5.743 \times 12) + \\ &2(5.743 \times 12) \} \\ &= 5.823 \text{ pu/hari} \end{aligned}$$

Dengan model perhitungan yang sama maka dapat diperoleh tabel susut usia transformator konvensional dari beberapa nominal pembebanan, suhu rata-rata sekitar tranformator dan kenaikan temperatur transformator :

Tabel 4.3. Susut usisa Transformator Berdasarkan Suhu Sekitar Dan Pembebanan

No Gtt	Daya (kVA)	Beban (kVA)	Beban (%)	Temperatur sekitar ( $^\circ\text{C}$ )	Susut usia Pu/hari
43	250	245	98	30	2.410143
747	100	82	82	30	0.28257
349	160	139	88	30	0.609006
290	250	227	91	30	0.908689
138	200	167	84	30	0.363241
1408	100	104	104	30	5.823267

Sedangkan untuk transformator CSP karena kemampuannya menahan beban leih hingga 150 % dari dayanya maka contoh perhitungan susut usiaanya adalah sebagai berikut:

transformator dengan nomor gardu 289 yang beralamatkan Jl. simpang C. Panggung dengan daya terpasang 150 kVA dibebani 74 kVA

Dengan data diatas dapat di ketahui presentase pembebanan :

$$\begin{aligned} \text{Beban (\%)} &= \frac{74}{150} \times 100\% \\ &= 49\% \end{aligned}$$

sehingga perhitungan susut usia transformator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} k &= \frac{s}{s_r} \\ &= \frac{49}{100} \\ &= 0.49 \end{aligned}$$

Sdangkan untuk perbandingan ruginya ( $d$ )

$$\begin{aligned} d &= \frac{\text{rugi tembaga pada daya pengenal}}{\text{rugi beban nol}} \\ &= \frac{450}{100} \\ &= 4.5 \end{aligned}$$

Untuk kenaikan temperatur top oil:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{ou} &= 40 \left[ \frac{1+4.5(0.49)^2}{1+4.5} \right]^1 \\ &= 40 \left[ \frac{2.080}{5.5} \right] \\ &= 15.13^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka selisih temperatur antara hot spot dengan top oil :

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{td} &= (78 - 40)x(0.49)^{2(0.8)} \\ &= 38x0.319 \\ &= 12.122^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dari selisih diatas dan suhu udara rata-rata di Indonesia yang sebesar 30°C, maka dapat diketahui temperatur hot spot :

$$\theta_{hn} = 30 + 15.13 + 12.122 = 57.252$$

Sehingga laju penuaan thermal relatif menjadi :

$$V = 2^{(57.252-98)/6} = 0.009047$$

Karena beban dianggap konstan maka besarnya laju penuaan relatif untuk tiap jam perhari sama. Maka dapat dihitung :

$$L = \frac{1}{3 \times 24} \{0.009047 + 4(0.009047 \times 12) + 2(0.009047 \times 12)\} = 0.0091697 \text{ pu/hari}$$

Dengan model perhitungan yang sama maka dapat diperoleh tabel susut usia transformator CSP dari beberapa nominal pembebanan, suhu rata-rata sekitar transformator dan kenaikan temperatur transformator yang ada di PT. PLN UPJ Dinoyo:

Tabel 4.4. Susut usisa Transformator Berdasarkan Suhu sekitar Dan Pembebanan

No Gtt	Daya (kVA)	Beban (kVA)	Beban (%)	Temperatur sekitar (°C)	Susut usia pu/hari
591	150	111	74	30	0.1086406
109	150	116	77	30	0.1540584
289	150	74	49	30	0.0091697
307	150	124	83	30	0.3201827
265	150	62	42	30	0.0053048
219	150	92	62	30	0.0300384

#### 4.3. Pembebanan Maksimal Transformator Berdasarkan Standarisasi PLN (SPLN)

Transformator di Indonesia didesain dengan standar *International Electrical Comission* (IEC) dengan suhu sekitar 20° C tetapi beroperasi di Indonesia dimana suhu lingkungan sekitar 30° C. Maka transformator tersebut harus disesuaikan kemampuannya, karena pada kondisi ini suhu panas setempat lebih tinggi dari standar atau dengan kata lain trafo tersebut mengalami penurunan kapasitas. Semakin tinggi panas setempat semakin pendek operasional dari

transformator tenaga tersebut. Agar umurnya mencapai yang diharapkan maka besarnya laju penuaan thermal maksimum = 1pu/hr atau pada temperatur hotspot = 98°C

Sehingga dengan Rumus 2.6 maka dapat diperoleh penurunan kapasitas transformator adalah sebagai berikut :

$$\theta_h = 32 + 40 \left[ \frac{1+4.5K^2}{5.5} \right]^1 + (78 - 40)K^{2 \times 1.8} = 32.7372K^2 + 38K^{1.8} = 58.7273$$

Persamaan diatas hanya dapat diselesaikan dengan metode newton, dengan Rumus 2.7 maka akan di dapat :

$$X_{n+1} = 58.7273 - \frac{f(X)}{f'(X)}$$

$$f(K) = 32.7273K^2 + 38K^{1.8} - 58.7273$$

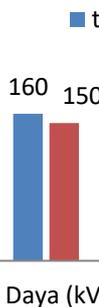
$$f'(K) = 2 \times 32.7372K + 1.8 \times 38K^{0.8}$$

$$\text{Sehingga } K = 0.9064 = (1 - 0.0964) \times 100\% = 0,0936 \times 10\% = 9.36\%$$

Dari hasil perhitungan transformator dengan standart IEC bila beroperasi di Indonesia yang mempunyai suhu sekitar rata-rata 30°C akan mengalami penurunan kapasitas hingga 9.36%, sehingga kapasitas pembebanan maksimum transformator hanya sekitar ± 90.64 %.

Dari contoh perhitungan diatas maka dapat diketahui pembebanan maksimum transformator yang sesuai SPLN D3.002-1 : 2007 yang mengacu pada publikasi IEC tentang *Loading Guide For Oil Immersed Transformer* dengan nominal daya yang tertera pada transformator terpasang di PT. PLN UPJ Dinoyo adalah seperti pada Tabel 4.5

Kapasitas (kVA)	Pembebanan maksimum (kVA)
50	45.32
75	67.98
100	90.64
150	135.95
160	145.024
200	181.28
250	226.6



Dari Tabel 4.5 dapat diketahui kapasitas maksimum pembebanan transformator berdasarkan dayanya. Kapasitas ini dijadikan acuan dalam pembebanan transformator secara maksimum, karena bila terjadi pembebanan lebih dari kapasitas pembebanan tersebut dan terjadi fluktuasi beban tinggi disaat yang sama akan bisa berakibat terjadinya over load terhadap transformator yang bisa berakibat terbakarnya transformator. Berdasarkan Tabel 4.5 maka dapat dibuat grafik perbandingan pembebanan berdasarkan karakteristik transformator dan pembebanan terpasang pada PT. PLN UPJ Dinoyo seperti pada Gambar 4.1:

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pemanfaatan transformator berdasarkan karakteristiknya masih belum sepenuhnya diterapkan. Transformator konvensional dengan karakteristik mampu menahan beban hingga 105 % dari dayanya di lapangan bebani rata-rata sampai 91%, apabila terjadi fluktuasi beban yang tinggi hal ini akan dapat menimbulkan gangguan atau kerusakan bagi transformator. Sedangkan Bila ditinjau dari kapasitas pembebanan maksimum transformator yaitu  $\pm 90.64\%$  maka transformator ini sudah mengalami pembebanan lebih. Sedangkan transformator CSP yang mampu menahan beban lebih hingga 150% hanya dibebani sampai rata-rata 64.5 %. Bila ditinjau dari kapasitas pembebanan maksimum transformator maka pembebanan ini kurang dimaksimalkan.

#### 4.4. Perbandingan Transformator Konvensional Dan Transformator CSP Pada PT. PLN UPJ Dinoyo

Dari hasil perhitungan dan analisis pemakaian transformator konvensional dan CSP pada PT. PLN UPJ Dinoyo, maka dapat diambil

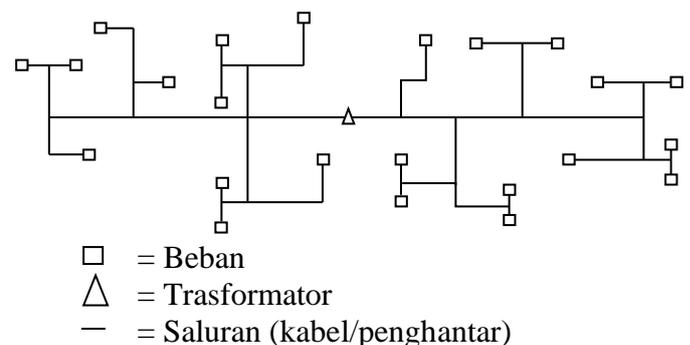
perbandingan antara transformator konvensional dan transformator CSP seperti yang ditabulasikan pada Tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Perbandingan Transformator CSP Dan Konvensional

Transformator	Daya (kVA)	Daya Max (%)	No. GTT	Beban (kVA)	Imp. Saluran ( $\Omega/\text{km}$ )	Radius pelayanan (m)	Susut Usia (pu/hari)
Konvensional	100	105	747	82	0.125054	282.2891	0.28257
	160		349	139	0.078159	176.4307	0.5252593
	200		138	167	0.062527	141.1445	0.3409815
	250		43	245	0.050022	112.9156	2.4101431
CSP	75	150	533	44	0.111159	250.9236	0.0216905
	150		265	62	0.055579	125.4618	0.0050514

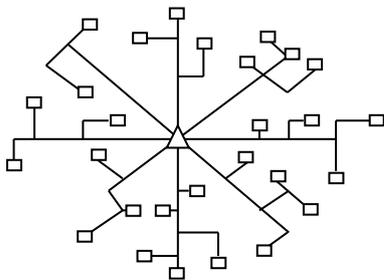
Sebagai perbandingan diambil transformator konvensional dan CSP yang mempunyai daya hampir sama, hal ini dimaksudkan agar perbandingannya sebanding. Yaitu 160 kVA untuk transformator konvensional dan 150 kVA untuk transformator CSP.

Dari Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa transformator Konvensional mempunyai kehandalan menanggung beban lebih hingga 105 %. Dengan penghantar yang sama yaitu NFA2X 0,6/1kv 3x70 maka besar impedansi salurannya 0.078159  $\Omega/\text{km}$ , sehingga transformator jenis ini mempunyai radius yang cukup panjang sekitar 176,4307 m, dan bila pembebanannya dimaksimalkan hingga batas maksimalnya maka susut usia transformator diperkirakan hingga  $\pm 6,7737$  pu/hari. Karena radiusnya yang panjang maka transformator konvensional mempunyai keandalan dalam model pembebanan radial atau memanjang, sehingga pemodelan pembebanan yang sesuai dengan transformator konvensional adalah seperti pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1.** Tipikal Letak/Posisi Beban Transformator Konvensional Menurut Panjang Radius

Sedangkan transformator CSP mempunyai kehandalan dalam menanggung beban lebih hingga 150% dari daya nya, dengan penghantar NFA2X 0,6/1kv 3x70 transformator CSP mempunyai impedansi saluran hingga 0.055579  $\Omega$ /km yang menyebabkan turunnya radius pelayanan menjadi 125,4618 m dan bila pembebananya dimaksimalkan hingga batas maksimalnya maka susut usia transformator diperkirakan hingga  $\pm$  2003,2 pu/hari. Karena radiusnya yang pendek maka transformator CSP mempunyai keandalan dalam model pembebanan model radial yang dikombinasikan dengan model loop, sehingga didapatkan pemodelan pembebanan yang sesuai dengan transformator CSP seperti pada Gambar 4.2



**Gambar 4.2.** Tipikal Letak/Posisi Beban Transformator CSP Menurut Panjang Radius

## 5. Penutup

### 5.1. Kesimpulan

1. Dari hasil analisis dan perhitungan daya diketahui bahwa transformator CSP mempunyai kehandalan dalam menanggung beban lebih hingga 150% dari daya yang tertera, dengan penghantar NFA2X 0,6/1kv 3 x 95 + 1 x 70 + 2 x 16 transformator CSP mempunyai impedansi saluran 0.055  $\Omega$ /km dan radius pelayanan spanjang 178 m. Sedangkan transformator Konvensional mempunyai kehandalan menanggung beban lebih hingga 105 % dan dengan penghantar yang sama besar impedansi salurannya 0.078  $\Omega$ /km, sehingga transformator jenis ini mempunyai radius yang lebih panjang dari transformator CSP sekitar 226 m.
2. Dari hasil analisis dan perhitungan daya yang telah di lakukan dapat diketahui bahwa transformator konvensional lebih

efektif bila ditempatkan pada daerah yang mempunyai bentuk pola beban radial seperti Gambar 4.2. dan transformator konvensional mempunyai radius penyaluran yang panjang, namun hanya mampu menahan beban lebih hingga 105% dari dayanya. Sedangkan transformator CSP akan lebih efektif bila ditempatkan pada daerah dengan pola beban terpasang seperti pada Gambar 4.3. dan transformator CSP mampu menahan beban lebih hingga 150% dari dayanya, namun tidak mempunyai radius penyaluran yang panjang.

### 5.2. Saran

1. Pemasangan/penggantian transformator harus di sesuaikan dengan beban terpasang dan pola pembebanannya, karena hal ini dapat memaksimalkan kinerja transformator sesuai dengan daya dan karakteristiknya.
2. Penelitian ini hanya membandingkan untuk mengetahui keandalan dan efektifitasan transformator pada distribusi terpasang, maka disarankan untuk peneliti selanjutnya agar membuat perencanaan pembuatan transformator yang ideal serta membuat simulasi program untuk pengujian transformator tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir, “*Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*”, Jakarta, Gramedia pustaka utama, 2006.
- Atkinson,W.C. “*Electricity Distribution – Asset replacement consideration. Electronic & Power*”. 1997.
- Bonggas L. Tobing. “*Peralatan tegangan tinggi*”. Jakarta, Gramedia pustaka utama, 2003.
- IEC Report, “*Guide For The Selection Of Insulator in Respect of Cemperature Conditon*”, publication NO. 815, 1986.

IEC Report, “*standards and guides commonly used for Power Transformers*”, Publication No.C57.106, juni 2006.

Kulkarni, “*Transformer Engineering*”, 2005.

Sanders.K.J. “*Corrugated tanks for distribution transformers. Electronics & Power*”. 1983.

Seno Sasmito Pradono. “*Optimasi Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan jatuh tegangan*”. Semarang: Universitas Diponegoro, 2008.

Sigit Purnama. *Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga*. Semarang: Universitas Diponegoro, 2010.

SPLN 118-4-1. “*Perangkat Hubung Bagi*”, Jakarta. Perusahaan listrik Negara, 1996.

SPLN 17. “*Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak*”, Jakarta. Perusahaan listrik Negara, 1979.

<http://lontar.ui.ac.id/opac/themes/libri2/status.jsp?id=11236&lokasi=04>. Diakses tanggal 23 januari 2014

<http://www.samgor.com/pdf/IEEE%20C57.92-1981.pdf>. Diakses tanggal 26 januari 2014

[http://km.plnbatam.com/spln/download.php?file\\_id=294](http://km.plnbatam.com/spln/download.php?file_id=294). Diakses tanggal 26 januari 2014