

Impedansi Implus Sistem Pembumian Menara Transmisi 150 KV Dengan Simulasi PSPICE

Managam Rajagukguk

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Tanjungpura
e-mail : managamrajagukguk@yahoo.co.id

Abstrak- Sambaran Petir pada menara transmisi 150 KV dapat mempengaruhi nilai induktansi (L) dan kapasitansi (C) akibat arus impuls dengan frekuensi tinggi sampai orde kHz, sehingga nilai impedansinya tidak hanya ditentukan oleh komponen resistifnya saja melainkan juga dipengaruhi oleh komponen induktif dan komponen kapasitif. Dari analisa yang dilakukan pada SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) 150 KV line Siantan – Parit Baru PT. PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat untuk asumsi arus petir maksimum 20 kA dan memperhitungkan kondisi tanah disekitar sistem pembumian di kaki menara masih terdapat nilai impedansi impuls sistem pembumian kaki menara yang melebihi standart yang diijinkan. Dari hasil analisa pada menara transmisi yang mempunyai tahanan kaki menara (Resistansi DC) sebesar 2,8 (untuk tanah basah), 3,8 (untuk tanah lembab), 6,2 (untuk tanah kering) mempunyai impedansi impuls pembumian masing-masing sebesar 9,56 (untuk tanah basah), 14,037 (untuk tanah lembab) dan 22,938 (untuk tanah kering)

Kata kunci- Sambaran petir, tahanan kaki menara, impedansi impuls pembumian.

1. Pendahuluan

Sambaran petir merupakan salah satu penyebab gangguan yang cukup banyak terjadi dalam sistem tenaga listrik dan paling sering mengenai saluran transmisi. Sambaran petir ini merupakan sumber arus impuls berfrekuensi tinggi yang dampaknya akan sangat fatal apabila mengenai peralatan listrik. Oleh karena itulah diperlukan suatu sistem perlindungan yang baik sehingga dampak buruk yang diakibatkan oleh sambaran petir tersebut dapat dikurangi dan dihilangkan. Sistem perlindungan pada saluran transmisi dilakukan dengan pembuangan arus petir ke tanah melalui sistem pembumian. Sistem pembumian yang umumnya digunakan berupa elektroda batang tunggal yang ditanam ke dalam bumi.

Selama ini desain sistem pembumian umumnya hanya memperhitungkan nilai resistansinya saja.^[8] Resistansi DC pembumian ini biasa diukur dengan menginjeksikan arus DC atau frekuensi rendah pada elektroda pembumian. Umumnya sistem pembumian dianggap baik jika nilai resistansinya rendah di bawah 5 ohm.^[8] Dengan hanya mempertimbangkan nilai resistansi pembumian saja sebenarnya masih kurang tepat, karena pada kondisi yang sebenarnya sistem pembumian akan

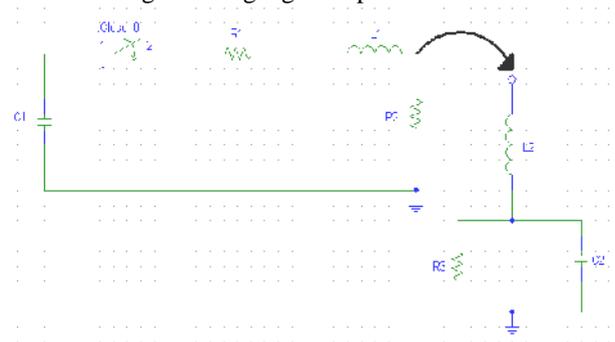
berfungsi untuk menghilangkan dengan cara membumikan tegangan dan arus lebih impuls, baik impuls yang diakibatkan sambaran petir maupun akibat switching.

Jika pada suatu elektroda pembumian yang dialiri arus impuls berfrekuensi tinggi (orde waktu dalam mikro detik), selain komponen resistansinya komponen induktansi (L) dan kapasitansi (C) juga harus diperhitungkan. Perhitungan seperti ini yang disebut sebagai perhitungan impedansi impuls pembumian yang mempertimbangkan komponen L dan C dari elektroda pembumian selain komponen resistansinya (R). Secara umum sistem pembumian yang baik mempunyai impedansi impuls pembumian yang kecil karena akan mempercepat pembuangan arus impuls sambaran petir.

Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan menginjeksikan tegangan impuls keelektroda batang tunggal pembumian. Tegangan impuls ini dihasilkan dari pembangkit impuls yang mempunyai karakter hampir sama dengan impuls petir. Dengan diperoleh tegangan impuls injeksi dan arus impuls injeksi keelektroda pembumian maka nilai impedansi impuls diperoleh dengan membagi nilai tegangan impuls puncak dengan nilai arus impuls puncak. Simulasi pembangkitan dan penginjeksian tegangan impuls dan arus impuls dilakukan dengan alat bantu komputer dan bahasa program PSPICE.

2. Teori Dasar

2.1. Pembangkitan Tegangan Impuls



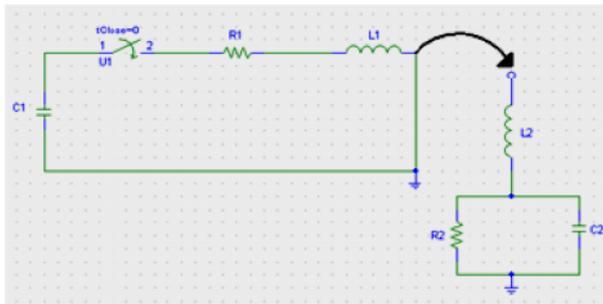
Gambar 1. Rangkaian untuk membangkitkan gelombang tegangan impuls

Rangkaian sederhana pembangkit tegangan impuls berupa kapasitor yang diisi dengan sumber tegangan DC, kemudian saklar S ditutup dengan cepat sehingga

muatan dibuang melalui rangkaian L dan R seperti gambar 1 di atas.

2.2. Rangkaian Pembangkit Arus Impuls

Untuk membangkitkan arus impuls, dibutuhkan suatu sistem penyimpanan energi yang dapat diluahkan dengan daya yang lebih besar dari pada yang diperlukan untuk mengisi karena daya yang diserap dari sumber biasanya tidak mencukupi untuk menghasilkan suatu arus impuls dengan amplitudo dan bentuk yang diinginkan.



Gambar 2. Rangkaian untuk membangkitkan gelombang arus impuls

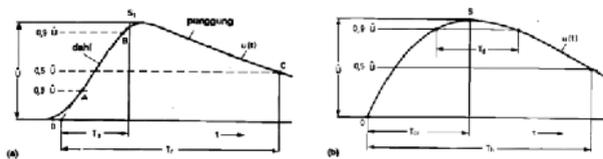
Tegangan yang naik dalam waktu singkat akan disusul dengan penurunan yang lambat menuju nol, dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = V_0(e^{-at} - e^{-bt}) \dots\dots\dots (1)$$

Bentuk gelombang semacam ini mudah dibuat, yaitu dengan menetapkan konstanta *a* dan *b*. Harga maksimumnya disebut harga puncak (*peak* atau *crest*) dari tegangan impuls. Definisi muka gelombang (*wave front*) dan ekor gelombang (*wave tail*) ditetapkan dengan standar tertentu, sehingga kesukaran untuk menetapkan permulaan gelombang dan puncak gelombang impuls dapat diatasi.

2.3. Parameter-Parameter Tegangan Impuls.

Tegangan lebih impuls yang hampir sama dengan tegangan sambaran petir dibutuhkan waktu sekitar 1 mikro detik untuk mencapai nilai puncak, tegangan lebih seperti ini disebut sebagai tegangan lebih luar atau atmosfer. Sedangkan tegangan lebih dalam yang dihasilkan dari proses pembukaan ataupun penutupan saklar pada rangkaian kerja tegangan tinggi, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai puncak paling sedikit sekitar 100 mikro detik.^[5]

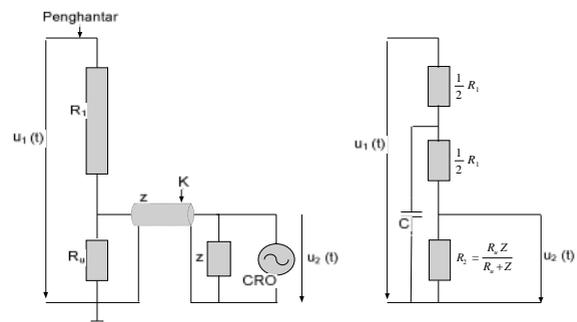


Gambar 3. Parameter tegangan uji impuls standard
a. tegangan impuls petir
b. tegangan impuls pensaklaran

Tegangan impuls petir dinyatakan dengan bentuk $1,2/50 \mu s$ yang berarti suatu tegangan impuls mempunyai nilai $T_s = 1,2 \mu s \pm 30\%$ dan $T_r = 50 \mu s \pm 20\%$. Untuk pengujian dengan tegangan impuls pensaklaran (*switching*) sering digunakan bentuk gelombang impuls $250/2500 \mu s$ yang berarti bahwa nilai waktu muka sebesar $T_{cr} = 250 \mu s \pm 20\%$ dan waktu ekornya sebesar $T_h = 2500 \mu s \pm 60\%$.

2.4. Pengukuran Tegangan Impuls

Salah satu pengukuran tegangan tinggi impuls dapat dilakukan dengan resistif *voltage divider* atau pembagi tegangan resistif. Dalam sistem pengukuran dengan pembagi tegangan resistif (gambar 2.a) sebaiknya kabel ukur *K* dihubungkan pada CRO dengan impedansi surja *Z* sehingga membebani pembagi dengan resistansi efektif yang sama. Gangguan terpenting dari perilaku ideal pembagi diakibatkan oleh kapasitansi bumi dari cabang tegangan tinggi *R*. Kapasitansi bumi ini didekati dengan kapasitansi *C* ditunjukkan pada (gambar 4) yang dihubungkan di tengah-tengah R_1 .



Gambar 4. Sistem Pengukuran tegangan impuls dengan pembagi resistif

2.5. Elektroda Pembumian.

2.5.a. Sistem Pembumian Yang Sering Digunakan Pada Menara Transmisi

Dalam praktek di lapangan pembumian vertikal pada menara transmisi menggunakan bentuk dengan satu atau dua elektroda pembumian dan maksimum sampai empat elektroda, dengan ujung atas elektroda selalu diparalelkan satu sama lain. Untuk pembumian vertikal yang menggunakan lebih dari empat elektroda, maka cara yang telah dijelaskan di atas tidak dapat digunakan untuk menghitung induktansinya.

Dalam penulisan ini hanya dibahas sistem pembumian vertikal yang menggunakan dua elektroda pembumian dengan ujung atas elektroda diparalelkan satu sama lain, sesuai dengan kondisi yang ada di jaringan transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat.



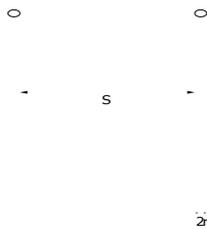
Gambar 5. Arus yang mengalir pada satu elektroda pembumian di dalam tanah

Dimana,

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \frac{2 \cdot l}{d} \right] \text{ Ohm (2)}$$

$$L = 2l \left[\ln \frac{4 \cdot l}{d} 10^{-7} \right] \text{ Henry (3)}$$

$$C = \frac{\rho \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0}{R} \text{ Farad (4)}$$



Gambar 6. Sistem pembumian dengan 2 elektroda

Dimana,

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \frac{2 \cdot l}{\sqrt{a \cdot r}} \right] \text{ Ohm (5)}$$

$$L = 2l \left[\ln \frac{4 \cdot l}{\sqrt{a \cdot r}} 10^{-7} \right] \text{ Henry (6)}$$

$$C = \frac{\rho \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0}{R} \text{ Farad (7)}$$



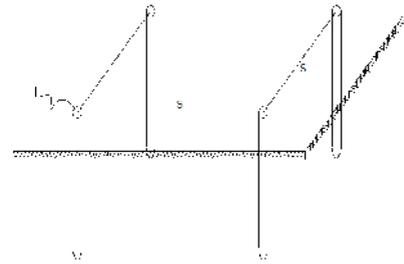
Gambar 7. Sistem pembumian dengan 3 elektroda

Dimana,

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \frac{2 \cdot l}{\sqrt[3]{a^2 \cdot r}} \right] \text{ Ohm (8)}$$

$$L = 2l \left[\ln \frac{4 \cdot l}{\sqrt[3]{a^2 \cdot r}} 10^{-7} \right] \text{ Henr (9)}$$

$$C = \frac{\rho \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0}{R} \text{ Farad (10)}$$



Gambar 8. Sistem pembumian dengan 4 elektroda

Dimana,

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \frac{2 \cdot l}{\sqrt[4]{2 \frac{1}{2} \cdot a^3 \cdot r}} \right] \text{ Ohm (11)}$$

$$L = 2l \left[\ln \frac{4 \cdot l}{\sqrt[4]{2 \frac{1}{2} \cdot a^3 \cdot r}} 10^{-7} \right] \text{ Henry (12)}$$

$$C = \frac{\rho \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0}{R} \text{ Farad (13)}$$

R = Tahanan pembumian elektroda batang (Ohm)

L = Induktansi pembumian elektroda batang (Henry)

C = Kapasitansi pembumian elektroda batang (Farad)

l = Panjang batang yang di tanam (m)

r = Jari-jari elektroda batang pembumian (m)

a/s = Jarak antara batang pembumian (m)

ρ = Tahan jenis tanah (Ohm – meter)

ε_o = Permittivitas ruang hampa (F/m)

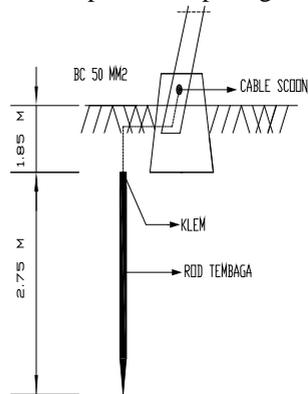
ε_r = Permittivitas relatif dari bumi terhadap ruang hampa (F/m)

2.5b. Sistem Pembumian Menara Transmisi 150 kV PT.PLN (Persero) Wilayah Kalimantan-Barat. ⁽⁸⁾

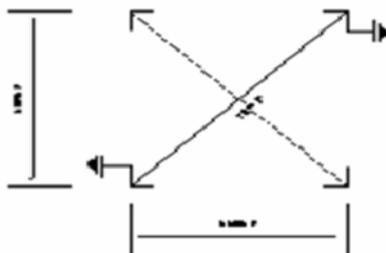
Pada sistem pembumian menara transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat menggunakan pembumian vertikal yaitu pembumian dengan menanamkan batang-batang konduktor secara tegak lurus kedalam tanah. Batang konduktor yang ditanam bisa terdiri dari satu atau lebih elektroda pembumian, dengan ujung atas elektroda pembumian sejajar dengan permukaan tanah atau mempunyai kedalaman tertentu dari permukaan tanah.

Untuk mengetahui struktur pembumian pada menara transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat yang terdiri dari dua batang Gambar 9 Rangkaian untuk membangkitkan gelombang tegangan impuls pembumian yang tegak lurus dapat dilihat pada data dan gambar di bawah ini :

- ❖ Model menara yang digunakan sebagai penopang jaringan transmisi tersebut adalah model sirkit ganda vertikal dengan dua kawat tanah
- ❖ Panjang total dari jaringan transmisi tersebut adalah 16,5 km dengan jarak antara menara rata-rata 306,6 m. Jenis penampang yang digunakan adalah ACSR (*Aluminum Conductor Steel Reinforced*) 240 mm² / 40 mm² untuk kawat fasa dan GSW (*Ground Steel Wire*) 50 mm² untuk kawat tanah
- ❖ Jenis pembumian yang digunakan adalah pembumian jenis batang (*Rod*) yang terbuat dari bahan tembaga berbentuk pejal dengan diameter 0,016 m dan panjang 2,75 m. Detail dari model pembumian dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 9. Sistem pembumian dengan 2 elektroda yang digunakan



Gambar 10. Detail Grounding

2.6. Rangkaian Ekuivalen Pembumian

Dalam penulisan ini, induktansi elektroda pembumian diabaikan dan diterapkan persamaan *Maxwell* dengan input sinusiodal dan eksponensial. Misalkan suatu elektroda setengah bola berjari-jari *r* ada dalam bumi yang mempunyai konduktivitas σ dan konstanta dielektrik *k* serta arus pengosongan I_0 menuju arah tanah, maka pada suatu titik dalam medium, rapat arus *J* dan kuat medan listrik *E* pada suatu medan yang berubah dengan waktu dihubungkan oleh persamaan berikut :

$$J = \sigma E + k \frac{dE}{dt}$$

a) Masukan Sinusoidal

Jika arus masukan berbentuk $e^{j\omega t}$, maka kuat arus medan listrik juga akan berbentuk $e^{j\omega t}$.

$$J = \sigma E + k j \omega E = E (\sigma + k j \omega) \dots\dots\dots (14)$$

$$E = J / (\sigma + k j \omega)$$

$$J = I_0 / (2 \pi x^2), \text{ pada jarak } x \dots\dots\dots (15)$$

Kuat medan listrik E_x pada jarak *x* dan tegangan *V* dari elektroda terhadap bumi yang jauh :

$$E_x = \frac{I_0}{2 \cdot \pi \cdot x^2 (\sigma + k \cdot j \cdot \omega)}, \text{ dan } \dots\dots\dots (16)$$

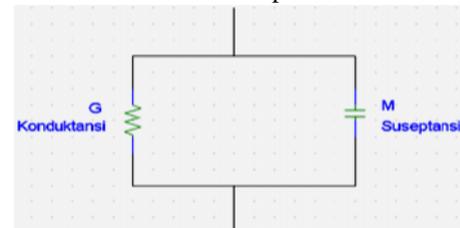
$$V = \int_r^\infty E_x \cdot dx$$

$$V = \frac{I_0}{2 \cdot \pi \cdot r (\sigma + k \cdot j \cdot \omega)} \dots\dots\dots (17)$$

Jadi *Y* (admitansi) adalah

$$Y = I_0 / V = 2 \pi r \sigma + j \omega 2 \pi k r \dots\dots\dots (18)$$

= Konduktansi + Suseptansi



Gambar 11. Rangkaian ekuivalen konduktansi dan suseptansi

b) Masukan Eksponensial

Jika arus masukan berbentuk $e^{-t/T}$, maka bentuk kuat medan listrik juga sama. Jadi,

$$J = \sigma E - \frac{kE}{T} \dots\dots\dots (19)$$

Kuat medan listrik E_x pada jarak *x* dan tegangan *V* dari elektroda terhadap bumi:

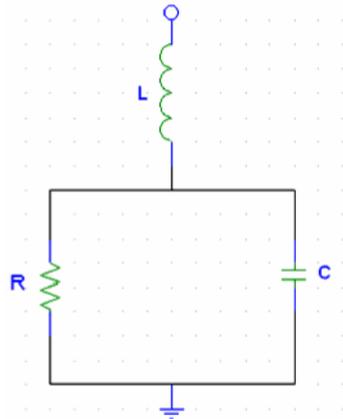
$$E_x = \frac{J_x}{(\sigma - k/T)} = \frac{I_0}{2\pi x^2 (\sigma - k/T)} \dots\dots\dots (20)$$

$$V = \int_r^\infty E_x \cdot dx$$

$$V = \frac{I_0}{2\pi r (\sigma - k/T)} \dots\dots\dots (21)$$

Dari persamaan, tampak bahwa untuk kasus frekuensi daya dan resistivitas umum, bumi bersifat seperti tahanan murni (tahanan DC), hasil perkalian *k.w* sangat kecil ($k = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} \times$ konstanta dielektrik bumi terhadap udara bebas).

Jadi untuk suatu peluahan (*discharge*) kebumi yang sangat cepat, seperti tampak pada persamaan arus perpindahan yang melalui kapasitansi tanah akan paralel dengan arus konduksi yang melalui tahanan, dan bersama induktansi diri dari kedua arus ini melalui elektroda menghasilkan suatu rangkaian ekuivalen seperti gambar di bawah ini :



Gambar 12. Rangkaian pengganti elektroda pbumian

2.7. Impedansi Impuls Pbumian

Kita definisikan perbandingan tegangan dengan arus sebagai impedansi, yang bersimbol huruf Z. Nilai impedansi ditentukan dengan membagi nilai tegangan puncak dengan nilai arus puncak, sehingga diperoleh formulasi sebagai berikut :

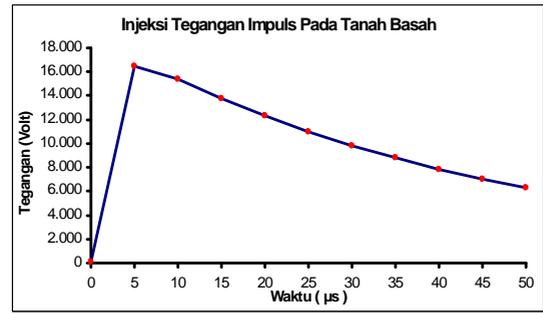
$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (20)$$

3. Hasil Penelitian.

Sistem pbumian menara transmisi 150 kV PT.PLN (Persero) menggunakan dua (2) batang vertikal sehingga perhitungan nilai R,L,C masing – masing untuk tanah basah, lembab dan kering yang ditandai dengan nilai tahanan jenis tanah digunakan persamaan (5),(6) dan (7) . Nilai tersebut di masukkan ke dalam rangkaian pengganti elektroda pbumian kemudian disimulasikan menggunakan software PSPICE sesuai rangkaian pembangkit tegangan dan arus impuls sehingga didapat bentuk gelombang tegangan dan arus impuls yang mengalir di elektroda pbumian . Bentuk gelombang impedansi impuls diperoleh dengan membagi bentuk gelombang tegangan impuls dengan bentuk gelombang arus impuls dengan bantuan software EXCEL.

Tabel 1. Hasil perhitungan tahanan jenis tanah (ρ), tahanan pbumian vertikal (R), induktansi pbumian vertikal (L), dan kapasitansi pbumian vertikal (C)

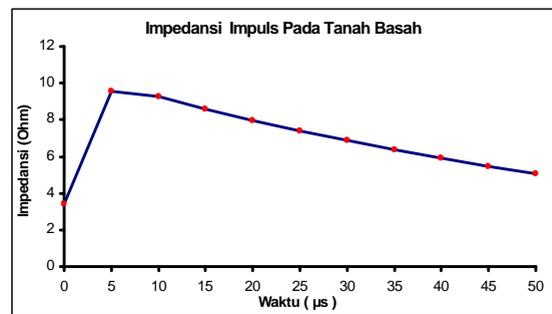
No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ρ)	Tahanan Pbumian Vertikal (R)	Induktansi Pbumian Vertikal (L)	Kapasitansi Vertikal Pbumian (C)
1	Tanah Basah	60,96 Ω m	10,91 Ω	1,7 μ H	3,464 nF
2	Tanah Lembab	89,09 Ω-m	15,94 Ω	1,7 μ H	0,45 nF
3	Tanah Kering	145,36 Ω m	26 Ω	1,7 μ H	0,198 nF



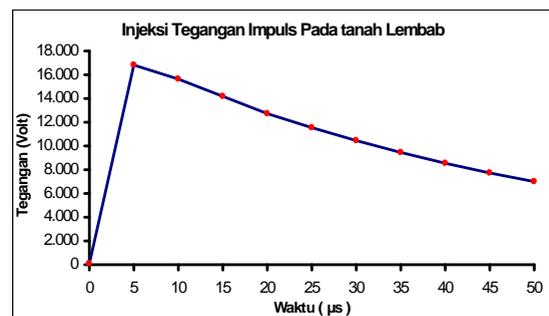
Gambar 13. Grafik hasil simulasi untuk rangkaian elektroda pbumian dengan injeksi tegangan impuls pada keadaan tanah basah



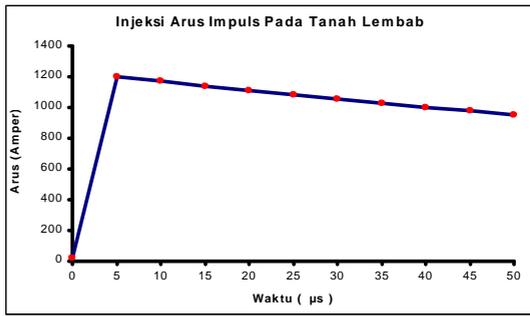
Gambar 14. Grafik hasil simulasi untuk rangkaian elektroda pbumian dengan injeksi arus impuls pada keadaan tanah basah



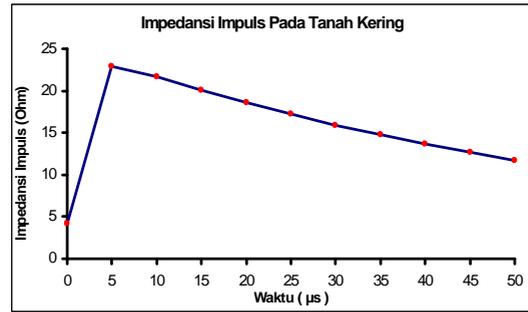
Gambar 15. Grafik hasil impedansi impuls pbumian pada keadaan tanah basah



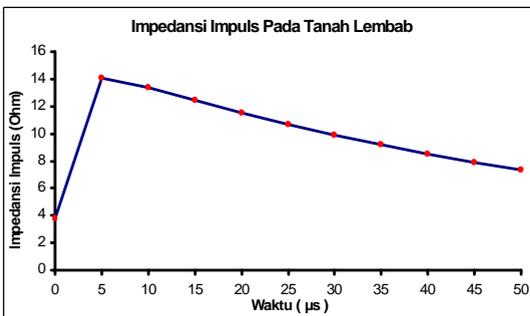
Gambar 16. Grafik hasil simulasi untuk rangkaian elektroda pbumian dengan injeksi tegangan impuls pada keadaan tanah lembab



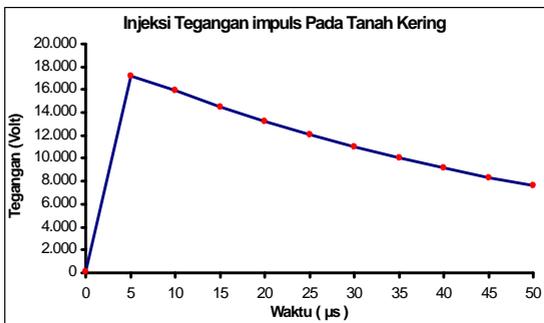
Gambar 17. Grafik hasil simulasi untuk rangkaian elektroda pbumian dengan injeksi arus impuls pada keadaan tanah lembab



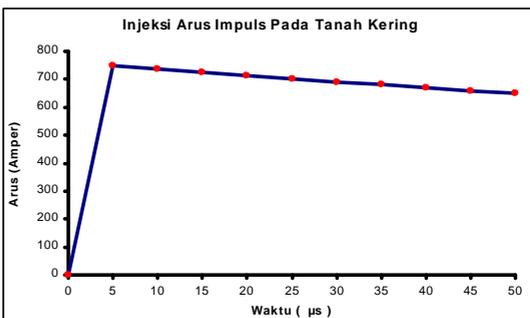
Gambar 21. Grafik hasil impedansi impuls pbumian pada keadaan tanah lembab



Gambar 18. Grafik hasil impedansi impuls pbumian pada keadaan tanah lembab



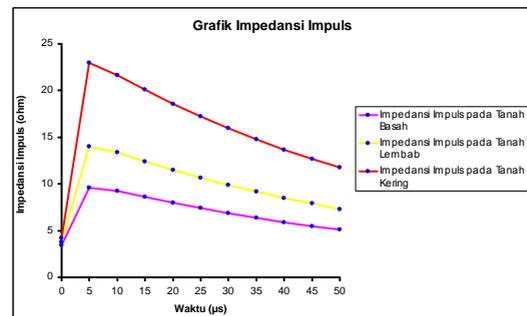
Gambar 19. Grafik hasil simulasi untuk rangkaian elektroda pbumian dengan injeksi tegangan impuls pada keadaan tanah kering



Gambar 20. Grafik hasil simulasi untuk rangkaian elektroda pbumian dengan injeksi arus impuls pada keadaan tanah kering

4. Analisa

Dengan bertambah besarnya tahanan kaki menara tersebut menyebabkan resistansi dan kapasitansi pbumian juga bertambah besar, karena resistansi dan kapasitansi pbumian akan linier dengan pertambahan harga tahanan jenis tanah. Dengan demikian impedansi impuls juga akan bertambah besar, karena impedansi impuls juga linier dengan partambahan harga tahanan kaki menara.



Gambar 22. Grafik perbandingan impedansi impuls pbumian

Dari grafik di atas Impedansi impuls pbumian mempunyai nilai yang lebih rendah dari pada tahanan kaki menara. Dimana impedansi impuls (Z) yang dihasilkan 9,560 ; 14,037 ; 22,938 , sedangkan resistansinya adalah 10,91 ; 15,94 ; 26 .

Tahanan kaki menara (R_k) mempunyai nilai yang semakin besar apabila kondisi disekitar tanah pada sistem pbumian menara semakin kering. Dimana tahanan kaki menara (R_k) 2,6 ; 3,8 ; 6,2 sedangkan tahanan jenis tanah (ρ) 60,92 -m ; 89,09 -m ; 145,36 -m. Hal ini diakibatkan semakin kering tanah disekitar pbumian konduktivitasnya semakin berkurang atau nilai resistivitas tanahnya semakin besar. Jadi nilai tahanan jenis tanah yang semakin tinggi akan memperbesar nilai resistansi kaki menara (R_k)

Nilai impedansi impuls (Z) lebih besar dibanding nilai tahanan kaki menara (R_k), dimana tahanan kaki (R_k) sebesar 2,6 ; 3,8 ; 6,2 , sedangkan impedansi impuls pbumian (Z) sebesar 9,560 ; 14,037 ; 22,938 . Semakin kering kondisi tanah di sekitar sistem pbumian menara nilai impedansi impuls (Z) semakin besar, begitu juga dengan nilai tahanan kaki (R_k) akan semakin besar. Hal ini memperlihatkan bahwa

pada kondisi peralihan (*transient*) nilai impedansi impuls (Z) lebih besar dibandingkan nilai tahanan kaki menara (R_k).

5. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi tanah di sekitar sistem pembumian menara mempengaruhi nilai impedansi impuls (Z) maupun resistansi elektroda pembumian. Kondisi basah, lembab dan keringnya tanah serta jenis tanah sangat menentukan nilai konduktivitas dan resistivitas tanah. Semakin kering tanah di sekitar sistem pembumian akan mengakibatkan resistansi kaki menara (R_k) dan resistansi elektroda pembumian semakin besar, begitu juga dengan impedansi impuls (Z) akan semakin besar.
2. Nilai impedansi impuls (Z) sistem pembumian menara transmisi pada kondisi peralihan (*transient*) yang dihasilkan sebesar 9,56 (tanah basah) ; 14,037 (tanah lembab) ; 22,938 (tanah kering) maupun resistansi elektroda pembumian sebesar 10,91 (tanah basah) ; 15,91 (tanah lembab) ; 26 (tanah kering).

Tabel 2. Perbandingan nilai resistansi elektroda pembumian (R_{dc}) dengan nilai impedansi impuls pembumian (Z)

No	Jenis Tanah	Resistansi Elektroda Pembumian (R_{dc})	Impedansi Impuls Pembumian (Z)
1	Tanah Basah	10,91 Ω	9,56 Ω
2	Tanah Lembab	15,91 Ω	14,037 Ω
3	Tanah Kering	26 Ω	22,938 Ω

3. Pada kondisi peralihan (*transient*) nilai impedansi impuls (Z) perlu diperhitungkan, tidak hanya memperhitungkan nilai resistansi kaki menara (R_k) jika diperlukan tingkat perlindungan yang handal akibat gangguan peralihan (*transient*) petir atau *switching*.

6. Saran

Adapun saran dari hasil penelitian ini adalah :

1. Sistem pembumian menara saluran transmisi perlu diperhitungkan nilai impedansi impulsnya (Z), tidak hanya memperhitungkan nilai resistansi elektroda pembumian (R) saja.
2. Pada saat perencanaan menara transmisi perlu diperhatikan kondisi tanah disekitarnya, karena sangat mempengaruhi nilai impedansi impuls (Z), tahanan kaki menara (R_k), dan resistansi elektroda pembumian (R) untuk mendapatkan tingkat perlindungan sistem pembumian yang lebih baik pada kondisi peralihan (*transient*) akibat petir maupun *switching*.

Daftar Pustaka

- [1]. Adi Ramdiani, "Simulasi Perencanaan Rangkaian DC Chopper Menggunakan Paket Perangkat Lunak PSPICE 9.1" , Skripsi, Fakultas Teknik UNTAN, Pontianak, 2003.
- [2]. Bonggas L. Tobing, "Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi" , PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003
- [3]. Dieter Kind, "Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi" , Penerbit Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1993
- [4]. James W. Nielson & Susan A. Ridel, "Introduction to Pspice Manual Using OrCad Release 9.2 to Accompany, Electric Circuit, Seventh Edition, Pearson Education Inc, Prentice Hall, New Jersey, 2005