

## STUDI HUBUNGSINGKAT UNTUK GANGGUAN DUA FASA ANTAR SALURAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK (Studi Kasus : PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV)

**Ichwan Yelfianhar**

*Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Padang  
Padang, Sumatera Barat*

### ABSTRAK

*Perluasan sistem tenaga yang dilakukan oleh PT. PLN Sumbar-Riau menuntut perlunya analisa ulang terhadap rating peralatan pemutus tenaga (Circuit Breaker), supaya Circuit Breaker (CB) dapat mengamankan sistem tenaga listrik terhadap bahaya gangguan terutama gangguan hubung singkat tidak simetris dua fasa antar saluran. Untuk hal itu dilakukan studi hubung singkat pada sistem tenaga listrik PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV. Perhitungan arus gangguan hubung singkat tidak simetris ini didasarkan matriks impedansi rel dengan alat bantu perhitungan, digunakan komputer digital dengan bantuan software Matlab. Kesimpulan yang diperoleh adalah arus gangguan yang terbesar, kapasitas Circuit Breaker (CB) dan kapasitas pemutusan. Adapun hasil yang diperoleh untuk gangguan tidak simetris dua fasa antar saluran, gangguan terbesar terjadi pada bus 18 (Salak) dengan arus gangguan sebesar 184.7025 pu, kapasitas CB sebesar 29552.4000 MVA dan Kapasitas pemutusan sebesar 22164.3000 MVA.*

**Keyword :** *Studi hubung singkat, Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran, Kapasitas Circuit Breaker (CB), Kapasitas Pemutusan*

### 1. PENDAHULUAN

Didalam sistem tenaga listrik, studi arus hubung singkat merupakan hal yang penting terutama untuk perencanaan, perancangan serta perluasan sistem tenaga listrik. Data yang diperoleh dari perhitungan ini akan digunakan untuk menentukan penyetelan relai dan kapasitas pemutus tenaga. Pemilihan pemutus rangkaian untuk sistem tenaga listrik tidak hanya tergantung pada arus yang mengalir pada pemutus rangkaian dalam keadaan kerja normal saja tetapi juga pada arus maksimum yang mungkin mengalirinya beberapa waktu dan pada arus yang mungkin harus diputuskannya pada tegangan saluran dimana pemutus itu ditempatkan.

Jika terjadi gangguan pada jaringan sistem tenaga listrik, arus yang mengalir akan ditentukan oleh emf-internal mesin pada jaringan impedansinya dan impedansi pada jaringan antara mesin dengan titik tempat terjadinya gangguan tersebut. Arus yang mengalir dalam mesin serempak segera setelah terjadinya gangguan, yang mengalir beberapa periode kemudian dan terus bertahan atau dalam keadaan tetap, nilainya berbeda cukup jauh karena pengaruh arus jangkar pada fluks yang membangkitkan tegangan dalam mesin itu. Arus

itu berubah relatif lambat dari nilai awalnya ke nilai keadaan mantapnya.

Pada umumnya ada 4 macam gangguan hubung singkat yang ada pada sistem tenaga yaitu gangguan tiga fasa simetris, gangguan tidak simetris satu fasa ke tanah, gangguan tidak simetris dua fasa ke tanah dan gangguan tidak simetris antar fasa. Apabila gangguan ini sering terjadi dan tidak cepat diatasi maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tegangan seperti transformator, generator dan sebagainya.

Untuk transformator, dikarenakan besarnya arus yang lewat maka akan timbul rugi daya yang besar dan dirubah menjadi panas sehingga dapat merusak isolasi pada transformator tersebut, sehingga akan terjadi kecenderungan flash over pada kumparan transformator pada generator. Saat sekarang ini, studi hubung singkat pada sistem yang besar, saling terinterkoneksi akan melibatkan perhitungan-perhitungan yang kompleks dan membutuhkan tingkat kecermatan yang tinggi. Oleh karena itu dalam studi arus hubung singkat ini sebagai alat bantu dalam perhitungan digunakan software Matlab.

Tujuan dari penelitian ini untuk menghitung besarnya arus dan tegangan hubung singkat tidak

simetris dua fasa antar saluran di setiap busbar jika terjadi gangguan di salah satu busbar pada sistem kelistrikan PT. PLN Sumbar-Riau dan mengevaluasi apakah peralatan pemutus rangkaian memiliki rating yang cukup untuk gangguan hubungsingkat maksimum.

## 2. STUDI HUBUNGSINGKAT

Studi hubung-singkat dilakukan untuk menentukan besarnya arus yang mengalir melewati sistem tenaga listrik pada berbagai jarak waktu setelah gangguan terjadi. Besarnya arus yang mengalir melewati sistem tenaga listrik setelah gangguan berubah menurut waktu sampai mencapai kondisi tetap. Selama kondisi gangguan, sistem proteksi diperlukan untuk mendeteksi, menghilangkan dan mengisolasi gangguan tersebut. Hal ini dapat dilakukan pada bermacam-macam gangguan (tiga fasa simetris, fasa ke fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah) pada lokasi yang berbeda dari keseluruhan sistem.

Setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal disebut gangguan. Sebagian besar dari gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran transmisi tegangan 115 KV atau lebih disebabkan oleh petir yang mengakibatkan terjadinya percikan bunga api (*flashover*) pada isolator. Tegangan tinggi yang ada di antara penghantar dan menara atau tiang penyangga yang diketanahkan (*grounded*) menyebabkan terjadinya ionisasi. Ini memberikan jalan bagi muatan listrik yang diinduksi (diimbangi) oleh petir untuk mengalir ke tanah. Dengan terbentuknya jalur ionisasi ini, impedansi ke tanah menjadi rendah. Ini memungkinkan mengalirnya arus fasa dari penghantar ke tanah dan melalui tanah menuju "netralnya" transformator atau generator yang diketanahkan sehingga terjadilah rangkaian tertutup.

Oleh karena letaknya yang tersebar di berbagai daerah maka saluran transmisi mengalami gangguan-gangguan baik yang disebabkan oleh alam maupun oleh sebab-sebab lain. Pada saluran transmisi diatas 187 KV jumlah gangguannya adalah 1.1 per 100 Km per tahun, pada 110 – 154 KV adalah 2.4 per 100 Km pertahun, pada 44 – 77 KV adalah 5.8 per 100 Km pertahun sedangkan pada saluran 33 KV ke bawah adalah 1.0 per 100 km per tahun. Hampir semua gangguan pada saluran 187 KV ke atas disebabkan oleh petir dan lebih dari 70% dari semua gangguan pada saluran 110 – 154 KV disebabkan karena gejala-gejala alamiah

seperti petir, salju, es, angin, banjir, gempa, dsb. Gejala-gejala alamiah lain yang terjadi pada saluran 60 KV adalah gangguan oleh binatang seperti burung dsb. Dari jenis-jenis gangguan yang terjadi, yang paling besar jumlahnya adalah hubung singkat satu fasa dengan tanah. Alat yang paling banyak menderita kerusakan adalah isolator.

Jenis gangguan dibagi menjadi dua kategori yaitu:

- a. Gangguan simetris
- b. Gangguan tak simetris

Salah satu contoh gangguan simetris adalah gangguan tiga fasa simetris yang mana terjadi pada saat ketiga fasanya terhubung singkat melalui atau tanpa impedansi. Gangguan tak simetris terdiri dari gangguan hubung singkat tak simetris, gangguan tak simetris melalui impedansi dan penghantar terbuka. Gangguan hubung singkat tak simetris terjadi sebagai gangguan tunggal saluran ke tanah, gangguan antar saluran, serta gangguan ganda ke tanah.

Bila hubungsingkat dibiarkan berlangsung agak lama pada suatu sistem tenaga listrik maka pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan dapat terjadi :

1. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk suatu sistem tenaga listrik
2. Rusaknya peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus yang besar, arus yang tidak seimbang atau tegangan-tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubungsingkat.
3. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya hubung singkat dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan lain.
4. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem tenaga listrik itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda.

Tindakan pengamanan yang dapat diambil dalam melindungi sistem tenaga listrik adalah dengan jalan pemisahan (*Isolation*) bagian yang terkena gangguan. Dalam sistem-sistem tenaga listrik yang modern, proses meniadakan hubung singkat ini dilaksanakan secara otomatis tanpa adanya campur tangan manusia. Peralatan yang melakukan pekerjaan ini secara kolektif dikenal sebagai sistem perlindungan (*Protection System*).

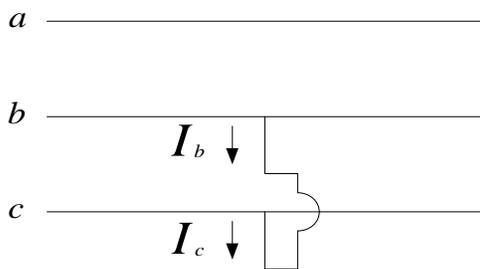
**2.1 Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran**

Bila terjadi gangguan dalam jaringan sistem tenaga listrik, arus yang mengalir akan ditentukan oleh emf-internal mesin pada jaringan impedansinya dan impedansi pada jaringan antara mesin dengan titik tempat terjadinya gangguan tersebut. Arus mengalir dalam mesin serempak segera setelah terjadinya gangguan, yang mengalir beberapa periode kemudian, dan yang terus bertahan, atau dalam keadaan tetap, nilainya berbeda cukup banyak karena pengaruh arus jangkar pada fluks yang membangkitkan tegangan dalam mesin itu. Arus itu berubah relatif lambat dari nilai awalnya ke nilai keadaan tetapnya. Untuk gangguan antar saluran, berlaku hubungan berikut

$$V_b = V_c \quad (2.1)$$

$$I_a = 0 \quad (2.2)$$

$$I_b = -I_c \quad (2.3)$$



**Gambar-2.1.** Diagram Segaris Untuk Gangguan Antar Saluran

Dengan  $V_b = V_c$  komponen-komponen simetris tegangan diberikan oleh

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Sehingga diperoleh

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (2.5)$$

Karena  $I_b = -I_c$  dan  $I_a = 0$  komponen simetris arus diberikan oleh:

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -I_c \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Sehingga

$$I_{a0} = 0 \quad (2.7)$$

$$I_{a2} = -I_{a1} \quad (2.8)$$

Dengan suatu sambungan netral generator ke tanah,  $Z_0$  adalah terbatas (finite) sehingga

$$V_{a0} = 0 \quad (2.9)$$

Karena  $I_{a0} = 0$  maka persamaan (2.13) menjadi

$$\begin{bmatrix} 0 \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{a1} \\ -I_{a1} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Dengan menyelesaikan operasi matriks yang ditunjukkan itu dan memperkalikan persamaan matriks yang dihsilkan dengan matriks  $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$  diperoleh

$$0 = V_f - I_{a1}Z_1 - I_{a1}Z_2 \quad (2.11)$$

Sehingga didapatkan

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.12)$$

Karena  $I_{a0} = 0$  dan  $I_{a2} = -I_{a1}$  dari persamaan (2.7) dan (2.8) akan diperoleh

$$V_{a0} = 0$$

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} \quad (2.13)$$

$$V_{a2} = Z_2 I_{a1}$$

Besar arus gangguan fasa b dan c dengan menggunakan komponen simetris, yaitu:

$$I_b = I_a (a^2 - a) \quad (2.14)$$

$$I_c = I_a (a - a^2)$$

Karena  $V_{a0} = 0$  dan  $V_{a1} = V_{a2}$ , maka besar tegangan gangguan adalah:

$$V_a = 2V_{a1} \quad (2.15)$$

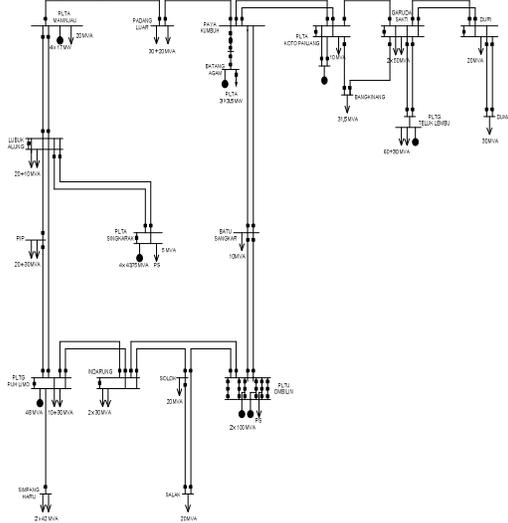
$$V_b = V_{a1} (a^2 + a) \quad (2.16)$$

$$V_c = V_{a1} (a + a^2) \quad (2.17)$$

**2.2 Model Sistem**

Dalam berbagai kasus, diagram segaris berbeda-beda sesuai dengan persoalan yang akan diselesaikan. Dalam menggambarkan diagram segaris tersebut ada beberapa komponen sistem tenaga listrik yang diabaikan. Pengabaian ini bertujuan untuk menyederhanakan perhitungan terutama jika perhitungan dilakukan secara manual. Komponen-komponen dari suatu sistem

tenaga listrik pada umumnya terdiri dari : pusat pembangkit, dalam hal ini yang digambarkan adalah generatornya., transformator daya, saluran transmisi, kondensator sinkron arus statis, alat pengaman ( pemutus daya dan relai-relai) dan beban yang terdiri dari beban dinamik dan beban statis. Berikut ini contoh diagram segaris yang biasanya digunakan dalam studi arus hubungsingkat.



**Gambar-2.2** Diagram Segaris Sistem Tenaga Listrik 20 Bus (PT. PLN Sumbar-Riau)

**3. Perhitungan Studi Hubungsingkat Pada Sistem Tenaga Listrik Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran**

Dalam perhitungan studi hubungsingkat ini dilakukan perhitungan arus momentari dan arus interrupting. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan arus momentari dan arus interrupting ini sebagai berikut :

1. Tentukan diagram jaringan urutan positif, negatif dan nol Nilai dari masing-masing diagram ditentukan dengan nilai reaktansi urutan positif, urutan negatif dan dan urutan nol
2. Tranformasikan data-data dari komponen diatas ke dalam satuan perunit. (pu) dengan terlebih dahulu menentukan dasar perhitungan. Untuk memilih dasar perhitungan dapat dipilih salah satu komponen dalam diagram segaris seperti generator, motor, transformator maupun saluran.
3. Menentukan Matrik Admitansi Urutan Positif Untuk menentukan matrik admitansi positif, terlebih dahulu ditentukan matrik admitansi primitif urutan positif lalu matrik admitansi

positif ini dinvers sehingga diperoleh matrik impedansi positif.

4. Menentukan Matrik Admitansi Urutan Negatif

Untuk menentukan matrik admitansi negatif, terlebih dahulu ditentukan matrik admitansi primitif urutan negatif lalu matrik admitansi negatif ini dinvers sehingga diperoleh matrik impedansi negatif.

5. Menentukan Matrik Admitansi Urutan Nol Untuk menentukan matrik admitansi urutan nol, terlebih dahulu ditentukan matrik admitansi primitif urutan nol lalu matrik admitansi nol ini dinvers sehingga diperoleh matrik impedansi nol.

6. Menentukan besarnya arus momentari. Arus gangguan total dua fasa antar saluran yang terjadi pada bus k :

$$I_{fa(k)}^{(1)} = - \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (3.1)$$

$$I_{fa(k)}^{(2)} = -I_{fa(k)}^{(1)} \quad (3.2)$$

$$I_{fa(k)}^{(0)} = 0.0000 \quad (3.3)$$

Dimana jika tidak diketahui nilai  $Z_f = 0.0000$ . Tegangan pada masing-maing bus selama terjadinya gangguan :

$$V_{ia}^{(1)} = V_f - I_{fa(j)}^{(1)} Z_{ij}^{(1)} \quad (3.4)$$

$$V_{ia}^{(2)} = -I_{fa(j)}^{(2)} Z_{ij}^{(2)} \quad (3.5)$$

$$V_{ia}^{(0)} = -I_{fa(j)}^{(0)} Z_{ij}^{(0)} \quad (3.6)$$

$$\begin{bmatrix} V_{ia} \\ V_{ib} \\ V_{ic} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ia}^{(0)} \\ V_{ia}^{(1)} \\ V_{ia}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Arus yang mengalir pada saluran selama gangguan adalah

$$I_{ij(a)}^{(1)} = \frac{V_{ia}^{(1)} - V_{ja}^{(1)}}{Z_{ij}} \quad (3.8)$$

$$I_{ij(a)}^{(2)} = \frac{V_{ia}^{(2)} - V_{ja}^{(2)}}{Z_{ij}} \quad (3.9)$$

$$I_{i-j(a)}^{(0)} = \frac{V_{ia}^{(0)} - V_{ja}^{(0)}}{Z_{ij}} \quad (3.10)$$

$$\begin{bmatrix} I_{ij(a)} \\ I_{ij(b)} \\ I_{ij(c)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ij}^{(0)} \\ I_{ij}^{(1)} \\ I_{ij}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Arus momentari pada saluran

$$I_{ij(a)}^{(m)} = 1.6000 \left( I_{ij(a)} (F) \right) \quad (3.12)$$

$$I_{ij(b)}^{(m)} = 1.6000 \left( I_{ij(b)} (F) \right) \quad (3.13)$$

$$I_{ij(c)}^{(m)} = 1.6000 \left( I_{ij(c)} (F) \right) \quad (3.14)$$

Penentuan kapasitas CB sebagai berikut :

Kapasitas CB untuk fasa a :

$$\left| 1.6000 \left( I_{ij(a)} (F) \right) \right| MVA_{\text{dasar}} \quad (3.15)$$

Kapasitas CB untuk fasa b :

$$\left| 1.6000 \left( I_{ij(b)} (F) \right) \right| MVA_{\text{dasar}} \quad (3.16)$$

Kapasitas CB untuk fasa c :

$$\left| 1.6000 \left( I_{ij(c)} (F) \right) \right| MVA_{\text{dasar}} \quad (3.17)$$

### 7. Menentukan besarnya arus interrupting :

Untuk menentukan arus interrupting pada gangguan hubungsingkat tidak simetris  $2\phi$  antar saluran, terlebih dahulu dibentuk matrik admintansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol dengan mengganti reaktansi subtransien dengan reaktansi transien khusus untuk beban yang berupa motor kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut :

#### 7.1 Menentukan Matrik Admitansi Urutan Positif

Untuk menentukan matrik admitansi positif, terlebih dahulu ditentukan matrik admitansi primitif urutan positif lalu matrik admitansi positif ini dinvers sehingga diperoleh matrik impedansi positif.

#### 7.2 Menentukan Matrik Admitansi Urutan Negatif

Untuk menentukan matrik admitansi negatif, terlebih dahulu ditentukan matrik admitansi primitif urutan negatif lalu matrik admitansi negatif ini dinvers sehingga diperoleh matrik impedansi negatif.

#### 7.3 Menentukan Matrik Admitansi Urutan Nol

Untuk menentukan matrik admitansi urutan nol, terlebih dahulu ditentukan matrik admitansi primitif urutan nol lalu matrik admitansi nol ini dinvers sehingga diperoleh matrik impedansi nol.

Untuk menentukan besarnya arus dan tegangan gangguan yang terjadi pada bus k digunakan persamaan (3.1) s/d (3.11) . Untuk menentukan arus interrupting pada saluran tergantung pada jumlah cycle yang terjadi. Adapun nilai cycle yang berlaku diantaranya :

- 2 cycle dengan nilai  $K = 1.4000$
- 5 cycle dengan nilai  $K = 1.1000$
- 8 cycle dengan nilai  $K = 1.0000$

Sehingga arus interrupting pada saluran untuk fasa a adalah :

$$I_{ij(a)}^{(I)} = K \left( I_{ij(a)} (F) \right) \quad (3.18)$$

Sehingga arus interrupting pada saluran untuk fasa b adalah :

$$I_{ij(b)}^{(I)} = K \left( I_{ij(b)} (F) \right) \quad (3.19)$$

Sehingga arus interrupting pada saluran untuk fasa c adalah :

$$I_{ij(c)}^{(I)} = K \left( I_{ij(c)} (F) \right) \quad (3.20)$$

Penentuan kapasitas pemutusan :

Kapasitas Pemutusan Saluran untuk fasa a adalah

$$\left| KI_{ij(a)} (F) \right| MVA_{\text{dasar}} \quad (3.21)$$

Kapasitas Pemutusan Saluran untuk fasa b adalah

$$\left| KI_{ij(b)} (F) \right| MVA_{\text{dasar}} \quad (3.22)$$

Kapasitas Pemutusan Saluran untuk fasa c adalah

$$\left| KI_{ij(c)} (F) \right| MVA_{\text{dasar}} \quad (3.23)$$

Dalam perhitungan tanda minus pada arus interrupting tidak digunakan karena yang diperlukan hanya harga mutlaknya dari besarnya kapasitas pemutusan yang digunakan

#### 4. Studi Hubungsingkat Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Pada Sistem Tenaga Listrik PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV

##### 4.1 Data Sistem Tenaga Listrik PT. PLN Sumbar-Riau

Data-data sistem tenaga listrik PT. PLN Sumbar-Riau yang terdiri dari 20 bus dengan data dan asumsi sebagai berikut :

- Faktor daya setiap bus bernilai 0.85
- Tegangan perunit untuk Slack bus 1.05 dan bus pembangkit bernilai 1.03

Selain setiap bus diberi nomor sebagai berikut

**Tabel-4.1** Data Nomor Tiap Bus

NO	NAMA BUS	TIPE BUS
0	PLTU Ombilin	Slack Bus
1	PLTG Pauh Limo	Bus PV
2	PLTA Maninjau	Bus PV
3	PLTA Batang Agam	Bus PV
4	PLTA Singkarak	Bus PV
5	PLTA Koto Panjang	Bus PV
6	PLTD Teluk Lembu	Bus PV
7	Dumai	Bus PQ
8	Duri	Bus PQ
9	Garuda Sakti	Bus PQ
10	Bangkinang	Bus PQ
11	Payakumbuh	Bus PQ
12	Padang Luar	Bus PQ
13	Lubuk Alung	Bus PQ
14	PIP	Bus PQ
15	Batusangkar	Bus PQ
16	Indarung	Bus PQ
17	Solok	Bus PQ
18	Salak	Bus PQ
19	Simpang Haru	Bus PQ

**Tabel-4.2** Data Tegangan dan Tipe Bus PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV

Bus	Tegangan pu	Jenis
1	1.0500 $\angle 0^0$	Bus Slack
2	1.0300 $\angle 0^0$	Bus PV
3	1.0300 $\angle 0^0$	Bus PV
4	1.0300 $\angle 0^0$	Bus PV

5	1.0300 $\angle 0^0$	Bus PV
6	1.0300 $\angle 0^0$	Bus PV
7	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
8	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
9	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
10	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
11	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
12	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
13	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
14	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
15	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
16	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
17	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
18	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ
19	1.0000 $\angle 0^0$	Bus PQ

**Tabel-4.3** Data Pembangkitan Tiap Bus PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV

Bus	Pembangkitan	
	P (MW)	Q (MVAR)
0	-	-
1	40.8000	-
2	68.0000	-
3	10.5000	-
4	148.7500	-
5	114.0000	-
6	48.3000	-
7	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000
9	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.0000
16	0.0000	0.0000
17	0.0000	0.0000
18	0.0000	0.0000
19	0.0000	0.0000

**Tabel-4.4** Data Beban Tiap Bus PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV

Bus	Beban	
	P (MW)	Q (MVAR)
0	-	-
1	34.0000	21.0702
2	17.0000	10.5356
3	0.0000	0.0000
4	4.2500	2.6339
5	8.5000	5.2680
6	76.5000	47.4120
7	25.5000	15.8040
8	17.0000	10.5360
9	85.0000	52.6800
10	26.7750	16.5942
11	0.0000	0.0000
12	42.5000	26.3400
13	25.5000	15.8040
14	42.5000	26.3400
15	8.5000	5.2680
16	51.0000	31.6080
17	17.0000	10.5360
18	17.0000	10.5360
19	71.4000	44.2512

**Tabel-4.6** Data Line Charging PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV

Line		Y/2 perunit
Dari Bus	Ke Bus	
0	16	0.0175
0	18	0.0009
1	19	0.0024
1	13	0.0105
1	14	0.0027
2	12	0.0143
5	10	0.0054
5	9	0.0229
8	7	0.0077
9	6	0.0046
9	8	0.0153
10	9	0.1865
11	3	0.00007
11	5	0.0225
12	11	0.0109
13	4	0.0033
13	2	0.0155
14	13	0.0000
16	1	0.0026
17	16	0.0093
18	17	0.0085

**Tabel-4.5** Data Saluran Urutan Positif PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV

Line		Z seri (pu)	
Dari Bus	Ke Bus	R (pu)	X (pu)
0	16	0.0335	0.1205
0	18	0.0013	0.0046
1	19	0.0037	0.0132
1	13	0.0177	0.0635
1	14	0.0105	0.0377
2	12	0.0220	0.0762
5	10	0.0055	0.0330
5	9	0.0192	0.1157
8	7	0.0309	0.1101
9	6	0.0068	0.0412
9	8	0.0614	0.2184
10	9	0.0139	0.0838
11	3	0.5575	1.2328
11	5	0.0321	0.1558
12	11	0.0168	0.0580
13	4	0.0045	0.0221
13	2	0.0297	0.1068
14	13	0.0072	0.0258
16	1	0.0035	0.0125
17	16	0.0179	0.0639
18	17	0.0144	0.0518

Dalam penelitian ini difokuskan pada studi hubungsingkat di PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV dengan melakukan simulasi untuk mengamati perubahan tegangan, sudut fasa pada tiap bus, arus antar saluran, kapasitas CB dan kapasitas pemutusan jika terjadi gangguan tidak simetris dua fasa antar saluran pada salah satu bus pada sistem tersebut. Sebelum simulasi perhitungan hubungsingkat dilakukan, terlebih dahulu dihitung tegangan dan sudut fasa untuk tiap bus pada sistem PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV untuk keadaan tanpa gangguan dan diperoleh hasil sebagai berikut :

**Tabel-4.7** Data Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Pada PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV

Bus	Magnitude Tegangan pu	Sudut Fasa degree
0	1.0500	0.0000
1	1.0300	-4.6540
2	1.0300	-8.6800
3	1.0300	-8.6920
4	1.0300	-2.4330
5	1.0300	-24.2580

6	1.0300	-30.4240
7	0.8800	-36.6610
8	0.9090	-34.9870
9	1.0080	-29.5530
10	1.0230	-26.0850
11	1.0040	-16.4400
12	1.0010	-13.7000
13	1.0260	-4.1850
14	1.0220	-4.6650
15	1.0270	-4.1630
16	1.0270	-4.1630
17	1.0340	-2.1810
18	1.0480	-0.2070
19	1.0220	-5.0790

Jika terjadi gangguan tidak simetris untuk gangguan antar saluran di bus 1 (PLTG Pauh Limo) diperoleh hasil sebagai berikut :

**Tabel-4.8** Besar Tegangan Tiap Bus Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo ) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa a

Bus	Magnitude Tegangan Fasa A (pu)
1	1.0000
2	1.0000
3	1.0000
4	1.0000
5	1.0000
6	1.0000
7	1.0000
8	1.0000
9	1.0000
10	1.0000
11	1.0000
12	1.0000
13	1.0000
14	1.0000
15	1.0000
16	1.0000
17	1.0000
18	1.0000
19	1.0000

**Tabel-4.9** Besar Tegangan Tiap Bus Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo ) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa b

Bus	Magnitude Tegangan Fasa B (pu)
1	0.5000
2	0.5000
3	0.5000
4	0.5000
5	0.5000
6	0.5000
7	0.5000
8	0.5000
9	0.5000
10	0.5000
11	0.5000
12	0.5000
13	0.5000
14	0.5000
15	0.5219
16	0.5219
17	0.7288
18	0.9763
19	0.5000

**Tabel-4.10** Besar Tegangan Tiap Bus Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo ) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa c

Bus	Magnitude Tegangan Fasa C (pu)
1	0.5000
2	0.5000
3	0.5000
4	0.5000
5	0.5000
6	0.5000
7	0.5000
8	0.5000
9	0.5000
10	0.5000
11	0.5000
12	0.5000
13	0.5000
14	0.5000
15	0.5216
16	0.5216
17	0.7283
18	0.9764
19	0.5000

**Tabel-4.11** Besar Tegangan Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa A

Saluran		Magnitudo Arus (pu)
Dari Bus	Ke Bus	
1	F	0.0000
16	1	0.0000
17	16	0.0000
18	17	0.0000

**Tabel-4.12** Besar Tegangan Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa B

Saluran		Magnitudo Arus (pu)
Dari Bus	Ke Bus	
1	F	11.4744
16	1	11.4744
17	16	5.7410
18	17	5.7410

**Tabel-4.13** Besar Tegangan Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa C

Saluran		Magnitudo Arus (pu)
Dari Bus	Ke Bus	
1	F	11.4744
16	1	11.4744
17	16	5.7410
18	17	5.7410

**Tabel-4.14** Besar Arus Momentari Tiap Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa A

Saluran		Magnitudo Arus (pu)
Dari Bus	Ke Bus	
1	F	0.0000
16	1	0.0000
17	16	0.0000
18	17	0.0000

**Tabel-4.15** Besar Arus Momentari Tiap Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa B

Saluran		Magnitudo Arus (pu)
Dari Bus	Ke Bus	
1	F	18.3590
16	1	18.3590
17	16	9.1856
18	17	9.1856

**Tabel-4.16** Besar Arus Momentari Tiap Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran Fasa C

Saluran		Magnitudo Arus (pu)
Dari Bus	Ke Bus	
1	F	18.3590
16	1	18.3590
17	16	9.1856
18	17	9.1856

**Tabel-4.17** Besar Kapasitas CB Tiap Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran

Saluran		S(Momentari) (MVA)		
Dari Bus	Ke Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
1	F	0.0000	1835.9040	1835.9040
16	1	0.0000	1835.9040	1835.9040
17	16	0.0000	918.5600	918.5600
18	17	0.0000	918.5600	918.5600

**Tabel-4.18** Besar Arus Interrupting Tiap Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran

Saluran		S(Interrupting) pu		
Dari Bus	Ke Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
1	F	0.0000	13.7693	13.7693
16	1	0.0000	13.7693	13.7693
17	16	0.0000	6.8892	6.8892
18	17	0.0000	6.8892	6.8892

**Tabel-4.19** Kapasitas Pemutusan Tiap Saluran Jika Terjadi Gangguan di Bus 1 (PLTG Pauh Limo) Untuk Gangguan Tidak Simetris Dua Fasa Antar Saluran

Saluran		S(Interrupting) (MVA)		
Dari Bus	Ke Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
1	F	0.0000	1376.9280	1376.9280
16	1	0.0000	1376.9280	1376.9280
17	16	0.0000	688.9200	688.9200
18	17	0.0000	688.9200	688.9200

Jika gangguan tidak simetris dua fasa antar saluran terjadi pada bus 1 (Pauh Limo) maka arus gangguan yang terbesar adalah 11.4744 pu yang terjadi pada :

- Saluran antara bus 1 (PLTG Pauh Limo) dan lokasi gangguan (F)
  - Saluran antara bus 16 (Indarung) dan bus 1 (PLTG Pauh Limo)
- dengan kapasitas CB 1835.9040 MVA dan kapasitas pemutusan 1376.9280 MVA

Untuk gangguan tidak simetris dua fasa antar saluran yang terjadi pada bus yang lain dilakukan dengan cara yang sama dan pada penelitian ini.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan tentang studi hubung-singkat pada sistem tenaga listrik PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV untuk gangguan tidak simetris dua fasa antar saluran dapat disimpulkan bahwa : arus gangguan terbesar terjadi pada bus 18 (Salak) dengan nilai sebagai berikut :

- Arus gangguan sebesar 184.7025 pu
- Kapasitas CB sebesar 29552.4000 MVA
- Kapasitas pemutusan sebesar 22164.3000 MVA

## DAFTAR PUSTAKA

- Gonen, Turan, “*Modern Power System Analysis*” , Jhon Wiley & Sons, Inc, Singapore, 1998.
- Stevenson, W.D, Jr, “*Analisis Sistem Tenaga Listrik*”, diterjemahkan oleh Idris, Kemal Ir, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1994.
- Sianipar, Gibson , DR, Ir “*Komputasi Sistem Tenaga*”, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, 1998.
- Gross, Charles A, “*Power System Analysis*” , Jhon Wiley & Sons, Inc, Canada, 1986.

- Marta Yudha, Hendra, Ir, MS, “*Diktat Studi Aliran Daya*”, Universitas Sriwijaya ( Unsri), Palembang, 1995
- M.A. PAI, “*Computer Techniques in Power System Analysis*”, Indian Institute of Technology, New Delhi, 1984
- Grainger, John & Stevenson, William, Jr, “*Power System Analysis*”, McGraw-Hill, New York, USA, 1993
- Stagg, Glenn W, El-Abiad, “*Computer Methods in Power System Analysis*”, McGraw-Hill, Tokyo, 1981.
- Hutauruk, Ir, Msc, “*Transmisi Daya Listrik*“, Erlangga, Jakarta, 1985
- Gonen, Turan, “*Electric Power Transmission System Engineering Analysis And Design*”, John Wiley & Sons, California , 1988
- Part-Enander, Eva & Sjoberg, Anders, “*The Matlab Handbook* “,John Wiley & Sons, California , 1999