

## MODEL DAN ANALISIS GANGGUAN SATU KONDUKTOR TERBUKA (ONE-CONDUCTOR OPEN FAULT) SISTEM TENAGA LISRIK MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB

**Rahmaniar, Hermansyah**

<sup>(1)</sup>Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro

<sup>(2)</sup>Dosen Fakultas Ilmu Komputer Prodi Sistem Komputer

Universitas Pembangunan Panca Budi Medan

[niar4n01@yahoo.com](mailto:niar4n01@yahoo.com), [hermansyah@pancabudi.ac.id](mailto:hermansyah@pancabudi.ac.id)

### Abstrak.

Gangguan satu konduktor terbuka merupakan terlepasnya salah satu fasa/konduktor yang menyebabkan terjadinya perubahan tegangan antara bus-bus (gardu induk) yang konduktornya mengalami gangguan. Peningkatan tegangan pada sistem yang mengalami gangguan satu konduktor terbuka menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan sistem yang dapat berpengaruh terhadap pelayanan kepada pelanggan listrik. Sehingga dilakukan kajian khusus tentang gangguan konduktor terbuka dengan pemodelan matematis dari diagram segaris sistem tenaga dengan data-data nilai reaktansi sistem. Pemodelan gangguan satu fasa terbuka sistem tenaga listrik dilakukan dengan membentuk diagram reaktansi dari sistem tenaga listrik, kemudian dengan data-data bersumber dari literatur ilmiah dilakukan pemodelan sekaligus memasukkan data sistem ke dalam *m.file* matlab untuk menjalankan model yang sudah dibangun. Analisis gangguan satu fasa terbuka digunakan untuk melihat besaran tegangan yang dapat menyebabkan terjadi ketidak seimbangan sistem karena pada kondisi salah satu fasa terbuka pada rangkaian seimbang. Komputer dijadikan alat bantu untuk menganalisis nilai arus gangguan dengan pendukung perangkat lunak Matlab 6.1 membantu memperoleh besaran nilai arus dan tegangan gangguan satu konduktor terbuka secara praktis dan efektif.

**Kata Kunci:** Sistem Tenaga Listrik, Gangguan Konduktor Terbuka, Perangkat Lunak Matlab

### 1. Pendahuluan

Penyediaan energi listrik yang dikelola oleh Pembangkit Listrik Negara selalu berusaha untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan sama sekali gangguan-gangguan yang mungkin terjadi baik berupa gangguan dari dalam sistem maupun gangguan alam pada saluran udara tegangan tinggi maupun distribusi yang bisa menghambat kontinuitas pelayanan listrik kepada masyarakat pelanggan. Salah satu gangguan dalam sistem yang berpengaruh besar terhadap kontinuitas pelayanan adalah gangguan arus lebih. Gangguan arus lebih ini telah banyak membuat kerugian pada manusia baik pada pihak pengelola energy listrik maupun pelanggan. Gangguan arus lebih dapat dideteksi menggunakan rele-rele yang ada, tergantung penyebab gangguan. Berdasarkan teori sistem rele proteksi, maka dapat ditentukan rele yang bekerja pada saluran transmisi, penyulang tegangan menengah maupun pada transformator sebuah gardu induk. Rele proteksi yang bekerja pada gardu induk sudah ditentukan sendiri-sendiri antar sistem proteksi yang satu dengan yang lain tidak boleh saling berkaitan. Apabila gangguan yang ada pada saluran transmisi mempengaruhi dan menyebabkan gangguan pada penyulang tegangan menengah maka hal itu tidak diperbolehkan, untuk mengatasi masalah ini komponen mekanis maupun setting rele yang

sesuai harus diberikan dan dipasang sesuai ketentuan yang ada (Awan Setiawan, 2007).

Pada kondisi salah satu fasa terbuka pada rangkaian seimbang tiga fasa maka akan terjadi ketidakseimbangan dan arus tidak simetris mengalir. Demikian pula jenis tak seimbang akan terjadi saat ada dua dari tiga fasa terbuka dimana fasa ke tiga tertutup. Gangguan penghantar terbuka dapat disebabkan oleh kerusakan saluran transmisi yang diakibatkan oleh kondisi alam seperti badai ataupun terjadi kecelakaan. Sehingga rangkaian yang tidak mengalami gangguan akan mengalir arus beban lebih. Pengaman akan membuka sedangkan untuk fasa yang lain pengaman tidak bekerja, dari permasalahan tersebut diteliti tentang model analisis gangguan satu fasa terbuka dalam perhitungan jaringan sistem tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik dirancang dan dibangun secara cermat, agar dapat beroperasi dengan baik. Tetapi dalam operasinya, gangguan (*fault*) dapat saja terjadi. Gangguan tersebut dapat berupa hubung singkat maupun beban lebih yang dapat mengakibatkan kerusakan isolasi sehingga kerja peralatan listrik dan terganggunya stabilitas sistem. Sedangkan fungsi sistem tenaga listrik itu sendiri adalah membangkitkan daya listrik dan menyalurkannya ke konsumen yang membutuhkan. Kejadian kondisi tidak normal

suatu sistem tenaga listrik seperti *drop voltage* atau *over current* dapat berdampak terhadap kerusakan fasilitas dan peralatan-peralatan pendukung pada gardu induk tenaga listrik. Kejadian tersebut dapat terjadi akibat adanya gangguan konduktor yang terbuka (*Open fault konduktor*). Paket perangkat lunak yang di sebut sebagai *screening applet* digunakan untuk mengidentifikasi osilasi tegangan akibat pengaruh gangguan konduktor terbuka, hasil simulasi menunjukkan kenaikan osilasi antara 115% samapi dengan 125 % dari kondisi normal (Roger C.D,2009)

**2. Model matematis Gangguan Satu Konduktor Terbuka**

Pada gambar 1(a). memperlihatkan fasa a terbuka, sehingga arus  $I_a=0$  dan sehingga diperoleh persamaan:

$$I_a^{(0)} + I_a^{(1)} + I_a^{(2)} = 0 \tag{1}$$

dimana  $I_a^{(0)}, I_a^{(1)}$  dan  $I_a^{(2)}$  adalah komponen simetri arus jaringan  $I_a, I_b$  dan  $I_c$  dari titik p ke titik p'. Fasa b dan c tertutup, tegangan drop adalah  $V_{pp'b}=0$  dan  $V_{pp'c}=0$

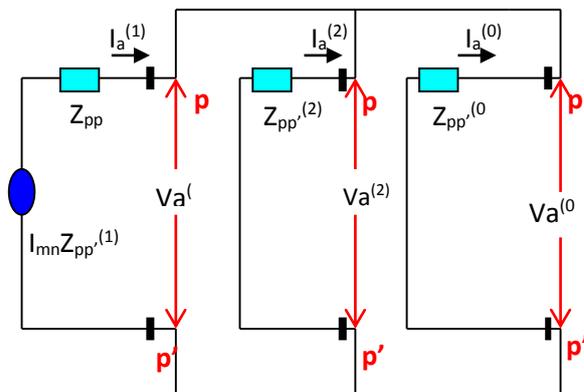
Untuk mencari tegangan drop terbuka melalui titik gangguan dalam komponen dengan persamaan (2)

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{pp'.a} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} V_{pp'.a} \\ V_{pp'.a} \\ V_{pp'.a} \end{bmatrix} \tag{2}$$

dari persamaan (2) diatas diperoleh:

$$V_a^{(0)} = V_a^{(1)} = V_a^{(2)} = \frac{V_{pp'.a}}{3} \tag{3}$$

dengan demikian rangkaian thevenim urutan positif, negatif dan nol gangguan saluran satu fasa terbuka terhubung secara paralel ditunjukkan pada gambar (1) sebagai berikut:



Gambar (1) Rangkaian Ekvivalen gangguan satu fasa terbuka pada titik p dan p'

Ketika Gangguan satu fasa terbuka pada titik p – p' rangkaian ekvivalen urutan positif, negatif dan nol terhubung secara paralel, dari rangkaian diatas dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$I_a^{(1)} = I_{mn} \frac{Z_{pp'}^{(1)}}{Z_{pp'}^{(1)} + \frac{Z_{pp'}^{(2)}Z_{pp'}^{(0)}}{Z_{pp'}^{(2)} + Z_{pp'}^{(0)}}} \tag{4}$$

$$= I_{mn} \frac{Z_{pp'}^{(1)}(Z_{pp'}^{(2)} + Z_{pp'}^{(0)})}{Z_{pp'}^{(0)}Z_{pp'}^{(1)} + Z_{pp'}^{(1)}Z_{pp'}^{(2)} + Z_{pp'}^{(2)}Z_{pp'}^{(0)}}$$

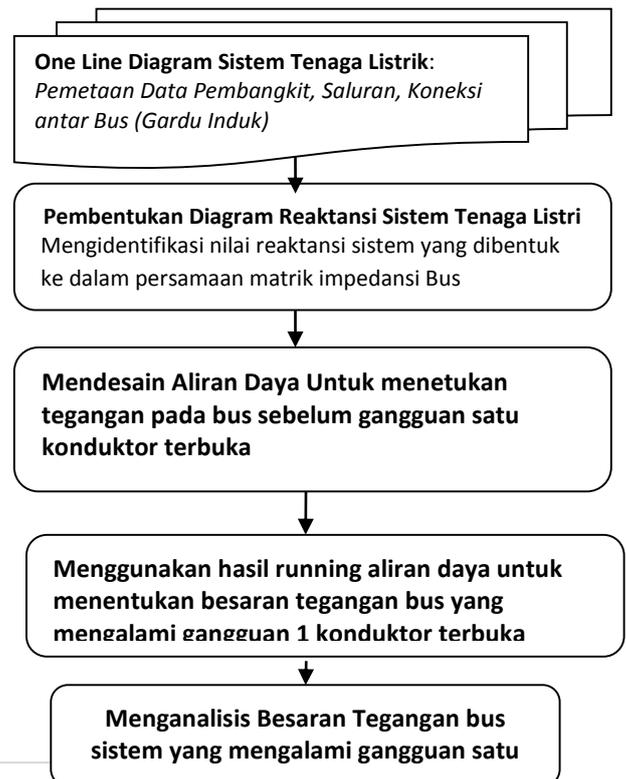
Tegangan urutan  $V_a^{(0)}, V_a^{(1)}, V_a^{(2)}$  dapat dituliskan dalam persamaan

$$V_a^{(0)} = V_a^{(1)} = V_a^{(2)} = I_a^{(1)} \frac{Z_{pp'}^{(2)}Z_{pp'}^{(0)}}{Z_{pp'}^{(2)} + Z_{pp'}^{(0)}} \tag{5}$$

$$= I_{mn} \frac{Z_{pp'}^{(1)}Z_{pp'}^{(2)}Z_{pp'}^{(0)}}{Z_{pp'}^{(0)}Z_{pp'}^{(1)} + Z_{pp'}^{(1)}Z_{pp'}^{(2)} + Z_{pp'}^{(2)}Z_{pp'}^{(0)}} \tag{6}$$

**3. Tahapan Model Tahapan Pemodelan Gangguan Satu Konduktor Terbuka.**

Penelitian diterapkan kepada sistem tenaga listrik 3 pembangkit 12 bus yang terinterkoneksi dengan saluran transmisi, tahapan-tahapan ditunjukkan pada gambar 2



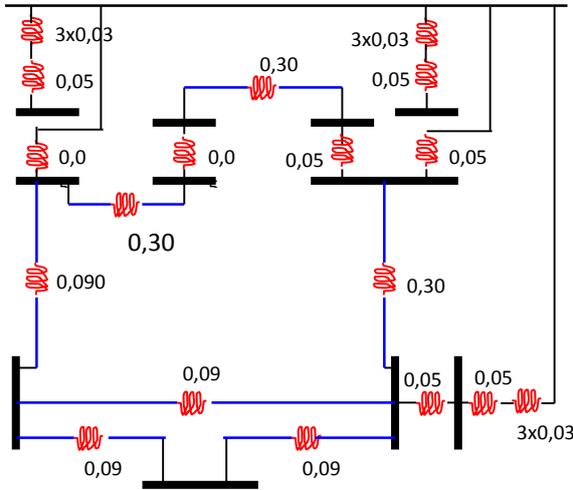


Impedansi Urutan positif dan Negatif ( $X_1=X_2=0,4$ ):

$$Z_{pp'}^{(1)} = Z_{pp'}^{(2)} = \frac{-Z_1^2}{Z_{th,mm}^{(1)} - Z_1} = \frac{-Z_1^2}{Z_{88}^{(1)} + Z_{11,11}^{(1)} - 2Z_{8,11}^{(1)} - Z_1} = \frac{-(j0,4)^2}{j0,1205 + j0,2504 - 2(j0,0924) - j0,40} = \frac{0.16}{-j0.2139} = j0.7480 \text{ pu}$$

Untuk impedansi urutan nol :

$$Z_{pp'}^{(0)} = \frac{-Z_0^2}{Z_{th,mm}^{(0)} - Z_0} = \frac{-Z_0^2}{Z_{88}^{(0)} + Z_{11,11}^{(0)} - 2Z_{8,11}^{(0)} - Z_0} = \frac{-(j0,09)^2}{j0,0761 + j0,0788 - 2(j0,0531) - j0,09} = \frac{0.0081}{-j0.0413} = j0,1961 \text{ pu}$$



Gambar 6. Rangkaian urutan nol

Dengan soft-ware Matlab (list program terlampir pada lampiran 1) dapat diperoleh Matriks impedansi ( $Z_{Bus}$ ) dimana  $Z_{Bus}=Y^{-1}$  Matriksnya adalah:

Matrik Z bus urutan Positif dan Negatif:

$$Z_{Bus}^{(1,2)} = -j \begin{bmatrix} 0.1316 & 0.1145 & 0.0914 & 0.0799 & 0.0568 & 0.0452 & 0.0362 & 0.0403 & 0.0322 & 0.0551 & 0.0700 \\ 0.1145 & 0.1431 & 0.1143 & 0.0998 & 0.0710 & 0.0566 & 0.0452 & 0.0503 & 0.0403 & 0.0689 & 0.0874 \\ 0.0914 & 0.1143 & 0.1681 & 0.1450 & 0.0898 & 0.0758 & 0.0606 & 0.0600 & 0.0480 & 0.0708 & 0.0817 \\ 0.0799 & 0.0998 & 0.1450 & 0.1676 & 0.1128 & 0.0854 & 0.0683 & 0.0648 & 0.0518 & 0.0718 & 0.0788 \\ 0.0568 & 0.0710 & 0.0989 & 0.1128 & 0.1407 & 0.1046 & 0.0837 & 0.0744 & 0.0595 & 0.0737 & 0.0730 \\ 0.0452 & 0.0566 & 0.0758 & 0.0854 & 0.1046 & 0.1143 & 0.0914 & 0.0792 & 0.0633 & 0.0747 & 0.0701 \\ 0.0362 & 0.0452 & 0.0606 & 0.0683 & 0.0837 & 0.0914 & 0.1131 & 0.0633 & 0.0507 & 0.0597 & 0.0561 \\ 0.0403 & 0.0503 & 0.0600 & 0.0648 & 0.0744 & 0.0792 & 0.0633 & 0.1205 & 0.0964 & 0.1064 & 0.0924 \\ 0.0322 & 0.0403 & 0.0480 & 0.0518 & 0.0595 & 0.0633 & 0.0507 & 0.0964 & 0.1171 & 0.0852 & 0.0739 \\ 0.0551 & 0.0689 & 0.0708 & 0.0718 & 0.0737 & 0.0747 & 0.0597 & 0.1064 & 0.0852 & 0.3389 & 0.1714 \\ 0.0700 & 0.0874 & 0.0817 & 0.0788 & 0.0730 & 0.0701 & 0.0561 & 0.0924 & 0.0739 & 0.1714 & 0.2504 \end{bmatrix}$$

Matrik Z bus urutan Positif dan Nol

$$Z_{Bus}^{(0)} = -j \begin{bmatrix} 0.014 & 0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0 & 0.0403 & 0.0251 & 0.0225 & 0.0074 & 0.0048 & 0.000 & 0.0186 & 0.0137 & 0.0230 & 0.0273 \\ 0 & 0.0251 & 0.1947 & 0.1730 & 0.0426 & 0.0208 & 0.000 & 0.0155 & 0.0114 & 0.0174 & 0.0193 \\ 0 & 0.0225 & 0.1730 & 0.1980 & 0.0484 & 0.0253 & 0.000 & 0.0150 & 0.0110 & 0.0165 & 0.0180 \\ 0 & 0.0074 & 0.0426 & 0.0484 & 0.0837 & 0.0395 & 0.000 & 0.0118 & 0.0087 & 0.0109 & 0.0101 \\ 0 & 0.0048 & 0.0208 & 0.0235 & 0.0395 & 0.0422 & 0.000 & 0.0113 & 0.0083 & 0.0100 & 0.0087 \\ 0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.1400 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0 & 0.0168 & 0.0155 & 0.0150 & 0.0118 & 0.0113 & 0.000 & 0.0761 & 0.0561 & 0.0646 & 0.0531 \\ 0 & 0.0137 & 0.0144 & 0.0110 & 0.0087 & 0.0083 & 0.000 & 0.0561 & 0.0782 & 0.0476 & 0.0392 \\ 0 & 0.0230 & 0.0174 & 0.0165 & 0.0109 & 0.0100 & 0.000 & 0.0646 & 0.0476 & 0.1103 & 0.0660 \\ 0 & 0.0273 & 0.0193 & 0.0180 & 0.0101 & 0.0087 & 0.000 & 0.0531 & 0.0392 & 0.0660 & 0.0788 \end{bmatrix}$$

Jika terjadi gangguan terputus antara bus 8 dengan bus 11, dari persamaan (4) dan (5) akan diperoleh:

$$Z_{pp'}^{(1)} = Z_{pp'}^{(2)} \frac{-Z_1^2}{Z_{nn}^{(1)} + Z_{mm}^{(1)} - 2Z_{nm}^{(1)} - Z_1}$$

Penentuan tegangan bus 8 dan 11 sebelum terjadi gangguan satu konduktor terbuka, hasil running aliran daya (load flow) dengan perangkat lunak matlabn, sebagai berikut:

```
To get started, select "MATLAB Help" from the Help menu.

>> Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 1.1877e-005
No. of Iterations = 4
```

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	---Load---		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.060	0.000	0.000	0.000	-200.000	62.753	0.000
2	1.035	5.231	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1.013	13.083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	1.009	17.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1.016	25.123	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	1.027	29.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	1.043	34.407	0.000	0.000	200.000	41.714	0.000
8	1.034	25.985	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.043	25.985	0.000	0.000	0.000	18.742	0.000
10	1.023	21.876	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	1.018	17.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total			0.000	0.000	0.000	123.209	0.000

Dari hasil running aliran daya terlihat hasil tegangan pada bus 8 dan bus 11 adalah :  
 bus 8 = 1.034 ∠25.98 = 0.929-j0.453 pu  
 bus 11= 1.018 ∠17.05 = 0.973+j0.298 pu  
 Maka arus yang mengalir pada bus 8 ke bus 11 ( $I_{mn}$ ) sebelum terjadi gangguan adalah:

$$I_{m-n} = \frac{V_m - V_n}{X_{m-n}} = I_{8-11} = \frac{V_8 - V_{11}}{X_{8-11}} = \frac{(0,929 + j0,452) - (0,973 + j0,298)}{j0,40} \Delta V_{11} = \Delta V_{11}^{(0)} + \Delta V_{11}^{(1)} + \Delta V_{11}^{(2)} = 0,3946 + 0,3946 + 0,2853 = 1,871 + 0,1095 pu = 0,5039 pu$$

Besar arus urutan positif adalah

$$I_a^{(1)} = I_{mn} \frac{Z_{pp'}^{(1)}}{Z_{pp'}^{(1)} + Z_{pp'}^{(2)} \parallel Z_{pp'}^{(0)}} = (1,871 + j0,1095) \frac{j0,7480}{(j0,7480) + \left( \frac{j0,7480 * j0,1961}{j0,7480 + j0,1961} \right)} = -j6,4363 pu$$

Besar arus urutan negatif adalah

$$I_a^{(2)} = -I_a^{(1)} \frac{Z_{pp'}^{(0)}}{Z_{pp'}^{(0)} + Z_{pp'}^{(2)}} = -j6,4363 \frac{j0,1961}{j0,1961 + j0,7480} = -j1,3368 pu$$

Besar arus urutan nol adalah

$$I_a^{(0)} = -I_a^{(1)} - I_a^{(2)} = -j6,4363 - j1,3368 = -j7,773 pu$$

Besar drop tegangan urutan adalah :

$$V_a^{(1)} = V_a^{(2)} = V_a^{(0)} = I_a^{(1)} \frac{Z_{pp'}^{(0)} \times Z_{pp'}^{(2)}}{Z_{pp'}^{(0)} + Z_{pp'}^{(2)}} = -j6,436 \frac{j0,1961 * j0,7480}{j0,1961 + j0,7480} = -j0,999 pu$$

$$V_a^{(1)} = V_a^{(2)} = V_a^{(0)} = -j0,999 pu$$

Besar komponen simetri tegangan pada bus 11 :

$$\Delta V_{11}^{(1)} = \frac{Z_{11-8}^{(1)} - Z_{11-11}^{(1)}}{Z_1} V_a^{(1)} = \frac{j0,0924 - j0,2504}{j0,40} (-j0,999) = 0,3946 pu$$

$$\Delta V_{11}^{(0)} = \Delta V_{11}^{(0)} = \frac{Z_{11-8}^{(0)} - Z_{11-11}^{(0)}}{Z_1} V_a^{(0)} = \frac{j0,0531 - j0,0788}{j0,09} (-j0,999) = -0,2853 pu$$

maka;

Sehingga tegangan pada bus 11 yang mengalami gangguan hubungan satu fasa terbuka adalah :

$$V_{11}' = V_{11} + \Delta V_{11} = 0,5039 + (0,973 + j0,298) = 1,4769 + j0,298 pu = 1,507 \angle 11,41^\circ$$

Nilai tegangan untuk gangguan satu konduktor terbuka adalah:  $1,507 \angle 11,41^\circ$ , artinya ketika sistem tersebut mengalami gangguan satu konduktor terbuka pada bus 11\_8 maka tegangan pada bus 11 naik mencapai 1,507 x Tegangan Nominal pada bus tersebut. Kenaikan tegangan melebihi 1,5 kali tegangan nominal indikasi ini membahayakan peralatan yang bekerja pada tegangan nominal sistem yang jika tidak proteksi/diamankan, maka dapat mengakibatkan kerusakan peralatan yang lebih fatal.

### Kesimpulan

Dari hasil pemodelan dan analisis berbantuan perangkat lunak matlab, dapat disimpulkan:

1. Aliran daya menggunakan metode newton repson dibutuhkan untuk mengetahui besaran nilai tegangan pada antara bus yang mengalami gangguan satu konduktor terbuka.
2. Penerapan teknologi komputer berbantuan perangkat lunak matlab menunjukkan hasil penelitian aliran daya untuk gangguan konduktor terbuka secara praktis
3. Nilai tegangan pada bus yang mengalami gangguan konduktor terbuka sebesar 1,50 Pu artinya, tegangan ini melebihi 1,5 kali dari arus nominal, besaran tegangan yang hampir mencapai 2 kali lipat dari tegangan nominal berpengaruh terhadap ketidakseimbangan sistem yang menyebabkan terjadinya ganggua yang dapat merusak peralatan pada isstem tenaga listrik.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Awan Setiawan,” *Kajian Keandalan Supply Daya Melalui Saluran Transmisi Di Pt Maspion I Buduran Dan Waru*’, *Jurnal Eltek*, Volume 05 Nomor 01, ISSN 1693-4024, April 2007
- Farzad Mohammadzadeh Shahir, (2012) ,” **Dynamic Modeling of UPFC based on Indirect Matrix Converter**” *Journal IEEE*, 978-1-4673-0934-9
- Jordi-Roger Riba Ruiz (2010), “*A Computer Model for Teaching the Dynamic Behavior of AC Contactors*” *Journal IEEE transactions on education*, VOL. 53, NO. 2, May 2010, pp 248-256
- J. S Setiadji, dkk,”*Analisa Gangguan Satu Fasa ke Tanah yang Mengakibatkan Sympathetic Trip pada Penyulang yang tidak Terganggu di PLN APJ Surabaya Selatan*”, *Jurnal sains Teknik Elektro* Vol. 6, No. 1.: 15 – 21, Maret 2006
- Muhammad Soleh, “*Desain Sistem SCADA Untuk Peningkatan Pelayanan Pelanggan Dan Efisiensi perasional Sistem Tenaga Listrik di APJ Cirebon*”, *IncomTech, Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol.5, no.1, ISSN 2085-4811, Januari 2014
- Nina Dahliana Nur,dkk, ” *Pemodelan Perlindungan Gardu Induk dari Sambaran Petir Langsung di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Ngimbang Lamongan*”, *Jurnal TEKNIK POMITS* Vol. 3 , No. 1 , ISSN: 2337-3539 , Tahun 2014
- Roger C.D, Robert F,” *Screening Requests For Distributed Generation Interconnections*,” **C I R E D** 20th International Conference on Electricity Distribution, Paper 0984, 8-11 June 2009