

STUDI SIMULASI TRANSIEN AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV DI YOGYAKARTA DENGAN BANTUAN EMTP

Slamet Hani¹, Mursid Sabdullah²

ABSTRACT

The transient over-voltage phenomenon in an electrical power system caused by weather factors for example rain, lightning and wind, as well as by technical factors for example switching, power electronic and electrical machines.

This research was conducted for at distributed transient over-voltage on a 20 kV, and 3 phase 4-wire system, due to thunder pounce. A simple way for the analysis uses EMTP program (Electromagnetic Transients Program) which is a simulation tool to this case (At 20 kV distribution line from Kentungan Power station to Kalasan-Yogyakarta).

The results show that transient over-voltage occurred along the distribution lines, and the voltages vary along the distribution line length and the location where the thunder struck.

Key Words: lightning surge, transient over-voltage, EMTP

INTISARI

Tegangan-lebih transien merupakan fenomena yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, baik yang disebabkan oleh faktor alam misalnya hujan, petir, angin serta kondisi cuaca lainnya yang mengganggu sistem tenaga listrik, maupun oleh faktor teknis misalnya pengoperasian *Circuit Breaker*, elektronika daya, dan mesin-mesin listrik.

Penelitian ini mempelajari tegangan lebih transien akibat sambaran petir pada saluran distribusi 20 kV 3-fase 4-kawat di Yogyakarta. Untuk mempermudah dalam proses analisis, telah digunakan program EMTP (*Electromagnetic Transients Program*) sebagai alat bantu untuk mensimulasikan proses terjadinya sambaran petir pada saluran tersebut.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan lebih transien terjadi di sepanjang saluran distribusi dengan nilai bervariasi, bergantung pada panjang saluran dan lokasi terjadi sambaran petir.

Kata Kunci : surja petir, tegangan lebih transien, EMTP

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak di daerah katulistiwa yang panas dan lembab, sehingga memiliki hari guruh per tahun yang sangat tinggi yaitu sekitar 180-260 hari per tahun (dari <http://www.petir.com/>). Kerapatan sambaran petir di Indonesia juga sangat besar, yaitu 12/km²/tahun, yang berarti pada setiap luas area 1 km² rata-rata menerima sambaran petir sebanyak 12 kali setiap tahunnya (dari <http://www.petir.com/>). Maka jaringan yang ada rawan dari sambaran petir.

Surja petir adalah faktor yang lebih dominan dalam menimbulkan tegangan lebih transien pada saluran tenaga listrik dengan tingkat tegangan di bawah 230 kV, dibandingkan dengan surja hubung. Sedangkan pada level tegangan 230 kV ke atas surja hubung merupakan

faktor yang lebih dominan dalam menimbulkan tegangan lebih transien dibandingkan faktor surja petir (Stevenson, 19-96).

Tegangan lebih transien adalah tegangan yang mempunyai amplitude sangat besar dan berlangsung sangat singkat. Surja petir adalah gejala tegangan lebih transien yang disebabkan sambaran petir. Tegangan lebih tersebut dapat merusak peralatan isolasi serta komponen-komponen di dalam sistem tenaga listrik, jika magnitudo tegangannya melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) peralatan isolasi serta komponen sistem tenaga listrik yang dipakai (Yuniarto, 2002).

Penelitian ini telah melakukan pengamatan dan analisis mengenai distribusi tegangan lebih transien yang terjadi pada saluran tenaga listrik 20 kV pada saat terjadi sambaran petir di dalam

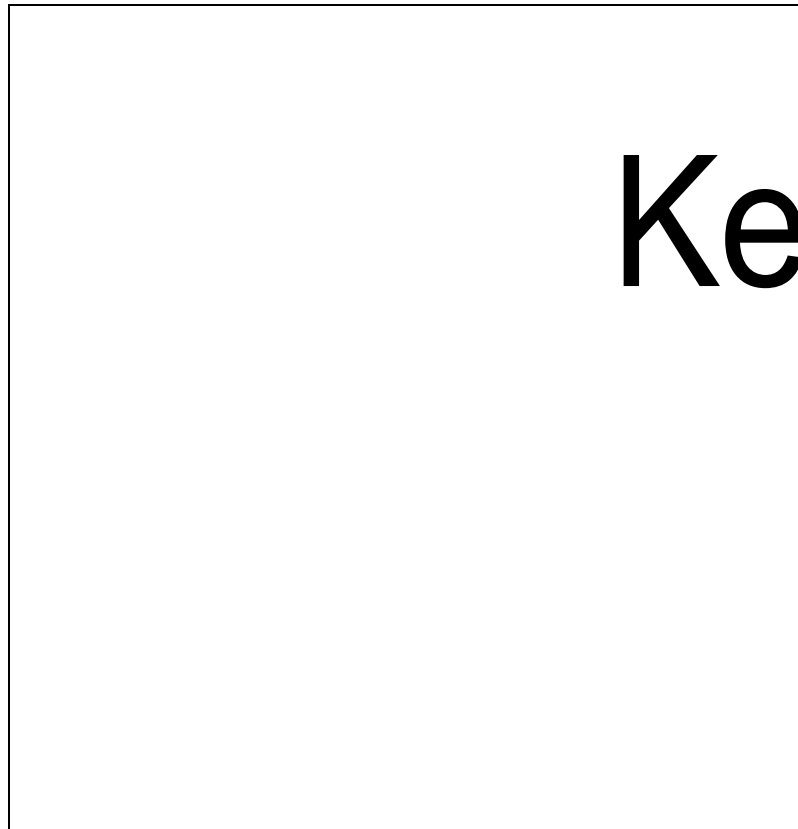
^{1,2} Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro, FTI, ISTA Yogyakarta

saluran itu, serta seberapa besar tegangan lebih transien yang timbul pada saluran fase yang lain apabila salah satu penghantar fasenya tersambar petir, dengan menggunakan bantuan EMTP.

EMTP sangat baik digunakan untuk analisis tegangan lebih transien yang diakibatkan oleh surja hubung dan surja petir karena program ini menyediakan fasilitas pemodelan untuk genera-

tor, pemutus tenaga, arrester, sumber surja petir dan pemodelan saluran tenaga listrik. (Dommel dan Herman, 1996).

Sebagai bahan kajian pada penelitian ini, telah digunakan data-data teknis dan parameter jaringan tegangan menengah 20 kV penyulang-1 GI Kentungan sampai Kalasan, Daerah Istimewa Yogyakarta (lihat gambar 1).



Gambar 1. Diagram satu garis penyulang kentungan-1

Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan oleh isolator dalam kurun waktu yang terbatas, seperti yang dikemukakan oleh Sirait dan Zorro (Samiyono, 2000). Tegangan lebih berdasarkan sumbernya, menurut IEC (*International Electro technical Commission*) dibedakan menjadi :

a. Tegangan lebih petir pada peralatan listrik baik sambaran langsung, sambaran tidak langsung, ataupun secara induksi.

- b. Tegangan lebih surja hubung baik akibat operasi penutupan maupun operasi pembukaan.
- c. Tegangan lebih sementara yang disebabkan oleh dari dalam sistem tenaga listrik (Arismunandar, 1994).

Magnitude tegangan lebih tersebut di atas sangat berpengaruh terhadap ketahanan bahan isolasi pada peralatan sistem tenaga listrik. Pada sistem tenaga listrik 20 kV dalam keadaan *steady state* batas tegangan maksimum yang masih diperbolehkan adalah 21 kV atau lebih 5% dari tegangan nominalnya, yang ber-

arti tegangan lebih yang terjadi tidak boleh melebihi 21 kV jika pada saluran tenaga listrik tersebut terjadi gangguan.

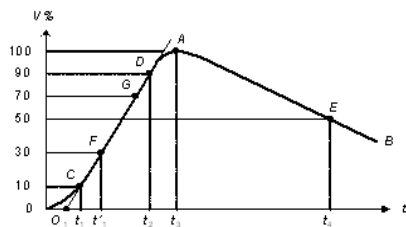
Bentuk gelombang surja petir dapat didefinisikan sebagai tegangan impuls yaitu, tegangan yang naik dalam waktu sangat singkat, disusul dengan penurunan menuju nol yang lambat. Penyelidikan melalui eksperimen menunjukkan gelombang mempunyai kenaikan waktu 0,5 sampai 10 μ s dan waktu hilang 50% dari nilai puncak pada nilai 30 sampai 200 μ s. Bentuk sebenarnya gelombang adalah sembarang, tetapi umumnya tak berarah, namun gelombang tegangan lebih petir dapat dimodelkan sebagai gelombang eksperimental yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (Arismunandar, 1994) :

$$V = V_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

dengan :

- V = tegangan osilasi
- Vo= tegangan sistem
- α dan β = konstanta yang diperoleh dari rangkaian (mikrodetik).

Umumnya bentuk gelombang dapat diberikan seperti pada Gambar 2. Gelombang impuls dispesifikasikan berdasarkan kenaikan waktu muka, dan waktu penurunan atau ekor sampai 50% dari nilai puncak tegangan. Rekaman data 1,2/50 μ s, 1000kV menunjukkan gelombang tegangan impuls dengan muka 1,2 μ s, waktu jatuh 50% dari nilai puncak pada waktu 50 μ s, dengan nilai puncak 1000kV.



Gambar 2 Model Bentuk Gelombang Impuls

Mengacu pada model bentuk gelombang Gambar 2, nilai puncak A adalah tetap dan diacu sebagai nilai 100%. Titik yang menghubungkan 10% dan

90% dari nilai puncak ditetapkan sebagai lokasi dari bagian muka (titik C dan D), garis penghubung titik berpotongan pada sumbu waktu di O₁. O₁ adalah sebagai tempat khayal origin.

Studi mengenai tegangan lebih transien akibat surja petir pada saluran distribusi adalah sangat kompleks, sehingga dalam penelitian ini hanya mempelajari kasus suatu saluran tanpa rugi-rugi. Suatu saluran tanpa rugi-rugi adalah representasi yang baik untuk saluran-saluran frekuensi tinggi ketika ωL dan ωC menjadi sangat besar dibandingkan R dan G. Untuk surja petir pada saluran daya, studi saluran tanpa rugi-rugi merupakan penyederhanaan yang memungkinkan untuk memahami beberapa gejala surja petir tanpa terlalu melibatkan diri pada teori-teori yang terlalu rumit.

Pendekatan yang dipakai adalah saluran panjang dengan konstanta-konstanta yang tersebar merata. Akan diukur jarak x sepanjang saluran dari ujung pengirim sampai ujung penerima ke dalam elemen diferensial dengan panjang Δx seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.

Tegangan V dan arus I adalah fungsi-fungsi x dan t bersama-sama, sehingga perlu digunakan turunan parsial, atas persamaan jatuh tegangan seri di sepanjang elemen saluran yaitu :

$$\frac{\partial V}{\partial x} \Delta x = \left[Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \right] \Delta x \quad (2)$$

demikian juga halnya :

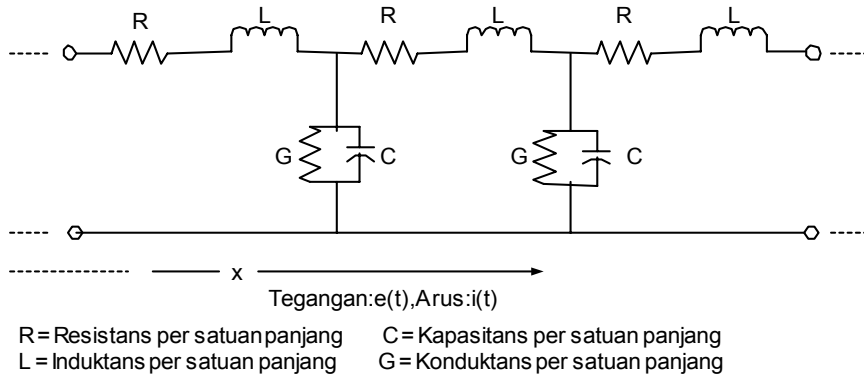
$$\frac{\partial V}{\partial x} \Delta x = \left[Gv + C \frac{\partial v}{\partial t} \right] \Delta x \quad (3)$$

Dua persamaan di atas dapat dibagi dengan Δx , dan karena hanya membahas suatu saluran tanpa rugi-rugi, maka R dan G akan sama dengan nol, sehingga didapatkan persamaan :

$$\frac{\partial V}{\partial x} = L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (4)$$

dan

$$\frac{\partial V}{\partial x} = C \frac{\partial v}{\partial t} \quad (5)$$



Gambar 3 Model suatu Saluran Transmisi

Sekarang variabel i dapat dihilangkan dengan menghitung turunan parsial kedua suku dalam persamaan (4) terhadap x dan turunan pada kedua suku pada persamaan (5) terhadap t . Prosedur ini menghasilkan $\frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t}$ pada kedua persamaan yang dihasilkan, dan dengan mengeliminasi turunan parsial kedua atas variabel kedua persamaan tersebut diperoleh:

$$\frac{1}{LC} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad (6)$$

Penyelesaian persamaan ini adalah fungsi dari $(x-vt)$, dan tegangannya dinyatakan dengan :

$$V = f_1(x - vt) + f_2(x + vt) \quad (7)$$

Kecepatan rambat gelombang = v dinyatakan dengan :

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

dengan :

v = kecepatan rambat gelombang (m/s)

L = induktans saluran (H/m)

C = kapasitans saluran (F/m).

Jika gelombang datang, dinyatakan dengan :

$$V^+ = f_L(x - vt) \quad (9)$$

Gelombang arus yang ditimbulkan oleh muatan-muatan yang bergerak dan dapat dinyatakan dengan :

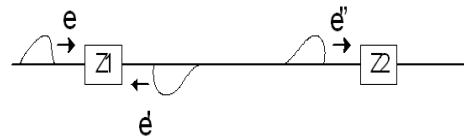
$$i^+ = \frac{1}{\sqrt{LC}} f_L(x - vt) \quad (10)$$

dari persamaan (9) dan persamaan (10) diperoleh bahwa :

$$\frac{v^+}{i^+} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (11)$$

Perbandingan antara V dan i dinamakan impedans karakteristik atau impedans surja (Z_C) untuk saluran tanpa rugi-rugi.

Gelombang berjalan yang berasal dari sumber/gelombang asal (*impinging wave*) disebut gelombang datang (*incident wave*) dan dua macam gelombang lain yang muncul pada titik transisi disebut dengan gelombang pantul (*reflected wave*) dan gelombang maju (*transmitted wave*). Gelombang-gelombang tersebut diilustrasikan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Gelombang pantul dan maju

Pada pembahasan ini akan diulas sifat gelombang berjalan pada saluran distribusi. Jika suatu saluran distribusi tersambar petir pada salah satu ujungnya, maka suatu gelombang tegangan V^+ mulai berjalan sepanjang saluran diikuti oleh suatu gelombang arus i^+ . Perbandingan antara V_R dan i_R di ujung saluran pada setiap saat harus sama dengan resistensi penutup Z_R . Oleh karena itu kedatangan V^+ dan i^+ di ujung penerima

dimana nilai-nilainya adalah V_R^+ dan i_R^+ akan menimbulkan gelombang-gelombang yang berjalan ke belakang atau gelombang-gelombang pantulan V^- dan i^- yang nilainya di ujung adalah V_R^- dan i_R^- sedemikian sehingga,

$$\frac{V_R^-}{i_R^-} = \frac{V_R^+ + V_R^-}{i_R^+ + i_R^-} \quad (12)$$

dengan V_R^- dan i_R^- adalah gelombang-gelombang V^- dan i^- yang diukur pada ujung penerima.

Jika dijadikan $Z_C = \sqrt{L/C}$ diperoleh dari persamaan (2.11) :

$$i_R^+ = \frac{V_R^+}{Z_C} \quad (13)$$

dan

$$i_R^- = -\frac{V_R^-}{Z_C} \quad (14)$$

Kemudian dengan memasukkan nilai i_R^+ dan i_R^- ke dalam persamaan (12) akan diperoleh persamaan :

$$V_R^+ = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C} V_R^+ \quad (15)$$

Koefisien pantulan ρ_R untuk tegangan pada ujung penerima didefinisikan sebagai V_R^-/V_R^+ , jadi :

$$\rho_R = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C} \quad (16)$$

dengan :

- ρ_R = koefisien pantulan pada ujung penerima
- Z_R = impedans ujung penerima
- Z_C = impedans karakteristik (impedans surja).

Harus diperhatikan di sini bahwa gelombang-gelombang yang berjalan kembali ke arah ujung pengirim akan menyebabkan pantulan-pantulan baru yang ditentukan oleh koefisien pantulan pada ujung pengirim ρ_S dan impedans ujung pengirim Z_R .

$$\rho_S = \frac{Z_S - Z_C}{Z_S + Z_C} \quad (17)$$

dengan :

- ρ_S = koefisien pantulan pada

ujung pengiriman

Z_S = impedans ujung pengiriman

Z_C = impedans karakteristik

(impedans surja).

Oleh karena itu pemasangan reaktor pada ujung pengiriman selain berpengaruh pada nilai impedans surja (Z_C) juga berpengaruh pada nilai impedans pengirim (Z_R), sehingga hubungan antara nilai induktans reaktor dan tegangan lebih transien yang terjadi tidak akan linear.

Metodologi dan prosedur simulasi pada makalah ini menggunakan perangkat-lunak EMTP. EMTP (*Electromagnetic Transients Program*) adalah suatu paket program komputer terintegrasi yang secara khusus didesain untuk menyelesaikan permasalahan peralihan (*transient*) pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian terkonsentrasi, rangkaian terdistribusi, atau kombinasi dari kedua rangkaian tersebut.

Program ini pertama kali dikembangkan oleh H.M. Dommel di *Munich Institute of Technology* pada tahun 1960-an. H.M. Dommel melanjutkan pekerjaan tersebut di BPA (*Bonneville Power Administration*) dan bekerja sama dengan S. Meyer. Sekitar tahun 1980, EMTP menjadi program yang diminati oleh banyak perusahaan listrik.

Seperti telah disebutkan diatas, EMTP lebih ditekankan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan peralihan pada sistem tenaga listrik, namun demikian EMTP juga dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan tenaga listrik dalam keadaan tunak (*steady state*) EMTP menjadi sangat baik jika digunakan untuk menganalisis transien pada operasi surja hubung (*switching surge*) atau surja petir (*lightning surge*) karena program ini secara khusus menyediakan fasilitas pemodelan untuk generator, *circuit breaker*, transformator, sumber surja petir dan pemodelan berbagai jenis saluran sistem tenaga listrik.

Pengamatan distribusi tegangan lebih transien dilakukan dengan mensimulasikan kondisi jaringan pada saat terjadi sambaran petir di salah satu saluran fasanya. Sumber surja menggunakan sumber tegangan 35 kV dengan bentuk gelombang 1.2/50 μ s (*IEEE - Trans. Po-*

wer Delivery, vol. 12, No. 3, July 1997, pp. 0855-8977.)

Dalam melakukan simulasi pertama-tama membuat rangkaian model dengan menggunakan EMTP. Rangkaian model yang dibuat dibatasi dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

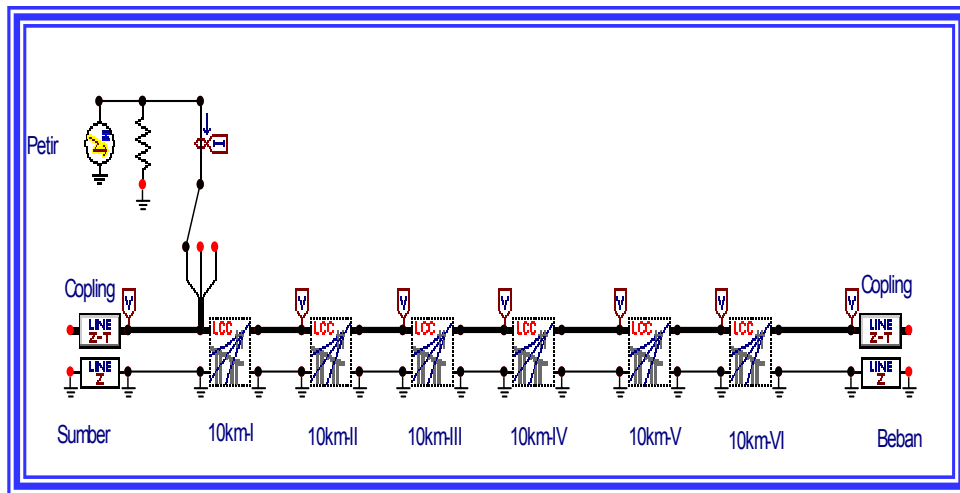
1. Parameter penghantar tersebut merata di sepanjang saluran distribusi.
2. Variabel R dan G diabaikan.

3. Sambaran petir terjadi pada salah satu penghantar fase.

4. Simulasi dengan memvariasikan posisi sambaran petir pada setiap 10 km.

5. Dilakukan pengukuran tegangan sepanjang saluran tersebut.

Gambar rangkaian model EMTP untuk simulasi dalam makalah ini sesuai dengan Gambar 5 berikut ini.

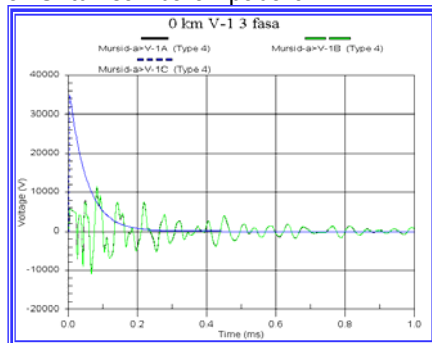


Gambar 5 Model Rangkaian untuk Simulasi

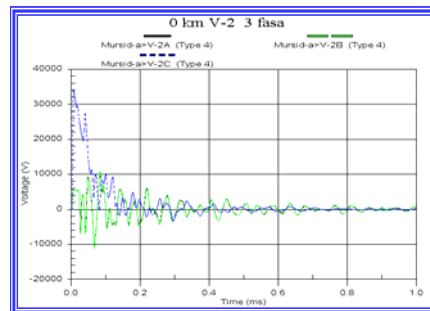
PEMBAHASAN

Simulasi sambaran petir dilakukan pada 0 km, 10 km, 20 km, 30 km, 40 km, 50 km dan 60 km kemudian diukur tegangan yang terjadi di semua lokasi tersebut, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

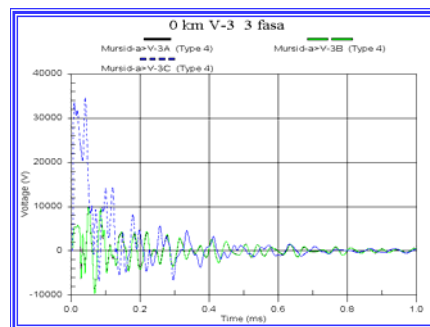
a. Untuk sambaran pada 0 km



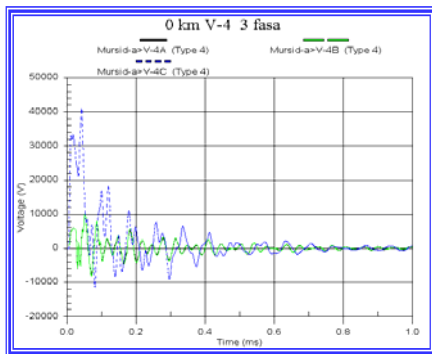
Gambar 6 Profil Tegangan V-1



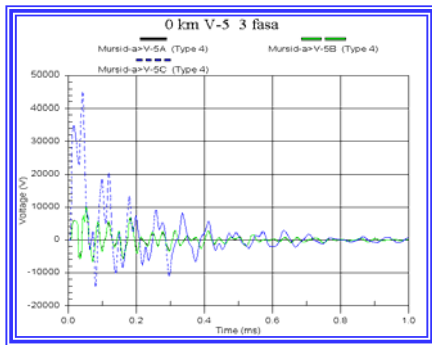
Gambar 7 Profil Tegangan V-2



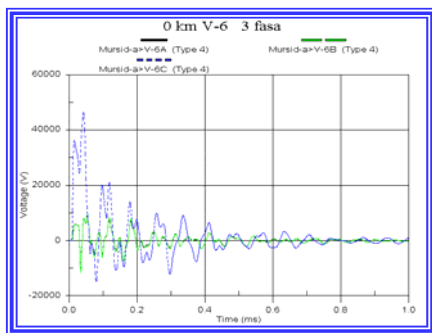
Gambar 8 Profil Tegangan V-3



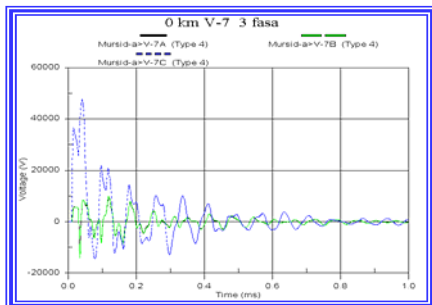
Gambar 9 Profil Tegangan V-4



Gambar 10 Profil Tegangan V-5



Gambar 11 Profil Tegangan V-6



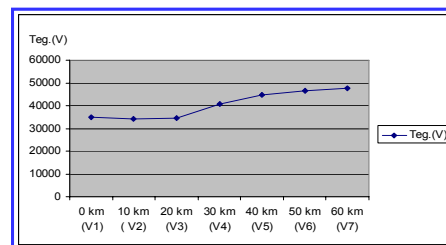
Gambar 12 Profil Tegangan V-7

Tabel 1. Besar Tegangan untuk Semua Volt meter pada Sambaran di 0 km

Lokasi Volt-meter	Tegangan (volt)			
	Min	Max	Avg	RMS
V-1A	-10538.6	11020.8	1783.99	2697.17
V-1B	-10936.9	11611.3	1821.37	2775.07
V-1C	0	35000	1810.09	5704.63
V-2A	-10610.3	10098	1556.34	2410.04
V-2B	-11102	10713.6	1601.42	2487.26
V-2C	-3393.87	34253	2220	5985.18
V-3A	-9106.66	9851.28	1324.74	2127
V-3B	-9613.8	9729.51	1375.19	2205.47
V-3C	-6803.02	34612.4	2802.72	6554.33
V-4A	-7747.93	10192.7	1164.26	1946.61
V-4B	-8228.91	10231.9	1222.89	2030.22
V-4C	-11399.8	40801.8	3395.31	7225.94
V-5A	-6172.99	10397.4	1159.18	1960.75
V-5B	-6631.09	10545.3	1228.78	2052.67
V-5C	-14096.8	44890.9	3945	7893.34
V-6A	-11118.4	9209.62	1301.59	2193.41
V-6B	-11572.4	9582.42	1364.7	2287.3
V-6C	-14736.8	46520.9	4493.91	8523.04
V-7A	-14045.7	9671.62	1515.27	2484.87
V-7B	-14142.7	10127.2	1577.15	2571.07
V-7C	-14326.2	47630	5025.73	9103.78
I-1C	-158.592	167.92	24.9083	39.0329

Tabel 2 Besar Tegangan Puncak Fase yang Tersambar untuk Sambaran di 0 km

No.	Lokasi Pengukuran	Tegangan Puncak (volt)
1	0 km (V-1)	35000
2	10 km-I (V-2)	34253
3	10 km-II (V-3)	34612.4
4	10 km-III (V-4)	40801.8
5	10 km-IV (V-5)	44890.9
6	10 km-V (V-6)	46520.9
7	10 km-VI (V-7)	47630

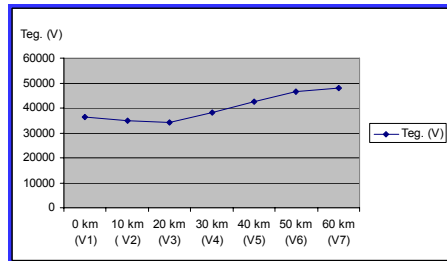


Gambar 13 Grafik Hubungan antara Besar Tegangan Puncak dengan Jarak Pengukuran

b. Untuk sambaran pada 10 km-I

Tabel 3. Besar Tegangan Puncak Fase yang Tersambar untuk Sambaran di 10 km-I

No.	Lokasi Pengukuran	Tegangan Puncak (V)
1	0 km (V-1)	36329
2	10 km-I (V-2)	35000
3	10 km-II (V-3)	34251.3
4	10 km-III (V-4)	38206.4
5	10 km-IV (V-5)	42576
6	10 km-V (V-6)	46529.1
7	10 km-VI (V-7)	48121.3

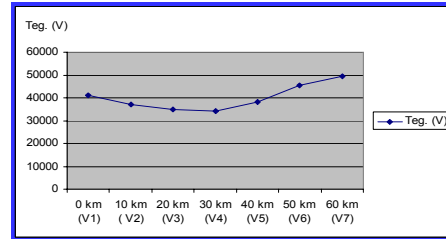


Gambar 14 Grafik Hubungan antara Besar Tegangan Puncak dengan Jarak Pengukuran

c. Untuk sambaran pada 10 km-I

Tabel 4. Besar Tegangan Puncak Fase yang Tersambar untuk Sambaran di 10 km-I

No.	Lokasi Pengukuran	Tegangan Puncak (V)
1	0 km (V-1)	41003.1
2	10 km-I (V-2)	37228.9
3	10 km-II (V-3)	35000
4	10 km-III (V-4)	34254.6
5	10 km-IV (V-5)	38214.6
6	10 km-V (V-6)	45430.5
7	10 km-VI (V-7)	49620.2

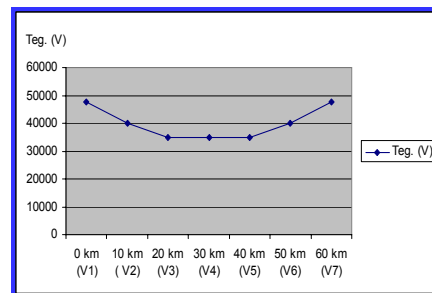


Gambar 15 Grafik Hubungan antara Besar Tegangan Puncak dengan Jarak Pengukuran

d. Untuk sambaran pada 10 km-III

Tabel 5. Besar Tegangan Puncak Fase yang Tersambar untuk Sambaran di 10 km-III

No.	Lokasi Pengukuran	Tegangan Puncak (V)
1	0 km (V-1)	47759.4
2	10 km-I (V-2)	39843.6
3	10 km-II (V-3)	35065.8
4	10 km-III (V-4)	35000
5	10 km-IV (V-5)	35065.8
6	10 km-V (V-6)	39843.6
7	10 km-VI (V-7)	47759.4

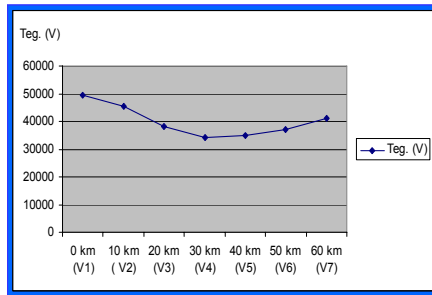


Gambar 16 Grafik Hubungan antara Besar Tegangan Puncak dengan Jarak Pengukuran

e. Untuk sambaran pada 10 km-IV

Tabel 6. Besar Tegangan Puncak Fase yang Tersambar untuk Sambaran di 10 km-IV

No.	Lokasi Pengukuran	Tegangan Puncak (V)
1	0 km (V-1)	49620.2
2	10 km-I (V-2)	45430.5
3	10 km-II (V-3)	38214.6
4	10 km-III (V-4)	34254.6
5	10 km-IV (V-5)	35000
6	10 km-V (V-6)	37228.9
7	10 km-VI (V-7)	41003.1

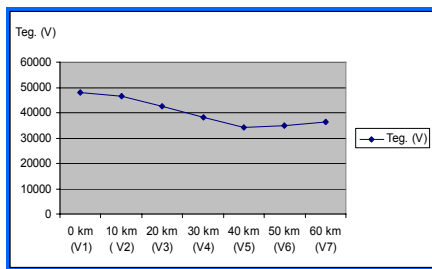


Gambar 17 Grafik Hubungan antara Besar Tegangan Puncak dengan Jarak Pengukuran

f. Untuk sambaran pada 10 km-V

Tabel 7. Besar Tegangan Puncak Fase yang Tersambar untuk Sambaran di 10 km-V

No.	Lokasi Pengukuran	Tegangan Puncak (V)
1	0 km (V-1)	48121.3
2	10 km-I (V-2)	46529.1
3	10 km-II (V-3)	42576
4	10 km-III (V-4)	38206.4
5	10 km-IV (V-5)	34251.3
6	10 km-V (V-6)	35000
7	10 km-VI (V-7)	36329



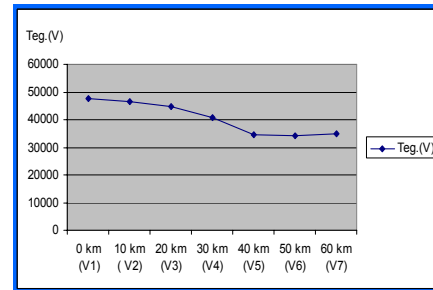
Gambar 18 Grafik Hubungan antara Besar Tegangan Puncak dengan Jarak Pengukuran

g. Untuk sambaran pada 10 km-VI

Tabel 8. Besar Tegangan Puncak Fase yang Tersambar untuk Sambaran di 10 km-VI

No.	Lokasi Pengukuran	Tegangan Puncak (V)
1	0 km (V-1)	47630
2	10 km-I (V-2)	46520.9
3	10 km-II (V-3)	44890.9

4	10 km-III (V-4)	40801.8
5	10 km-IV (V-5)	34612.4
6	10 km-V (V-6)	34253
7	10 km-VI (V-7)	35000



Gambar 19 Grafik Hubungan antara Besar Tegangan Puncak dengan Jarak Pengukuran

KESIMPULAN

Besarnya tegangan lebih transien pada saluran, nilainya bervariasi bergantung panjang saluran dan lokasi sambaran petir.

Tegangan Transien terkecil terdapat di V-3 untuk lokasi sambaran di 0 km dan V-5 untuk lokasi sambaran di 10 km-VI.

Tegangan Transien terbesar terdapat di V-7 untuk lokasi sambaran di 10 km-II V-1 untuk lokasi sambaran di 10 km-IV.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A., 1994, *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Dommel, and W., Herman, 1996, *Electromagnetic Transient Program*, Vancouver, Canada.
- IEEE - Trans. Power Delivery*, vol. 12, No. 3, July 1997, pp. 0855-8977
- <http://www.petir.com/>
- Samiyono, 2000 (???)
- Stevenson, W.D., Jr., 1996, *Power System Analysis*, International Edition Singapore.
- Yuniarto, 2002, "Analisis Tegangan Lebih Transien Karena Proses Pemberian Tenaga Pada Saluran Transmisi 500 kV Dengan Menggunakan EMTP. (???)