

---

# STUDI KOORDINASI PROTEKSI GANGGUAN PADA SUBSTATION 7 YANG MENGAKIBATKAN BLACKOUT

Auliya Natasya<sup>1</sup>, Suprihardi<sup>2</sup>, Zulfikar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>) Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: [aulyanatasya97@gmail.com](mailto:aulyanatasya97@gmail.com)<sup>1</sup>, [suprihardi@pnl.ac.id](mailto:suprihardi@pnl.ac.id)<sup>2</sup>, [zulfikar@pnl.ac.id](mailto:zulfikar@pnl.ac.id)<sup>3</sup>

**Abstrak** –Perusahaan Badan Usaha Milik (BUMN) yang bergerak dalam industri LNG Regasifikasi, LNG Hub, LNG Vessel Gassing Up Cool Down dan lain – lain, untuk menjaga kontinuitas sistem produksi dibutuhkan suatu koordinasi proteksi yang cepat dan tepat. Terjadi hubung singkat pada substation 7 di Perusahaan yang mengakibatkan blackout dikarenakan terjadi kesalahan koordinasi proteksi, dan proteksi yang sudah rusak yang tidak efektif dalam bekerja pada beberapa bus utama (main bus) sehingga motor – motor yang disuplai oleh bus utama tersebut mengalami trip secara tiba – tiba dan akhirnya mengganggu proses produksi. Berdasarkan problematika yang disebutkan, maka dibutuhkanlah suatu evaluasi koordinasi proteksi pada sistem tersebut. Pada penelitian ini dilakukan analisa sistem koordinasi proteksi pada kelistrikan, pada perusahaan tersebut terdapat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan titik gangguan dengan nilai 2315,17 A. Yang mengakibatkan dua generator tidak dapat menanggung beban yang melebihi kapasitas, sehingga terjadi pemutusan tegangan yang mengakibatkan padam. Rele yang tidak bekerja dengan baik dimana kondisi gangguan titik 10% seharusnya rele bekerja untuk mengtripkan CB 1 A2 sehingga kinerja pada turbin gas yang dapat mengakibatkan terjadinya blackout, tetapi rele tersebut tidak bekerja dikarenakan rusak dengan kondisi rele yang sudah tidak efektif dalam bekerja.

**Kata - kata kunci :** Rele, turbin gas, blackout, trip, koordinasi.

## I. PENDAHULUAN

Dalam kegiatan industri, listrik merupakan salah satu faktor yang amat penting. Kualitas sistem kelistrikan suatu industri akan berpengaruh pada kualitas produksi. Salah satu faktor penentu kualitas sistem kelistrikan adalah kontinuitas listrik pada sistem tersebut. Kontinuitas listrik sangat diperlukan agar pemasokan daya ke beban tidak terganggu pada saat terjadi gangguan maupun saat keadaan normal. Salah satu upaya untuk menjaga kontinuitas listrik adalah dengan menggunakan koordinasi proteksi yang baik..

Sistem proteksi harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan, selektif dalam mengisolasi gangguan, memiliki sensitivitas yang baik sehingga peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan dengan nilai sekecil mungkin. Proteksi pada sistem kelistrikan dapat diatur dengan menggunakan rele proteksi. Parameteryang dapat diatur pada rele anatar lain arus pick up, time delay, dan time dial. Pengaturan ini kemudian akan menentukan apakah suatu sistem proteksi sudah bekerja dan terkoordinasi dengan baik.

Sistem proteksi harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan, selektif dalam mengisolasi gangguan, memiliki sensitivitas yang baik sehingga peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan dengan nilai sekecil mungkin. Proteksi pada sistem kelistrikan dapat diatur dengan menggunakan rele proteksi. Parameteryang dapat diatur pada rele anatar lain arus pick up, time delay, dan time dial. Pengaturan ini kemudian akan menentukan apakah suatu sistem proteksi sudah bekerja dan terkoordinasi dengan baik.

Dalam terjadi *backup* sistem kelistrikan pabrik pada pembangkit listrik utama terdapat komponen – komponen penting seperti. *Uninterruptable power system (UPS)*, *power engine* (PE 9002). PE 9002 ini berfungsi sebagai penggerak awal saat terjadinya *blackout* terhadap power generator, beban – beban vital tambahan merupakan beban tambahan yang tidak bisa terputus *suplay* dayanya. Baik saat keadaannya normal maupun dalam keadaan darurat. Dikarenakan beban – beban tersebut berperan sangat penting dalam pengoperasian pembangkit listrik.

Banyak penyebab terjadinya pemadaman total secara tiba – tiba di suatu perusahaan, yang dapat berdampak pada perusahaan tersebut. Pada umumnya kasus tersebut banyak terdapat pada pembangkit

utamanya yang tidak dapat menyuplai kelistrikan ke perusahaan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tinjauan Pustaka

Turbin gas adalah suatu penggerak mula pada pembangkit yang memanfaatkan gas alam sebagai fluida kerja. Didalam turbin gas terhadap energi kinetik yang dikonversikan menjadi energi mekanik yaitu berupa putaran yang menggerakkan roda pada turbin sehingga menghasilkan daya. Bagian turbin tersebut yang berputar yaitu rotor dan bagian turbin yang diam disebut stator atau juga yang disebut rumah turbin. Rotor memutar poros daya yang menggerakkan beban (kompresor, generator listrik atau yang lainnya).[1]

Turbin gas merupakan salah satu komponen pada suatu sistem turbin gas. Sistem dari turbin gas yang paling sederhana terdapat tiga komponen yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin gas. Desain pertama kali pada turbin gas dibuat oleh John Barber. Sistem ini bekerja dengan gas hasil pembakaran, Stolze merancang sistem turbin gas menggunakan kompresor aksial bertingkat ganda yang digerakkan oleh turbin reaksi tingkat ganda. [1]

Saat ini sistem pada turbin gas banyak yang sudah diterapkan diberbagai keperluan seperti pada mesin penggerak generator listrik, mesin industri, pesawat terbang dan lainnya. Sistem pada turbin gas dapat dipasang dengan berbagai macam turbin yaitu turbin uap, dan motor diesel untuk pusat pembangkit energi listrik.[1]

### B. Generator

Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator ini memperoleh energi mekanis dari prime mover atau penggerak mula. Prinsip kerja dari generator sesuai dengan hukum Lens, yaitu arus listrik yang diberikan pada stator akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan Elektromotive Force (EMF) atau gaya gerak listrik pada kumparan rotor.[2]

Tegangan EMF ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai prime mover akan memutar rotor generator, kemudian rotor diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan konduktor pada stator dan menghasilkan tegangan pada stator. Karena terdapat dua kutub yang berbeda yaitu utara dan selatan, maka pada 90o pertama akan dihasilkan tegangan maksimum positif dan pada sudut 270o kedua akan dihasilkan tegangan maksimum negatif. [2]

Ini terjadi secara terus menerus atau continue. Bentuk tegangan seperti ini lebih dikenal sebagai fungsi tegangan bolak-balik. Generator arus bolak-balik sering disebut sebagai generator sinkron atau alternator. Generator arus bolak-balik memberikan hubungan yang sangat penting dalam proses perubahan energi dari batu bara, minyak, gas, atau uranium ke 21 dalam bentuk yang bermanfaat untuk digunakan dalam industri atau rumah tangga. Dalam generator arus bolak-balik bertegangan rendah yang kecil, medan diletakkan pada bagian yang berputar atau rotor dan lilitan jangkar pada bagian yang diam atau stator dari mesin[2]

### C. Gangguan Kelistrikan Industri

Gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan industri dapat dibedakan menjadi dua, gangguan temporer dan gangguan dan gangguan permanen. Gangguan temporer (sementara) merupakan gangguan yang dapat diatasi dengan mengisolasi peralatan yang mengalami gangguan pada sistem sehingga tidak akan merambat ke daerah yang lain. Sedangkan gangguan permanen merupakan gangguan yang gangguan – gangguan yang disebabkan karena besarnya arus yang mengalir pada sistem dengan waktu yang relatif singkat sehingga bisa merusak peralatan pada sistem. Gangguan temporer merupakan gangguan yang banyak terjadi dalam dunia kelistrikan dibandingkan dengan gangguan – gangguan permanen sehingga dibutuhkan koordinasi proteksi yang tepat untuk mengatasi dan mengisolasi daerah gangguan tersebut.[3]

Gangguan hubung singkat akan menimbulkan arus yang sangat besar dan akan membahayakan peralatan. Parameter tegangan internal mesin sinkron dan impedansi peralatan sistem akan mempengaruhi besar arus saat terjadi gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :[3]

#### 1. Gangguan hubung singkat simetri

Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan hubung singkat yang akan mempengaruhi ke tiga fasa (R-S-T) sehingga sistem tetap dalam kondisi seimbang. Contoh gangguan hubung singkat simetri antara lain yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L) dan gangguan hubung singkat fasa ke tanah (L-L-LG).[3]

#### 2. Gangguan hubung singkat asimetri

Gangguan hubung singkat asimetri ini merupakan gangguan yang menyebabkan perbedaan sudut fasa dan magnitudo dari ketiga fasa yang menyebabkan sistem tidak seimbang. Contoh gangguan hubung singkat simetri adalah gangguan satu fasa ke tanah (L-G), dua fasa ke tanah (L-L-G). Dan gangguan antara satu fasa dengan fasa lainnya (L-L).[3]

### 3. Gangguan beban lebih (overload)

Gangguan arus lebih akan menimbulkan panas berlebih pada suatu peralatan karena arus yang mengalir melebihi batas nominalnya sehingga akan menimbulkan *losses* (panas) dan bisa menurunkan efisiensi peralatan tersebut.[3]

### C. Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan *setting* pada koordinasi proteksi. Perhitungan arus hubung singkat bisa kita dapatkan dengan cara sebagai berikut: menurut Stevenson (1996), secara umum untuk suatu gangguan pada rel k, dan dengan mengabaikan arus – arus pragangguan, yaitu : [4]

$$I_f = \frac{V}{Z} \quad (1)$$

Dimana :

$I_f$  = Arus gangguan yang mengalir (A).

$V$  = Tegangan Sumber (v).

$Z$  = impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan (ohm).

#### 1. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah adalah gangguan yang terjadi antara fasa bertegangan listrik ke tanah,[4]

Dimana :

$V_{L-N}$  = tegangan satu fasa ke tanah.

$Z_o$  = impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan.

$Z_1$  = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

### D. Perhitungan Nilai Impedansi

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel data tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik –titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu insuk tersebut. Untuk itu diperlukan pengetahuan dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bis juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.[5]

#### 1. Impedansi Sumber

Maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 33 kv impedansi sumber di bus 33 kv diperoleh dengan rumus.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2)$$

Dimana :

$X_s$  = Impedansi Sumber (ohm).

$KV^2$  = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV).

MVA = Data hubung singkat di bus 33 Kv (MVA).

#### 2. Impedansi Pada Trafo

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut.[5]

Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 19,92 Kv, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (3)$$

Dimana :

$X_t$  = Impedansi trafo tenaga (ohm)

$KV^2$  = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (KV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu nilai reaktansi tenaganya :

1. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) dihitung dengan rumus:  $X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t \text{ (pada 100\%)}$ .

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ) terlebih dahulu harus diketahui data trafo itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo.

### E. Menghitung Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya.[5]

Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi daeri penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Contoh besarnya nilai impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

Urutan positif dan urutan negatif  $Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \text{ (ohm)}$  (4)

Dimana :

$Z_1$  = Impedansi urutan positif (ohm).

$Z2$  = impedansi urutan negative (ohm).

1. Urutan Nol

$Z0$  = % panjang x panjang penyulang (km) x  $Z0$  (ohm).

Dimana :  $Z0$  = Impedansi urutan nol (ohm).

F. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah besar nilai impedansi ekuivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber.

Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungangan  $Z1eq$  dan  $Z2eq$  dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan  $Z0eq$  dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi  $Z0eq$  ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya.[5]

Sehingga untuk impedansi ekuivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

1. Urutan positif dan urutan negatif ( $Z1 eq = Z2 eq$ )  
 $Z1eq = Z2eq = Zs1 + Zt1 + Z1$  penyulang (5)

Dimana :

$Z1eq$  = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (ohm).

$Z2eq$  = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif (ohm).

$Zs1$  = Impedansi sumber sisi 19,92 KV (ohm).

$Zt1$  = Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif (ohm).

$Z1$  = Impedansi urutan positif dan negatif (ohm).

2. Urutan Nol

$Z0eq = Zt0 + 3RN + Za$  penyulang.

Dimana :

$Z0eq$  = Impedansi ekuivalen jaringan nol (ohm).

$Zt0$  = Impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm).

$RN$  = Tahanan tanah trafo (ohm).

$Z0$  = Impedansi urutan nol (ohm).

III. METODOLOGI

A. Teknik Pengumpulan Data

Informasi dalam penelitian ini sangat diperlukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, maka metode dilakukan untuk mendapatkan informasi antara lain:

1. Studi Literatur

Dalam melaksanakan penelitian ilmiah harus dilakukan teknik penyusunan yang sistematis untuk memudahkan langkah – langkah yang diambil. Begitu pula yang dilakukan penelitian ini, langkah pertama yaitu dengan melakukan studi literatur yang diperoleh dari buku referensi dari pustaka, akses internet dan bimbingan dari staf pengajar agar mendapatkan data – data yang berhubungan dengan permasalahan dalam penulisan tugas akhir ini.

TABEL I  
Spesifikasi Turbin Gas

No.	Turbin Gas	
1	Type & Form	PG 5341
2	Unit Rating	20900 kW
3	Comp	17 stage
4	Turbine	2 stage
5	Turbine Speed	5100 rpm
6	Air in Temp	32,2 °C

Tabel II  
Spesifikasi Turbin Generator

No	Turbin Generator	
1	Type	TFB 1 LAW
2	Form	K
3	Code	Ansi – C50 - 13
4	Peak Output	29294 kVA
5	Class OF Rating	Cont.
6	Design Amb. Temp.	45°Air, 35°C Water
7	No. Of Phases	3
8	Poles	2
9	RPM	3000 rpm
10	Frequency	50 Hz
11	Power Factor	0.85
12	Voltage	11500 V
13	Conn	Y

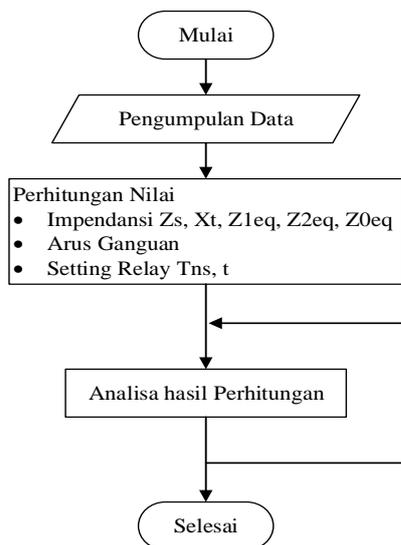
Tabel III  
Spesifikasi Trafo

NO	TIPE	HITACHI
1	Daya Terpasang	30,000 KVA
2	Tegangan	34,5 / 19,92 KV
3	Impedansi	12,22%
4	Rated Volt	34,5 KV
5	Rated Currant	502 A
6	Rated Frequency	50 HZ

## B. Metode Analisa

Hasil dari analisa berdasarkan studi pembelajaran dari sumber jurnal/ laporan serta bimbingan dari dosen pembimbing. Prosedur dari analisa yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- Mengetahui koordinasi pengaman yang tidak sesuai pada turbin gas.
- Menganalisa penyebab terjadinya gangguan pada turbin gas.



Gbr. 1 Flowchart Penelitian

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Koordinasi Pengaman Kelistrikan Pada Sistem Turbin Gas

Koordinasi pengaman pada sistem kelistrikan turbin gas merupakan proses mengatur berbagai perangkat pengaman atau proteksi dalam jaringan listrik, agar bekerja secara efisien dengan sesuai urutan prioritas dalam mengatasi gangguan arus listrik, tujuan dari koordinasi pengaman kelistrikan tersebut untuk meminimalkan kerugian dan keberlangsungan operasi yang aman dari turbin gas dan peralatan yang terhubung. Koordinasi pengaman pada sistem kelistrikan perusahaan:

#### 1. Koordinasi Kurva Proteksi

Setiap perangkat proteksi memiliki kurva proteksi yang dapat menentukan responsnya terhadap berbagai tingkat arus. Koordinasi pada kurva proteksi ini sangat penting untuk dapat memastikan perangkat proteksi beroperasi dalam urutannya yang tepat dan terhindar dari gangguan.

#### 2. Penentuan Pengaturan Proteksi

Pengaturan perangkat proteksi seharusnya dapat disesuaikan dengan kondisi dan karakteristik dari sistem kelistrikan turbin gas. Pengaturan ini mencakup setting arus, waktu tunda (time delay), koordinasi arus (current coordination), dan pengaturan lainnya yang dapat mengoptimalkan respons proteksi.

### B. Beberapa Gangguan Yang Dapat Terjadi Pada Turbin gas.

#### 1. Ketidaksesuaian parameter pengaman

pada koordinasi pengaman juga melibatkan pengaturan parameter pengaman contohnya arus, tegangan, atau waktu pemutusan. Jika parameter pengaman tidak disesuaikan dengan baik untuk setiap komponen dan karakteristik sistem, hal tersebut dapat menyebabkan respon pengaman yang tidak sesuai atau tidak akurat.

#### 2. Gangguan Pada Jaringan Distribusi

gangguan pada jaringan distribusi daya, seperti hubung singkat, lonjakan tegangan, atau kegagalan transformator, juga dapat memengaruhi koordinasi pada pengaman sistem kelistrikan turbin gas. Jika respon pengaman tidak sejalan dan tidak sesuai dengan karakteristik gangguan, dapat terjadi gangguan lebih lanjut atau kerusakan pada komponen sistem.

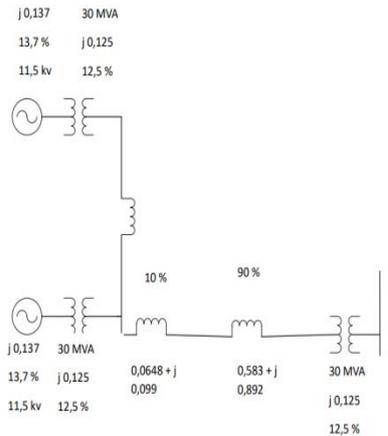
#### 3. Ketidakteraturan Kurva Waktu Pemutusan

Salah satu yang terjadi masalah adalah ketidakteraturan pada kurva waktu pemutusan harus diatur sesuai yang sudah ditentukan, sehingga perangkat pengaman yang berada lebih dekat dengan sumber gangguan dapat merespons lebih cepat daripada yang berada lebih jauh. Apabila kurva waktu pemutusan tidak terkoordinasi dengan baik, dapat terjadi pemadaman yang tidak perlu atau pemadaman yang terlambat, dan dapat menyebabkan kerusakan atau gangguan yang lebih besar.

### C. Perhitungan Nilai Impedansi

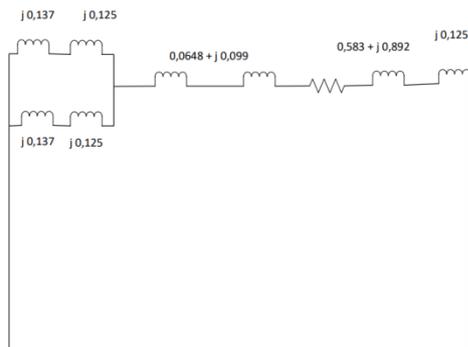
#### 1. Impedansi Penghantar

$$\begin{aligned} \text{Jenis Penghantar} &= \text{AAAC} \\ \text{Luas Penampang} &= 150 \text{ mm}^2 \\ \text{Impedansi Urutan Positif (Z}_1\text{)} &= 0,2162 + j 0,3305 \text{ ohm/km.} \\ \text{Impedansi Urutan Negatif (Z}_2\text{)} &= 0,2161 + j0,3305 \text{ ohm/km.} \\ \text{Impedansi Urutan Nol (Z}_0\text{)} &= 0,3631 + j1,6180 \text{ ohm/km.} \end{aligned}$$



Gbr. 2 Rangkaian Utama

Setelah menentukan rangkaian ekuivalen, maka diurutkan menurut impedansi positif dan negatif seperti gambar dibawah ini.

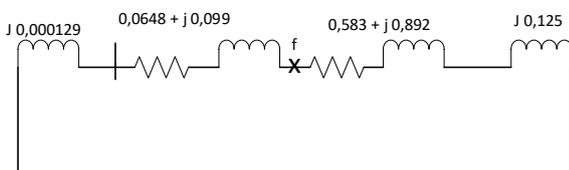


Gbr. 3 Rangkaian Ekuivalen Dua Generator



Gbr. 4 Rangkaian Ekuivalen Setelah Dua Generator Di Serikan

$$Old = \frac{j 0,262 \times j 0,262}{j 0,262 + j 0,262} = \frac{-0,068}{j 0,524} = j 0,000129$$



Gbr. 5 Rangkaian Ekuivalen Yang Sudah Diserikan Dua Generator

$$New = j 0,00019 \times \left(\frac{33}{11,5}\right)^2 = j0,011$$

D. Perhitungan Nilai Arus Gangguan

Untuk menentukan arus hubung singkat, selanjutnya menghitung arus gangguan pada titik 10 %.

$$Z_1 = Z_2 = 10\% \times 3 \text{ km } (0,2162 + j0,3305)$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,0648 + j 0,0991$$

$$Z_0 = 10 \% \times 3 \text{ km } (0,3631 + j 1,6180)$$

$$= 0,1089 + j 0,4854$$

Untuk menentukan arus hubung singkat, selanjutnya menghitung arus gangguan pada titik 90 %.

$$Z_1 = Z_2 = 90\% \times 3 \text{ km } (0,2162 + j0,3305)$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,5837 + j 0,8923$$

$$Z_0 = 90 \% \times 3 \text{ km } (0,3631 + j 1,6180)$$

$$= 0,9803 + j 1,6180$$

Menghitung impedansi urutan positif dan negatif.

$$Z_{x1} = 0,0648 + j0,099 + j0,000129$$

$$= 0,0648 + j0,099$$

$$Z_{y1} = 0,583 + j0,892 + j0,000129$$

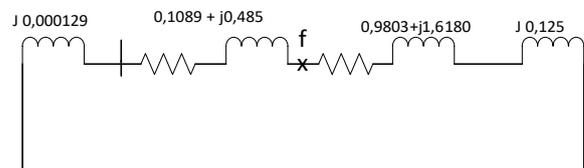
$$= 0,583 + j0,000129$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{(0,0648 + j 0,099) \times (0,583 + j 1,017)}{0,0648 + j 0,099 + 0,583 + j 1,017}$$

$$= \frac{0,12 \angle 56,8^\circ \times 1,02 \angle 86,72^\circ}{0,6478 + j 1,16}$$

$$= \frac{0,1224 \angle 143,52^\circ}{1,33 \angle 60,82^\circ}$$

$$= 0,092 \angle 82,18^\circ \text{ pu} = 0,01 + j0,09 \text{ pu}$$



Gbr. 6 Rangkaian Ekuivalen Yang Sudah Ditentukan Urutan Positif Dan Negatif

$$Z_{x0} = 0,1089 + j0,485 + 0,000129$$

$$= 0,1089 + j0,4851$$

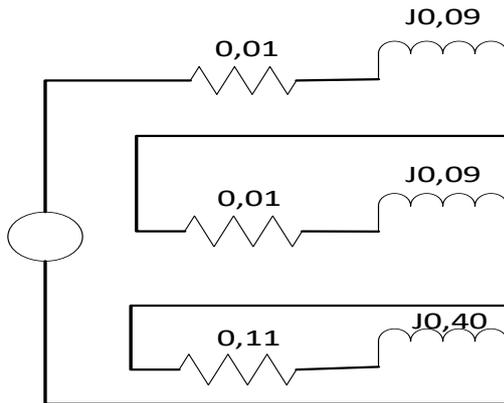
$$Z_{y0} = 0,9803 + j1,6180 + j0,125$$

$$= 0,9803 + j2,1031$$

$$Z_0 = \frac{(0,1089 + j0,4851) \times (0,9803 + j2,1031)}{0,1089 + j0,4851 + 0,9803 + j2,1031}$$

$$= \frac{0,50 \angle 77,35^\circ \times 2,32 \angle 65,01^\circ}{1,0892 + j2,5882}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,16 \angle 142,36}{2,81 \angle 67,18^\circ} \\
 &= 0,4128 \angle 75,18^\circ \text{ pu} \\
 &= 0,11 + j0,40 \text{ pu}
 \end{aligned}$$



Gbr. 7 Rangkaian Ekuivalen Urutan Untuk Gangguan Hubung Singkat

#### E. Menghitung Nilai Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ketanah, dihitung seperti dibawah ini :

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 I_{base} &= \frac{30}{\sqrt{3} \times 33} \times 1000 = 524,863 \text{ A} \\
 IF &= \frac{3 \times V}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \text{ pu} \\
 IF &= \frac{3 \times 1,0}{(0,01 + j0,09) + (0,01 + j0,09) + (0,11 + j0,40)} \text{ pu} \\
 IF &= \frac{0,14 + j0,67}{3 \times 1,0} \text{ pu} \\
 IF &= \frac{3 \times 1,0}{0,68 \angle 78,20^\circ} \text{ pu} \\
 &= 4,411 \angle 78,20^\circ \\
 &= 4,411 \times 524,863 = 2315,17 \text{ A}
 \end{aligned}$$

#### F. Perhitungan Setting Relay Arus

##### 1. Setting Relay pada sisi 33KV

$$\begin{aligned}
 I_{nominal} &= 2315,17 \text{ A} \\
 I_{set \text{ primer}} &= 1,05 \times 2315,17 \\
 &= 2,430,928 \text{ A} \\
 I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{CT} \\
 &= 2,430,928 \times \frac{5}{300} \\
 &= 40,515,46 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Pickup Setting} = \frac{1,25 \times 40,515,46}{1000/1} = 0,0506 \text{ A}$$

Setelan waktu

$$\begin{aligned}
 T_{ms} &= \frac{\left\{ \left( \frac{4,411}{2,430,928} \right)^{0,02} - 1 \right\} \times 0,3}{0,14} \\
 &= 0,25 \text{ S} \\
 t &= \frac{-0,3 \times 0,14}{\left\{ \left( \frac{4,411}{2,430,928} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = 0,35 \text{ S}
 \end{aligned}$$

Setelan waktu pada di ambil pada titik gangguan 10 % dari panjang saluran dengan waktu kerja rele + 0,5 detik.

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ primer}} &= 1,05 \times 2315,17 \\
 &= 2,430,928 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{CT} \\
 &= 2,430,928 \times \frac{5}{400} \\
 &= 0,030,386 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Setelan waktu

$$\begin{aligned}
 T_{ms} &= \frac{\left\{ \left( \frac{4,411}{2,430,928} \right)^{0,02} - 1 \right\} \times 0,5}{0,14} = 0,042 \text{ S} \\
 t &= \frac{0,5 \times 0,14}{\left\{ \left( \frac{4,411}{2,430,928} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = 0,17 \text{ S}
 \end{aligned}$$

Dari Hasil Perhitungan yang dibuat pada sisi 33 KV di set pada 0,35 detik dan pada sisi penyulang dimulai pada panjang saluran 10% dengan waktu 0,17 detik. Menunjukkan bahwa rele pada sisi 33 kv dan pada sisi substation tidak terkoordinasi dengan baik sehingga saat terjadinya arus hubung singkat, rele tidak bekerja secara maksimal sehingga beban yang melebihi daya dari kedua generator tidak terbackup dengan baik sehingga terjadi pemadaman total dengan arus hubung singkat 2315,17 A.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan hasil perhitungan maka dibuatlah beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Koordinasi tidak bekerja dengan baik dimana kondisi gangguan dititik 10% seharusnya rele bekerja untuk mengtripkan CB 1 A2 sehingga kinerja pada turbin (PG 9001) tidak terjadi gangguan yang mengakibatkan balckout, tetapi rele tersebut tidak bekerja dikarenakan rusak dengan kondisi rele yang sudah tidak efektif dalam bekerja.
2. Semakin dekat gangguan dengan sumber atau pada titik gangguan 10% dari panjang 3 km, dengan nilai 2315,17 A yang menjadi penyebab terjadinya arus hubung singkat, dan koordinasi rele pada 33 kv dan substation tidak baik sehingga terjadinya pemadam total.

**REFERENSI**

- [1] Santri E Tinambuhan. 2018. **Sistem Auto Charging Diesel Generator (EDG) Guna Meningkatkan Keandalan.**
- [2] Yuni Aryani. 2022. **Laporan Kerja Praktek (KP) Sistem Proteksi Generator Turbin Menggunakan Relay Proteksi Type URG – 60 PT Pertamina (PERSERO) RU II – Production Sungai Pakning – Riau.**
- [3] Afif Al Asyad, Margo Pujiantara, dan Dimas Anton Asfani. 2020. **Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi Akibat Hubung Singkat Pada Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan.**
- [4] Leli Maisyarah. 2019. **Analisis Hubung Singkat Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 KV (Studi Kasus Pada Saluran Penyulang LG 02 PT Pln (PERSERO) RAYON LHOKSEUMA WE)**
- [5] Hendriyadi. 2020. **Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi Di Kota Pontianak..**