

Pemodelan Kurva Pembebanan Transformator Distribusi Berdasarkan Variasi Penetrasi PLTS Atap

Galuh Prawestri Citra Handani^{*a)}, Rahman Azis Prasojo^{a)}, Nurfi Fuad Al Azah^{a)}, Salman Alfari^{a)}, Anang Dasa Novfowan^{a)}, Afidah Zuroida^{a)}, Rahma Nur Amalia^{a)}, Rhezal Agung Ananto^{a)}, Arinalhaq Fatachul Aziiz^{a)}

(Received 24 Mei 2025 || Revised 16 Juni 2025 || Published 30 Juni 2025)

Abstract: Transformers are considered important equipment in the power distribution system. Determining the state of the distribution network loading curve a network model to analyze the impact of the rooftop PV system penetration level. The assumption of penetration is 10% - 100% and based on the amount of transformer power according to the nameplate, which is 160 kVA. The transformer that used is GTT BB1215, which is one of the distribution transformers in the PT PLN (Persero) UP3 South Surabaya. The loading curve modeling uses DigSILENT PowerFactory 2021 software with the Quasi-Dynamic Simulation feature. Based on the average loading curve of GTT BB1215 for 14 days, there is a fluctuation, starting at 00.00 a.m - 06.00 a.m the load will decrease, the load will increase again at 06.00 a.m - 07.00 p.m, and the peak load at 06.00 p.m - 07.00 p.m with a current of 140 A (96 kW) or 60% of the transformer capacity load. The lowest load occurs at 06.00 a.m with a current of 94 A (65 kW) or 40% of the transformer capacity load. At a penetration level of 10% - 40%, the transformer load decreases significantly. However, when the penetration level exceeds 40%, there is a reverse power flow from the rooftop PV system to the transformer. This condition make the current to continue flowing even though the load on the transformer has reached 0, because the current represents the power flow from the rooftop PV system to the network, not from the customer load.

Keywords: load curve, distribution transformer, rooftop PV system, DigSILENT PowerFactory

1. Pendahuluan

Seiring dengan berjalannya waktu, laju pertumbuhan penduduk dan keberagaman aktivitas manusia, maka kebutuhan energi listrik akan terus mengalami peningkatan [1]. Untuk menciptakan sumber energi bersih dan berkelanjutan dapat dilakukan dengan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, salah satunya dengan memanfaatkan sumber energi surya sebagai PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) [2]. Saat ini umumnya pemasangan PLTS atap dikoneksikan secara langsung ke jaringan (*on grid*) tegangan rendah maupun tegangan menengah [3]. Pemasangan PLTS atap secara *on grid* dapat mempengaruhi pembebanan transformator yang mengakibatkan pembebanan menjadi fluktuatif dan dapat mengurangi beban puncak serta energi yang dihasilkan. Hal ini tentunya berdampak buruk terhadap kondisi peralatan tenaga listrik khususnya peralatan pada jaringan distribusi. Guna memprioritaskan kebutuhan konsumen maka diperlukan sistem distribusi tenaga listrik yang baik dan andal dengan memperhatikan kondisi peralatan tenaga listrik. Salah satu peralatan vital dalam distribusi tenaga listrik adalah transformator.

Transformator tenaga beroperasi secara kontinu melayani beban selama 24 jam, sehingga harus dijaga keandalannya dan perlu diperhatikan secara khusus pembebanan dari transformator tersebut. Studi pembebanan pada beberapa wilayah di PT PLN (Persero) telah banyak diinvestigasi dan hasil investigasi tersebut memaparkan bahwa pembebanan maksimal transformator sebaiknya di angka 80% [4]. Dengan mengetahui besar kapasitas pembebanan suatu transformator maka dapat dibuat pemodelan kurva pembebanan dari transformator itu sendiri. Penentuan keadaan kurva pembebanan jaringan distribusi pada saat PLTS atap beroperasi memerlukan suatu model jaringan yang dapat digunakan untuk menganalisis dampak penetrasi PLTS atap terhadap jaringan distribusi.

Pada penelitian terdahulu, PLTS atap berdampak terhadap umur isolasi transformator dengan metode perhitungan HST (*Hot-Spot Temperature*) dan TOT (*Top-Oil Temperature*) berdasarkan data beban transformator dan data beban rumah yang terpasang

PLTS atap [5]. Tingkat penetrasi PLTS atap yang tinggi mengakibatkan kenaikan tegangan dan profil tegangan yang juga bervariasi [3]. Dampak *reverse power flow* pada PLTS terhadap jaringan distribusi dengan metode pemodelan sistem menyebabkan resiko kelebihan beban transformator [6].

PLTS atap dapat mengurangi jumlah pembebanan transformator dan berdampak baik terhadap jaringan jika level penetrasi tidak terlalu tinggi. Namun jika penetrasi terlalu tinggi maka akan mengganggu jaringan seperti fuktuasi beban yang tidak stabil, kenaikan tegangan pada jaringan, dan meningkatnya *losses* pada belitan. Profil tegangan akan lebih bervariasi sesuai dengan tingkat penetrasi yang berbeda. Maka dari itu perlu adanya analisis kurva pembebanan transformator berdasarkan variasi penetrasi PLTS atap pada suatu sistem.

Jika dilihat dari beberapa penelitian terdahulu tentang PLTS atap, penelitian terdahulu masih belum menggunakan variasi penetrasi PLTS atap yang variatif, hanya satu penetrasi yang digunakan untuk menentukan dampak penetrasi PLTS atap terhadap jaringan. Selanjutnya penelitian terkini masih belum menggunakan pemodelan sistem jaringan sebagai analisis pada penetrasi PLTS atap. Namun jika ada yang dimodelkan, tidak disimulasikan menggunakan *software* pendukung. Penelitian ini bertujuan memodelkan dan menganalisis kurva pembebanan transformator distribusi terhadap variasi penetrasi PLTS atap dengan metode pemodelan suatu jaringan sistem. Dengan adanya kurva pembebanan transformator diharapkan dapat memonitoring dan menganalisis fluktuasi beban dalam suatu jaringan distribusi.

2. Metode

2.1 Diagram Alir Penelitian

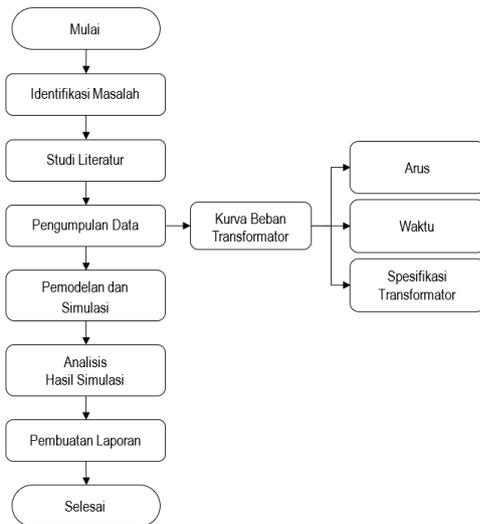
Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi permasalahan dan studi literatur terkait kurva pembebanan transformator dan pengaruh variasi penetrasi PLTS atap. Tahap selanjutnya yaitu pengumpulan data pembebanan transformator distribusi pada suatu GTT di lingkup PT PLN (Persero) UP3 Surabaya Selatan. Parameter yang diperlukan pada data beban transformator yaitu

*Korespondensi: galuh.prawestri@polinema.ac.id

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

data arus, waktu, dan spesifikasi transformator dalam 1 hari selama 14 hari. Rentang waktu 14 hari ini telah merepresentasikan variasi pembebanan harian terkait pola konsumsi pelanggan. Data pembebanan tersebut digunakan untuk pemodelan sistem pada *software* DlgSILENT *PowerFactory* 2021 dan sebagai bahan analisis kurva pembebanan transformator. Simulasi juga dilakukan untuk mengetahui perbandingan kurva pembebanan pada kondisi tanpa adanya penetrasi PLTS atap dan adanya penetrasi PLTS atap dengan menggunakan fitur *Quasi-Dynamic Simulation* pada DlgSILENT. Fungsi utamanya yaitu untuk melihat bagaimana suatu sistem dapat merespon variasi beban atau pembangkitan yang fluktuatif terhadap waktu, misalnya berdasarkan profil beban atau produksi energi dari PLTS setiap hari.

Alur penelitian secara umum ditunjukkan dengan diagram alir pada Gambar 2.1.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN KURVA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Asumsi penetrasi PLTS atap dengan berbagai level penetrasi yaitu 10% - 100%. Penentuan nilai penetrasi dari besarnya daya transformator sesuai *nameplate* yaitu 160 kVA. Profil daya harian PLTS untuk tingkat penetrasi diperoleh dari nilai beban dalam satuan kilowatt (kW) yang terjadi pada masing-masing waktu dan tingkat penetrasi. Sebagai contoh pada penetrasi 100% daya PLTS atap yang masuk ke jaringan adalah 100% dari kapasitas daya trafo (160 kVA) maka daya PLTS atap yang masuk ke jaringan adalah 160 kW. Hal ini menunjukkan bahwa saat penetrasi 100% daya yang dihasilkan PLTS sama dengan daya trafo.

Berdasarkan PERMEN ESDM No. 2 Tahun 2024 menyatakan bahwa kapasitas pemasangan PLTS atap tidak dibatasi 100% dari daya terpasang PLN tetapi berdasarkan ketersediaan kuota PLN. Data yang diperlukan pada masing-masing level penetrasi antara lain data kurva pembebanan transformator, data besarnya penetrasi PLTS atap, data kurva penurunan pembebanan ketika adanya penetrasi PLTS atap, dan data tegangan bus *outgoing* transformator.

2.2 Spesifikasi Transformator Distribusi

Pada penelitian ini, peneliti bekerja sama dengan PT PLN (Persero) UP3 Surabaya Selatan sebagai tempat dalam pengambilan data. Data yang diambil yaitu spesifikasi transformator distribusi GTT BB1215 pada wilayah kerja ULP Darmo Permai yang disuplai oleh gardu induk Alta Prima.



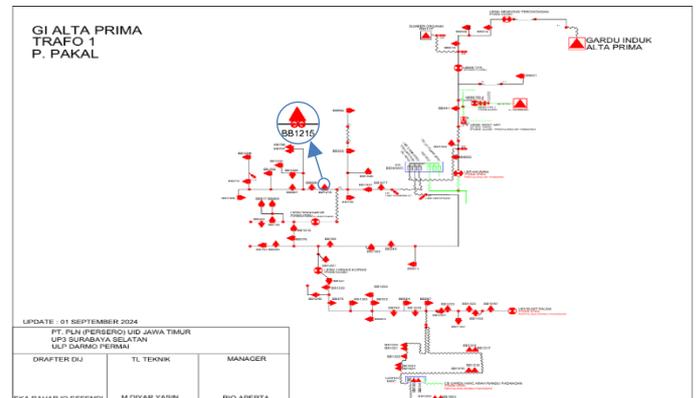
GAMBAR 2.2 TRANSFORMATOR GTT BB1215 ULP DARMO PERMAI

Detail spesifikasi transformator GTT BB1215 ULP Darmo Permai :

- Jumlah Fasa : 3 Fasa
- Frekuensi : 50 Hz
- Daya : 160 kVA
- Tegangan Primer : 20000 V
- Tegangan Sekunder : 400 V
- Arus Primer : 4.61 A
- Arus Sekunder : 230.94 A
- Nomor Standar : SPLN D3.002-1:2007
- Jumlah Pelanggan : 369 Pelanggan
- No Gardu Transformator : BB1215
- Penyulang : Pakal
- Gardu Induk : Alta Prima
- No Trafo Gardu Induk : 1

2.3 Single Line Diagram (SLD) Gardu Induk Alta Prima Transformator 1, Penyulang Pakal

Single Line Diagram (SLD) yang digunakan pada penelitian ini yaitu Gardu Induk Alta Prima, transformator 1, Penyulang Pakal, dan transformator GTT BB1215. GTT BB1215 ditandai dalam lingkaran biru seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



GAMBAR 2.3 SLD GI ALTA PRIMA, TRANSFORMATOR 1, PENYULANG PAKAL

2.4 Kurva Pembebanan Transformator

Salah satu data yang diperoleh pada saat observasi ke PT PLN (Persero) UP3 Surabaya Selatan yaitu pembebanan transformator GTT BB1215. Metode yang digunakan yaitu pengambilan data menggunakan *Alutrol data logger*. Tujuannya yaitu untuk mendapatkan pola konsumsi pelanggan GTT BB1215 selama 24 jam *non-stop* selama 14 hari pada tanggal 28 Oktober 2024 - 10 November 2024. Dari hasil sampel data arus pembebanan pelanggan tersebut, maka dapat dibuat model kurva pembebanan transformator. Tabel 2.1 merupakan sampel hasil *logger* pembebanan dari GTT BB1215 selama 1 hari yaitu pada tanggal 28 Oktober 2024.

TABEL 2.1 HASIL LOGGING ALUTROL TANGGAL 28 OKTOBER 2024

Jam	Arus (A)	Tegangan L-L (V)
0:00	127	404
1:00	122	405
2:00	123	406
3:00	120	406
4:00	116	405
5:00	102	407
6:00	90	407
7:00	95	402
8:00	97	405
9:00	102	407
10:00	101	406
11:00	103	406
12:00	106	406
13:00	109	401
14:00	109	403
15:00	112	405
16:00	136	406
17:00	152	404
18:00	155	402
19:00	152	400
20:00	142	400
21:00	135	401
22:00	130	400
23:00	129	404

Berdasarkan data Tabel 2.1 didapatkan kurva pembebanan GTT BB1215 dalam keadaan tanpa adanya penetrasi PLTS atap. Berikut merupakan sampel kurva daya *output* GTT BB1215 pada tanggal 28 Oktober 2024.



GAMBAR 2.4 KURVA PEMBEBANAN GTT BB1215 TANGGAL 28 OKTOBER 2024

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kurva Pembebanan Transformator Distribusi

Data monitoring pembebanan GTT BB1215 mencakup beberapa parameter yang tercatat di Alutrol *data logger* meliputi data waktu, frekuensi, arus pembebanan, beban yang ditanggung oleh transformator (kW), dan tegangan. Alutrol mendata dengan rentang waktu per detik, jadi data konsumsi pelanggan per detik dapat tercatat oleh alutrol. Untuk data yang tercatat di mulai dari data waktu dengan jarak waktu 1 detik, data frekuensi dalam satuan Hertz (Hz), selanjutnya terdapat parameter I_R , I_S , I_T yaitu total arus yang di dihasilkan oleh I_{L1} dan I_{L2} . Ada pula I_N yaitu arus yang timbul karena ketidakseimbangan beban, dan ketidakseimbangan beban tersebut juga tercatat oleh alutrol dengan satuan %. Terdapat data pembebanan transformator dalam satuan persen (%) yang menunjukkan berapa persen daya yang sedang dibebankan terhadap kapasitas nominal transformator.

Untuk mendapatkan data kurva pembebanan dari data awal alutrol maka perlu dilakukan penyederhanaan dan pengolahan agar dapat digunakan sebagai bahan kurva pembebanan. Dari data awal hasil *logging* alutrol sebelumnya, arus pembebanan yang

awalnya masih dalam bentuk I_R , I_S , I_T akan dijadikan satu nilai dengan cara dirata-rata. Nilai arus rata-rata tersebut akan dikelompokkan menjadi rata-rata arus pembebanan per hari. Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 merupakan hasil pengolahan data arus pembebanan per hari selama 14 hari.

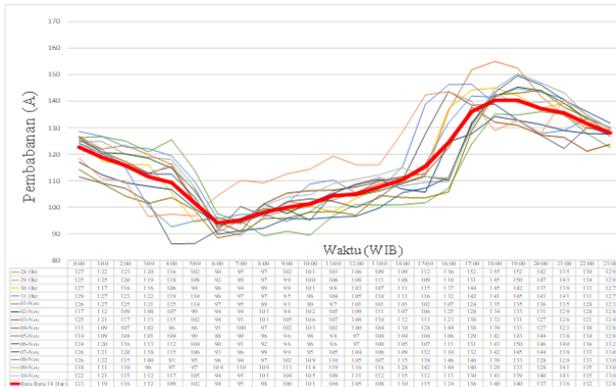
TABEL 3.1 HASIL PENGOLAHAN DATA ARUS PEMBEBANAN DENGAN ALUTROL

Waktu/Tanggal	Arus (A)							
	28-10	29-10	30-10	31-10	01-11	02-11	03-11	04-11
0:00	127	125	127	129	126	117	125	111
1:00	122	125	117	127	127	112	121	109
2:00	123	120	116	123	125	109	117	107
3:00	120	119	116	122	121	108	113	102
4:00	116	118	106	119	125	107	115	86
5:00	102	108	94	110	114	99	102	86
6:00	90	92	96	96	97	94	94	91
7:00	95	89	94	97	95	94	91	100
8:00	97	97	99	97	89	101	101	97
9:00	102	99	99	95	91	98	105	102
10:00	101	100	101	98	89	102	106	103
11:00	103	106	98	104	97	105	107	102
12:00	106	108	103	105	101	109	108	100
13:00	109	111	107	110	101	111	110	104
14:00	109	108	111	111	101	107	112	110
15:00	112	109	115	116	102	106	113	128
16:00	136	110	137	132	107	125	123	144
17:00	152	131	144	142	124	128	138	138
18:00	155	145	145	141	135	134	132	139
19:00	152	150	142	145	135	133	131	133
20:00	142	147	137	143	136	131	127	127
21:00	135	143	139	141	135	129	126	122
22:00	130	134	133	131	128	128	121	130
23:00	129	129	127	127	123	128	124	128

TABEL 3.2 HASIL PENGOLAHAN DATA ARUS PEMBEBANAN DENGAN ALUTROL

Waktu/Tanggal	Arus (A)						Rata-Rata Arus Selama 14 Hari (A)
	05-11	06-11	07-11	08-11	09-11	10-11	
0:00	114	124	126	126	118	122	123
1:00	109	120	121	122	111	121	119
2:00	104	116	120	115	110	115	116
3:00	101	113	118	100	96	112	112
4:00	104	112	115	93	97	117	109
5:00	99	104	106	95	97	105	102
6:00	88	90	93	96	104	94	94
7:00	90	91	96	94	110	95	95
8:00	96	92	99	97	109	101	98
9:00	96	96	99	102	113	104	100
10:00	98	96	95	109	114	105	101
11:00	98	96	105	110	119	109	104
12:00	97	97	104	105	116	111	105
13:00	104	100	106	107	116	112	108
14:00	104	105	109	115	128	115	110
15:00	104	107	112	139	142	112	115
16:00	106	111	110	146	144	111	124
17:00	129	131	132	146	140	130	136
18:00	142	143	142	139	129	143	140
19:00	143	150	145	133	133	139	140
20:00	144	146	144	128	128	140	137
21:00	138	140	139	129	141	141	136
22:00	134	136	133	133	135	135	132
23:00	128	132	130	130	130	130	128

Data rata-rata arus pembebanan selama 14 hari yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 kemudian dapat dimodelkan dalam bentuk kurva pembebanan. Kurva pembebanan transformator GTT BB1215 ditunjukkan pada Gambar 3.1.



GAMBAR 3.1 KURVA RATA-RATA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR GTT BB1215 SELAMA 14 HARI

Garis kurva berwarna merah tebal, merupakan rata-rata pembebanan selama 14 hari. Jika dilihat dari fluktuasi pembebanan transformator, pada pukul 00.00-06.00 WIB pembebanan mengalami penurunan dan pada pukul 06.00-18.00 WIB mulai mengalami kenaikan secara konsisten. Pembebanan akan mengalami penurunan kembali pada pukul 19.00-23.00 WIB. Pembebanan pada GTT BB1215 tertinggi terjadi pada pukul 18.00 dan 19.00 yaitu terbebani 140 A (96 kW) yang artinya transformator terbebani sebesar 60% dari kapasitas transformator. Hal ini terjadi karena pemakaian beban listrik yang tinggi dan dilakukan secara bersamaan. Sedangkan untuk beban terendah terjadi pada pukul 06.00 yaitu terbebani 94 A (65 kW) yang artinya transformator terbebani sebesar 40%. Berdasarkan fluktuasi pembebanan yang variatif tersebut, maka perlu diperhatikan nilai pembebanan transformator untuk menjaga kestabilan sistem.

3.2 Pemodelan Kurva Pembebanan Transmormator Distribusi GTT BB1215

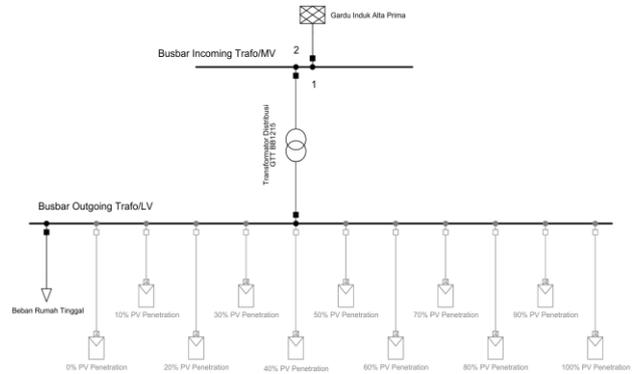
Pemodelan meliputi pemodelan pembebanan GTT BB1215, variasi PLTS atap dan tegangan *output* transformator sesuai variasi penetrasi PLTS atap dengan menggunakan *software* DigSILENT. Variasi penetrasi PLTS atap dengan interval 10% (10%, 20%, 30%, ..., 100%). Nilai variasi penetrasi berdasarkan besarnya daya PLTS yang dihasilkan terhadap kapasitas transformator GTT BB1215. Data pada Tabel 3.3 merupakan representasi daya yang dihasilkan PLTS dari pukul 05.00-16.00 WIB.

TABEL 3.3 DATA DAYA PENETRASI PLTS ATAP

Waktu (WIB)	Tingkat Penetrasi Terhadap Rating Daya Transformator (160 kVA)									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
	(kW)									
5:00	0.44	0.73	0.79	0.88	1.67	1.82	2.04	2.44	2.88	3.31
6:00	4.71	8.60	13.11	16.72	21.06	24.95	28.59	32.56	37.19	41.11
7:00	9.63	17.59	27.34	35.21	43.31	51.88	59.64	67.14	76.60	84.57
8:00	13.67	24.95	38.87	50.48	61.88	74.36	85.25	96.24	109.74	121.14
9:00	16.52	30.12	46.73	61.09	75.18	90.41	103.65	117.13	133.51	147.36
10:00	17.50	31.90	49.13	64.70	79.80	96.07	110.16	124.76	142.19	156.94
11:00	17.86	32.51	49.92	65.95	81.04	98.18	112.58	128.74	145.42	160.51
12:00	16.50	30.08	46.41	61.05	75.27	90.52	103.79	117.95	134.45	148.40
13:00	14.06	25.66	39.86	52.06	63.93	76.84	88.12	100.06	114.08	125.93
14:00	10.44	19.06	29.64	38.47	47.23	56.63	65.07	73.86	84.24	93.02
15:00	6.24	11.41	17.58	22.63	28.12	33.52	38.53	43.89	50.10	55.36
16:00	2.07	3.77	5.41	6.82	9.30	10.69	12.30	14.29	16.32	18.12

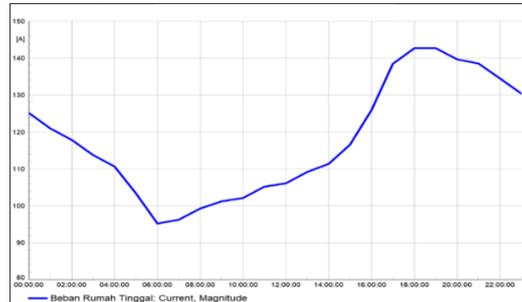
Skema pemodelan jaringan untuk semua beban pada GTT

BB1215 dijadikan satu dalam 1 *general load*, tanpa adanya SLD saluran rumah. Gambar 3.2 merupakan pemodelan jaringan sistem GTT BB1215 pada DigSILENT PowerFactory.

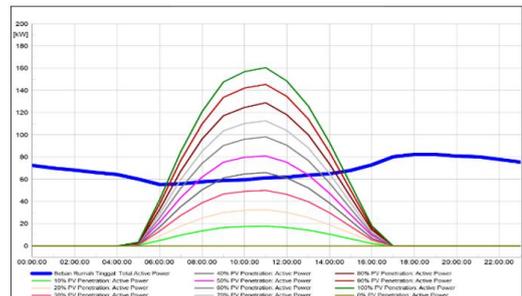


GAMBAR 3.2 PEMODELAN SISTEM JARINGAN GTT BB1215

Dari gardu induk Alta Prima transformator 1 tersambung dengan SUTM dan akan terhubung ke *incoming* transformator pada busbar *incoming* transformator/MV 20 kV, selanjutnya pada *outgoing* transformator BB1215 akan langsung terhubung ke beban. Asumsi penetrasi PLTS atap digambarkan oleh *PV array* pada Gambar 3.2. Pada simulasi akan dibagi menjadi tiga hasil yaitu simulasi kurva pembebanan normal (Gambar 3.3), simulasi variasi penetrasi PLTS atap (Gambar 3.4), dan kurva penurunan pembebanan berdasarkan variasi penetrasi PLTS atap (Gambar 3.5 sampai dengan Gambar 3.14).



GAMBAR 3.3 SIMULASI KURVA PEMBEBANAN NORMAL

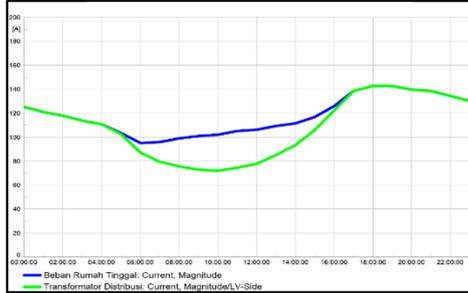


GAMBAR 3.4 SIMULASI VARIASI PENETRASI PLTS ATAP

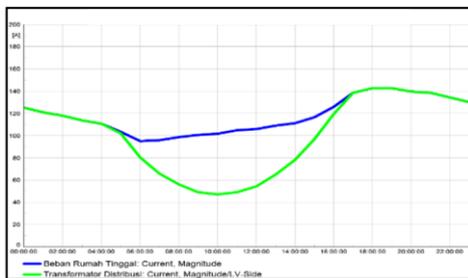
Gambar 3.4 merupakan kurva variasi daya yang dihasilkan masing-masing penetrasi PLTS atap yang dibandingkan dengan kurva beban rumah tinggal (kurva garis biru). Kurva tersebut didapatkan dari simulasi menggunakan fitur *Quasi-Dynamic Simulation* pada DigSILENT PowerFactory yang datanya berasal dari perhitungan asumsi daya penetrasi PLTS atap pada Tabel 3.3.

Kurva penurunan pembebanan dengan berbagai penetrasi (Gambar 3.5 sampai dengan Gambar 3.14) merupakan

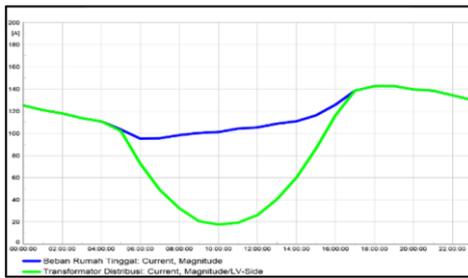
perbandingan kurva pembebanan normal GTT BB1215 dan kurva pembebanan GTT BB1215 setelah adanya daya PLTS masuk ke jaringan sesuai dengan tingkat variasi penetrasi. Sehingga dapat terlihat penurunan pembebanan akibat dari daya PLTS yang masuk jaringan. Berikut merupakan rincian gambar kurva penurunan pembebanan sesuai dengan variasi penetrasi PLTS atap.



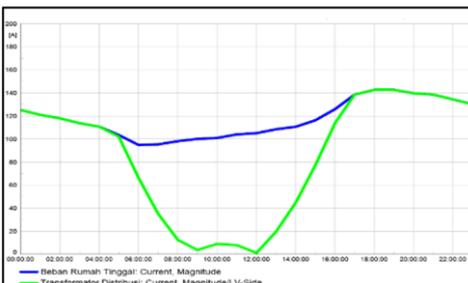
GAMBAR 3.5 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 10%)



GAMBAR 3.6 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 20%)



GAMBAR 3.7 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 30%)

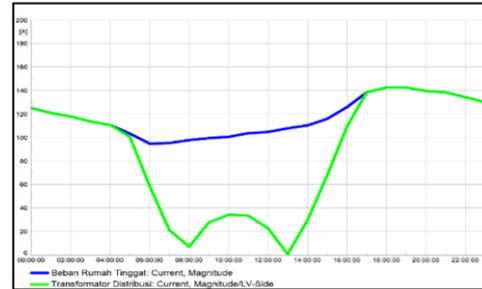


GAMBAR 3.8 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 40%)

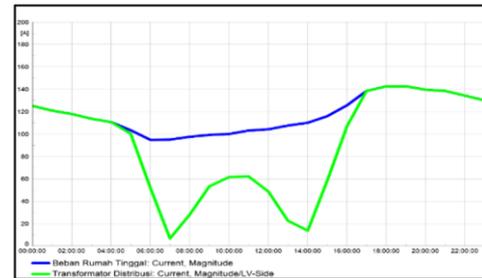
Kurva pembebanan transformator mulai mengalami penurunan pembebanan ketika penetrasi PLTS 10%-30% masuk ke jaringan, terutama pada siang hari atau dapat dikatakan pada puncak penetrasi PLTS atap. Pada tingkat penetrasi 50%-100% arus pembebanan akan menjadi naik namun bukan karena pembebanan yang naik, melainkan karena adanya aliran arus balik (*reverse power flow*) dari PLTS ke transformator.

Pada kondisi tersebut transformator tidak hanya berperan sebagai penyuplai daya ke pelanggan, tetapi jika produksi PLTS terlalu tinggi transformator juga akan menerima arus balik dari sisi pelanggan yaitu dari PLTS atap. Oleh karena itu jika dilihat saat

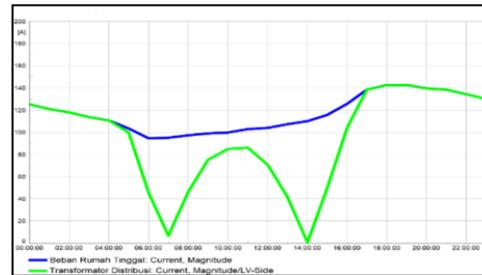
penetrasi 40%-100%, pembebanan akan terus naik meskipun arus beban sudah 0 A, dan kenaikan arus yang terukur adalah arus balik, karena arus tersebut merepresentasikan aliran daya PLTS atap yang masuk ke jaringan, bukan beban dari pelanggan.



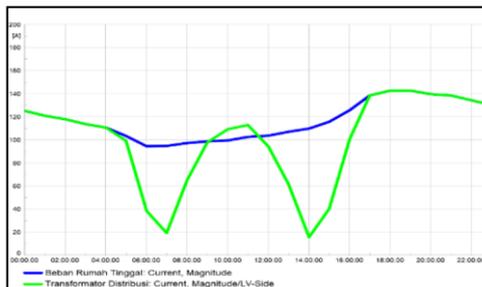
GAMBAR 3.9 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 50%)



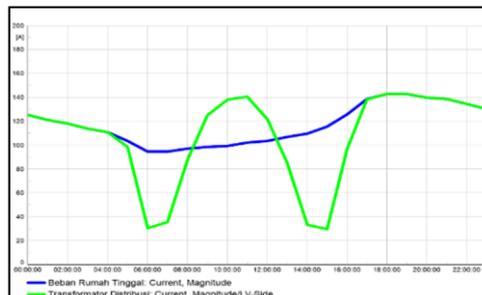
GAMBAR 3.10 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 60%)



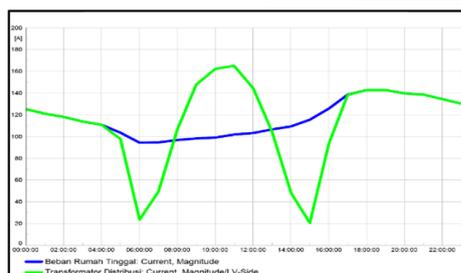
GAMBAR 3.11 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 70%)



GAMBAR 3.12 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 80%)



GAMBAR 3.13 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 90%)



GAMBAR 3.14 KURVA PENURUNAN PEMBEBANAN (PENETRASI 100%)

Kurva pada hasil simulasi menunjukkan bahwa pembebanan transformator akan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya penetrasi PLTS atap, pada saat daya puncak PLTS. Jika mengacu pada Edaran Direksi PT PLN (Persero), Tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset yang menyatakan bahwa transformator dikatakan baik jika pembebanan <60% dari kapasitasnya [7]. Pembebanan normal pada transformator GTT BB1215 dengan kapasitas 160 kVA (230.94 A), masih dapat dikatakan normal jika beban berada di bawah 96 kVA (139 A). Jika dilihat pada kondisi pembebanan normal, pembebanan tertinggi pada transformator GTT BB1215 adalah 60% (140A) atau dapat dikatakan transformator GTT BB1215 masih dalam kondisi operasional yang baik dan ideal.

4. Kesimpulan

Penelitian terkait kurva pembebanan transformator GTT BB1215 berdasarkan variasi penetrasi PLTS atap diperoleh nilai pembebanan mengalami fluktuasi yang signifikan selama 14 hari yaitu dimulai pada pukul 00.00 – 06.00 WIB ketika beban akan mengalami penurunan yang cukup signifikan, dan beban akan naik kembali pada pukul 06.00 – 19.00 WIB, dan beban puncak terjadi pada pukul 18.00 – 19.00 WIB dengan besar arus 140 A (96 kW) atau 60% pembebanan dari kapasitas transformator. Berdasarkan hasil simulasi penurunan pembebanan pada DlgSILENT PowerFactory, menunjukkan bahwa penetrasi PLTS atap secara signifikan berpengaruh terhadap penurunan pembebanan transformator. Pada penetrasi 10%-40% pembebanan mengalami penurunan secara signifikan, namun untuk tingkat penetrasi di atas 40% akan ada aliran daya balik (*reverse power flow*) dari PLTS atap ke transformator, dikarenakan daya yang dihasilkan PLTS atap lebih besar dari daya beban transformator.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu pihak PT PLN (Persero) UP3 Surabaya Selatan dalam memonitoring pembebanan transformator dengan melihat alutrol yang terpasang sehingga kondisi transformator terpantau dengan baik.

Referensi

- [1] R. Rauf et al., *Matahari Sebagai Energi Masa Depan Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Padang: Yayasan Kita Menulis, 2023.
- [2] R. Effendi, "Analisis Penggunaan Energi Surya Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif," *JUTIN (Jurnal Tek. Ind. Terintegrasi)*, vol. 6, no. 4, 2023.
- [3] S. Azzahra, A. Yogiarto, and I. Hajar, "Studi Dampak Level Penetrasi Pembangkit Listrik Fotovoltaik pada Jaringan Distribusi," *Energi Kelistrikan J. Ilm.*, vol. 11, no. 1, 2019.
- [4] F. Azis and N. Lembang, "Studi Pembebanan Transformator Distribusi Tipe Voltra 100kVA," *J. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [5] H. Pezeshki, P. J. Wolfs, and G. Ledwich, "Impact of High PV

- Penetration on Distribution Transformer Insulation Life," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 3, 2014.
- [6] I. B. Majeed and N. I. Nwulu, "Impact of Reverse Power Flow on Distributed Transformers in a Solar Photovoltaic Integrated Low Voltage Network," *Energies*, vol. 15, 2022.
- [7] PT PLN (PERSERO), *Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0017.E/DIR/2014 Tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. Indonesia, 2014.
- [8] F. D. Safitri and H. Ananta, "Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP Power Station 12.6.0," *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, 2020.
- [9] I. M. A. Subawa, A. A. G. M. Pelayun, and I. W. A. Wijaya, "Rekonfigurasi Saluran Distribusi 20kV Pada Penyulang Menjangkau Untuk Mengatasi Jatuh Tegangan," *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, 2019.
- [10] J. A. Khan, "Modelling and Analysis of Grid Connected PV System under Different Penetration Level of PV," *Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. 2, no. 4, 2018.
- [11] Y. A. M. Ambabunga, H. Masiku, and E. A. M. Sampetoding, "Karakteristik Transformator 3 Fasa (Hubung Bintang dan Delta) Pada Sistem Tenaga Listrik AC," *J. Dyn. SainT*, vol. 6, no. 1, 2021.
- [12] R. R. Waqfi and M. Nour, "Impact of PV and Wind Penetration into a Distribution Network Using Etap," *2017 IEEE*, no. 1, 2017.
- [13] L. Mihet-Popa, X. Han, H. Bindner, J. O. Pihl-Andersen, and J. Mehmedalic, "Grid Modeling, Analysis and Simulation of Different Scenarios for a Smart Low-Voltage Distribution Grid," *2013 4th IEEE/PES Innov. Smart Grid Technol. Eur. ISGT Eur. 2013*, no. October, 2013.
- [14] T. Khatib and L. Sabri, "Grid Impact Assessment of Centralized and Decentralized Photovoltaic-Based Distribution Generation: A Case Study of Power Distribution Network with High Renewable Energy Penetration," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2021, 2021.
- [15] M. J. Heathcote, *The J & P Transformer Book*, Twelfth edi. London: Newnes, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1998.
- [16] B. Cahyono et al., *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta: PT PLN (PERSERO), 2014.
- [17] P. Kerdoum and S. Premrudeepreechacharn, "Analysis of PV Penetration Level on Low Voltage System in Chiang Mai Thailand," *Sci. Energy Reports*, vol. 6, 2020.
- [18] A. Hermawan, R. Sutjipto, S. I. Hidayat, and F. B. Suryaningtyas, "Studi Pengaruh Pembebanan sebagai Dasar Scheduling Maintenance untuk Meminimalisir Susut Umur Transformator 1 GI Blimbing," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, 2020.
- [19] H. Mukti K., R. Sutjipto, and Vidiasih, "Efektivitas Mutasi Transformator Dalam Mengatasi Fluktuasi Beban Pada Trafo Distribusi ULP Bululawang," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, 2024.
- [20] A. H. Santoso, E. Rizka, and H. Mukti K., "Analisis Pembebanan Terhadap Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 kV Penyulang Lowokwaru di PT. PLN(PERSERO) UP3 Malang," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, 2022.