

## ANALISIS ARUS TRANSIEN PADA SISI PRIMER TRANSFORMATOR TERHADAP PELEPASAN BEBAN

Aditya Fara Dita<sup>1</sup> Agung Trihasto<sup>2</sup> Deria Pravitasari<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro Universitas Tidar

Jl Kapten Suparman 39 Magelang 56116 Indonesia

[adityafaradita@students.untidar.ac.id](mailto:adityafaradita@students.untidar.ac.id)<sup>1</sup>, [agungtrihasto@untidar.ac.id](mailto:agungtrihasto@untidar.ac.id), [deria.pravitasari@untidar.ac.id](mailto:deria.pravitasari@untidar.ac.id)<sup>3</sup>

### INTISARI

**Intisari** - Arus transien terjadinya alih hubung pada rangkaian yang menyebabkan hentakan arus dan tegangan. Proses terjadinya transien yaitu komponen mengalami tekanan arus dan tegangan pada transformator yang menyuplai beban, hal tersebut berdampak pada penurunan kerja transformator. Analisis pelepasan arus transien pada sisi primer transformator ini dilakukan dengan SPLN No.64 tahun 1985. Penelitian ini membahas mengenai analisis arus transien pada sisi primer transformator pada saat pelepasan beban. Hasil dari penelitian ini adalah data yang diperoleh dan hasil perhitungan serta simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa pelepasan beban dapat menyebabkan terjadinya peningkatan nilai arus sesaat atau transien. Dari hasil simulasi di peroleh selisih arus transien pada sisi primer transformator dengan arus efektif pada transformator pada PLTA Maninjau yaitu pada beban pertama 37,4%, beban kedua 57,7%, dan pada beban ketiga 81,03%. Berdasarkan Standar SPLN No.64 tahun 1985 simulasi pada beban 18 MVA telah melebihi yaitu sebesar  $1xI_n$ . Maka akan mengakibatkan kerusakan transformator khususnya pada bagian belitan dan dapat menurunkan kehandalan transformator karena harus menahan arus transien yang sangat besar.

**Kata kunci : Transien, Transformator, Pelepasan Beban**

### ABSTRACT

**Abstrak** - *Transient current is the occurrence of switching in a circuit that causes a surge in current and voltage. The process of transient occurrence is that the component experiences current and voltage pressure on the transformer that supplies the load, this has an impact on the decrease in the work of the transformer. The analysis of the transient current discharge on the primary side of the transformer was carried out with SPLN No. 64 of 1985. This study discusses the analysis of the transient current on the primary side of the transformer at the time of load shedding. The results of this study are the data obtained and the results of calculations and simulations that have been carried out, it can be concluded that the discharge of the load can cause an increase in the value of the instantaneous or transient current. From the simulation results, the difference between the transient current on the primary side of the transformer and the effective current on the transformer at the Maninjau hydropower plant is 37.4% at the first load, 57.7% in the second load, and 81.03% at the third load. Based on the SPLN Standard No. 64 of 1985, the simulation at a load of 18 MVA has exceeded that of  $1xI_n$ . This will cause damage to the transformer, especially in the winding section and can reduce the reliability of the transformer because it must withstand very large transient currents.*

**Keywords: Transient, Transformer, Load Release**

### I. PENDAHULUAN

Kestabilan sistem dapat dipengaruhi oleh adanya perubahan pada beban yang bervariasi. Tegangan dan frekuensi akan bergeser dari titik normal ketika daya mekanik pada poros penggerak tidak segera menyesuaikan dengan daya elektrik. (Tambunan, dkk 2014) Faktor terjadinya pelepasan beban yaitu adanya perbaikan jaringan, gangguan maupun pasokan listrik dari pembangkit terjadi

kerusakan atau terjadi drop yang berakibat pada putusnya jaringan dari gardu induk ke konsumen.

Timbulnya kestabilan transien akibat dari alih hubung atau gangguan (switching) salah satunya dipengaruhi oleh Transformator. Transformator merupakan alat yang berfungsi memindahkan daya listrik arus bolak – balik. Timbulnya kestabilan transien akibat dari alih hubung atau gangguan (switching) salah satunya dipengaruhi oleh Transformator. Transformator merupakan alat yang

berfungsi memindahkan daya listrik arus bolak – balik.

Pemindahan daya arus listrik bolak balik pada transformator dari rangkaian ke rangkaian lainnya dilakukan melalui induksi elektromagnetik. Kestabilan transien disebabkan oleh adanya pelepasan beban dan gangguan pada jaringan yang dapat berdampak pada kerusakan peralatan. Hal ini berdampak pada pengoprasian dan perencanaan sistem tenaga listrik (Popov, dkk 2014).

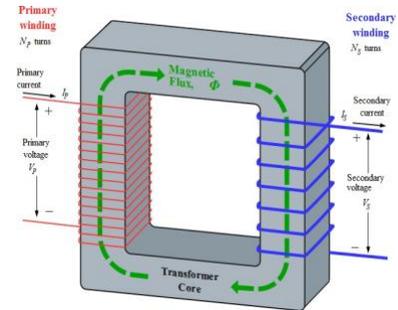
Arus transien adalah terjadinya alih hubung pada rangkaian yang menyebabkan hentakan arus dan tegangan. Proses terjadinya transien yaitu komponen mengalami tekanan arus dan tegangan pada transformator yang menyuplai beban, hal tersebut berdampak pada penurunan kerja transformator (Ri'ayatullah & Waluyo, 2013). Arus transien menyebabkan penurunan kerja transformator yaitu khususnya pada belitanya akan tetapi tegangan transien masih aman bagi *circuit breaker* (Prayitno, 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh Andi A. Halik (2019) terkait kesetabilan arus transien pada sistem kelistrikan di Sulawesi selatan, memberikan hasil penelitian yaitu jangka waktu gangguan serta posisi gangguan hubung singkat 3 phase berpengaruh terhadap kestabilan arus transien. Penelitian ini dilakukan pada transformator pembangkit. Pengurangan nilai arus transien pada transformator di perlukan untuk meminimalkan kerugian yang ditimbulkan. Penelitian ini juga disimulasikan menggunakan *software* Matlab yang bersesuaian dengan data.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Transformator

Transformator merupakan alat yang berfungsi memindahkan daya listrik arus bolak – balik.



Gambar 1. Komponen Transformator

Pemindahan daya arus listrik bolak balik pada transformator dari rangkaian ke rangkaian lainnya dilakukan melalui induksi elektromagnetik. Transformator terdiri atas tiga bagian yaitu kumparan primer, kumparan sekunder, dan bagian inti.

Kelebihan dari arus bolak-bali atau AC yaitu tegangannya dapat turunkan atau dinaikan (Stepped up/down). Tegangan dapat dibangkitkan melalui transmisi dari 11 kV hingga 24 kV dinaikkan ke 132 kV, 245 kV, 400 kV. Bagian dari transformator antara lain :

- Inti besi yang memiliki komposisi laminasi lembaran-lembaran baja
- Laminasi lembaran baja tersebut diisolasi dengan lapisan isolasi tipis satu sama lain
- Bagian atas adalah kumparan primer dan yang dihubungkan ke beban adalah kumparan sekundernya.

Tabel 1 Data transformator PLTA Maninjau

Spesifikasi Generator PLTA Maninjau	
Daya (MVA)	21,5 MVA
Teganga Primer (kV)	10 kV
Tegangan Sekunder (kV)	150 kV
Cos $\theta$	0,79
Frekuensi	50 HZ

B. Data Transformator

Transformator yang di gunakan pada PLTA Maninjau untuk menaikan tegangan keluaran generator menggunakan transformator *step up* yaitu : Dari tabel diatas dapat digunakan untuk mencari nilai impedansi transformator melalui persamaan-persamaan berikut:

- Impedans dasar transformator

$$Z_{dsr} = \frac{(kV_{dsr})^2}{MVA_{dsr}} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Induktans transformator

$$L = \frac{jXL}{2\pi f} \dots \dots \dots (2.2)$$

C. Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron terdiri atas stator yaitu bagian yang diam dan rotor yaitu bagian yang bergerak. Antara bagian stator dan rotor terdapat celah yang berguna sebagai tempat induksi listrik (fluks) dari rotor ke stator.

D. Data Generator

Pada PLTA Maninjau generator yang digunakan sebagai sumber tegangan menggunakan generator sinkron.

Dari tabel 2 dapat digunakan untuk mencari nilai impedansi generator melalui persamaan-persamaan berikut:

Tabel 2. Data generator PLTA Maninjau

Spesifikasi Generator PLTA Maninjau	
Daya (MVA)	21,5 MVA
Teganga Dasar (kV)	150 kV
Tegangan kirim (kV)	10 kV
Cos θ	0,79
Frekuensi	50 HZ

- Amplitudo generator pembangkit

$$Amp = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times V_{dsr} \dots \dots \dots (2.3)$$

- Impedans dasar generator

$$Z_{dsr} = \frac{(kV_{dsr})^2}{MVA_{dsr}} \dots \dots \dots (2.4)$$

- Induktans generator

$$L = \frac{jXL}{2\pi f} \dots \dots \dots (2.5)$$

E. Arus Bolak Balik

Arus bolak balik atau AC merupakan arus yang arah dan besarnya arus listrik berubah secara bolak balik. Bentuk gelombang dari arus listrik jenis ini adalah gelombang sinusoida, dimana hal tersebut dapat mengalirkan energi efiseien. tegangan dan arus bolak-balik didefinisikan dalam persamaan berikut ini.

$$V = V_m \sin \omega t \dots \dots \dots (2.6)$$

$$I = I_m \sin \omega t \dots \dots \dots (2.7)$$

Hubungan antara periode, frekuesni dan frekuensi sudut adalah :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \dots \dots \dots (2.8)$$

$$f = \frac{1}{T} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \dots \dots \dots (2.10)$$

Tegangan *peak to peak* adalah perbedaan dari tegangan minimum dan tegangan maksimum yang dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$V_{pp} = 2 \cdot V_m \dots \dots \dots (2.11)$$

$$V_{rata-rata} = \frac{2 \cdot V_m}{\pi} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (2.13)$$

Arus sesaat merupakan arus dalam suatu waktu (t) dengan satuan detik . Arus *peak to peak* adalah perbedaan dari arus minimum dan arus maksimum yang dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$I_{pp} = 2 \cdot I_m \dots \dots \dots (2.14)$$

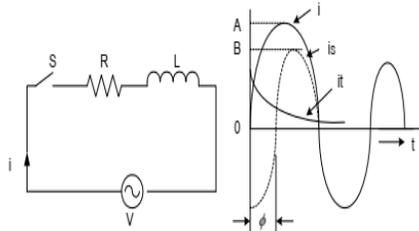
$$I_{rata-rata} = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (2.16)$$

F. Kestabilan Transien

Kestabilan transien merupakan perilaku dari sistem ketika terjadi suatu gangguan transien. Respon peralatan dapat terjadi dengan cukup signifikan oleh karena itu untuk pemecahan masalah berfokus pada spesifikasi kestabilan transien.

G. Keadaan Transien



Gambar 3. Perubahan Arus Transien

Dari gambar 3 diatas didapatkan sebuah persamaan differensial tegangan yaitu :

$$V = L \frac{di}{dt} + i.R.....(2.18)$$

Persamaan transien:

$$L = \frac{di}{dt} + i.R = 0 .....(2.19)$$

H. Penyebab Transien pada Rangkaian Listrik

Penyebab Transien pada Rangkaian merupakan dampak dari perubahan parameter pada rangkaian listrik. Hal ini dapat terjadi akibat dari hubung singkat , rangkaian terbuka, pensaklaran, dll. Penyebab transien antara lain adalah sebagai berikut :

- a) Switching kapasitor
- b) Load switching (penyambungan dan pemutusan beban)
- c) Recovery voltage
- d) Transformer inrush current

Standar SPLN nomor 64 tahun 1985 tentang garis batas ketahanan transformator terhadap arus transien dapat dituliskan persamaan berikut

$$I_n = \frac{S}{V\sqrt{3}} .....(2.21)$$

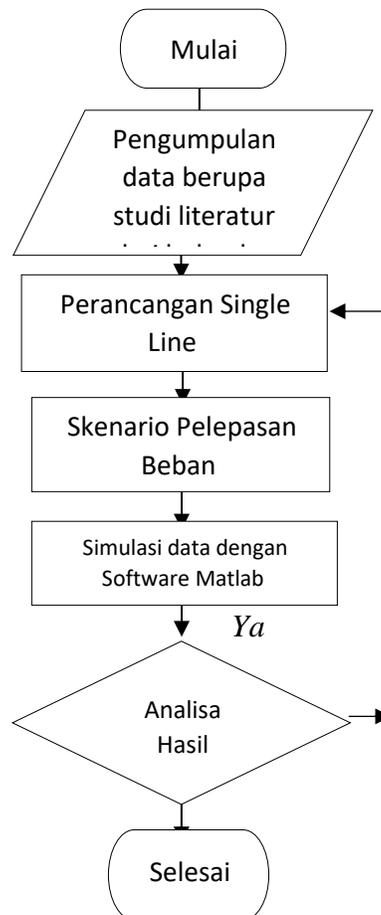
I. Simulasi

Matlab merupakan program yang berfungsi untuk menyelesaikan perhitungan teknik maupun ilmiah secara numerik. Matlab diciptakan Math Work

Inc dalam berbagai versi. Matlab dibuat untuk berbagai jenis komputer Window, Unix, DOS dan lain sebagainya. Dalam dunia industri, Matlab adalah bagian dari perangkat penelitian dan termasuk dalam golongan perangkat yang memiliki produktifitas yang cukup tinggi. Pengembangan dalam Matlab telah menghasilkan tools box yang mendukung untuk pengaplikasian dalam dunia industri.

III. METODE PENELITIAN

Lokasi pengambilan data , jenis data yang digunakan, dan tahapan penyelesaian penelitian yang ditunjukkan dalam diagram air gambar4. Skenario pelepasan beban dilakukan dengan mengasumsikan beberapa beban pada gardu induk lepas dari sistem dengan simulasi pada software yang bersesuaian dengan data. Berikut adalah skenario pelepasan beban pada penelitian:



Gambar 4. Diagram alir penelitian

1. Skenario sebelum pelepasan beban ( beban normal)
  - Skenario 1 adalah beban 1 lepas darisistem;
  - Skenario 2 adalah beban 2 lepas darisistem;
  - Skenario 3 adalah beban 3 lepas dari sistem.
2. Melakukan perhitungan berkaitan dengan penelitian;
3. Membuat rangkaian simulasi pelepasan beban sesuai dengan skenario yang telah dibuat
4. Melakukan simulasi pelepasan beban sesuai denganskenario;
5. Melakukan pelepasan beban dengan mengasumsikan beban lepas dari sistem.
6. Melakukan analisis arus transien pada sisi primer taransformator sebelum dan sesudah terjadi pelepasan beban dan membandingkan dengan standar (SPLN64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo teradap arus tarnsien ;
7. Membuat kesimpulan penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Pengukuran Data Transformator

Transformator yang di gunakan pada PLTA Maninjau berfungsi untuk menaikkan tegangan keluaran generator menggunakan transformator *step up*. Data spesifikasi transformator pembangkit digunakan sebagai penghitung dan simulasi transien. Data ini merupaka data sekunder yang didapat dari penelitian sebelumnya di PLTA Maninjau :

Tabel 3. Spesifikasi transformator PLTA Maninjau

Spesifikasi transformator PLTA Maninjau	
Daya (MVA)	21,5 MVA
Teganga primer (kV)	10 kV
Tegangan sekunder (kV)	150 kV

Cos $\theta$	0,79
Frekuensi	50 HZ
Vektor grup	Ynd1

- Untuk mencari Impedans transformator digunakan rumus 2.1

$$Z_{dsr} = \frac{(kV_{dsr})^2}{MVA_{dsr}}$$

$$Z_{dsr} = \frac{(kV_{dsr})^2}{MVA_{dsr}} \angle \theta$$

$$Z_{dsr} = \frac{(10)^2}{21,5} \angle 37,814$$

$$= 4,651 \angle 37,814$$

$$= 3,6 + j2,852$$

- Untuk mencari Induktans transformator digunakan rumus 2.2

$$L = \frac{jXL}{2\pi f}$$

$$\frac{2,852}{2 \times 3,14 \times 50} = \frac{2,852}{314}$$

$$= 9,082 \times 10^{-3}$$

$$L = 9082 \text{ mH}$$

##### B. Pengukuran Data Generator

Generator yang digunakan di PLTA Maninjau merupakan generator 3 phase dengan kapasitas 10 KV . Dari table 4.2 terdapat spesifikasi generator yang dapat dijadikan penghitungan melalui persamaan berikut:

- Untuk mencari aumplitudo generator digunakan rumus 2.3

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times V_{Dasar}$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 10 \text{ kV} = 8164,96 \text{ V}$$

Tabel 4. Data tranformator step-up pada PLTA Maninjau

Data generatorpada PLTA Maninjau	
Kapasitas	21,5MVA
TeganganSekunder	150 kV

TeganganPrimer	10 kV
Frekuensi	50Hz
Cos $\theta$	0,79

- Untuk mencari Impedans generator digunakan rumus 2.4

$$Z_{dsr} = \frac{(kV_{dsr})^2}{MVA_{dsr}} \angle \theta$$

$$Z_{dsr} = \frac{(10)^2}{21,5} \angle 37,814$$

$$= 4,651 \angle 37,814$$

$$= 3,6 + j2,852$$

- Untuk mencari Induktans generator digunakan rumus 2.5

$$L = \frac{jXL}{2\pi f}$$

$$= \frac{2,852}{2 \times 3,14 \times 50} = \frac{2,852}{314}$$

$$= 9,082 \times 10^{-3}$$

$$L = 9082 \text{ mH}$$

#### C. Menghitung Arus AC

1. Untuk mencari arus maksimal dinggunakan rumus 2.6

$$I_m = S / (\sqrt{3} V \cos \theta)$$

$$= 21500000 / (\sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 0,79)$$

$$= 977,806A$$

3. Untuk mencari sudut frekuensi dinggunakan rumus 2.7

$$\omega = 314 \text{ rad/det}$$

4. Untuk mencari frekuensi dinggunakan rumus 2.8

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \text{ dimana } \omega = 3,14$$

$$f = \frac{314}{2 \cdot 3,14} = 50Hz$$

5. Untuk mencari periode dinggunakan rumus 2.9

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ detik}$$

6. Untuk mencari arus rata-ratadinggunakan rumus 2.10

$$I_{rata-rata} = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = \frac{2 \cdot 977,806 A}{3,14} = 622,806 A$$

Tabel 4. 1 Variabel pelepasan beban

Beban (MVA)	Keterangan
9	Pelepasan Beban
14	Pelepasan Beban
18	Pelepasan Beban

7. Untuk mencari arus efektifdinggunakan rumus 2.11

$$A_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{977,806}{\sqrt{2}} = 691,413 A$$

#### D. Permodelan Sistem Kelistrikan

Tabel 4 adalah variabel beban yang akan disimulasikan. Terdiri dari pelepasan beban 9, 14, dan 18 MVA.

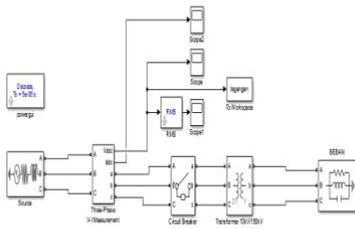
#### E. Simulasi Arus Transien pada MATLABR2016a

- 1) Rangkaian pelepasan beban

Pada simulasi ini diasumsikan beban lepas dari sistem secara tiba-tiba. Akibat pelepasan beban yang terjadi dijadikan hasil dan analisis.

- 2) Hasil simulasi gelombang dalam keadaan normal

Keadaan normal pada simulasi ini adalah keadaan pada saat sistem tidak mengalami pelepasan beban.



Gambar 5. Pelepasan Beban

	Time	Value
1	0.030	691,413
2	0.060	691,413
$\Delta T$	29.927 ms	$\Delta Y$

Gambar 7. Nilai profil arus saat beban normal

Berdasarkan gelombang hasil simulasi Gambar 7, pada keadaan normal gelombang tetap pada nilai yang konstan dengan arus sebesar 691,413A.

3) Simulasi beban 9 MVA lepas

Pelepasan beban 9 MVA pada simulasi ini dilakukan dengan asumsi beban lepas pada rentang waktu 0.030 detik sampai 0.060 detik, kemudian beban kembali terhubung pada sistem. Adapun hasil gelombangnya :

Nilai arus transien akibat pelepasan beban 9 MVA adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Nilai } i_t (A) &= 950,480A - 691,867A \\ &= 259,067A \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } i_t(\%) = 259,067 / 691,413 \times 100\% = 37,4\%$$

4) Simulasi beban 14 MVA lepas

Pelepasan beban 14 MVA pada simulasi ini dilakukan dengan asumsasumsi beban lepas pada rentang waktu 0.30 detik sampai 0.60 detik, kemudian

beban kembali terhubung pada system. Adapun bentuk gelombangnya :

	Time	Value
1	0.030	950,480
2	0.060	691,867
$\Delta T$	29.927 ms	$\Delta Y$ 2.591e+02

Gambar 9. Nilai profil arus saat beban 9 MVA

	Time	Value
1	0.030	1090,570
2	0.060	691,413
$\Delta T$	29.927 ms	$\Delta Y$ 3.992e+02

Gambar 10. Nilai profil arus saat beban 14 MVA lepas

Nilai peningkatan arus beban Nilai peningkatan arus tersebut adalah 1090,570 A, sehingga nilai arus transien akibat pelepasan beban 14 MVA adalah sebagaiberikut :

$$\begin{aligned} \text{Nilai } i_t (A) &= 1090,570 A - 691,413 A \\ &= 399,157 A \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } i_t (\%) = 399,157 / 691,413 \times 100\% = 57,7\%$$

5) Simulasi beban 18 MVA lepas

Pelepasan beban 18 MVA pada simulasi ini dilakukan dengan asumsi beban lepas pada rentang waktu 0.30 detik sampai 0.60 detik, kemudian beban kembali terhubung pada sistem. Adapun gelombangnya :

Nilai peningkatan arus tersebut adalah 1251,723 A, sehingga nilai arus transien akibat pelepasan beban 18 MVA adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Nilai } i_t \text{ (A)} &= 1251,723 \text{ A} - 691,723 \text{ A} \\ &= 560,310 \text{ A} \end{aligned}$$

Beban (MVA)	Arus (A)		Kenaikan arus transien	
	t = 0,30	t = 0,70	(A)	(%)
9	691,413	950,480	259,067	37,4 %
14	691,413	1090,570	399,157	57,7 %
18	691,413	1251,723	560,310	81,03 %

$$\text{Nilai } i_t(\%) = 560,310 / 691,413 \times 100\% = 81,03\%$$

	Time	Value
1	0.030	1251,723
2	0.060	691,413
$\Delta T$	29.927 ms	$\Delta Y$ 5.603e+02

Gambar 12. Nilai profil arus beban 18 MVA lapas

#### F. Analisa Perbandingan Hasil Simulasi

Tabel 6 Nilai arus transien dengan setting waktu tetap dengan beban yang berbeda.

Setelah mengetahui besar arus transien yang terjadi, tahap selanjutnya adalah membandingkan nilai yang didapatkan dengan standar SPLN. Akan tetapi sebelumnya perlu mengetahui nilai dari  $I_n$  dari transformator. Untuk mengetahui batas ketahanan transformator terhadap arus transien dapat di bandingkan dengan nilai standar SPLN no 64 tahun 1985 sebesar  $2 \times I_n$ , dengan persamaan berikut;

Untuk mencari  $I_n$  di gunakan rumus 2.21

$$I_n = S / (V \sqrt{3})$$

$$I_n = 21500000 / (10000 \sqrt{3})$$

$$I_n = 1241,303 \text{ A}$$

Dengan perbandingan arus transien teradap pelepasan beban pada sisi primer transformator dengan standar SPLN maka di dapat di ketahui bahwa pada beban 18 MVA arus pada sisi primer transformator melebihi batas standar SPLN atau  $\pm 1,08 \times I_n$ .

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dan hasil perhitungan serta simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa pelepasan beban dapat menyebabkan terjadinya peningkatan nilai arus sesaat atau transien. Dari hasil simulasi di peroleh selisih arus transien pada sisi primer transformator dengan arus efektif pada transformator pada PLTA Maninjau yaitu pada beban pertama 37,4%, beban kedua 57,7%, dan pada beban ketiga 81,03%. Dari hasil simulasi berdasarkan standar SPLN No.64 tahun 1985 tentang garis batas ketahanan transformator terhadap arus transien bahwa simulasi pada beban 18 MVA telah melebihi SPLN No.64 tahun 1985 yaitu sebesar  $1 \times I_n$  sehingga hal tersebut akan mengakibatkan kerusakan transformator khususnya pada bagian belitan dan dapat menurunkan kehandalan transformator karena harus menahan arus transien yang sangat besar.

#### REFERENSI

- [1] Angga Adi Prayitno dkk. 2013 .”Analisis Arus dan Tegangan Transien Akibat Pelepasan Beban Pada Sisi Primer Transformator Unit 5, Unit 6, dan Unit 7 Suralaya”. Jurnal Setrum. Vol. 2 (1) : hal. 30-31.
- [2] Gupta . 2004 . Power System Analysis and Design, S.chand & Company LTD IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “Definition and Classification of Power System Stability”. IEEE Transactions on Power System , Vol. 19, No. 2.

- [3] Naidu, N.S., Karamaju. 1995 . Hight Voltage Engineering. Tata Mc Graw-Hill Publishing Company limited. ISBN 0070494649, 9780070494640.
- [4] R. G. Terimananda, N. Hariyanto, and Syahrial . 2016 . “Studi Pengaturan Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generatordi PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2”. Jurnal Reka Elkomika, Bandung
- [5] S. Armansyah, 2016. “Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal,” Jurnal. Tek. Elektro UISU, Medan.