

# Analisis Arus Dan Tegangan Transien Akibat Pelepasan Beban Pada Sisi Primer Transformator Unit 5, Unit 6, dan Unit 7 Suralaya

Angga Adi Prayitno, Suhendar, dan Herudin

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

**Abstrak** – Gejala transien adalah perwujudan dari perubahan yang mendadak karena terjadi pembukaan dan penutupan saklar atau adanya gangguan pada suatu sistem yang dapat menimbulkan kerusakan pada transformator. Saat terjadi gejala transien peralatan-peralatan mengalami gangguan yang sangat besar berupa tegangan dan arus yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut. Penelitian ini akan menghitung nilai arus dan tegangan transien yang berada pada sisi primer transformator, dengan menggunakan Electric Transient Analysis Program 7 (ETAP 7) serta pengaruhnya terhadap circuit breaker (CB). Setelah disimulasikan besarnya arus transien pada saat kondisi beban penuh puncak sebesar 59183,5 Ampere sedangkan untuk tegangan transien sebesar 12,2345 kV. Pada saat PT. Asahimas dan PT. PolyPrima off arus transien yang terjadi sebesar 57638,6 Ampere sedangkan untuk tegangan transien sebesar 12,1501 kV. Pada saat PT. Asahimas, PT. PolyPrima dan PT. Alindo off arus transien yang terjadi sebesar 57541,4 Ampere sedangkan untuk tegangan transien 12,0637 kV. Pada saat PT. Asahimas, PT. PolyPrima, PT. Alindo dan Serang off arus transien yang terjadi sebesar 57311,5 Ampere sedangkan untuk tegangan transien 12,0637 kV dan pada saat penambahan beban PT. Krakatau Posco arus transien sebesar 64334,9 Ampere sedangkan untuk tegangan transien 13,1264 kV. Dari hasil simulasi didapat hasil bahwa arus transien mengakibatkan kerusakan pada transformator khususnya pada belitannya serta dapat menurunkan kehandalan transformator. Namun, masih aman untuk circuit breaker sedangkan untuk tegangan transien masih aman untuk transformator tetapi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan kendali elektronik.

**Kata Kunci** : Arus Transien, Pelepasan Beban, Sisi Primer Transformator, CB, Etap.

**Abstrak** – Transient phenomena are manifestations of sudden changes due to the opening and closing of the switch or a disturbance in a system that can cause damage to the transformer. Transient phenomena occur when devices experience interference in the form of a very large voltages and currents that can cause damage to the equipment. This study will calculate the value of current and voltage transients on the primary side of the transformer, using 7 Electric Transient Analysis Program (ETAP 7) and its influence on circuit breaker. After the simulated magnitude of the transient current during full load conditions while the peak at 59183.5 Ampere for voltage transients at 12.2345 kV. At the time of PT. Asahimas and PT. Polyprima off transient current that occurs at 57638.6 Ampere for voltage transients while at 12.1501 kV. At the time of PT. Asahimas, PT. Polyprima and PT. Alindo off transient current that occurs at 57541,4 Ampere for voltage transients while at 12,0637 kV. At the time of PT. Asahimas, PT. Polyprima, PT. Alindo and Serang off transient current that occurs at 57311,5 Ampere for voltage transients while at 12,0637 kV and when the addition of PT. Krakatau Posco load transient currents of 64334.9 Ampere while for transient voltage at 13.1264 kV. Results obtained from the simulation results that the transient currents resulting in damage to the transformer especially belitannya and can reduce transformer reliability. However, it is still safe for the circuit breaker while still safe for transient voltage transformer but can cause damage to the electronic control equipment.

**Keywords** : Transien Current, Loose Load, Primary side of the transformer, CB, Etap.

## I. PENDAHULUAN

Transformator memegang peranan yang penting dalam proses penyaluran daya. Transformator berfungsi penyalur daya dari daya rendah ke daya tinggi atau sebaliknya. Pada saat operasi terkadang sistem mengalami gangguan yang mengakibatkan terhentinya penyaluran daya. Salah satu gangguan tersebut adalah gejala transien. Gejala transien adalah perwujudan dari perubahan yang

mendadak karena terjadi pembukaan dan penutupan saklar atau adanya gangguan pada suatu sistem yang dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan.

Gejala transien yang terjadi dalam waktu yang sangat singkat, dapat mempengaruhi peralatan-peralatan yang ada disekitarnya. Saat terjadi gejala transien peralatan-peralatan mengalami tekanan yang sangat besar berupa tegangan dan arus, yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut.

Salah satu peralatan listrik yang terkena dampak buruk dari gejala transien adalah transformator. Gejala transien dapat terjadi akibat adanya gangguan dari dalam maupun luar. Salah satu gangguan dari dalam tersebut adalah berupa proses alih hubung (*switching*) yang terjadi akibat adanya gangguan hubung singkat yang membuat *circuit breaker* (CB) bekerja melepaskan beban. Sedangkan gangguan dari luar yakni gangguan yang berasal dari sambaran petir.

Berdasarkan hal di atas, maka akan dilakukan simulasi dan analisis arus transien pada sisi primer transformator terhadap pelepasan beban menggunakan ETAP (*Electric Transient Analysis Program*). Dimana lokasi penelitian dilakukan di PLTU Suralaya unit 5, unit 6, dan unit 7 serta wilayah kerja GITET Cilegon Baru.

## II. DASAR TEORI

### A. Gejala Peralihan (Transien)

Gejala peralihan atau transien merupakan perubahan nilai tegangan atau arus maupun keduanya baik sesaat maupun dalam jangka waktu tertentu (dalam orde mikro detik) dari kondisi tunaknya (*steady state*). Penyebabnya adalah dapat dari lingkungan atau faktor eksternal seperti petir, dan dapat juga akibat perlakuan terhadap sistem itu sendiri atau faktor internal seperti *switching*. Transien sudah lama digunakan dalam istilah tenaga listrik sebagai sesuatu kejadian yang sebenarnya tidak diinginkan dan sifatnya sangat cepat, namun merupakan suatu kejadian yang alami sehingga tidak dapat dicegah. Kondisi transien dapat berupa tegangan ataupun arus. Untuk transien arus lebih dikenal secara khusus sekarang ini sebagai arus *inrush* [7]. Pada rangkaian listrik, transien merupakan suatu karakteristik respon alami tegangan atau arus dari sistem yang terdiri dari komponen resistif (R), induktif (L) dan kapasitif (C).

### B. Penyebab Transien pada Rangkaian Listrik

Penyebab fenomena transien adalah karena adanya perubahan parameter rangkaian, yang biasanya terjadi akibat pensaklaran, rangkaian terbuka (*open circuit*) atau hubung singkat (*short circuit*), perubahan dalam operasi sumber, dll. Transient merupakan perubahan variabel tegangan dan arus yang berlangsung saat peralihan dari satu kondisi stabil ke kondisi yang lain. Perubahan arus, tegangan selama transien tidak berlangsung seketika (*instant*) dan membutuhkan waktu, walaupun perubahan ini terjadi secara cepat dalam hitungan milidetik atau bahkan mikrodetik [7].

Perubahan yang sangat cepat ini bagaimanapun juga tidak dapat terjadi secara seketika karena proses transien dicapai melalui pertukaran energi, yang biasanya tersimpan dalam medan magnet dari induktansi dan atau medan listrik dari kapasitansi. Perubahan energi tidak

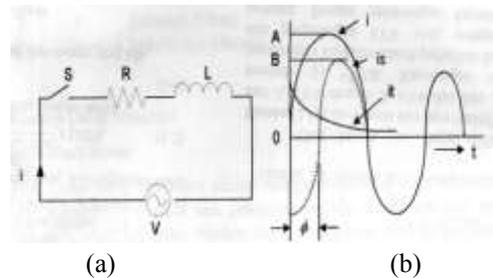
dapat terjadi secara mendadak karena akan menghasilkan daya yang tidak terbatas (daya adalah turunan dari energi,  $P = dW/dt$ ), yang tidak mungkin terjadi dalam keadaan sesungguhnya. Semua perubahan parameter saat transien (yang disebut juga respon transien) kemudian menghilang, dan akan muncul keadaan tunak baru.

Dalam hal ini, transien dapat didefinisikan sebagai perilaku rangkaian diantara dua keadaan tunak, yaitu keadaan tunak yang lama (sebelum perubahan) dan keadaan tunak yang baru.

Penyebab terjadinya transient antara lain :

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

Transien yang terjadi pada saat pembukaan saklar maka akan terjadi perubahan besar nya arus yang dapat dilihat pada gambar 1. [9]



Gambar 1. (a) Rangkaian Ekuivalen R-L dan (b) Bentuk Gelombang Arus Untuk Rangkaian R-L.

Pada bentuk gelombang arus untuk rangkaian R-L didapat :

- $i$  = arus awal (Ampere)
- $V$  = tegangan (Volt)
- $R$  = tahanan (Ohm)
- $L$  = induktansi (Henri)
- $i_s$  = arus keadaan steady state (Ampere)
- $i_t$  = arus transien (Ampere)
- $t$  = waktu (detik)

Sehingga :

$$i_t = A e^{-\frac{R}{L}t} \tag{1}$$

Dengan :

- $i_t$  = arus transien (Ampere)
- $A$  = konstanta
- $R$  = tahanan (Ohm)
- $L$  = induktansi (Henri)

### C. Pemutus Daya

Setiap sistem tenaga listrik dilengkapi dengan sistem proteksi untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan sistem dan mempertahankan kestabilan sistem ketika terjadi gangguan, sehingga kontinuitas pelayanan

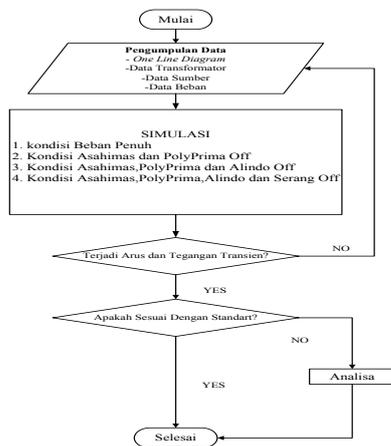
dapat dipertahankan. Salah satu komponen sistem proteksi adalah pemutus daya (*circuit breaker*).

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus daya agar dapat mempertahankan kontinuitas pelayanan :

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus daya itu sendiri

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Metode Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian, yaitu mensimulasikan serta menganalisa sistem yang telah ada dengan menggunakan *software Electric Transient Analysis Program 7 (ETAP 7)*. Proses analisa data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Memperoleh data jaringan yang dibutuhkan untuk mengisi parameter dalam simulasi.
- b. Setelah memperoleh data trafo, kabel kemudian diolah agar sesuai dengan *form* parameter pada *software ETAP 7*.
- c. Setelah pengolahan data akan dimodelkan dalam *software ETAP 7* yang kemudian akan disimulasikan.
- d. Setelah simulasi, didapat nilai arus maupun tegangan yang terjadi saat keadaan normal beban penuh.
- e. Setelah mengetahui nilai arus dan tegangan dalam keadaan normal saat beban penuh, beri skema gangguan 3 fasa ke tanah dan setting

*circuit breaker (CB)* pada sisi mendekati sumber dari menutup untuk membuka sesuai waktu yang diinginkan. Setelah itu, akan didapatkan nilai arus dan tegangan transien saat terjadinya *switching*. Setelah mengetahui arus dan tegangan transien saat beban penuh dilepas, lalu bandingkan dengan arus dan tegangan pada saat normal beban penuh.

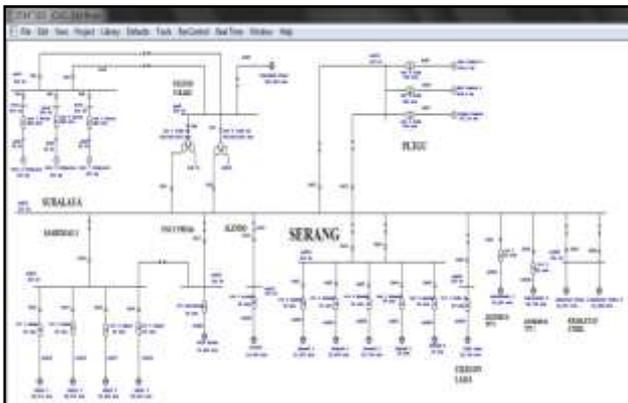
- f. Setelah mendapatkan nilai arus dan tegangan keadaan normal beban penuh maupun saat *switching* beban penuh barulah kita secara bertahap mengurangi beban. Mulai dari Asahimas dan PolyPrima di nonaktifkan. Setelah itu kita lihat besar nya arus dan tegangan saat keadaan normal maupun arus dan tegangan saat *switching*.
- g. Setelah mendapatkan nilai arus dan tegangan keadaan normal maupun *switching* saat Asahimas dan PolyPrima di nonaktifkan. kita bandingkan besarnya persentase arus dan tegangan transiennya.
- h. Setelah Asahimas dan PolyPrima dinonaktifkan. Lalu nonaktifkan beban dari Alindo. Setelah mengetahui nilai arus dan tegangan saat kondisi normal dan *switching* dengan beban Asahimas, PolyPrima dan Alindo dalam kondisi off, kita bandingkan nilai saat normal dan saat *switching* berapa besar persentase arus dan tegangan transiennya.
- i. Setelah Asahimas, PolyPrima dan Alindo di nonaktifkan. Lalu kita nonaktifkan beban dari Serang. Setelah mengetahui nilai arus dan tegangan saat kondisi normal dan *switching* dengan beban Asahimas, PolyPrima, Alindo dan Serang dalam kondisi off, kita bandingkan nilai saat normal dan saat *switching* berapa besar persentase arus dan tegangan transiennya.
- j. Setelah kita mensimulasikan keempat keadaan kita simulasikan penambahan beban dengan menambahkan Krakatau Posco kedalam single line diagram. Setelah mengetahui nilai arus dan tegangan transien yang terjadi. Setelah mensimulasikan semua keadaan barulah kita lihat manakah yang nilai persentase perbedaannya paling besar serta nilai arus dan tegangan transien yang paling besar di antara keempat kondisi yang telah disimulasikan.
- k. Setelah mengetahui nilai persentase perbedaannya yang paling besar serta nilai arus dan tegangan transien yang paling besar. Simulasikan arus pada saat *switching* yang tertinggi dengan memasukan nilai spesifikasi *circuit breaker* yang terpasang pada gardu induk. Kemudian kita simulasikan arus transiennya,

maka kita dapat melihat apakah circuit breaker yang telah terpasang mampu menahan arus transien pada saat switching atau tidak.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem 500 kV & 150 kV pada Jaringan Suralaya-Cilegon Baru.

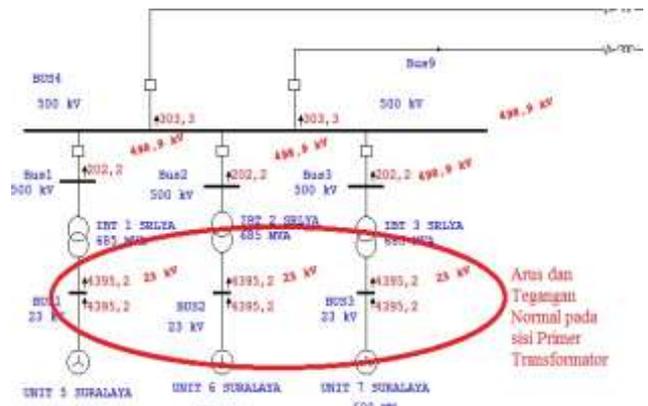
Setelah memperoleh data-data yang diperlukan, selanjutnya akan dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software* ETAP 7. Pada simulasi kali ini akan di simulasikan dalam empat kondisi yakni saat beban penuh, saat asahimas dan polyprima off, saat kondisi asahimas,polyprima dan alindo off, dan yang terakhir saat kondisi asahimas,polyprima,alindo dan serang off. Proses simulasi ini berdasarkan beban terbesar hingga yang terkecil ,beban yang paling besar adalah asahimas yang bergabung dengan polyprima sebesar 217,554 MVA, sedangkan beban pada serang sebesar 201,083 MVA dan beban terkecil ada pada alindo sebesar 24,928 MVA. Pemodelan sistem transmisi 500 kV dan 150 kV disesuaikan dengan sistem pada jaringan Suralaya – Cilegon Baru beserta wilayah kerjanya Berikut ini gambar *single line diagram* pemodelannya dapat dilihat pada gambar 3:



Gambar 3. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem 500 kV & 150 kV pada Jaringan Suralaya-Cilegon Baru

B. Keadaan Normal Beban Penuh.

Pada kondisi normal dengan beban penuh, sumber menyuplai tegangan sebesar 23 kV untuk dialirkan ke general transformator untuk dirubah menjadi 500 kV . Arus yang mengalir dari generator ke transformator sebesar 4395,2 Ampere dan tegangan sebesar 23 kilo Volt pada sisi primer seperti pada gambar 4 dibawah ini:



Gambar 4. Arus dan Tegangan Normal Beban Penuh

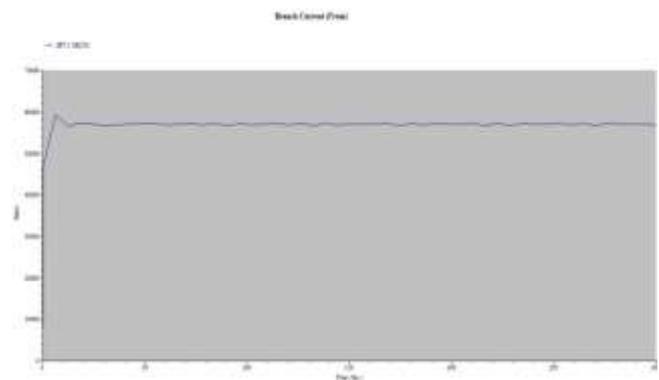
Tegangan dan arus untuk unit 5 , unit 6 dan unit 7 dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Simulasi Tegangan dan Arus Keadaan Normal Beban Penuh

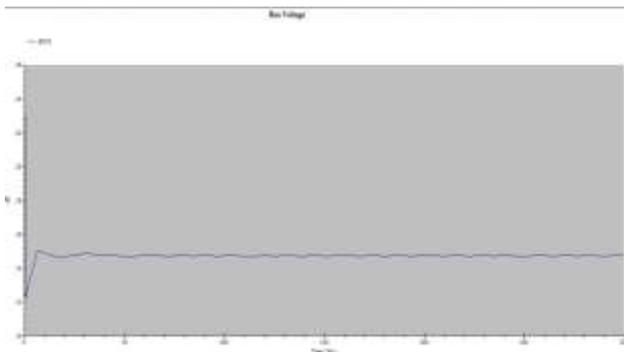
Unit	Tegangan Transformator (kV)	Arus Transformator (Ampere)
Unit 5 Suralaya	23	4395,2
Unit 6 Suralaya	23	4395,2
Unit 7 Suralaya	23	4395,2

C. Keadaan *Switching* Beban Penuh.

Pada kondisi ini kita anggap terjadi gangguan 3 fasa ke tanah sehingga CB (*circuit breaker*) 5 dalam keadaan terbuka dengan proses simulasi selama t = 300 Detik seperti pada standar SPLN. Besarnya arus transien dan tegangan transien pada sisi primer transformator *low voltage* dapat dilihat pada gambar 5 untuk arus transien dan gambar 6 untuk tegangan transien berikut ini :



Gambar 5. Grafik Simulasi Arus Transien pada Sisi Primer *Low Voltage* Transformator Unit 5, Unit 6 dan Unit 7 Beban Penuh



Gambar 6. Grafik Simulasi Tegangan Transien pada Sisi Primer Low Voltage Transformator Unit 5, Unit 6 dan Unit 7 Beban Penuh

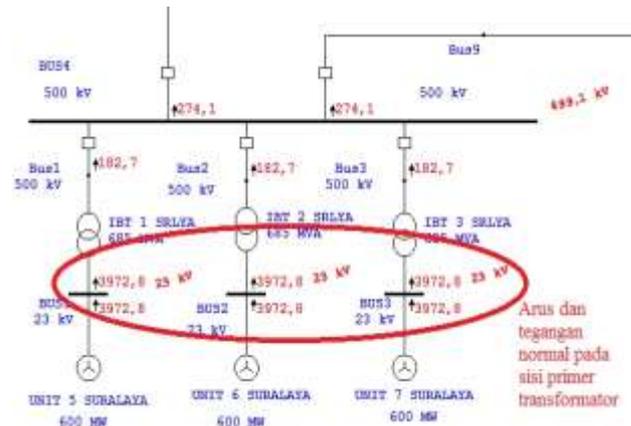
Nilai arus transien yang terjadi pada setiap unit mengalami kenaikan yang tinggi yang mula hanya berada di 4395,2 A sekarang naik hingga menembus 59183,5 A pada puncaknya dan nilai rata-rata arus transien sebesar 55012,97 A sedangkan Tegangan Transien mengalami penurunan yang signifikan yang semula 23 kV turun hingga 12,2345 kV dan nilai tegangan transien rata-rata sebesar 15,01 kV. Besarnya arus transien puncak dan tegangan transien terendah dapat dilihat pada tabel 2:

Tabel 2. Hasil Simulasi Arus Transien Puncak dan Tegangan Transien Terendah pada Sisi Primer Transformator Low Voltage Beban Penuh

Unit	Arus Transien (Ampere)	Tegangan Transien (kV)
Unit 5 Suralaya	64334,9	13,1264
Unit 6 Suralaya	64334,9	13,1264
Unit 7 Suralaya	64334,9	13,1264

D. Keadaan Normal Dengan Asahimas dan Poly Prima Off.

Keadaan normal dengan Asahimas dan Poly Prima off, sumber menyuplai tegangan sebesar 23 kV untuk dialirkan ke general transformator untuk dirubah menjadi 500 kV. Dan arus yang mengalir dari generator ke transformator sebesar 3972,8 Ampere dan tegangan sebesar 23 kilo Volt seperti pada gambar 7 dibawah ini:



Gambar 7. Tegangan dan Arus Normal Saat Asahimas dan Poly Prima Off

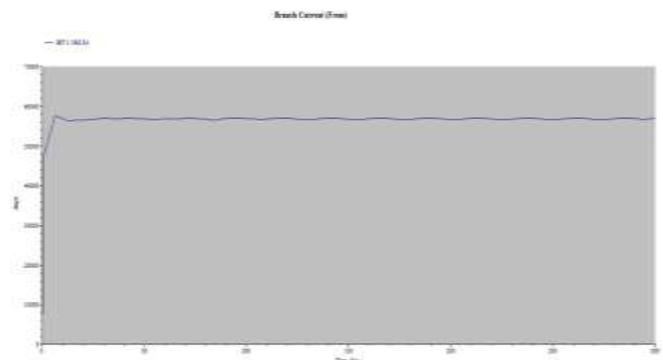
Tegangan dan arus untuk unit 5, unit 6 dan unit 7 dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Simulasi Tegangan dan Arus Keadaan Normal Asahimas dan Poly Prima Off

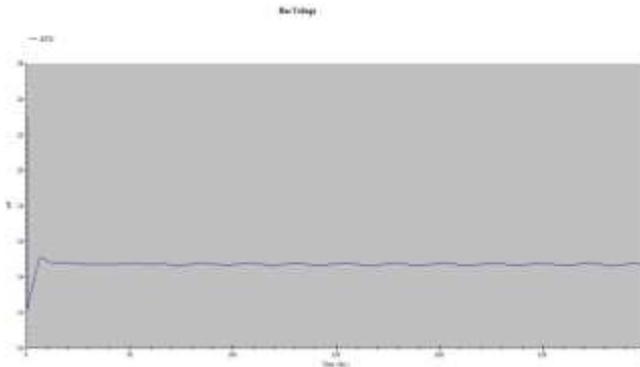
Unit	Tegangan Transformator (kV)	Arus Transformator (Ampere)
Unit 5 Suralaya	23	3972,8
Unit 6 Suralaya	23	3972,8
Unit 7 Suralaya	23	3972,8

D. Keadaan Switching Dengan Asahimas dan Poly Prima Off.

Pada kondisi ini kita anggap terjadi gangguan 3 fasa ke tanah sehingga CB (circuit breaker) 5 dalam keadaan terbuka dengan melepas beban dari Asahimas dan Poly Prima dan proses simulasi selama t = 300 Detik seperti pada standar SPLN. Besarnya arus transien dan tegangan transien pada sisi primer transformator low voltage dapat dilihat pada gambar 8 untuk arus transien dan gambar 9 untuk tegangan transien berikut ini :



Gambar 8. Grafik Simulasi Arus Transien pada Sisi Primer Low Voltage Transformator Unit 5, Unit 6 dan Unit 7 Asahimas dan Poly Prima Off



Gambar 9. Grafik Simulasi Tegangan Transien pada Sisi Primer Low Voltage Transformator Unit 5, Unit 6 dan Unit 7 Asahimas dan Poly Prima Off

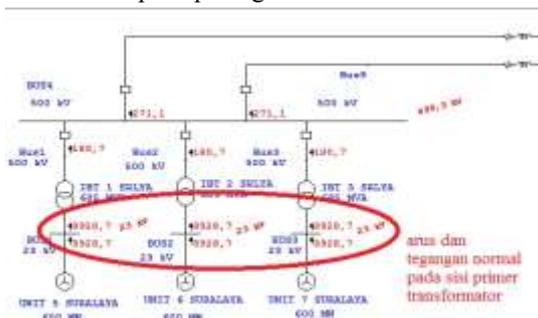
Nilai arus transien yang terjadi pada setiap unit mengalami kenaikan yang tinggi yang mula hanya berada di 3972,8 A sekarang naik hingga menembus 57638,6 A pada puncaknya dan nilai arus transien rata-rata sebesar 54781,53 A sedangkan Tegangan Transien mengalami penurunan yang signifikan yang semula 23 kV turun hingga 12,1501 kV dan nilai tegangan transien rata-rata sebesar 14,98 kV. Besarnya Arus Transien Puncak dan Tegangan Transien Terendah dapat dilihat pada tabel 4 :

Tabel 4. Hasil Simulasi Arus Transien Puncak dan Tegangan Transien Terendah pada Sisi Primer Transformator Low Voltage Asahimas dan Poly Prima Off

Unit	Arus Transien (Ampere)	Tegangan Transien (kV)
Unit 5 Suralaya	57638,6	12,1501
Unit 6 Suralaya	57638,6	12,1501
Unit 7 Suralaya	57638,6	12,1501

E. Keadaan Normal Dengan Asahimas, Poly Prima dan Alindo Off.

Keadaan normal dengan Asahimas, Poly Prima dan Alindo off , sumber menyuplai tegangan sebesar 23 kV untuk dialirkan ke general transformator untuk dirubah menjadi 500 kV . Dan arus yang mengalir dari generator ke transformator sebesar 3928,7 Ampere dan tegangan sebesar 23 kV seperti pada gambar 10 berikut ini:



Gambar 10. Tegangan dan Arus Normal Saat Asahimas, Poly Prima dan Alindo Off

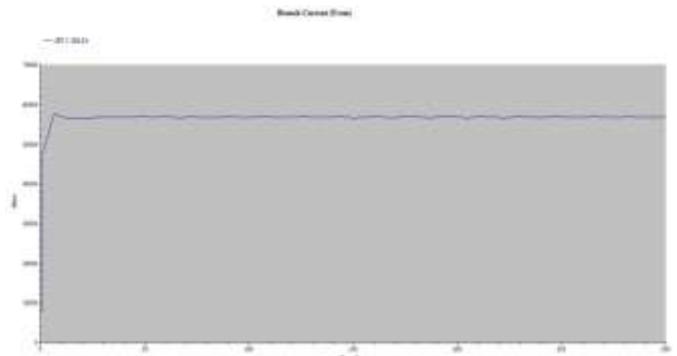
Tegangan dan arus untuk unit 5 , unit 6 dan unit 7 dapat dilihat pada Tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Simulasi Tegangan dan Arus Keadaan Normal Asahimas, Poly Prima dan Alindo Off

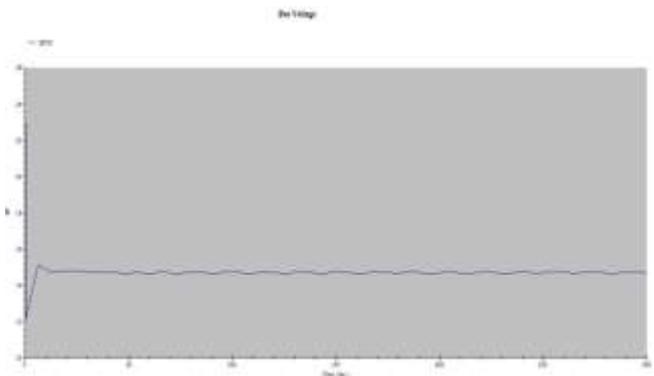
Unit	Tegangan Transformator (kV)	Arus Transformator (Ampere)
Unit 5 Suralaya	23	3928,7
Unit 6 Suralaya	23	3928,7
Unit 7 Suralaya	23	3928,7

F. Keadaan Switching Dengan Asahimas, Poly Prima dan Alindo Off.

Pada kondisi ini kita anggap terjadi gangguan 3 fasa ke tanah sehingga CB (circuit breaker) 5 dalam keadaan terbuka dengan melepas beban dari Asahimas, Poly Prima dan alindo dari jaringan transmisi. Proses simulasi selama t = 300 Detik seperti pada standar SPLN. Besarnya arus transien dan tegangan transien pada sisi primer transformator low voltage dapat dilihat pada gambar 11 untuk arus transien dan 12 untuk tegangan transien berikut ini :



Gambar 11. Grafik Simulasi Arus Transien pada Sisi Primer Low Voltage Transformator Unit 5, Unit 6 dan Unit 7 Asahimas, Poly Prima dan Alindo Off



Gambar 12. Grafik Simulasi Tegangan Transien pada Sisi Primer Low Voltage Transformator Unit 5, Unit 6 dan Unit 7 Asahimas, Poly Prima dan Alindo Off



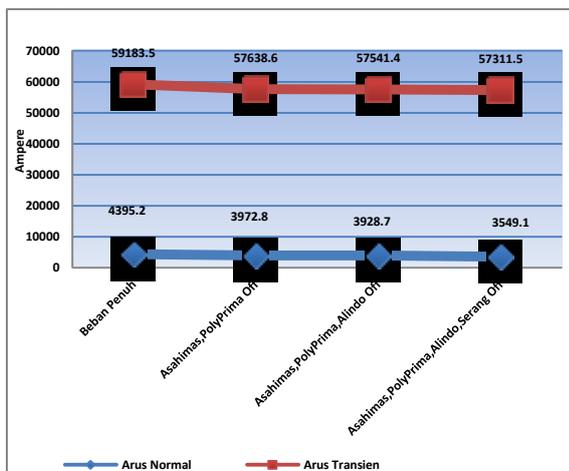
Tabel 8. Hasil Simulasi Arus Transien Puncak dan Tegangan Transien Terendah pada Sisi Primer Transformator Low Voltage Asahimas, Poly Prima, Alindo dan Serang Off

Unit	Arus Transien (Ampere)	Tegangan Transien (kV)
Unit 5 Suralaya	57311,5	12,0637
Unit 6 Suralaya	57311,5	12,0637
Unit 7 Suralaya	57311,5	12,0637

I. Analisis Hasil Simulasi

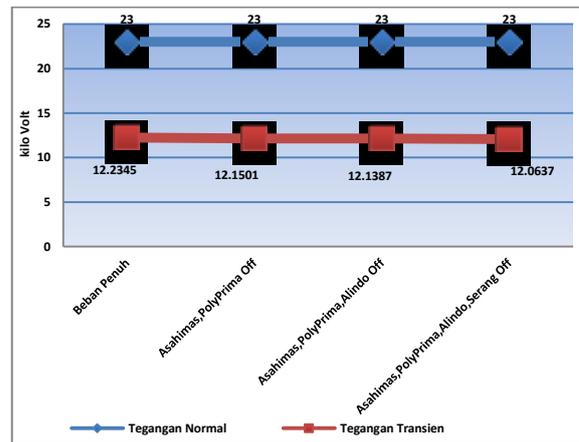
Dari ke empat hasil simulasi diatas kita telah mengetahui besar dari masing-masing kondisi baik arus transien maupun tegangan transien yang timbul. Dari hasil diatas kita ketahui bahwa besarnya arus transien saat proses alih hubung atau *switching* dari *circuit breaker* (CB) berbeda pada setiap kondisi hal ini dikarenakan adanya perbedaan beban dari setiap kondisi. Besarnya arus normal dan arus transien pada setiap kondisi dapat dilihat pada tabel 9. Sedangkan besarnya Tegangan Transien dapat dilihat pada tabel 10.

Berikut ini gambar grafik perbandingan arus normal dengan arus transien yang terjadi dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik Arus Normal dan Arus Transien

Berikut ini gambar grafik perbandingan tegangan normal dengan tegangan transien yang terjadi dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Grafik Tegangan Normal dan Tegangan Transien

Berdasarkan data simulasi dari tabel 9 dan gambar grafik 10 diatas diperoleh besarnya arus transien berbeda-beda dari setiap kondisi. Hal ini disebabkan karena berkurangnya daya beban (MVA) dari masing-masing kondisi yang terjadi. Dari perbedaan itu mengakibatkan daya yang dihasilkan dari generator yang disalurkan ke transformator juga berbeda karena pada sistem ini daya yang dihasilkan berdasarkan besarnya beban yang harus ditanggung oleh transformator. Berdasarkan pada pernyataan diatas besarnya arus transien yang terjadi saat pelepasan beban bergantung pada beban yang di tanggung oleh transformator dan generator, semakin besar daya dari transformator semakin tinggi pula arus transien yang dapat terjadi.

Dengan kata lain daya dari generator dan transformator menyesuaikan dengan kebutuhan sehingga besarnya nilai arus yang berbeda. Besarnya arus transien yang terjadi yang begitu besar dapat mengakibatkan panas yang berlebihan bagi general transformator sebagai penanggung beban terbesar. Panas yang berlebihan ini dapat menyebabkan kegagalan kerja hingga tingkat isolasi.

Besarnya selisih antara arus dalam keadaan normal dan arus transien rata- rata sebesar 93,165 %, hasil ini menunjukkan bahwa besarnya arus transien yang terjadi sangat besar dan dapat mengakibatkan kegagalan kerja bagi transformator terutama untuk kehandalannya dalam menyuplai sistem. Dari tabel hasil simulasi diatas diketahui bahwa nilai arus transien saat proses *switching* atau proses alih hubung rata-rata didapat sebesar 55012,97 A untuk beban penuh, 54781,53 A untuk kondisi Asahimas dan Poly Prima off, 54761,51 A untuk kondisi Asahimas, Poly Prima dan Alindo off dan yang terakhir 54556,76 A untuk kondisi Asahimas, Poly Prima, Alindo dan Serang off. Setelah mengetahui besar arus transien yang terjadi, lalu bandingkan nilai yang telah kita dapat dengan standar SPLN. Namun, sebelum kita membandingkan harus diketahui lebih dahulu nilai dari In dari transformator.

Berikut ini perhitungan mencari besarnya nilai  $I_n$  transformator berdasarkan persamaan (2-1):

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

$$I_n = 685000 \text{ kVA} / (23 \text{ kV} * \sqrt{3})$$

$$I_n = 17194,997 \text{ A}$$

Setelah mengetahui besarnya nilai  $I_n$ , kita bandingkan nilai arus transien yang telah diketahui dengan garis batas SPLN (Standart Perusahaan Listrik Negara) no 64 tahun 1985 Sebesar  $3 \times I_n$  selama 300 detik untuk arus transien.

$$\text{SPLN} = 3 \times 17194,997$$

$$\text{SPLN} = 51584,991 \text{ Ampere}$$

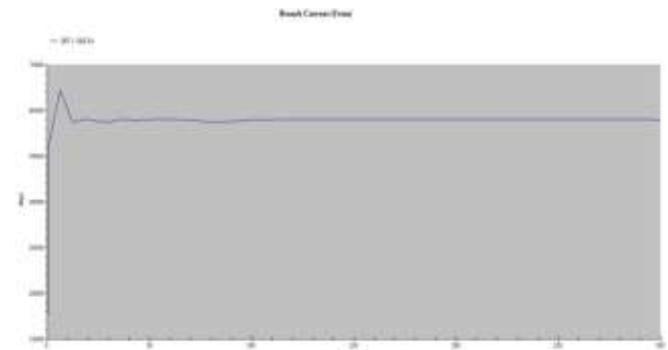
Arus transien yang terjadi saat simulasi berada diatas dari garis batas SPLN no 64 tahun 1985. Arus transien yang terjadi sebesar  $\pm 3.199 \times I_n$  untuk beban penuh,  $\pm 3.186 \times I_n$  untuk Asahimas dan Poly Prima off,  $\pm 3.185 \times I_n$  untuk Asahimas, Poly Prima dan Alindo off,  $\pm 3.173 \times I_n$  untuk kondisi Asahimas, Poly Prima, Alindo dan Serang off dari hasil yang didapat tentang pengujian untuk ketahanan transformator berada pada keadaan mengkhawatirkan. Karena dari hasil yang diperoleh menunjukkan besarnya nilai arus transien yang terjadi diatas standar yang berlaku yang jika dibiarkan semakin lama akan menyebabkan kerusakan transformator itu sendiri terutama dalam sisi kehandalan dalam memberikan suplai listrik ke beban. Sedangkan untuk tegangan transien yang terjadi pada sisi primer atau pada posisi *low voltage* mengalami penurunan yang jauh. Selisih rata-rata tegangan transien  $\pm 89,355 \%$  atau dengan kata lain tegangan transien mengalami penurunan yang cukup drastis yang semula berada pada 23 kv turun hingga rata-rata 12 kV selama akibat pelepasan beban yang tiba-tiba selama 300 Detik simulasi.

Kesimpulan menunjukkan bahwa besarnya tegangan transien baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder mengalami penurunan yang drastis sehingga berdasarkan pada standar yang ada yakni yang ditetapkan ANSI (*American National Standards Institute*) C57.12 sebesar 1290 kV saat *Switching impulse*. Tegangan transien yang terjadi jauh dibawah standar yang ada dengan kata lain tegangan transien yang terjadi masih aman untuk transformator. Namun, karena terjadi tegangan transien yang menyebabkan tegangan turun secara drastis dapat menyebabkan kerusakan instrument kendali elektronik karena turun tegangan yang menyebabkan peralatan kendali panas.

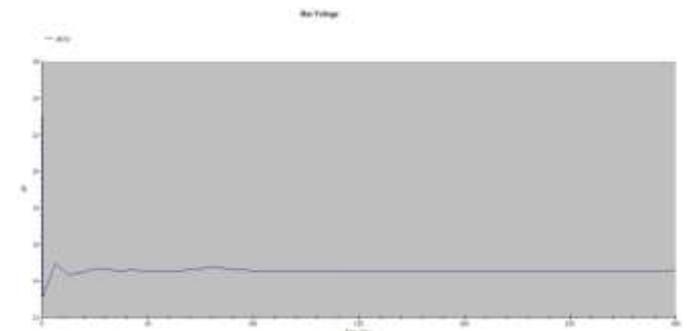
J. Analisa Arus Transien dengan Penambahan Transformator di GITET Cilegon Baru

Pada bahasan kali ini akan disimulasikan adanya penambahan 1 unit transformator pada GITET Cilegon Baru yang akan menyuplai kawasan industri Krakatau

Stell khususnya untuk Krakatau Posco yang sedang dalam tahap pembangunan. GITET Cilegon Baru menambahkan 1 transformator 3 fasa dengan daya yang terpasang sebesar 500 MVA dan beban penanbahan Krakatau Posco sebesar 755,4 MVA. Berikut ini gambar arus dan tegangan transien pada sisi primer transformator saat terjadi pelepasan beban, lihat pada gambar 18 dan gambar 19 :



Gambar 18. Grafik Simulasi Arus Transien Sisi Primer *Low Voltage* Transformator Selama 300 Detik Beban Krakatau Posco



Gambar 19. Grafik Simulasi Tegangan Transien Sisi Primer *Low Voltage* Transformator Selama 300 Detik Beban Krakatau Posco

Nilai arus transien puncak dan tegangan transien terendah transformator selama 300 Detik berada pada nilai 64334,9 A dan 13,1264 kV. Pada sisi primer arus rata-rata mencapai 56287,61 A dan tegangan rata-rata 14,85 kV. Nilai ini jelas sangat besar, mengingat garis batas transformator yang ditetapkan oleh SPLN = 51584,991 A selama 300 Detik. Berikut besarnya arus transien puncak dan tegangan transien terendah, lihat tabel 11.

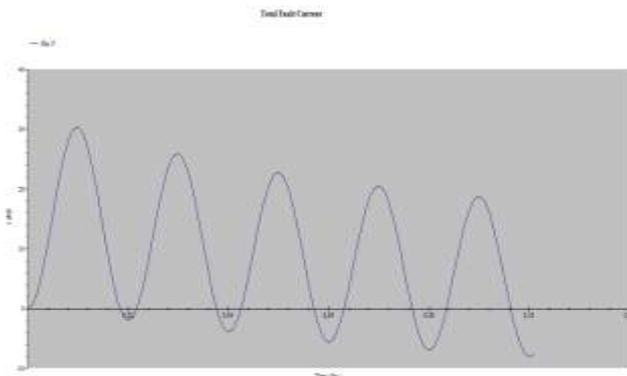
Tabel 11. Hasil Simulasi Arus Transien Puncak dan Tegangan Transien Terendah pada Sisi Primer Transformator *Low Voltage* Penambahan Krakatau Posco

Unit	Arus Transien (Ampere)	Tegangan Transien (kV)
Unit 5 Suralaya	64334,9	13,1264
Unit 6 Suralaya	64334,9	13,1264
Unit 7 Suralaya	64334,9	13,1264

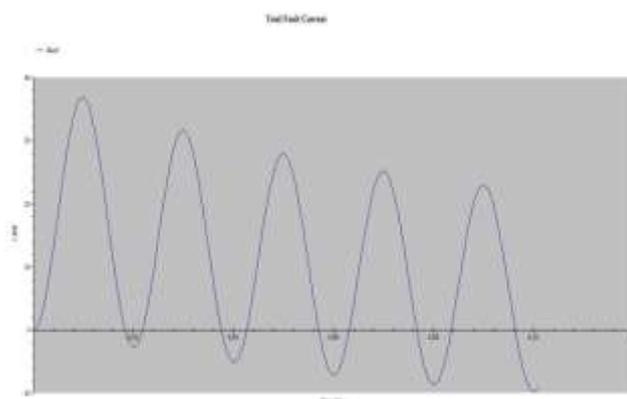
K. Analisa Transien *Short Circuit* pada *Circuit Breaker*

Pada analisa kali ini akan menganalisa besarnya arus transien yang diakibatkan adanya *short circuit* yang terjadi sebagai gangguan yang menyebabkan *circuit breaker* terbuka. Besarnya arus *short circuit* yang terjadi diakibatkan gangguan tiga fasa ke tanah yang terjadi yang menyebabkan *circuit breaker* 5 pada posisi terbuka. Simulasi yang akan dilakukan adalah pada saat keadaan beban penuh dan saat penambahan Krakatau Posco.

Arus transien yang terjadi akan penulis simulasikan untuk melewati *circuit breaker* yang memang telah terpasang dalam gardu induk dengan merek GEC dengan tipe GIS FB2TD dengan kemampuan marking arus sebesar 50 kA, yakni dimana CB mampu untuk mengamankan arus sebesar 50 kA dan tidak rusak. Sedangkan CB memiliki rated ampere 3150 A yakni CB mampu untuk membuka atau menutup dengan aman tanpa menimbulkan gangguan. Berikut ini gambar arus transien *short circuit* pada keadaan beban penuh dan penambahan Krakatau Posco, lihat pada gambar 20 dan gambar 21.



Gambar 20. Arus Transien *Short Circuit* pada Bus 9 Beban Penuh Yang menginduksi CB



Gambar 21. Arus Transien *Short Circuit* pada Bus 9 Penambahan Krakatau Posco Yang menginduksi CB

Nilai arus transien puncak akibat *short circuit* yang menginduksi CB adalah 36,9699 kA pada Saat Penambahan Krakatau Posco dan 30,4027 kA pada saat beban penuh. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa CB masih dalam keadaan aman karena nilai arus transien

yang terjadi masih di bawah kemampuan marking CB yang terpasang.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis dan simulasi arus dan tegangan transien adalah:

1. Besarnya arus transien pada saat kondisi beban penuh puncak sebesar 59183,5 Ampere, saat Asahimas dan PolyPrima off sebesar 57638,6 Ampere, saat Asahimas, PolyPrima dan Alindo off sebesar 57541,4 Ampere, saat Asahimas, PolyPrima, Alindo dan Serang off sebesar 57311,5 Ampere dan Saat penambahan beban posco sebesar 64334,9 Ampere. Dari hasil simulasi berdasarkan standar SPLN no 64 tahun 1985 dari kelima simulasi diperoleh hasil diatas standar yang ditetapkan PLN sebesar 3 x In selama 300 Detik sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator khususnya pada belitannya karena harus menahan arus transien yang sangat besar serta dapat menurunkan kehandalan dari transformator karena dapat mengurugi umur dari transformator.
2. Berdasarkan simulasi tegangan transien yang terjadi pada sisi primer atau pada posisi *low voltage* saat kondisi beban penuh sebesar 12,2345 kV. Saat kondisi Asahimas dan Poly Prima off sebesar 12,1501 kV. Saat Asahimas, Poly Prima dan Alindo off sebesar 12,1387 kV. Saat Asahimas, PolyPrima, Alindo dan Serang off sebesar 12,0637 kV dan penambahan beban Krakatau Posco sebesar 13,1264 kV. Dari kelima simulasi diperoleh hasil masih jauh dari batas ambang yang ditetapkan ANSI (*American National Standards Institute*) C57.12 sebesar 1290 kV saat *Switching* sehingga untuk tegangan transien yang terjadi masih aman untuk transformator. Namun, karena terjadi tegangan transien yang menyebabkan tegangan turun secara drastis dapat menyebabkan kerusakan instrument kendali elektronik karena turun tegangan yang menyebabkan peralatan peralatan kendali panas.
3. Besarnya arus transien yang menginduksi *circuit breaker* (CB) sebesar 30,4027 kA untuk beban penuh dan 36,9699 kA untuk Penambahan beban Krakatau Posco masih jauh dari batas kemampuan marking dari *Circuit breaker* yang telah terpasang yakni sebesar 50 kA, sehingga kondisi CB masih aman.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arfita Yuana Dewi, “ Analisis Arus Transien Pada Sisi Primer Transformator Terhadap Pelepasan Beban Menggunakan Simulasi EMTP “, ITP, Padang, 2006.

- 
- [2] Zulfikar Ainur Rohman, “ Analisis Arus Transien Pada Sisi Primer Transformator Terhadap Pelepasan Beban Di Gardu Induk PLTU Gresik- Gardu Iduk Krian Menggunakan Simulasi ATP/ EMTP ”, ITS, Surabaya, 2010.
  - [3] DR. A. Arismunandar, Dr.s.Kuwahara, “ Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II Saluran Transmisi ”, Pradaya Paramita, Jakarta, 1975.
  - [4] DR. A. Arismunandar, Dr.s.Kuwahara, “ Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III Gardu Induk ”, Pradaya Paramita, Jakarta, 1975.
  - [5] Prof.Ir.T.s Hutahuru,M.sc, “ Transmisi Daya Listrik ”, Erlangga, Jakarta, 1993.
  - [6] Abdul Kadir,” Transmisi Tenaga Listrik “, UI Press, Jakarta, 2011.
  - [7] Roger C Dugan,” Electrical Power System Quality Second Edition “, Mc Graw Hill, New York, 2003.
  - [8] \_\_\_\_\_, ETAP Modul Help.
  - [9] B. Ravindranath, M. Chander, “ Power System Protection and Switchgear “, New Age Internationap (p) Ltd, New Delhi, 1977.
  - [10] \_\_\_\_\_, “ SPLN No 64 1985 Tentang Garis Batas Ketahanan Transformator “, PT. PLN (Persero), Jakarta, 1985.

Tabel 9. Besarnya Arus Normal dan Arus Transien Puncak Pada Setiap Kondisi

KONDISI	BEBAN (MVA)	ARUS (Ampere)		SELISIH %
		NORMAL	TRANSIEN	
Full Load	1605,077	4395,2	59183,5	92,57
Asahimas,PolyPrima Off	1392,523	3972,8	57638,6	93,11
Asahimas,PolyPrima, Alindo Off	1367,595	3928,7	57541,4	93,17
Asahimas,Polyprima, Alindo, Serang Off	1166,512	3549,1	57311,5	93,81

Tabel 10. Besarnya Tegangan Normal dan Tegangan Transien Pada Setiap Kondisi

KONDISI	BEBAN (MVA)	Tegangan (kV)		SELISIH %
		NORMAL	TRANSIEN	
Full Load	1605,077	23	12,2345	87,99
Asahimas,PolyPrima Off	1392,523	23	12,1501	89,2988
Asahimas,PolyPrima, Alindo Off	1367,595	23	12,1387	89,4766
Asahimas,Polyprima, Alindo, Serang Off	1166,512	23	12,0637	90,6546