

# ANALISIS PENGURANGAN EFEK TRANSIEN TERHADAP PENGGUNAAN SWITCHING KAPASITOR BANK PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV

Derry Apriyal<sup>1)</sup>, Azriyenni Azhari Zakri<sup>2)</sup>, Feranita<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, <sup>2,3)</sup>Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau 28293  
E-mail : [derry.apriyal@student.unri.ac.id](mailto:derry.apriyal@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*The use of bank capacitors in an effort to increase the power factor in power quality issues, has several problems to be aware of. Switching capacitor banks during energization can cause transient surges related to transient voltages and currents. This study discusses the simulation and analysis of more transient voltage due to the switching of bank capacitors that occur in riau transmission line 150 kV using MATLAB Simulink 8.7. The effect of transient state when switching capacitor banks can have a detrimental impact, both for equipment and the system as a whole. Use Synchronous Closing Breaker as one solution to solve this problem. By using Synchronous Closing Breaker can reduce the voltage more in the transient state and dampen the oscillations that occur. The result of simulating the transient voltage value produced on Garuda Sakti bus reaches 1.35 pu, and the use of synchronous closing breaker method can reduce the transient voltage up to 1.04 pu. To reduce transient oscillations, it can also reduce transient current from a value of 532.2 A can be reduced to 476.1 A. The percentage of transient voltage reduction of synchronous closing breaker usage is 22.96%.*

*Keywords: Electric Power System, Transient, synchronous closing breaker, Matlab R2016a/Simulink.*

## I. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan hal yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik, dimana gardu induk berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan menengah, dan menuju jaringan distribusi yang tersambung ke beban sampai pada konsumen. Kebutuhan konsumen antara kebutuhan beban harus tetap terjaga, mengingat kebutuhan konsumen antara beban tidak konstan atau berubah-ubah, dengan daya listrik yang tersedia pada gardu tidak cukup untuk memenuhi permintaan konsumen dan beban. Salah satu faktor yang menyebabkan sistem tenaga listrik terganggu atau tidak efisien karena adanya kehilangan daya atau rugi-rugi daya. Rugi

– rugi daya ini dasarnya disebabkan oleh beban yang sifat induktif.

Untuk memperbaiki faktor daya, banyak industri mengaplikasikan Kapasitor bank. Beban-beban industri seperti motor induksi dan peralatan-peralatan elektronika daya pada umumnya beroperasi pada faktor daya yang rendah, seperti yang terdapat di Gardu induk Garuda Sakti. Faktor daya yang rendah ini akan mengakibatkan turunnya kualitas daya pada saluran listrik industri. Dengan memasang kapasitor diharapkan dapat mengkompensasi tegangan dan daya reaktif, menurunkan rugi-rugi daya, meningkatkan kapasitas saluran dan mengurangi *drop voltages*.

Namun, penggunaan kapasitor juga dapat menimbulkan beberapa permasalahan terkait

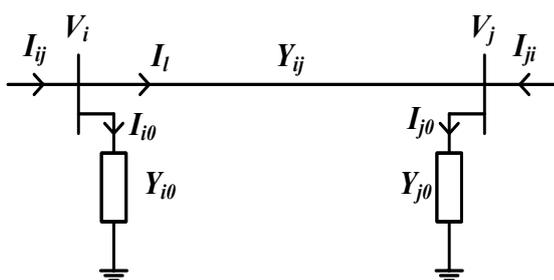
kualitas daya, yaitu kenaikan magnitudo tegangan dan arus transien saat operasi *switching* kapasitor. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan, karena potensi bahaya yang ditimbulkan yaitu rusaknya peralatan dan gangguan pada sistem kelistrikan di industri.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Sistem Aliran Daya

Pada umumnya permasalahan yang timbul dari studi aliran daya adalah ketika beban antara fasa satu dengan lainnya tidak seimbang. Oleh karena itu dalam penyelesaian studi aliran daya, sistem diasumsikan dalam keadaan stabil, beban seimbang antar fasa, dan tidak mengalami gangguan sehingga perhitungannya dalam satu fasa.

Untuk kebutuhan studi aliran daya, terdapat data-data dari bus dan data dari saluran transmisi pada sebuah sistem tenaga listrik. Data-data yang terdapat pada tiap-tiap bus meliputi: magnitudo tegangan dalam p.u., sudut tegangan ( $\theta$ ), besar pembebanan yang terdiri dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), besar pembangkitan yang terdiri dari daya aktif (P), daya reaktif (Q), Qmin, dan Qmax. Sedangkan data-data yang terdapat pada saluran transmisi meliputi : resistansi saluran transmisi dalam p.u., reaktansi saluran transmisi dalam p.u., tiap trafo (biasanya bernilai 1), dan rating tegangan dalam Kilo Volt (kV).



**Gambar 1. Pemodelan Saluran Transmisi untuk Perhitungan Aliran Daya. Saadat (1999:212)**

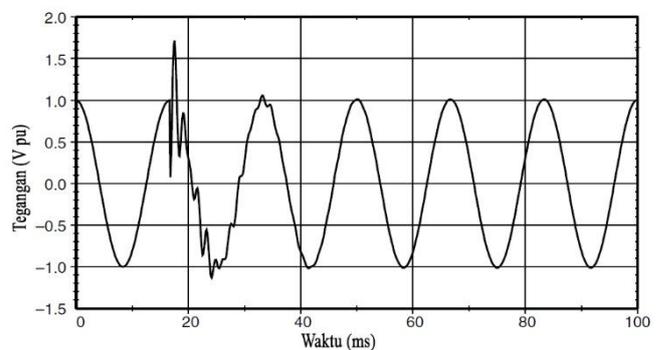
besar rugi-rugi daya yang timbul pada saluran transmisi sebagai berikut :

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (1)$$

Dengan  $S_{Lij}$  adalah total rugi-rugi daya pada saluran transmisi,  $S_{ij}$  adalah nilai rugi-rugi saluran transmisi i-j, dan  $S_{ji}$  adalah nilai rugi-rugi saluran transmisi j-i.

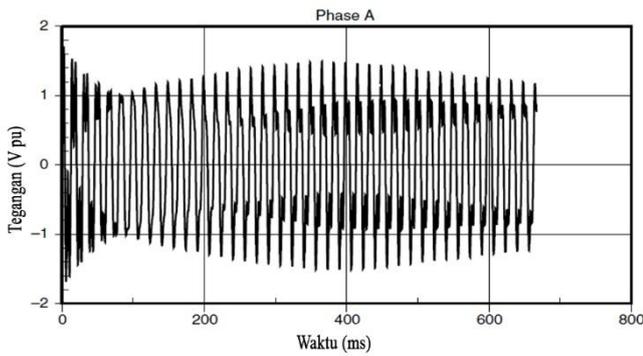
### 2.2 Transien

Terjadinya *transient overvoltage* pada *capacitor bank switching* selalu diikuti oleh kenaikan tegangan (*voltage rise*) yang akan beresilasi dalam frekuensi yang ditentukan oleh induktansi dan kapasitansi dalam sirkuit (*LC Circuit*). Pada saat *switching* kapasitor *bank*, tegangan sumber akan mengalami gangguan secara singkat seolah-olah mengalami hubungan singkat. Setelah mengalami penurunan tegangan tersebut, kapasitor bank akan mulai menarik arus *inrush* melalui impedansi sumber. Proses *charge* dari kapasitor bank dalam suatu rangkaian LC menghasilkan *overshoot* dengan gelombang tegangan yang diikuti oleh osilasi transien yang berhubungan dengan induktansi dari sistem, rugi-rugi saluran dan kapasitansi dari kapasitor bank itu sendiri.



**Gambar 2. Tegangan lebih transien akibat kapasitor bank switching (R.C.Dugan,2004)**

*Transient Overvoltage* yang terjadi pada saat pelepasan muatan kapasitor selama proses pengisian atau *energize*. Osilasi akan terjadi selama beberapa *cycle* sampai tercapai keadaan tunak atau *steady state*. Selama proses transien ini akan diikuti oleh lonjakan arus yang dibatasi oleh impedansi sistem dan resistansi jaringan.



**Gambar 3. Dynamic overvoltage saat transformer energizing (R.C.Dugan,2004)**

Energizing trafo dan kapasitor bank secara bersamaan dapat menyebabkan tegangan lebih transien yang memiliki frekuensi resonansi pada arus *inrush* trafo sehingga menyebabkan kegagalan isolasi pada trafo. Pada saat kapasitor di *switch on* maka akan mengakibatkan tegangan transien. Umumnya tegangan transien yang terjadi adalah 1,3 sampai 1,6 pu dari tegangan nominal, bahkan dapat mencapai 2 pu.

### 2.3 Kapasitor

Kapasitor bank merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif, terdiri dari sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara seri dan paralel dengan sumber tegangan untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu. Besaran parameter yang dipakai adalah KVAR. Kapasitor berfungsi untuk memperbaiki faktor daya ( $\cos\phi$ ), dan mengurangi rugi-rugi

daya, dan mengontrol penyerapan daya reaktif. Dalam pengoperasiannya yang dikenal dengan nama Kapasitor bank *switching* dapat mengakibatkan dampak negatif pada kualitas daya, yaitu dapat mengakibatkan transient *overvoltage*.



**Gambar 4. Kapasitor bank**

#### 2.3.1 Single Capacitor (Kapasitor Tunggal)

Pengoperasian dengan sistem *Single Capacitor* dilakukan pada satu atau beberapa kapasitor yang dihubungkan secara paralel. Pada operasi ini, semua kapasitor dinyalakan atau di *switching* pada waktu yang bersamaan.

$$I_{\text{peak}} = 1,41\sqrt{I_{\text{SC}}} \times I_1 \text{ A} \quad (2)$$

$$f_r = f_s\sqrt{I_{\text{SC}}} \times I_C \text{ Hz} \quad (3)$$

Keterangan:

$I_{\text{peak}}$  = arus puncak transien (Ampere)

$I_{\text{sc}}$  = arus hubung singkat simetris (Ampere)

$I_c$  = arus kapasitor (Ampere)

$f_r$  = frekuensi resonansi (Hz)

$f_s$  = frekuensi sistem (Hz)

#### 2.3.2 Back to Back Capacitor (Kapasitor bergantian)

Pengoperasian secara *Back to Back Capacitor* adalah pengoperasian pada beberapa kapasitor yang dipasang secara paralel dalam satu bus yang sama. Proses *switching capacitor bank* dilakukan secara bergantian. *Back to Back Capacitor* melibatkan *energizing* sebuah kapasitor ketika kapasitor yang lain dalam keadaan *energized*. Arus transien dalam kasus ini terjadi melalui proses yang dinamakan *interchange* dimana arus yang disuplai dari sumber sistem dapat diabaikan. Dalam pengertian bahwa arus dari sumber hanya melibatkan pada *Back to Back Capacitor* yang pertama saja. Dengan demikian arus transien dipengaruhi oleh reaktansi induktif antara *step-step capacitor bank*.

$$I_{\text{peak}} = 1750 \sqrt{\frac{V_{\text{LL}} (I_{\text{C1}} \times I_{\text{C2}})}{\text{Leq} (I_{\text{C1}} + I_{\text{C2}})}} \text{ A} \quad (4)$$

$$f_r = 9,5 \sqrt{\frac{f_s \times V_{\text{LL}} (I_{\text{C1}} \times I_{\text{C2}})}{\text{Leq} (I_{\text{C1}} \times I_{\text{C2}})}} \text{ Hz} \quad (5)$$

Keterangan :

$I_{\text{peak}}$  = arus puncak transien (Ampere)

$I_{\text{sc}}$  = arus hubung singkat simetris (Ampere)

$I_c$  = arus kapasitor (Ampere)

$f_r$  = frekuensi resonansi (Hz)

$f_s$  = frekuensi sistem (Hz)

## 2.4 Metode Untuk Mereduksi Tegangan Lebih Transien

Tegangan lebih transien selalu terjadi pada saat dilakukan proses *switching*, dan hal ini tidak bisa dihindari. Namun tegangan lebih transien dapat direduksi atau diminimalisir dengan beberapa cara. Hal ini penting mengingat banyak dampak negatif yang bisa diakibatkan oleh efek transien ini. Ada beberapa metode yang digunakan untuk mereduksi tegangan lebih transien, diantaranya adalah *pre-insertion inductor*, *surge arrester*, dan *synchronous closing breaker*.

### 2.4.1 Pre-Insertion Inductor

*Pre-Insertion inductor* merupakan teknologi yang masih banyak digunakan untuk mengurangi efek tegangan lebih transien pada sistem tenaga listrik. Teknologi ini tergolong konvensional namun sangat efektif mengurangi tegangan lebih transien. *Pre-insertion inductor* ini melengkapi impedansi sistem dengan memasang secara seri dengan kapasitor bank. *Pre-insertion inductor* ini akan membatasi arus transien yang dihasilkan oleh proses kapasitor bank *switching*.

### 2.4.2 Arrester

Arrester dapat digunakan sebagai perlindungan pada kapasitor bank saat terjadi tegangan lebih transien. Jika tegangan lebih transien terjadi maka tegangan ini akan menyalakan *arrester* sehingga kapasitor bank akan mendisipasikan energi melalui *arrester* ini.

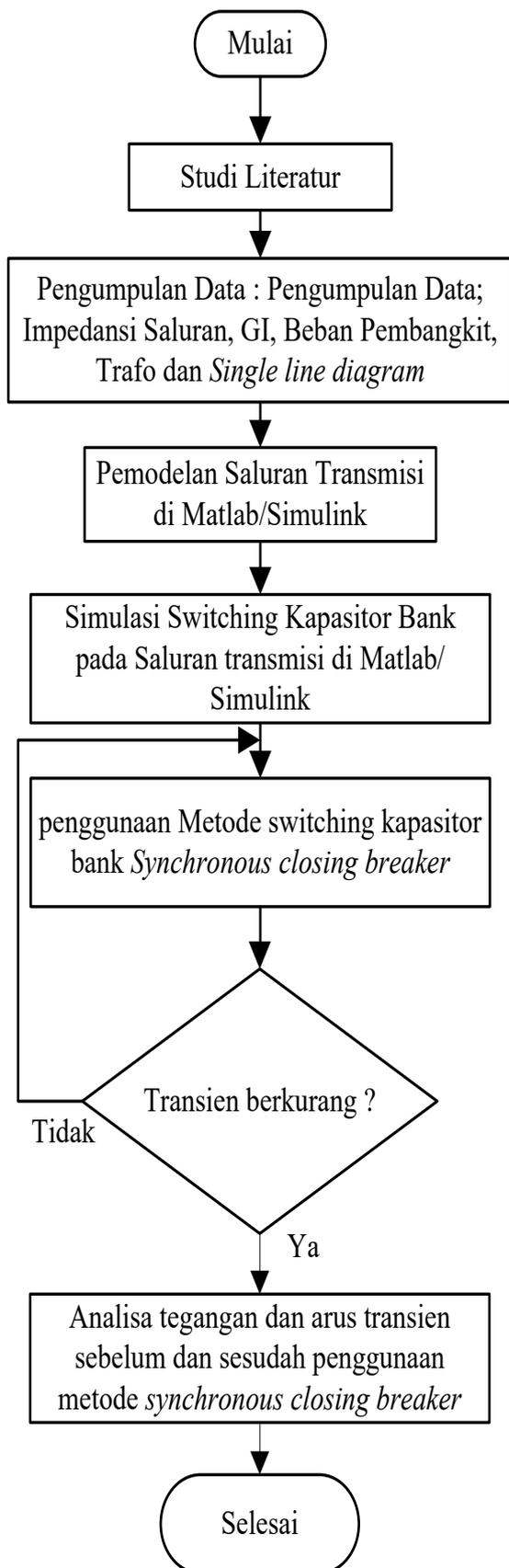
### 2.4.3 Synchronous Closing Breaker

Teknologi ini melibatkan penutupan kontak dari setiap fasa saat tegangan mendekati nol. Untuk menyempurnakan penutupan yang mendekati nol maka diperlukan suatu peralatan *switching* yang memiliki ketahanan dielektrik yang tinggi saat kontak bersentuhan. Meskipun sulit untuk mencapai nilai tegangan nol saat kontak bersentuhan, tapi pada dasarnya penutupan terjadi secara konsisten pada  $\pm 0.5$  ms.

Untuk metoda ini pengguna *circuit breaker* sebagai *switch* pada saat penutupan *sinkron* harus sangat diperhatikan. Penutupan *sinkron* ini memerlukan *circuit breaker* yang memiliki ketahanan dielektrik yang tinggi. Penggunaan *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) banyak digunakan untuk *switching capacitor* dengan pemasangan paralel atau *shunt capacitor*. VCB digunakan pada sistem kelistrikan tegangan menengah karena memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi yang sangat diperlukan untuk proses *switching capacitor bank*.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

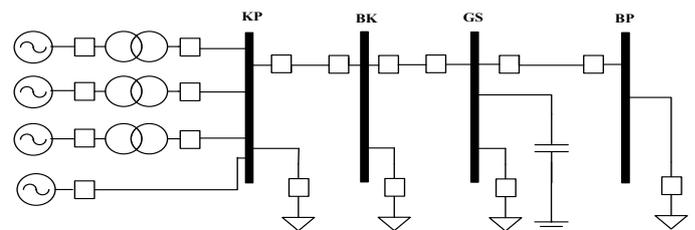
Ada beberapa tahapan dalam melakukan penelitian ini, diantaranya adalah mengumpulkan data objek penelitian kemudian Membuat model rangkaian objek penelitian dilanjutkan dengan membuat desain menggunakan Matlab/Simulink, Pengambilan data simulasi dan analisa hasil simulasi. Diagram alir penelitian terdapat pada Gambar 5:



**Gambar 5. flowchart Penelitian**

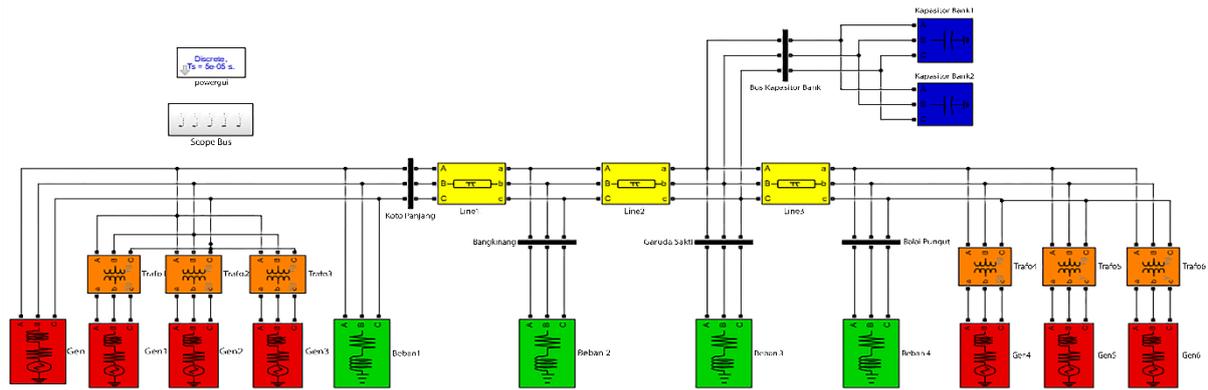
### 3.1 Permodelan Sistem Tenaga Listrik Objek Penelitian

Pemodelan sistem transmisi tenaga listrik yang digunakan sebagai objek penelitian dan parameter-parameter yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi sistem transmisi tenaga listrik di Matlab/simulink R2016a. Adapun sistem transmisi tenaga listrik yang digunakan sebagai objek penelitian berupa sistem transmisi yang dimulai dari bus Koto Panjang ke Bangkinang, Garuda Sakti dan Balai Pungut di Provinsi Riau. Sistem ini mempunyai tiga unit generator sinkron sebagai pembangkit pada bus Koto Panjang dan daya yang diterima dari bus Payakumbuh ke bus Koto Panjang juga beban pada setiap bus. Pada bus Garuda Sakti terdapat kapasitor bank dengan kapasitas 20 x 25 MVAR yang tersusun paralel.



**Gambar 6. Single line diagram sistem transmisi tenaga listrik objek penelitian**

Pada gambar 6 menunjukkan satu buah generator PLTA koto panjang berkapasitas 38 MW dengan tegangan 11 kV, satu buah transformator step up untuk menaikkan tegangan yang dibangkitkan oleh generator dari 11 kV ke tegangan 150 kV. Panjang saluran PLTA Koto panjang ke Bangkinang adalah 18,19 km, Bangkinang ke Garuda sakti adalah 46,09 km dan Garuda sakti ke Balai pungut adalah 77 km. Hasil pemodelan saluran transmisi objek penelitian dengan *software* Simulink dapat dilihat pada gambar 7.



**Gambar 7. Pemodelan simulasi menggunakan Matlab/Simulink**

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

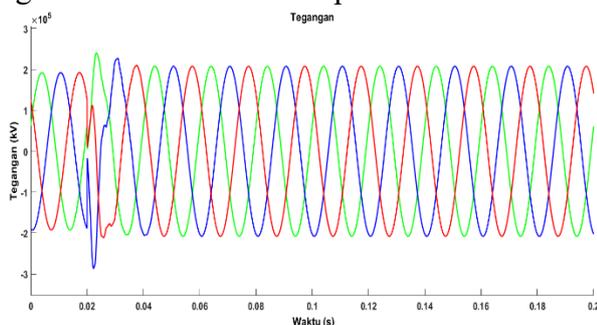
Pada penelitian ini menjelaskan modeling pengoperasian rangkaian kapasitor bank untuk mengurangi transien terhadap penggunaan *switching* kapasitor bank. Pengujian terdiri dari beberapa metode pengoperasian *switching* kapasitor bank dalam mereduksi tegangan dan arus puncak transien.

##### 4.1 Simulasi Sistem Transmisi Saat Beroperasi menggunakan Kapasitor bank

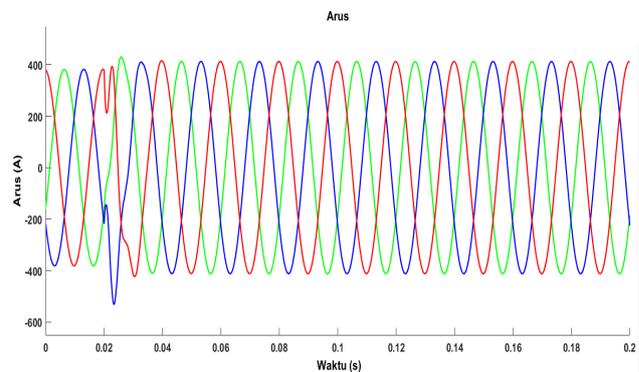
Pada Simulasi ini pengoperasian *switching* kapasitor bank terdiri dari dua metode yaitu secara *single bank* dan *back to back*

##### 4.1.1 Simulasi Kapasitor bank *Switching* secara *single bank*

Pada penelitian pengoperasian kapasitor bank secara *single bank* adalah dengan melakukan *switching* pada saat bersamaan yaitu pada waktu  $t = 0,02$  detik. Waktu *switching* ini digunakan untuk semua kapasitor bank.



**Gambar 13. Respon sinyal tegangan bus Garuda Sakti secara *single bank***



**Gambar 14. Respon sinyal arus bus Garuda Sakti secara *single bank***

Pada gambar 13 hasil simulasi pada bus Garuda Sakti ini terlihat tegangan mengalami kenaikan pada tegangan puncak *steady* sebesar 1,35 pu sebelum mencapai keadaan *steady*, hal ini terjadi sesaat setelah *switching* kapasitor bank dilakukan secara bersamaan pada  $t = 0,02$  detik. Jika dibandingkan dengan tegangan bus beban sebelum diberi kapasitor nilai puncak *steady* tegangan mengalami perubahan yaitu 207,8 kV. Untuk arus terjadi kenaikan arus puncak transien sebesar 532,2 A kemudian turun menjadi keadaan *steady* sehingga arus menjadi 412,2 A.

**Tabel 1.** Kenaikan tegangan Transien pada pengoperasian *single* Kapasitor bank

Lokasi	Kenaikan Tegangan puncak transien (pu)	Kenaikan Arus puncak Transien (A)
Koto Panjang	1,24	1136

Garuda Sakti	1,35	532,2
Kapasitor	1,35	1314
Balai Pungut	1,86	103,9

#### 4.1.2 Simulasi Kapasitor Bank secara *back to back*

Pada Simulasi ini pengoperasian kapasitor bank secara *back to back* disimulasikan dengan melakukan *switching* pada kapasitor bank yang berada dalam satu bus yang sama secara bergantian saat kapasitor bank sebelumnya dalam keadaan pengisian. Pada bus Garuda Sakti terdapat 2 buah kapasitor bank yaitu kapasitor bank 1 dan kapasitor bank 2. Pertama pengoperasian kapasitor bank dilakukan dengan menutup saklar pada kapasitor bank 1 dengan  $t = 0,02$ , kemudian saat kapasitor bank 1 dalam keadaan pengisian, kapasitor bank 2 kemudian pada  $t = 0,021$ . Dari hasil simulasi setelah dijalankan maka perbandingan respon tegangan dan arus pada bus sumber dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2** Perbandingan pengoperasian *switching* kapasitor secara *single bank* dan *back to back* pada bus Garuda Sakti

Tegangan/Arus	Single bank	Back to back
Tegangan transien (pu)	1,35	1,23
Tegangan steady (pu)	0,979	0,979
Arus Transien (A)	532,2	511,7
Arus steady (A)	412,2	412,2

#### 4.2 Metode *synchronous closing breaker* untuk mengurangi efek transien kapasitor bank *switching*

Pada tugas akhir ini metode yang digunakan untuk mengurangi efek transien dari kapasitor bank *switching* adalah *synchronous closing breaker* atau penutupan sinkron pada *circuit breaker*. *Circuit breaker* yang digunakan untuk metode ini bisa menggunakan *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) dari *SF6* yang mempunyai ketahanan dielektrik yang tinggi dan kemampuan yang kuat dalam memadamkan busur api. Selain

itu metode ini memanfaatkan waktu penutupan sinkron dari setiap fasa saat tegangan mendekati nol dengan mengatur sudut dari waktu *switching* pada *circuit breaker* tersebut.

#### 4.2.1. Penggunaan Variasi Sudut $\alpha$

Pada simulasi ini menggunakan perbedaan sudut fasa  $\alpha$ . Antara sudut fasa A dan B perbedaannya  $30^\circ$  sedangkan antara fasa B dan fasa C adalah  $90^\circ$  derajat. Untuk kapasitor bank 1, kapasitor 2 sudut *switch* yang dipasang pada *circuit breaker* adalah  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $150^\circ$ . Sehingga jika sudut tersebut dijadikan dalam domain waktu maka :

$$30^\circ = \frac{30}{180}\pi = \frac{30}{180} \times 0,01s = 1,66 \times 10^{-3} s$$

$$60^\circ = \frac{60}{180}\pi = \frac{60}{180} \times 0,01s = 3,3 \times 10^{-3} s$$

$$150^\circ = \frac{150}{180}\pi = \frac{150}{180} \times 0,01s = 8,33 \times 10^{-3} s$$

Dari hasil simulasi setelah dijalankan maka perbandingan respon tegangan dan arus dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3** Perbandingan tegangan dan arus puncak transien pada bus Garuda Sakti

Pengoperasian <i>switching</i> kapasitor bank	Tegangan puncak transien (pu)	Arus puncak Transien (A)
<i>Single bank</i>	1,35	532,2
<i>Back to back</i>	1,23	511,7
perbedaan fasa $\alpha$	1,04	476,1

#### 4.2.2 Penggunaan Variasi Sudut $\beta$

Pada metode ini sama dengan metode pengoperasian *switching capacitor bank* dengan perbedaan sudut  $\alpha$ , perbedaannya hanya pada sudut fasa dengan perbedaan  $\beta$  yang akan digunakan yaitu dengan perbedaan  $60^\circ$  sehingga pada *switching capacitor* pada bus kapasitor,

untuk kapasitor bank 1, kapasitor 2 sudut *switch* yang dipasang pada *circuit breaker* adalah 60°, 120°, dan 180° Sehingga waktu yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$60^\circ = \frac{60}{180}\pi = \frac{60}{180} \times 0,01s = 3,33 \times 10^{-3} s$$

$$120^\circ = \frac{120}{180}\pi = \frac{120}{180} \times 0,01s = 6,66 \times 10^{-3} s$$

$$180^\circ = \frac{180}{180}\pi = \frac{180}{180} \times 0,01s = 0,01 s$$

Dari hasil simulasi setelah dijalankan maka Perbandingan tegangan dan arus puncak transien pada bus Garuda sakti dapat dilihat dari tabel 4 berikut :

**Tabel 4** Perbandingan tegangan dan arus puncak transien pada bus Garuda Sakti

Pengoperasian <i>switching</i> kapasitor bank	Tegangan puncak transien (pu)	Arus puncak Transien (A)
<i>Single bank</i>	1,35	532,2
<i>Back to back</i>	1,23	511,7
penutupan sinkron dengan perbedaan fasa $\alpha$	1,04	476,1
penutupan sinkron dengan perbedaan fasa $\beta$	1,13	530,3

## V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan untuk mengurangi efek transien dari *switching* Kapasitor bank pada saluran transmisi 150 kV, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

Penggunaan metode *synchrinous closing breaker* pada *switching* kapasitor bank efektif mengurangi tegangan transien yang dihasilkan. Sehingga pada bus Garuda Sakti dapat mereduksi tegangan lebih menjadi 1,04 pu, pengoperasian dengan metode *synchronous closing breaker* juga efektif mereduksi arus transien yang dihasilkan pada bus Garuda Sakti yaitu 476,1 A.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akinrinde Ajibola O, Andrew Swanson, Remy Tiako, (2016). Transient Analysis and Mitigation of Capacitor Bank Switching on a Standalone Farm. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 10 No:4.
- Alexsander R Brando, Lily S Patras, Fielman Lisi. (2018), *Analisa Koordinasi Isolasi Peralatan di Gardu Induk Teling 70 kV*. Manado; Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Arismunandar, M.A.Sc & Kurwahara (1972), Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II.
- Camm, E.H., 1999.” Shunt Capacitor Overvoltages And Reduction Technique”. IEEE/PES Transmission And Distribution Conference And Exposition.
- Das, J.C., 2005. “Analysis And Control Large Shunt Capacitor Bank Switching Transient”. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.41, No.6, November/December.
- Efendi, L. H. (2006). *Pemanfaatan Teknik Modulasi Lebar Pulsa (PWM)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Frebiandi Doni. (2018), *Analisis Arus Inrush Akibat Switching Kapasitor Bank di Gardu Induk Sragen*. Surakarta; Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hafidz, M. (2013). *Kompensator Daya Reaktif*. Sekolah Tinggi Teknik – PLN (STT-PLN).
- Harfadli dani. (2015), *Penggunaan Metode Synchronous closing Breaker untuk Mengurangi Efek Transien Capacitor Bank Switching di PT.Asahimas Flat Glass tbk*. Surabaya: Institut Teknik Sepuluh November.
- Hosea Emmy, Penangsang Ontoseno, Tinus Algavient, (2017) pengaruh *capasitor bank switching* terhadap kualitas daya.

- Jambukar Amar Arun. (2018), *Simulation Analysis of Switching of Shunt Capacitor Bank in 220/22 kV Substation*, Electrical Engineering, Dr babasaheb Ambedkar Technological University.
- Marselina Sezilia. (2012), *Analisis Transien dan Penggunaan Metode Synchronous Closing Breaker Untuk Mengurangi Efek Transien Capacitor Bank Switching di PT. Semen Tonasa Unit 5*. Surabaya; Institut Teknik Sepuluh November.
- PT. PLN (persero), Nomor 0520-2K/DIR/ (2014), Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer Gardu Induk.
- R.C.Dugan, M.F.McGranaghan, S.Santoso, H.W.Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill,2004.
- Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. McGraw-Hill: International Edition.