

ANALISIS PENAMBAHAN TRANSFORMATOR DAYA BARU (60 MVA) UNTUK MENAMBAH SUPLAI DAYA AREA DISTRIBUSI PADA GARDU INDUK KENTUNGAN 150 KV

Danny Hendra Kurniawan¹, Mujiman², Ir. Wiwik Handajadi³
¹Mahasiswa, ²Dosen Pembimbing Pertama, ³Dosen Pembimbing Kedua
TEKNIK ELEKTRO
Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak 28 Komplek Balapan Tromol Pos 45 Yogyakarta 55222
Telp. (0274)563029

INTISARI

Ketidakeimbangan beban pada jaringan distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakeimbangan tersebut dikarenakan beban-beban pada jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakeimbangan beban tersebut, beban yang ditanggung transformator menjadi berubah-ubah sesuai penggunaan beban pada konsumen. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, prediksi pembebanan transformator II Gardu Induk Kentungan tahun 2016 siang hari adalah 61,60% dengan arus beban 141,04 A dan malam hari adalah 65,84% dengan arus beban 137,64 A. Namun pada tanggal 11-15 Juni 2016 sudah mencapai 65,12% dengan arus beban 150,34 A. Begitu juga yang terjadi pada transformator IV, prediksi tahun 2016 siang hari adalah 91,34% dengan arus beban 165,33 A dan malam hari 85,05% dengan arus beban 155,01 A. Namun arus beban pada tanggal 11-15 Juni 2016 sudah mencapai 182,67 A.

Kata kunci: kapasitas transformator, prediksi eksponensial, kebutuhan daya, ketidakeimbangan beban

ABSTRACT

The unbalanced load in power distribution system always happen and it is causes due to the loads on low voltage system. As a result of unbalanced load, the burden on transformer always changing as well as burden on consumers. Based on the analysis performed, prediction of transformer II Kentungan substation in 2016 daylight is 61,06% with 141,04 A load current and the night is 65,84% with 150,34 A load current. But on 11-15 June, 2016 has reached 65,12% with load current 150,34 A. Also happened on transformer IV, predicted in 2016 during the day was 91,34% with 165,33 A load current and the evening is 85,05% with 155,01 load current. However, the load current on 11-15 June 2016 has already reached 182,67 A.

Keywords: transformer capacity, exponential prediction, power demand, unbalance load

Pendahuluan

Perkembangan sistem tenaga listrik yang cukup cepat di Indonesia dimana perkembangan sistem tenaga listrik tersebut tidak akan mengalami penurunan dan akan semakin bertambah seiring berkembangnya pertumbuhan perekonomian dan pembangunan di Indonesia sendiri. Kebutuhan listrik untuk setiap wilayah ataupun daerah tidaklah sama satu dengan yang lainnya, bergantung dari jumlah kepadatan penduduk dan juga perekonomian yang terdapat pada suatu wilayah tersebut. Untuk bisa memenuhi kebutuhan beban listrik yang semakin meningkat, PT. PLN (Persero) sebagai produsen tenaga listrik harus memiliki sistem yang terpadu dalam penyaluran atau distribusi tenaga listrik kepada konsumen.

Transformator adalah alat yang terdapat pada Gardu Induk (GI) yang berfungsi untuk mengubah atau menurunkan tegangan yang disalurkan melalui saluran transmisi yang kemudian diturunkan nilai tegangannya dari

tegangan extra tinggi atau tegangan tinggi menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi yang kemudian disalurkan pada konsumen. Dalam menjalankan fungsinya, transformator berfungsi selama 24 jam terus-menerus, seringkali mengakibatkan transformator mengalami beban puncak yang terjadi dalam periode waktu yang tidak menentu. Beban puncak tersebut terjadi karena ketidakserempakan penyaluran beban yang digunakan konsumen, dan akibat ketidakserempakan penyaluran beban tersebut mengakibatkan mengalirnya arus netral transformator.

Tinjauan Umum Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya atau tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya, memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih

rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain. Transformator menggunakan prinsip hukum Faraday dan hukum Lorentz, dimana arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet.

Apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan, maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial. Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga dalam inti besi akan mengalir medan magnet, yang kemudian medan magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial.

Penggunaan transformator daya secara aman dapat dilakukan bila transformator tersebut digunakan pada sistem tenaga listrik sesuai dengan kemampuan yang dimiliki oleh transformator itu sendiri.

Konstruksi Transformator

Pada transformator daya secara umum konstruksi transformator dari transformator daya tersebut terdiri dari:

- Inti besi, sebagai media berjalannya medan magnet yang timbul akibat induksi arus bolak-balik pada kumparan.
- Bushing*, sebagai penghubung antara belitan dengan jaringan luar.
- Peralatan pendingin, berfungsi untuk menyalurkan panas ke luar transformator.
- Minyak trafo, berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi yang mempunyai sifat media pemindah panas dan daya tegangan tembus tinggi.
- Konservator, berfungsi untuk menampung minyak saat transformator mengalami kenaikan suhu.
- Peralatan pernafasan, berfungsi sebagai ventilasi udara yang berupa *silica gel* yang menyerap uap air yang disebabkan naik turunnya beban trafo maupun suhu dari luar yang disebabkan minyak trafo.
- Perubah tap, berfungsi untuk menyesuaikan rasio dengan mengubah belitan sisi primer dan sisi sekunder untuk menyesuaikan antara tegangan keluaran dengan tegangan masukan.
- Neutral Grounding Resistance*, berfungsi untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah, yang dipasang seri dengan netral sekunder trafo sebelum terhubung ke tanah.
- Indikator, berfungsi untuk mengawasi transformator selama beroperasi, antara lain adalah suhu minyak, permukaan minyak, sistem pendingin dan kedudukan tap.

Jenis-jenis Transformator

Berdasarkan perbandingan antara jumlah lilitan primer dan lilitan sekunder, transformator dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Transformator *step-up* (penaik tegangan), adalah transformator dengan lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan.
- Transformator *step-down* (penurun tegangan), adalah transformator dengan lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan.

Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet akan berubah-ubah. Sisi sekunder menerima jumlah garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula, maka di sisi sekunder juga timbul induksi yang mengakibatkan kedua ujung terdapat beda tegangan atau potensial.

Arus Beban Penuh Transformator Tiga Fasa

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer), transformator tersebut dapat dirumuskan pada persamaan 6.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (1)$$

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan 7.

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2)$$

Dimana:

I_{FL} = arus beban penuh (A).

S = daya transformator (kVA).

V = tegangan sisi sekunder transformator (kV).

I = arus jala-jala (A).

Metode Eksponensial

Dalam metode eksponensial, bentuk linier (**ln**) didapatkan dari daya semu (MVA) transformator dari tahun 2005-2010. Perkembangan konsumsi daya listrik pada konsumen dapat diprediksi dengan metode eksponensial, seperti persamaan (3).

$$Y = ae^{bx} \quad (3)$$

Nilai konstanta (**e**) adalah 2,71828.... Nilai (**a**) didapatkan menggunakan persamaan (4).

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Y_i) - b(\sum X_i)} \quad (4)$$

Nilai **(b)** didapatkan menggunakan persamaan (5).

$$b = \frac{m(\sum Xi \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(Xi^2) - (\sum Xi)^2} \quad (5)$$

Nilai **(m)** didapatkan dari jumlah data, dan prediksi konsumsi daya listrik pada konsumen didapatkan menggunakan persamaan (6).

$$\alpha = \frac{Y}{a} \quad (6)$$

Dimana:

α : faktor pengali (pertambahan beban).

Y : hasil persamaan pendekatan.

a : konstanta persamaan.

Peramalan beban yang ditanggung oleh transformator di masa yang akan datang dapat diketahui menggunakan persamaan (7).

$$S_t = S_0 \left(\frac{Y}{\alpha} \right) \quad (7)$$

Dimana:

S_t : pemakaian beban pada tahun t .

S_0 : pemakaian beban listrik (MVA).

Pembebanan transformator didapatkan dari hasil perkiraan beban dibagi dengan kapasitas transformator yang digunakan.

$$\%Pembebanan = \frac{S_t}{MVA_{trafo}} \times 100\% \quad (8)$$

Dan untuk menghitung arus beban transformator, digunakan persamaan (9).

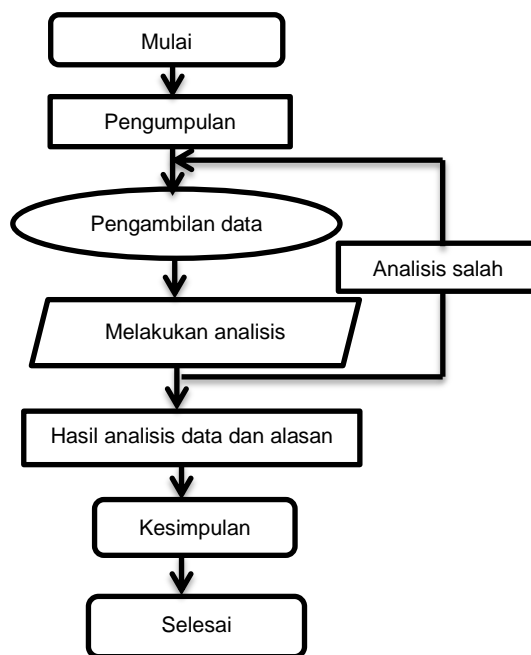
$$I_{pembebanan} = \frac{S(MVA)}{KV \times \cos \phi \times \sqrt{3}} \quad (9)$$

Peramalan arus beban yang ditanggung oleh transformator, digunakan persamaan (10).

$$A_t = A_0 \left(\frac{Y}{\alpha} \right) \quad (10)$$

Metodologi Penelitian dan Pembahasan

Setelah proses pengambilan data penelitian selesai dilakukan, kemudian dilakukan analisis menggunakan metode eksponensial terhadap data beban transformator yang sudah didapatkan dari tahun 2005-2010 sebagai prediksi beban puncak untuk beberapa tahun mendatang, lalu hasil perhitungan menggunakan metode eksponensial tersebut digunakan untuk mengetahui alasan dilakukannya penambahan transformator daya baru pada GI Kentungan. Diagram proses analisis yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada gambar (1).



Gambar 1 Diagram proses analisis

Data Transformator Gardu Induk Kentungan

Pada GI Kentungan terdapat dua transformator daya, yaitu transformator daya II dan transformator daya IV. Kedua transformator daya tersebut memiliki kapasitas 60 MVA. Adapun data (*nameplate*) dari transformator II dan transformator IV pada GI Kentungan adalah sebagai berikut:

1. Transformator II 60 MVA
 - a. Merk : XIAN
 - b. Type : TRANSFORMER WORKS
 - c. Serial : SFZ 60.000/150
 - d. Manufacture : 8605640
 - e. Cool System : 1995
 - f. Amb. Temp. : ONAN/ONAF
 - g. Nom. Rating : 40°C
 - h. Frequency : 36/60 MVA
 - i. Phase : 50 Hertz
 - j. Standart : 3
 - k. Instalation : IEC 76-1976
 - l. Temp. Oil : Outdoor
 - m. Wind. Temp. : 53°C
2. Transformator IV 60 MVA
 - a. Merk : UNINDO
 - b. Type : P060LEC757-14
 - c. Manufacture : 2013
 - d. Frequency : 50 Hertz
 - e. Phase : 3
 - f. Rated Power : 46/60 MVA
 - g. Instalation : Outdoor
 - h. Temp. Oil : 53°C
 - i. Wind. Temp. : 55°C

j. Cool Sys. : ONAN/ONAF

Data Beban Transformator II 60 MVA

Secara umum, data beban yang terdapat di gardu induk dilakukan dua kali pencatatan data beban dalam satu hari, yaitu pada jam 10:00 pagi dan pada jam 19:00 malam. Dengan asumsi pada kedua jam tersebut adalah waktu dimana pemakaian beban listrik dalam kondisi puncaknya. Pengambilan data beban pada transformator II dan transformator IV pada GI Kentungan dilakukan pada tanggal 11-15 Juni 2016 dengan dua kali pengambilan data, yaitu pada jam 10:00 pagi dan jam 19:00 malam, sesuai dengan pengambilan data rekap yang dilakukan oleh pihak PLN setiap harinya.

Data beban puncak transformator II tahun 2005-2010 jam 10:00 dan 19:00 dapat dilihat pada tabel (1) dan tabel (2).

Tabel 1 Beban puncak trafo II jam 10:00 tahun 2005-2010

Tahun	MW	MVAR	MVA	Cos ϕ	Arus Beban (A)
2005	18,15	11,35	20,65	0,91	73,80
2006	19,20	12,60	21,10	0,91	77,65
2007	20,65	13,48	22,45	0,90	81,40
2008	22,08	12,30	24,30	0,90	85,75
2009	23,52	13,65	25,08	0,92	92,20
2010	24,70	14,78	26,70	0,91	98,45

Tabel 2 Beban puncak trafo II jam 19:00 tahun 2005-2010

Tahun	MW	MVAR	MVA	Cos ϕ	Arus Beban (A)
2005	20,30	12,76	23,74	0,90	82,02
2006	21,42	13,25	23,94	0,89	86,99
2007	22,65	14,30	24,66	0,89	91,89
2008	24,50	13,74	26,16	0,90	96,38
2009	25,75	14,87	27,89	0,90	100,92
2010	26,35	17,42	28,54	0,88	104,80

Tabel 3 Data beban trafo II jam 10:00 sisi 150 kV

Sisi 150 kV. In = 230,9 A					
kV	R (A)	S (A)	T (A)	MW	MVAR
145	140	142	145	38,1	12
145	143	145	143	39	24
146	144	142	146	39,4	27
143	141	140	142	38,8	20
143	142	144	142	39	18

Tabel 4 Data beban trafo II jam 19:00 sisi 150 kV

Sisi 150 kV. In = 230,9 A					
kV	R (A)	S (A)	T (A)	MW	MVAR
148	145	147	152	38,3	55
145	148	146	149	40,1	53
147	148	151	150	39,8	57
148	146	148	147	41,3	55
149	149	152	150	39	56

Data Beban Transformator IV 60 MVA

Data beban puncak trafo IV tahun 2005-2010 jam 10:00 dan 19:00 dapat dilihat pada tabel (5) dan tabel (6).

Tabel 5 Beban puncak trafo IV jam 10:00 tahun 2005-2010

Tahun	MW	MVAR	MVA	Cos ϕ	Arus Beban (A)
2005	22,74	12,23	23,47	0,90	86,10
2006	23,30	13,50	25,10	0,90	92,62
2007	24,91	15,63	26,90	0,91	98,87
2008	25,65	15,70	29,95	0,91	104,30
2009	26,43	15,05	31,35	0,92	109,60
2010	27,21	16,38	34,52	0,90	114,25

Tabel 6 Beban puncak trafo IV jam 19:00 tahun 2005-2010

Tahun	MW	MVAR	MVA	Cos ϕ	Arus Beban (A)
2005	24,43	13,35	24,68	0,89	93,28
2006	24,71	14,21	26,36	0,89	97,85
2007	26,15	15,50	27,40	0,88	105,20
2008	26,92	14,78	30,29	0,90	109,76
2009	27,85	15,84	31,97	0,88	114,12
2010	29,41	16,05	35,10	0,90	117,90

Tabel 7 Data beban trafo IV jam 10:00 sisi 150 kV

Sisi 150 kV. In = 230,9 A					
kV	R (A)	S (A)	T (A)	MW	MVAR
142	182	182	184	121,1	19,5
140	153	150	150	120	18
145	150	149	151	121	19,3
142	176	176	178	120,4	18,5
145	148	148	150	121,3	20,1

Tabel 8 Data beban trafo IV jam 19:00 sisi 150 kV

Sisi 150 kV. In = 230,9 A					
kV	R (A)	S (A)	T (A)	MW	MVAR
142	141	142	142	181,8	14
146	168	170	170	185,3	18
145	155	155	157	175,1	16
147	181	180	182	187,7	20
146	175	173	176	184,1	19,5

Analisis dan Pembahasan Transformator II 60 MVA

Transformator II GI Kentungan memiliki daya 60 MVA. Prediksi beban puncak yang terjadi pada transformator II dilakukan dengan menggunakan koefisien **a** dan **b**, atau dengan persamaan (4) dan (5). Variabel perhitungan beban puncak jam 10:00 dapat dilihat pada tabel (9).

Tabel 9 Variabel perhitungan beban puncak jam 10:00 trafo II

Variabel	Tahun						Σ
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Xi	1	2	3	4	5	6	21
Yi (MVA)	20,65	21,1	22,45	24,3	25,08	26,7	140,28
Xi*Yi	20,65	42,2	67,35	97,2	125,4	160,2	513
Xi ²	1	4	9	16	25	36	91
Yi ²	426,42	445,2	504,0	590,4	629,0	712,8	3308,0
Ln Yi	3	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	18,9
Xi*ln Yi	3	6,2	9,3	12,8	16	19,8	67,1
(ln Yi) ²	9	9,61	9,61	10,24	10,24	10,89	59,59

Berdasar tabel (9), koefisien **a** didapatkan menggunakan persamaan (4) dan koefisien **b** dengan persamaan (5).

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,05428$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 7,4642$$

Persamaan pendekatan didapatkan dengan persamaan (3).

$$Y = a \times e^b = 7,8805$$

Faktor pengali dihitung menggunakan persamaan (6).

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0557$$

Peramalan beban transformator II tahun 2011 dapat dihitung dengan persamaan (7).

$$S_{(2011)} = 26,70 \times 1,0557 = 28,187 \text{ MVA}$$

Persen pembebanan menggunakan persamaan (9).

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{28,187}{60} \times 100\% = 46,97\%$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti tabel (9), dan mengganti (**Yi**) dengan variabel arus beban transformator II pada jam 10:00, maka koefisien **a** dan **b** yang didapatkan adalah:

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,06$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 23,4929$$

Persamaan pendekatan dihitung dengan persamaan (3).

$$Y = a \times e^b = 24,9456$$

Faktor pengali menggunakan persamaan (6).

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0618$$

Peramalan arus beban transformator II tahun 2011 dapat dihitung dengan persamaan (10).

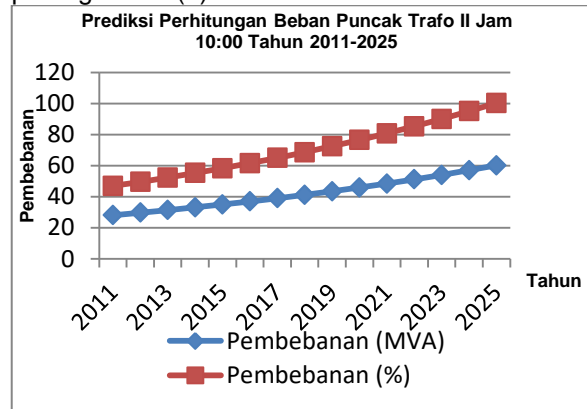
$$A_{(2011)} = 98,45 \times 1,0618 = 104,53 \text{ Ampere}$$

Dengan metode yang sama seperti peramalan beban dan arus beban, hasil perhitungan sampai tahun 2025 dapat dilihat pada tabel (10).

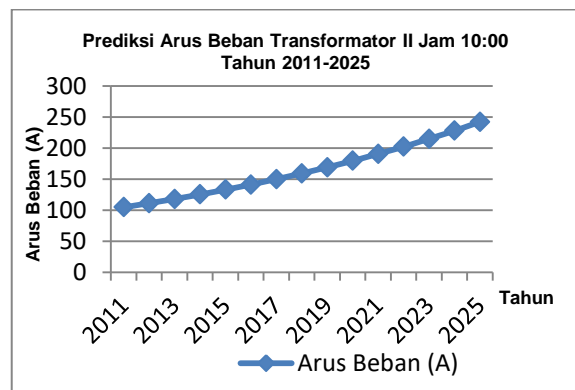
Tabel 10 Perhitungan beban puncak dan arus beban trafo II jam 10:00

Tahun	Pembebanan (MVA)	Pembebanan (%)	Arus Beban (A)
2011	28,187	46,97	104,53
2012	29,757	49,59	110,98
2013	31,414	52,35	117,83
2014	33,163	55,27	125,11
2015	35,010	58,35	132,84
2016	36,960	61,60	141,04
2017	39,018	65,03	149,75
2018	41,191	68,65	159
2019	43,485	72,47	168,82
2020	45,907	76,51	179,25
2021	48,464	80,77	190,32
2022	51,163	85,27	202,08
2023	54,012	90,02	214,56
2024	57,020	95,03	227,81
2025	60,196	100,32	241,88

Untuk grafik prediksi pembebanan transformator II jam 10:00 tahun 2011-2025 dapat dilihat pada gambar (2), dan grafik arus beban jam 10:00 tahun 2011-2025 dapat dilihat pada gambar (3).



Gambar 2 Grafik prediksi beban puncak trafo II tahun 2011-2025



Gambar 3 Grafik prediksi arus beban trafo II tahun 2011-2025

Dengan menggunakan metode eksponensial dan cara yang sama seperti pada perhitungan beban puncak dan arus beban pada trafo II jam 10:00, maka pada jam 19:00 trafo II dapat diketahui koefisien-koefisien yang digunakan, yaitu:

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,05428$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 8,2492$$

Persamaan pendekatan dihitung menggunakan persamaan (3).

$$Y = a \times e^b = 8,7095$$

Faktor pengali dihitung dengan persamaan (6).

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0557$$

Peramalan beban tahun 2011, dengan persamaan (7) yaitu:

$$S_{(2011)} = 28,54 \times 1,0557 = 30,129 \text{ MVA}$$

Persen pembebanan tahun 2011, dengan persamaan (9), yaitu:

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{30,129}{60} \times 100\% = 50,21\%$$

Menggunakan metode eksponensial, arus beban transformator II jam 19:00 dapat diketahui koefisiennya, yaitu:

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,04571$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 34,47002$$

Persamaan pendekatan, dengan persamaan (3), yaitu:

$$Y = a \times e^b = 36,0822$$

Faktor pengali, dengan persamaan (6), yaitu:

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0467$$

Peramalan arus beban tahun 2011-2025, dengan persamaan (10).

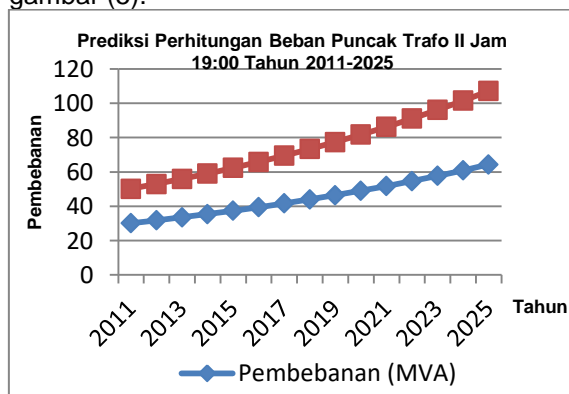
$$A_{(2011)} = 104,80 \times 1,0467 = 109,64 \text{ A}$$

Perhitungan pembebanan dan arus beban transformator II jam 19:00 tahun 2011-2025 dapat dilihat pada tabel (11).

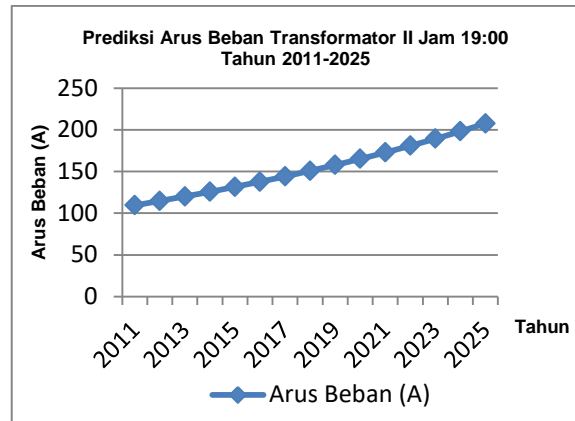
Tabel 11 Perhitungan beban puncak dan arus beban trafo II jam 19:00

Tahun	Pembebanan (MVA)	Pembebanan (%)	Arus Beban (A)
2011	30,129	50,21	109,57
2012	31,807	53,01	114,68
2013	33,578	55,96	120,03
2014	35,448	59,08	125,64
2015	37,422	62,37	131,50
2016	39,506	65,84	137,64
2017	41,706	69,51	144,06
2018	44,029	73,38	150,78
2019	46,481	77,46	157,82
2020	49,069	81,78	165,19
2021	51,802	86,33	172,90
2022	54,687	91,14	180,97
2023	57,733	96,22	189,42
2024	60,948	101,58	198,26
2025	64,342	107,23	207,51

Grafik prediksi pembebanan transformator II jam 19:00 tahun 2011-2025 dapat dilihat pada gambar (4), dan grafik arus beban pada gambar (5).



Gambar 4 Grafik prediksi beban puncak trafo II tahun 2011-2025



Gambar 5 Grafik prediksi arus beban trafo II tahun 2011-2025

Dengan menggunakan persamaan (2) dan berdasarkan tabel (3) dan (4), arus beban penuh transformator II pada sisi 150 kV, dapat dilihat pada tabel (12).

Tabel 12 Arus beban trafo II tanggal 11-15 Juni 2016

Tanggal	I_{FL} (A)	Waktu	$I_{rata-rata}$ (A)	Beban Trafo (%)
11/06/2016	230,9	Siang	142,34	61,64
11/06/2016	230,9	Malam	148	64,09
12/06/2016	230,9	Siang	143,67	62,23
12/06/2016	230,9	Malam	147,67	63,95
13/06/2016	230,9	Siang	144	62,36
13/06/2016	230,9	Malam	149,67	64,82
14/06/2016	230,9	Siang	141	61,06
14/06/2016	230,9	Malam	147	63,66
15/06/2016	230,9	Siang	142,67	61,78
15/06/2016	230,9	Malam	150,34	65,12

Transformator IV 60 MVA

Transformator daya IV GI Kentungan memiliki daya 60 MVA. Dengan menggunakan metode eksponensial dan cara yang sama seperti pada perhitungan pembebanan dan arus beban pada transformator II jam 10:00 dan jam 19:00, serta berdasarkan data tabel (5) dan (6), koefisien yang didapatkan berdasarkan tabel (5), yaitu:

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,07714$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 5,2775$$

Persamaan pendekatan, dengan persamaan (3), yaitu:

$$Y = a \times e^b = 5,7007$$

Faktor pengali, dengan persamaan (6), yaitu:

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0801$$

Peramalan beban tahun 2011, dengan persamaan (7), yaitu:

$$S_{(2011)} = 34,52 \times 1,0801 = 37,285 \text{ MVA}$$

Persen pembebanan tahun 2011, dengan persamaan (9), yaitu:

$$\%Pembebanan = \frac{37,285}{60} \times 100\% = 62,14\%$$

Menggunakan metode eksponensial, arus beban transformator IV jam 10:00 dapat diketahui koefisiennya, yaitu:

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,05428$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 30,2689$$

Persamaan pendekatan, dengan persamaan (3), yaitu:

$$Y = a \times e^b = 31,9573$$

Faktor pengali, dengan persamaan (6), yaitu:

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0557$$

Peramalan arus beban tahun 2011-2020, dengan persamaan (10), yaitu:

$$A_{(2011)} = 114,25 \times 1,0557 = 120,61$$

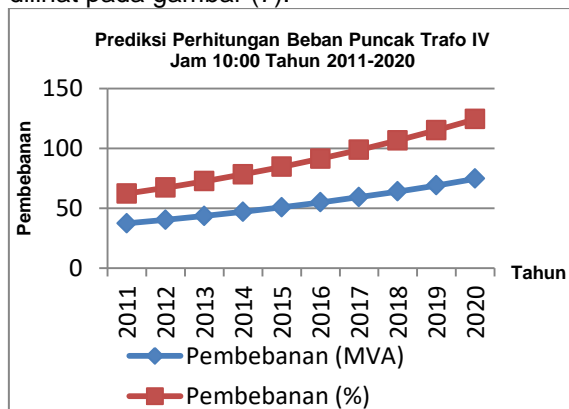
Ampere

Perhitungan pembebanan dan arus beban transformator IV tahun 2011-2020 dapat dilihat pada tabel (13).

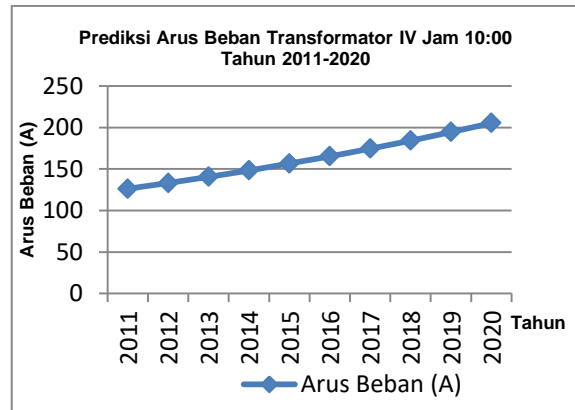
Tabel 13 Perhitungan beban puncak dan arus beban trafo IV jam 10:00

Tahun	Pembebanan (MVA)	Pembebanan (%)	Arus Beban (A)
2011	37,285	62,14	126,10
2012	40,271	67,11	133,12
2013	43,496	72,49	140,53
2014	46,980	78,30	148,35
2015	50,743	84,571	156,61
2016	54,807	91,34	165,33
2017	59,197	98,66	174,53
2018	63,938	106,56	184,25
2019	69,059	115,09	194,51
2020	74,590	124,31	205,34

Grafik prediksi pembebanan transformator IV jam 10:00 tahun 2011-2020 dapat dilihat pada gambar (6), dan grafik arus beban dapat dilihat pada gambar (7).



Gambar 6 Grafik prediksi beban puncak trafo IV tahun 2011-2020



Gambar 7 Grafik prediksi arus beban trafo IV tahun 2011-2020

Dengan menggunakan metode eksponensial dan cara yang sama seperti pada perhitungan beban puncak dan arus beban pada trafo IV jam 10:00, maka pada jam 19:00 trafo IV dapat diketahui koefisien-koefisien yang digunakan, yaitu:

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,06285$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 7,5394$$

Persamaan pendekatan, dengan persamaan (3), yaitu:

$$Y = a \times e^b = 8,0284$$

Faktor pengali, dengan persamaan (6), yaitu:

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0648$$

Peramalan beban tahun 2011-2020, dengan persamaan (7), yaitu:

$$S_{(2011)} = 35,10 \times 1,0648 = 37,374$$

Persen pembebanan tahun 2011-2020, yaitu:

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{37,374}{60} \times 100\% = 62,29\%$$

Menggunakan metode eksponensial, arus beban transformator IV jam 19:00 dapat diketahui koefisiennya, yaitu:

$$b = \frac{m(\sum Xi \times \ln Yi) - (\sum Xi)(\sum \ln Yi)}{m(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} = 0,04571$$

$$a = e^{\frac{1}{m}(\sum \ln Yi) - b(\sum Xi)} = 38,0952$$

Persamaan pendekatan, dengan persamaan (3), yaitu:

$$Y = a \times e^b = 39,8769$$

Faktor pengali, dengan persamaan (6), yaitu:

$$\alpha = \frac{Y}{a} = 1,0467$$

Peramalan arus beban tahun 2011-2020, dengan persamaan (10), yaitu:

$$A_{(2011)} = 117,90 \times 1,0467 = 123,40 \text{ A}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, beban puncak dan arus beban transformator IV tahun 2011-2020 dapat dilihat pada tabel (14).

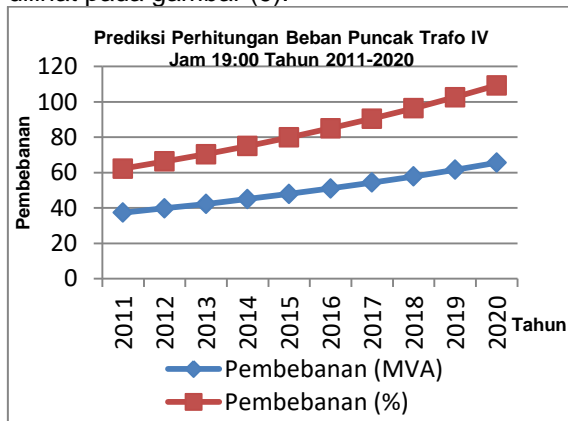
Tabel 14 Perhitungan beban puncak dan arus beban trafo IV jam 19:00

Tahun	Pembebanan (MVA)	Pembebanan (%)	Arus Beban (A)
2011	37,374	62,29	123,40
2012	39,795	66,32	129,16
2013	42,273	70,45	135,19
2014	45,012	75,02	141,50
2015	47,928	79,88	148,10
2016	51,033	85,05	155,01
2017	54,339	90,56	162,24
2018	57,860	96,43	169,81
2019	61,609	102,68	177,74
2020	65,601	109,33	186,04

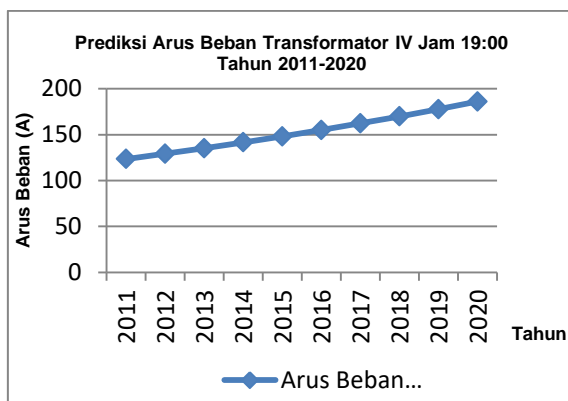
Tabel 15 Arus beban trafo IV tanggal 11-15 Juni 2016

Tanggal	I _{FL} (A)	Waktu	I _{rata-rata} (A)	Beban Trafo (%)
11/06/2016	230,9	Siang	182,67	79,11
11/06/2016	230,9	Malam	141,67	61,35
12/06/2016	230,9	Siang	151	65,39
12/06/2016	230,9	Malam	169,34	73,34
13/06/2016	230,9	Siang	149,67	64,81
13/06/2016	230,9	Malam	155,67	67,41
14/06/2016	230,9	Siang	176,67	76,51
14/06/2016	230,9	Malam	181	78,38
15/06/2016	230,9	Siang	148,67	64,38
15/06/2016	230,9	Malam	174,67	75,64

Grafik prediksi pembebanan transformator IV jam 19:00 tahun 2011-2020 dapat dilihat pada gambar (8), dan grafik arus beban dapat dilihat pada gambar (9).



Gambar 8 Grafik prediksi beban puncak trafo IV tahun 2011-2020



Gambar 9 Grafik prediksi arus beban trafo IV tahun 2011-2020

Dengan menggunakan persamaan (2) dan berdasarkan tabel (7) dan (8), arus beban penuh transformator II pada sisi 150 kV, dapat dilihat pada tabel (15).

Dari hasil analisis yang sudah dilakukan, diketahui bahwa prediksi beban yang ditanggung oleh transformator II tahun 2016 pada siang hari (jam 10:00) sebesar 61,60% dengan arus beban 141,04 A dan malam hari (jam 19:00) sebesar 65,84% dengan arus beban 137,64 A, sedangkan beban yang ditanggung transformator II saat pengambilan data, yaitu tanggal 11-15 Juni 2016 siang hari sudah mencapai 62,36% dengan arus beban 144 A dan untuk malam hari sudah mencapai 65,12% dengan arus beban 150,34 A. Pembebanan bulan Juni 2016 sendiri sudah melebihi dari prediksi pembebanan transformator karena prediksi tersebut ditujukan untuk pembebanan paling tinggi pada tahun 2016 adalah 65,84% dengan arus beban 137,64 A.

Begitu juga yang terjadi pada transformator IV, hasil prediksi menggunakan metode eksponensial didapatkan pada tahun 2016 siang hari sebesar 91,34% dengan arus beban 165,33 A dan malam hari sebesar 85,05% dengan arus beban 155,01 A, dan yang pembebanan yang terjadi pada transformator IV tanggal 11-15 Juni 2016 siang hari sudah mencapai 79,11% dengan arus beban 182,67 A dan malam hari sebesar 78,38% dengan arus beban 181 A. Pembebanan yang diprediksikan pada tahun 2016 adalah 91,34% dengan arus beban 165,33 A.

Kedua transformator yang terpasang pada Gardu Induk Kentungan pada tanggal 11-15 Juni 2016 sudah melebihi prediksi yang dihitung menggunakan metode eksponensial. Transformator II dari hasil prediksi, pada tahun 2025 harus diganti atau ditambahkan unit transformator baru, sedangkan transformator IV diprediksi pada tahun 2018 sudah melebihi batas pembebanannya dan harus dilakukan penggantian atau penambahan unit transformator baru. Pertambahan beban yang melebihi prediksi tersebut dikarenakan penggunaan beban pada konsumen yang

semakin meningkat melebihi hasil prediksi dan pembebanan yang ditanggung oleh transformator adalah sekitar 85% untuk mencegah terjadinya kerusakan atau beban lebih pada transformator.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil prediksi yang dilakukan menggunakan metode eksponensial, disarankan adanya penambahan unit transformator daya baru karena transformator IV pada tahun 2018 pembebanannya sudah mencapai 96,43%, dan harus dilakukan penggantian atau penambahan. Transformator II diprediksi tahun 2024 dengan pembebanan 101,58% dan harus dilakukan penggantian. Namun karena pertambahan beban yang semakin meningkat dan bisa melebihi hasil prediksi, disarankan menambahkan unit transformator daya baru dengan daya sebesar 60 MVA daripada transformator dengan daya 30 MVA, untuk mengantisipasi pertambahan beban yang melebihi analisis prediksi yang sudah dilakukan menggunakan data dari tahun 2005-2010.

Saran

1. Dalam pengumpulan data yang diperlukan, sebaiknya sudah dipersiapkan terlebih dahulu data-data apa saja yang ingin digunakan dan diambil, dan sebaiknya dilakukan jauh-jauh hari sebelum melakukan pengambilan data.
2. Karena peralatan ukur yang tidak pasti ada di gardu induk dan hanya bisa digunakan pada saat-saat tertentu seperti saat dilakukan pemeliharaan rutin (*maintenance*), terkadang harus menggunakan data hasil dari pemeliharaan sebelumnya atau data standar, bukan dari hasil pengukuran.

Daftar Pustaka

- Bawan, Elias K., *Estimasi Pembebanan Transformator Gardu Induk 150 kV*, Jurnal Ilmiah Foristek Vol.3, No. 2, September 2013.
- Indrakoesoema Koes, dkk, 2012, *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Kering BHT02 RSG GA SIWABESSY Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi*, Buku II.
- Kadir, Abdul, 1989, *Transformator*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Kurniawan, Danny Hendra, 2016, *Analisis Pembebanan Transformator I 60 MVA*

150/20 kV Gardu Induk Gejayan Yogyakarta, Kerja Praktek II.

- Linsley Trevor, 2004, *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*, Erlangga, Jakarta.
- Panusur, Yoakim Simamora, *Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi-Rugi pada Jaringan Tegangan Rendah*, Singuda Ensikom Vol. 7 No.3, Juni 2014.
- Setiadji, Julius Sentosa, dkk, *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*, Jurnal Teknik Elektro Vol. 6, No.1, Maret 2006: 68-73.
- Theraja B.L., 1977, *A Text Book of Electrical Technology*, New Delhi, S. Chand & Company Ltd.
- William D. Stevenson, Jr., 1983, *Analisis Sistem Tenaga*, Universitas Brawijaya Malang, Surabaya.
- Zuhal, 2000, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Zuhal, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, ITB Bandung, Bandung.