

## **Analisis *Earth Fault* pada Sistem Kelistrikan Terisolasi Menggunakan Komputasi Matlab**

Astuty<sup>1)</sup>, Nur Rahma<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Prodi Teknik Elektro, Universitas Patria Artha  
[astuty.elektro@gmail.com](mailto:astuty.elektro@gmail.com)

<sup>2)</sup> Prodi Teknik Mesin, Universitas Patria Artha  
[nur.rahma@patria-artha.ac.id](mailto:nur.rahma@patria-artha.ac.id)

### **ABSTRAK**

Selayar sebagai salah satu pulau dengan sistem kelistrikan terisolasi, selain menghadapi masalah pembangkitan yang mahal juga harus mengatasi masalah *earth fault* yang sering terjadi. Hal terpenting yang harus disiapkan adalah pemutus tenaga untuk melindungi sistem. Untuk memperoleh sistem proteksi yang baik perlu dilakukan analisis gangguan pada sistem. Penelitian ini menggunakan alat komputasi matlab untuk menganalisis *earth fault* yang terjadi. Besar arus hubung singkat terbesar adalah 396 A pada lokasi gangguan rel 4.

### **I. PENDAHULUAN**

Sistem kelistrikan terisolasi secara umum digambarkan sebagai sistem penyaluran energi listrik yang tidak terhubung dengan sistem kelistrikan yang besar. Beberapa pulau tidak terhubung dengan sistem interkoneksi yang besar karena faktor ekonomi. Indonesia yang terdiri dari banyak pulau memiliki sistem kelistrikan yang terisolasi dari grid atau sistem yang besar.

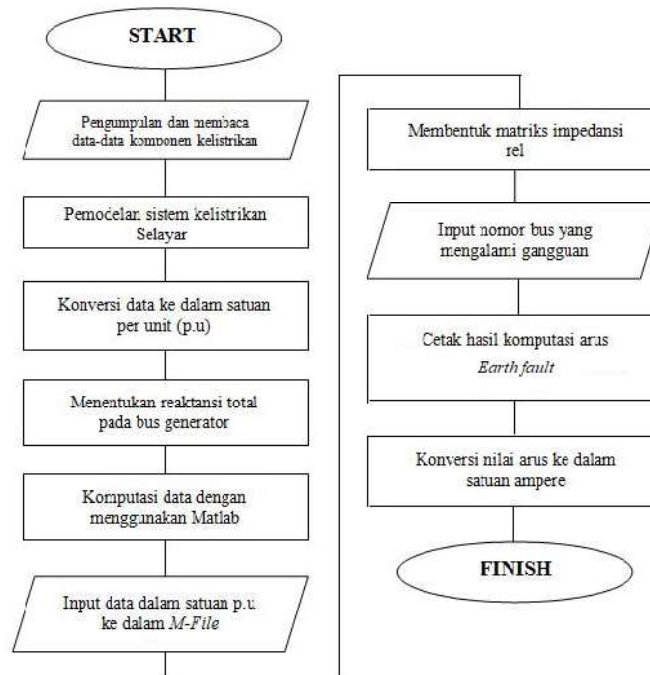
Kepulauan selayar merupakan salah pulau di provinsi Sulawesi Selatan yang pemenuhan kebutuhan energi listriknya terpisah dari sistem interkoneksi Sulawesi Selatan. Generator dengan mesin diesel merupakan pembangkit yang dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan beban. Selain biaya pokok pembangkitan yang mahal, sistem kelistrikan ini dihadapkan pada permasalahan keberlanjutan penyaluran akibat gangguan pada saluran distribusi. *Earth fault* atau gangguan satu fase ke tanah sering terjadi sehingga pemutus bekerja untuk memustuskan penyaluran energi listrik.

Kondisi geografis daerah ini merupakan faktor utama terjadinya hubung singkat. Masyarakat mengeluhkan kerusakan barang elektronik dan aktivitas yang terganggu akibat pemadaman yang terjadi.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan melakukan analisis *earth fault* pada Sistem Kelistrikan Kepulauan Selayar. Beberapa peneli telah melakukan penelitian terkait gangguan pada sistem dengan metode yang berbeda. Alat analisis PSCAD/ETMDC telah diterapkan dalam perhitungan arus gangguan saluran transmisi (M.Saini, dkk). Faig pada tahun 2010 melakukan analisis gangguan pada sistem distribusi yang terdiri dari pembangkit tersebar (*distributed generation*) dengan menerapkan impedance-based method (Faig, 2010). Analisis gangguan satu fase ke tanah juga telah dilakukan dengan menggunakan parameter *sending-end current* pada saluran distribusi. Gangguan tidak seimbang juga telah dilakukan pada tahun 2011 (Najafi, 2011). Analisis yang dilakukan pada penelitian ini focus pada gangguan *earth fault* pada saluran 20 kV dengan memanfaatkan alat komputasi Matlab.

## II. METODE PENELITIAN

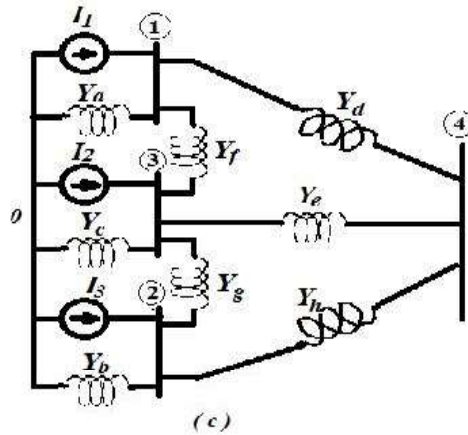
Jenis penelitian yang digunakan adalah *exploratory study* untuk menggambarkan dan menjelaskan keadaan sistem Kelistrikan Kepulauan Selayar ketika terjadi gangguan hubung satu fase ke tanah pada saluran distribusi 20 kV. Total bus pada sistem sebanyak 10 bus yang terdiri dari bus generator dan beban seperti pada Gambar 1. Analisis dilakukan pada keadaan beban puncak maksimum dan kondisi semua generator aktif menyuplai beban. Gangguan hubung singkat yang terjadi tanpa impedansi gangguan ( $Z_f$ ). Beban pada sistem secara keseluruhan dianggap sebagai beban penerangan.



Gambar 1. Flow Chart analisis data

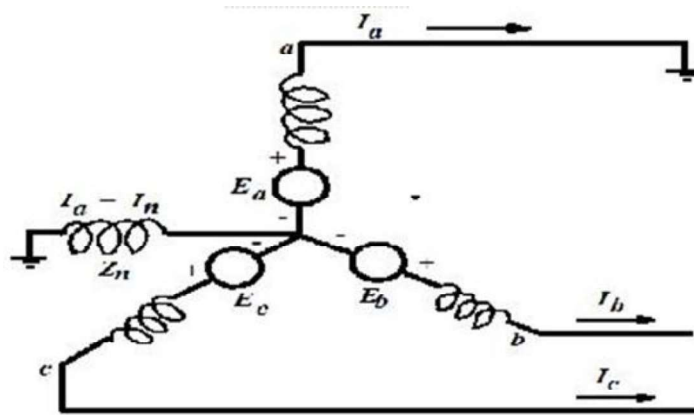
Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis perhitungan arus hubung singkat dengan menggunakan metode matriks impedansi rel. Analisis ini memanfaatkan bahasa pemrograman Matlab sebagai alat bantu komputasi. Sistem tenaga listrik kepulauan Seelayar merupakan objek pada penelitian ini.

Mempelajari beberapa ciri persamaan simpul, harus dimulai dengan diagram segaris suatu sistem sederhana (Savas, 2009). Generator dihubungkan pada rel-rel tegangan tinggi 1 dan 3 melalui transformator dan mencatu suatu beban motor serempak pada rel 2. Untuk keperluan analisis, semua mesin pada setiap rel diperlakukan sebagai satu mesin saja dan dilukis sebagai satu emf dan reaktansi seri. Rangkaian pada gambar 2 menggambarkan dengan emf dan impedansi seri yang menghubungkannya ke simpul-simpul besar digantikan dengan sumber arus ekuivalen dan admitansi shunt ekuivalen.



Gambar 2. Diagram admittance sistem

Diagram rangkaian untuk gangguan satu fase ke tanah pada generator terhubung Y yang tidak dibebani dengan netralnya ditanahkan melalui reaktansi diperlihatkan pada Gambar 3, di mana fase  $a$  adalah tempat terjadinya gangguan. Untuk gangguan earth fault atau satu fase ke tanah berlaku  $I_b = 0, I_c = 0, V_a = 0$ .



Gambar 3. Diagram rangkaian untuk gangguan satu fase ke tanah pada fase a pada terminal generator yang tidak dibebani

Sehingga  $I_{a0}, I_{a1}$ , dan  $I_{a2}$  masing-masing dengan  $I_{a0}/3$  dan  $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$ . fase ke tanah pada suatu sistem daya yang dibebani maka  $E_a$  diganti dengan  $V_f$ , yang

merupakan tegangan sebelum terjadinya gangguan ke netral pada titik gangguan. Sehingga diperoleh persamaan arus gangguan *earth fault* berikut

$$I_{a0} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

Selayar adalah salah satu kabupaten di Sulawesi Selatan yang sistem kelistrikannya terisolasi. Jaringan listrik di kabupaten kepulauan ini adalah jaringan tegangan menengah 20 kV dan jaringan distribusi tegangan rendah 380/220 Volt. Saat ini kebutuhan listrik di Selayar disuplai oleh PLTD milik PT. PLN (Persero) Wilayah Sultanbatara. Pembangkit ini berlokasi di Tangkala sekitar 10 Km dari kota Benteng yang berkapasitas 6 x 1.224 kW.

Aktivitas komputasi menggunakan alat bantu Matlab. Setiap data yang telah diperoleh dan dikonversi ke dalam satuan per unit akan diinput ke dalam listing program. Data tersebut berupa data saluran, data generator dan data beban. Gambar 4 menunjukkan bagian dari listing pemrograman Matlab yang digunakan.

```
% This program forms the complex bus impedance matrix by the method
% of building algorithm. Bus zero is taken as reference.
% This program is compatible with power flow data.
% Copyright (C) 1998 by H. Saadat.

function [Zbus, linedata] = zbuildpi(linedata, gendata, yload)

ng=length(gendata(:,1));
nlg=gendata(:,1);
nrg=gendata(:,2);

zg= gendata(:,2) + j*gendata(:,3);
nl = linedata(:,1); nr = linedata(:,2); R = linedata(:,3);
X = linedata(:,4);
nbr=length(linedata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
nc = length(linedata(1,:));
for k=1:nbr
    if R(k) == inf | X(k) == inf
        R(k) = 99999999; X(k) = 99999999;
    else, end
end
end
```

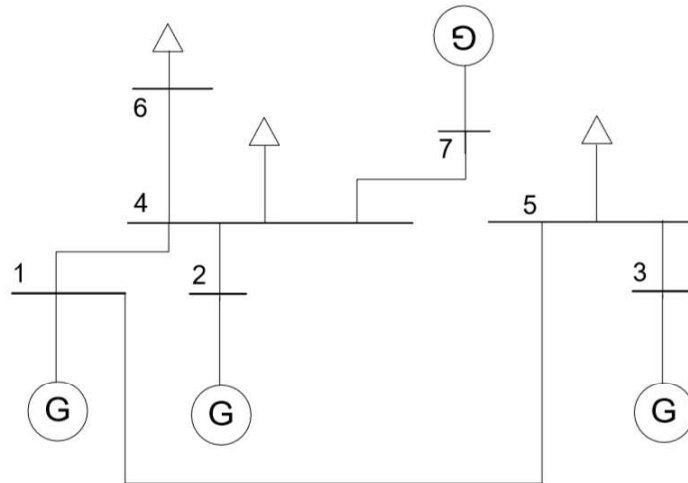
Gambar 4. Listing pemrograman untuk membentuk matrix admitansi

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil

Penyaluran tenaga listrik pada sistem kelistrikan kepulauan Selayar hanya melalui saluran transmisi 20 kV. Langkah awal dalam analisis ini adalah pemodelan sistem dalam bentuk *single line diagram* untuk memudahkan tahap analisis selanjutnya. Gambar 4 akan menjadi acuan untuk membuat diagram reaktansi urutan positif, urutan negative dan urutan nol. Diagram sistem urutan nol merupakan gambar yang sangat fundamental dalam analisis earth fault atau gangguan satu fasa ke tanah.

Beberapa PLTD dengan kapasitas terpasang yang berbeda dioperasikan untuk menanggung beban puncak 6 MW. Terdapat 6 generator dengan daya terpasang 1224 kW dan generator 6 x 600 kW. Jarak antara pembangkit utama dengan pusat beban yakni 10 km. Generator dan beban selanjutnya dimodelkan seperti yang terlihat pada gambar 4. Diagram menunjukkan bahwa terdapat 3 bus generator dan 4 bus beban.



Gambar 3. Single line diagram sistem yang telah disederhanakan

Berdasarkan data beban puncak pada bulan 19 September 2018, tidak semua generator beroperasi untuk menanggung beban puncak. Untuk perhitungan besar arus gangguan keadaan puncak maksimum, generator yang tidak aktif diabaikan. Hubung singkat yang terjadi tidak menggunakan impedansi gangguan atau  $Z_f=0$ .

Data mentah yang berwujud angka harus dikonversi ke dalam satuan per unit. Tegangan dasar baru yang diambil sesuai dengan tegangan kerja pada sistem tersebut. Berbeda dengan impedansi urutan nol, impedansi urutan negatif masing-masing generator sama dengan impedansi urutan positifnya. Dari data yang diperoleh, beberapa generator pada sistem menggunakan pembumian langsung melalui impedansi 40 ohm.

Hubungan belitan trafo harus diperhatikan karena sangat penting dalam perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah. Perlu diperhatikan apakah belitannya terhubung  $\Delta$ -Y diketanahkan atau tidak. Untuk memudahkan, apabila terdapat dua atau tiga transformator yang bersama-sama terhubung dengan bus yang sama maka transformator-transformator tersebut diparalelkan.

Tabel. 1 Total reaktansi bus generator

Nomor Bus	Total Reaktansi Bus Generator	
	$X_1$ (p.u)	$X_0$ (p.u)
1	0.3985	0.1456
2	3.7765	1.5000
3	0.4603	0.2773
4	0.3624	0.2235

Variabel-variabel yang dibutuhkan dimasukkan ke dalam *M-File* (Cekdin Cekmas, 2005). Langkah pertama adalah membentuk matriks *linedata* yang masukan atau *entry*-nya terdiri atas nomor bus, impedansi urutan positif saluran, dan suspestansinya ( $1/2 B$ ). Sedangkan untuk matriks gendata, kolom 1 adalah nomor bus generator, kolom kedua adalah besar resistansi generator, dan kolom ketiga adalah reaktansi transien atau reaktansi positifnya.

Tabel 2. Arus gangguan pada saluran menuju bus gangguan ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Bus Gangguan	Dari Bus	Ke Bus	Arus Gangguan	
			$I_f$ (p.u)	$I_f$ (Ampere)
1	4	1	2.289	215
	3	1	0.705	61
	G	1	0.705	62
2	4	2	2.190	289
	G	2	0.705	61
3	5	3	2.034	256
	G	3	0.705	62.6
4	1	4	2.086	238
	6	4	0	0
	7	4	1.385	97
	2	4	0.715	61
5	1	5	1.254	87
	3	5	0.703	65
6	4	6	1.897	267
7	4	7	2.345	260
	G	7	0.707	97



## B. Pembahasan

Arus gangguan pada bus 4, dipengaruhi oleh jumlah impedansi saluran yang berujung pada bus ini. Semakin kecil impedansi total, maka semakin besar arus hubung singkat pada bus tersebut. Besar impedansi pada masing-masing saluran dipengaruhi oleh panjang saluran tersebut. Semakin panjang saluran tersebut, maka semakin besar impedansi saluran tersebut.

Besar arus hubung singkat tertinggi satu fasa ke tanah lebih kecil dari pada arus gangguan apabila tanpa (*Neutral Grounding Reaktor*) NGR. Sistem kelistrikan Selayar menggunakan sistem pembumian langsung atau pembumian titik netral menggunakan impedansi atau NGR sebesar 40 ohm. Selain itu, besar arus hubung singkat satu fasa dipengaruhi oleh hubungan belitan transformator. Generator-generator pada pembangkit bersama-sama menyalurkan tenaga listrik ke beban. Namun pada keadaan gangguan, generator pada pembangkit yang ada di sistem bersama-sama mendistribusikan arus gangguan menuju titik atau bus gangguan. Semakin besar kapasitas *output* generator maka semakin besar pula arus hubung singkat yang dikontribusikan.

Dibandingkan dengan rel yang lain, rel 4 merupakan lokasi gangguan yang menimbulkan besar arus gangguan melonjak. Berdasarkan table 2, besar arus gangguan saluran mencapai 396 Ampere. Hal ini karena bus tersebut parallel dengan beberapa bus generator. Panjang saluran juga akan mempengaruhi besar arus hubung singkat. Sebagian besar beban pada sistem ini adalah beban penerangan. Beban penerangan tidak berkontribusi pada titik gangguan sehingga arus gangguan dari rel 4 menuju bus 4 sama dengan nol.

#### IV. PENUTUP

##### A. Kesimpulan

Pemutus tenaga pada sistem harus mampu bekerja pada besar arus gangguan yang telah diperoleh. Jumlah saluran yang terdapat pada suatu rel dan panjang saluran akan mempengaruhi kontribusi arus gangguan dari setiap rel yang terhubung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- AM Syafar. Penentuan Nilai Eigen dari Matriks Jacobian Reduksi Pada Sistem Interkoneksi SUL-SEL dengan Metode Modal Analysis. *Jurnal Inspiration*, Vol. 5, No. 1, Juni 2015, STMIK AKBA. pp. 65-72. ISSN: 2621-5608
- Cekdin, Cekmas. 2007. *Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Glover, Duncan, dkk. 2008. *Power System Analysis and Design*. USA : Thomson Learning
- J.Faig, dkk. 2010. Analysis of Faults in Power Distribution Systems With Distributed Generation. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10). Granada (Spain), 23th to 25th March, 2010
- Koc, Savas dan Zafer Aydogmus. 2009. *A Matlab/Gui Based Fault Simulation Tool For Power System Education*. Association for Scientific Research, Vol. 14, No.3, pp. 207-217.
- M. Saini, dkk. 2012. *Fault Analysis Using PSCADA/EMTDC for 150 kV South Sulawesi Transmission System*. IEEE. ISIEA Bandung
- M. Zahri, dkk. Simplified Method for Single Line to Ground-Fault Location in Electrical Power Distribution Systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Vol. 5, No. 2, April 2015, pp. 246~255. ISSN: 2088-8708.
- Najafi, M, dkk. 2011. *Fault Analysis in Unbalanced and Unsymmetrical Distribution System*. Australia Journal of Basic and Applied Science, 5(8): 743-756.