

# Penentuan Nilai Impedansi Pembumian Elektroda Batang Tunggal Berdasarkan Karakteristik Response Impuls

Managam Rajagukguk<sup>(1)</sup>, Yul Martin<sup>(2)</sup>

- 1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak  
e-mail : managamrajagukguk@yahoo.co.id  
2) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung  
Jl.Prof.Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung.

**Abstract**– Sampai saat ini sistem pembumian masih dianggap baik jika resistansinya kecil yaitu nilai resistansi yang diukur dengan sumber DC atau frekuensi rendah. Sementara itu, peristiwa sambaran petir menyebabkan arus impuls dengan frekuensi tinggi sampai orde kHz, sehingga ketika sistem pembumian bekerja karena dikenai arus impuls petir, maka dari hasil penelitian diperoleh rata-rata persentase perbedaan antara resistansi pembumian yang diukur dengan sumber DC dan impedansi pembumian yang diukur dengan sumber impuls sebesar 8,0 %. Dari model tersebut dihitung nilai impedansi pembumian untuk berbagai variasi kedalaman elektroda batang pembumian dari kedalaman 2m sampai 6m berdasarkan respon impulsnya. Dari hasil-hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh nilai impedansi pembumian terkecil sebesar 23,01  $\Omega$  pada kedalaman elektroda batang 6m dengan penurunan impedansi pembumian rata-rata pada setiap kedalaman 1m mulai 2m sampai 6m sebesar 5,25  $\Omega$ . Untuk setiap kenaikan kedalaman 1m nilai induktansi mengalami kenaikan rata-rata 0,00158 mH dan kapasitansi mengalami kenaikan rata-rata 0,0000574  $\mu F$ . Dari hasil penelitian, dengan memperkecil waktu muka impuls injeksi akan sangat berpengaruh pada hasil pengujiannya. Dengan menggunakan sumber input yang sama untuk waktu muka 3,0  $\mu s$  terlihat lebih banyak ripple dibandingkan dengan waktu muka 4,0  $\mu s$  yang sedikit ripple, terjadinya ripple merupakan tanggapan peralatan ukur impuls yaitu resistif voltage divider terhadap frekuensi tinggi karena dengan memperkecil waktu muka impuls berarti memperbesar frekuensinya. Dari hasil pengujian dan hasil simulasi diperoleh persentase perbedaan tegangan terpotong oleh elektroda batang pembumian sebesar 0,57% dengan selang kepercayaan 99% sedangkan untuk perbedaan antara nilai respon arus impuls maksimum antara hasil pengujian dan hasil simulasi sebesar 2,57%.

**Keywords**– Respon impuls, impedansi pembumian, resistansi 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 dan gedung bertingkat dilakukan dengan pembuangan arus petir ke tanah melalui sistem pentanahan. Sistem pembumian yang umumnya digunakan berupa elektroda batang tunggal yang ditanam ke dalam tanah.

Selama ini desain sistem pembumian umumnya hanya memperhitungkan nilai resistansinya saja.<sup>[8]</sup> Resistansi 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.<sup>[8]</sup> 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 dan kapasitansi juga harus diperhitungkan. Perhitungan seperti ini yang disebut sebagai perhitungan impedansi pembumian yang mempertimbangkan komponen L dan C dari elektroda pembumian selain komponen resistansinya. Desain sistem pembumian sebenarnya akan lebih tepat jika memperhitungkan impedansi pembumian daripada hanya mempertimbangkan resistansi pembumian saja. Secara umum sistem pembumian yang baik mempunyai impedansi pembumian yang kecil karena akan mempercepat pembuangan arus impuls sambaran petir. Selain akan mempercepat pembuangan arus sambaran petir, nilai impedansi pembumian yang semakin kecil akan menghasilkan beda potensial antara elektroda pembumian dengan tanah yang semakin kecil pula.

## 2. TEORI DASAR

### 2.1. Pembangkitan Tegangan Impuls

Tegangan impuls dapat dibangkitkan dengan meluahkan muatan kapasitor tegangan tinggi (melalui sela atau *switching*) pada suatu rangkaian tegangan tinggi, sehingga sering digunakan juga didalamnya

rangkaian pengali tegangan. Nilai puncak dari tegangan impuls dapat ditentukan dengan bantuan sela ukur atau dengan rangkaian elektronik yang dikombinasikan dengan pembagi tegangan. Alat ukur tegangan impuls yang terpenting adalah osiloskop sinar katoda yang memungkinkan dalam penentuan nilai-nilai sesaat melalui pembagi tegangan.<sup>[5]</sup>

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

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

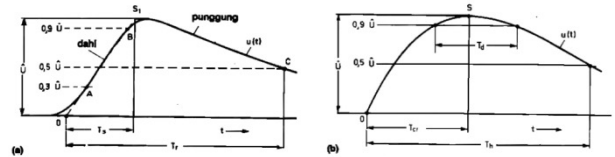
Bentuk gelombang semacam ini mudah dibuat, yaitu dengan menetapkan konstanta *a* dan *b*. Harga maksimumnya disebut harga puncak (*peak* atau *crest*) dari tegangan impuls. Definisi muka gelombang (*wave front*) dan ekor gelombang (*wave tail*) ditetapkan dengan standar tertentu, sehingga kesukaran untuk menetapkan permulaan gelombang dan puncak gelombang impuls dapat diatasi. Muka gelombang didefinisikan sebagai bagian dari gelombang impuls yang dimulai dari titik nol (nominal) sampai titik puncak, sedang sisanya disebut ekor gelombang.<sup>[1]</sup>

**2.2. Parameter-Parameter Tegangan Impuls**

Bentuk gelombang impuls pada gambar 1 banyak digunakan pada pengujian tegangan tinggi yang memiliki kecuraman gelombang sebesar *S*. Tegangan impuls yang ditampilkan pada gambar 1 merupakan tegangan impuls eksponensial ganda yang telah ditetapkan sebagai standar dalam pengujian tegangan tinggi. Hal ini karena pada tegangan impuls eksponensial ganda tidak terdapat osilasi yang cukup berarti sehingga tegangan impuls ini cepat mencapai nilai maksimum atau nilai puncak  $\hat{U}$ . Jika terjadi tembus secara sengaja ataupun tidak disengaja dalam rangkaian tegangan tinggi selama pengujian dengan gelombang impuls akan menyebabkan jatuh tegangan (*voltage drop*) secara mendadak, tegangan semacam ini disebut sebagai tegangan impuls yang terpotong. Pemotongan dapat terjadi pada bagian depan, pada puncak atau pada ekor dari tegangan impuls tersebut.<sup>[5]</sup>

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. Maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai puncak paling sedikit sekitar 100 mikro detik.<sup>[5]</sup> Pembangkitan tegangan impuls dalam laboratorium merupakan tegangan impuls pensaklaran, tegangan ini hampir mirip dengan tegangan impuls petir tetapi memiliki waktu muka yang lebih besar. Tegangan impuls yang digunakan pada pengujian tegangan tinggi, bentuk tegangannya ditentukan oleh parameter waktu tertentu baik waktu muka maupun waktu ekornya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Karena bentuk muka tegangan impuls petir yang benar sering sukar diukur, maka untuk mencirikannya dibuat garis lurus  $O_1S_1$  melalui titik *A* dan *B*. Kemudian waktu muka  $T_s$

maupun waktu ekor  $T_r$  yang terukur dari titik  $O_1$  hingga titik *C* juga dapat ditentukan.<sup>[5]</sup>

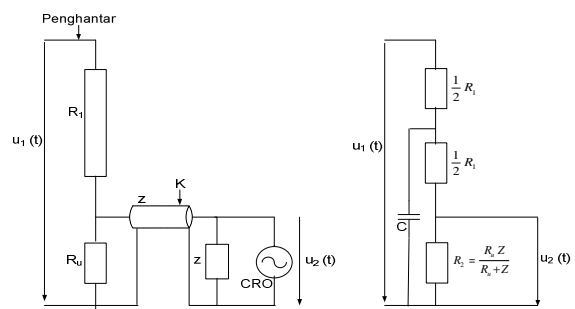


**Gambar 1.** Parameter tegangan uji impuls standard  
 a) tegangan impuls petir  
 b) tegangan impuls pensaklaran

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  $T_r = 50 \mu s \pm 20 \%$ . Pada kondisi lain, untuk mengamati tegangan impuls akibat pensaklaran (*switching*) yang jauh lebih besar waktu mukanya daripada impuls petir tidak akan lagi menemui kesulitan. Karena penentuan titik asal *O* yang tepat dan penentuan puncak *S* yang tepat dapat digunakan untuk pembakuan atau standar. 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  $T_h = 2500 \mu s \pm 60 \%$ . Besarnya waktu ekor tegangan impuls pensaklaran dapat juga diberi simbol  $T_d$  yakni waktu dengan nilai tegangan sesaat lebih besar dari 0,9 sebagai pengganti dari nilai  $T_h$ .<sup>[5]</sup> Pada kondisi lainnya kurva-kurva tegangan impuls petir sering mengandung osilasi frekuensi tinggi dengan *amplitude* yang tidak melebihi  $0,05 \cdot \hat{U}$  pada daerah puncak maksimumnya.

**2.3. 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 2.b) yang dihubungkan di tengah-tengah  $R_1$ .<sup>[5]</sup>



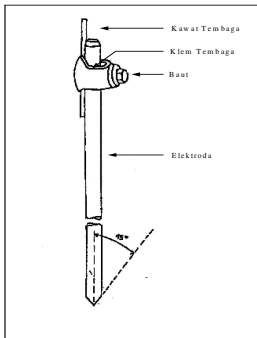
**Gambar 2.** Sistem Pengukuran tegangan impuls dengan pembagi resistif

- a) diagram rangkaian
  - b) rangkaian ekuivalen dengan kapasitansi bumi
- Tegangan keluaran akan menuju suatu nilai batas sebesar:

$$U_{2\infty} = U_{1\infty} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (2)$$

**2.4. Elektroda Pembumian.**

Bahan yang digunakan untuk elektroda batang pembumian adalah logam yang mempunyai konduktivitas cukup tinggi yaitu tembaga, selain itu untuk mendapatkan nilai yang lebih ekonomis dapat dipergunakan baja yang digalvanisasi atau baja berlapis tembaga. Elektroda batang terbuat dari batang logam bulat atau baja profil yang dipancangkan/ditancapkan kedalam tanah dan salah satu ujungnya lancip dengan kelancipan ( $45^\circ \pm 5^\circ$ ) serta harus dilengkapi dengan klem dan baut klem yang mampu menjepit penghantar seperti pada gambar 3 berikut ini .<sup>[2]</sup>



Gambar 3. Konstruksi Elektroda Pembumian Batang Tunggal

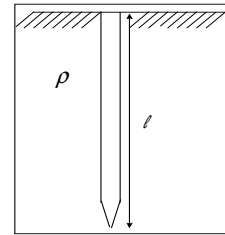
**2.5. Sistem Pembumian Driven Rod**

Pembumian dengan menanamkan batang elektroda tegak lurus kedalam tanah disebut dengan *ground rod electrode* yang terdiri atas satu buah batang elektroda, biasanya berdiameter antara  $\frac{3}{4}$  inch sampai 2 inch dan panjangnya 3 meter sampai dengan 15 meter.<sup>[4]</sup> Pada suatu batang elektroda pembumian yang mempunyai panjang  $l$  dan radius  $d$  ditanam tegak lurus pada tanah yang mempunyai resistivitas tanah  $\rho$  homogen, maka elektroda bersama tanah akan mempunyai tahanan yang besarnya adalah.<sup>[4]</sup>

$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \left( \ln \frac{4l}{r} - 1 \right) \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- R = tahanan pembumian (ohm)
- r = radius batang (m)
- $\rho$  = resistivitas tanah (ohm-m)
- l = panjang batang (m)



Gambar 4. Elektroda Pembumian Batang Tunggal

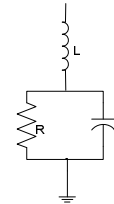
Besar nilai induktansi dan kapasitansi batang elektroda pembumian adalah sebagai berikut:

$$L = 2.l.\ln\left(\frac{2.l}{r}\right).10^{-7} \dots\dots\dots (4)$$

$$C = \frac{\epsilon_r.l}{18.\ln\frac{4.l}{r}}.10^{-9} \dots\dots\dots (5)$$

dimana  $\epsilon_r$  = konstanta dielektrik tanah (4 untuk tanah kering, 9 untuk tanah basah dan 70 untuk air murni).<sup>[6]</sup>

Pada keadaan sebenarnya arus yang melalui elektroda dan tanah berbentuk suatu medan magnet dan medan terkuat pada tempat yang konsentrasi arusnya terbesar, yaitu disekitar elektroda.

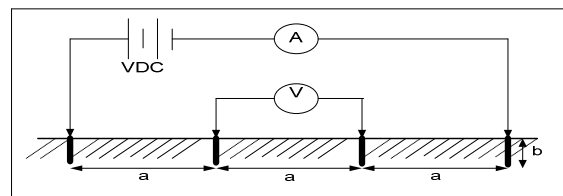


Gambar 5. Rangkaian Pengganti Satu Elektroda Pembumian. Model arus impuls dapat dituliskan sebagai fungsi eksponensial ganda: <sup>[6]</sup>

$$i(t)=I_0(e^{-a.t} e^{-b.t}) \dots\dots\dots (6)$$

**2.6. Metode Pengukuran Resistivitas Tanah**

Salah satu metode dalam melakukan pengukuran hambatan jenis tanah atau resistivitas tanah ialah menggunakan metode empat buah elektroda, sebuah sumber DC, sebuah Amperemeter dan sebuah Voltmeter yang sensitif.<sup>[3]</sup>



Gambar 6. Metode empat elektroda

Prinsip kerja metode empat elektroda di atas adalah apabila arus masuk ke tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain yang cukup jauh, maka diameter konduktor dapat diabaikan, sehingga arus yang masuk ke tanah mengalir secara radial. Dengan mengukur besar arus dan tegangannya, maka akan diperoleh hambatan tanah (R), besar

hambatan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut: <sup>[9]</sup>

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

- $\rho$  = hambatan jenis tanah (Ohm-m)
- $a$  = jarak antar elektroda ukur (meter)
- $b$  = Kedalaman elektroda (meter)
- $R$  = besar hambatan tanah (Ohm)

Jika elektroda ukur ditanam rata dengan permukaan tanah ( $b=0$  m), maka persamaaan menjadi:

$$\rho = 2\pi aR \dots\dots\dots (8)$$

dengan merubah-ubah jarak elektroda ( $a$ ) dapat diperoleh prediksi hambatan jenis tanah pada kedalaman  $b$ .<sup>[3]</sup>

**2.7. Impedansi Sistem Pembumian**

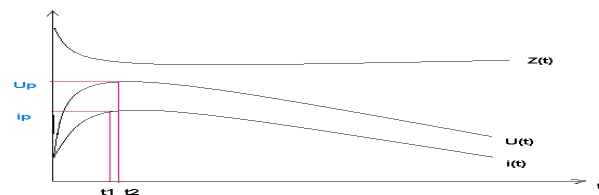
Apabila suatu sistem pembumian dikenai arus petir maka pada sistem pembumian tersebut akan mengalami kenaikan tegangan yang berubah secara cepat.<sup>[4]</sup> Jika tegangan yang berubah cepat itu dibagi dengan arus petir yang terjadi disebut dengan impedansi sistem pembumian. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Z(t) = \frac{U(t)}{i(t)} \dots\dots\dots (9)$$

dimana:

- $Z(t)$  = impedansi pada sistem pembumian (ohm)
- $U(t)$  = tegangan pada sistem pembumian (volt)
- $i(t)$  = arus petir (ampere)

Dapat diperhatikan pada gambar 7 yang merupakan kurva impedansi sistem pembumian sebagai berikut:



Gambar 7. Kurva impedansi sistem pembumian

Dengan demikian kenaikan tegangan yang terjadi pada sistem pembumian akan sangat tergantung pada impedansi sistem peembumian. Secara matematis impedansi pembumian juga dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$Z_{impuls} = \frac{U_{puncak}}{i_{puncak}} \dots\dots\dots (10)$$

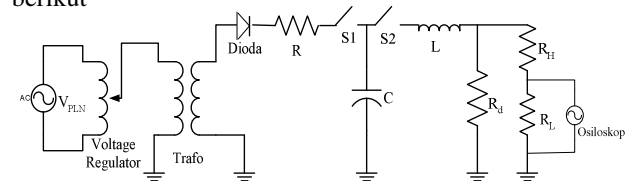
Jadi dengan impedansi impuls ini suatu sistem pembumian dapat dikatakan baik atau tidak baik, dimana jika impedansi impulsnya kecil maka jatuh tegangannya akan kecil sehingga sistem pembumian ini dikatakan baik dan jika impedansi impulsnya besar maka jatuh tegangannya akan semakin besar pula sehingga sistem pembumian ini dapat dikatakan tidak baik.

**3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ekperimental dilakukan di halaman dan di dalam Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kepustakaan, penelitian ekperimental dengan pengujian langsung di lapangan, dan simulasi pemodelan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ekperimental kemudian dibandingkan dan dianalisis dengan hasil yang diperoleh dari simulasi pemodelan.

**3.1. Pengujian Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls Tanpa diinjeksikan Pada Elektroda Batang Pembumian**

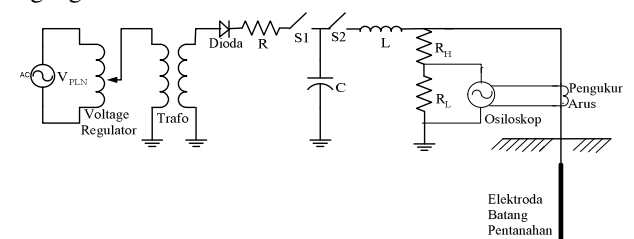
Pengujian pembangkitan tegangan tinggi impuls tanpa diinjeksikan pada elektroda batang pembumian yang dilakukan adalah pengujian dengan *rating* tegangan pengujian 1390 Volt sampai 1710 Volt dengan kenaikan tegangan rata-rata 100 Volt. Selain variasi nilai tegangan dilakukan juga variasi nilai waktu muka gelombang impuls dengan menggunakan nilai induktor yang berbeda-beda yaitu 0,309 mH, dan 0,174 mH. Tujuannya adalah untuk mengetahui besarnya tegangan impuls yang akan diinjeksikan pada elektroda pentanahan. Gambar rangkaiannya adalah sebagai berikut



Gambar 8. Rangkaian Pembangkitan Impuls tanpa injeksi pada batang pembumian

**3.2. Pengujian Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls dengan diinjeksikan Pada Elektroda Batang Pentanahan.**

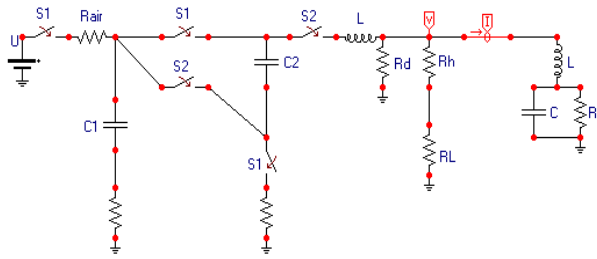
Pengujian pembangkitan tegangan tinggi impuls dengan diinjeksikan pada elektroda batang pembumian yang akan dilakukan adalah pengujian dengan *rating* tegangan 1390 sampai 1710 volt dengan kenaikan tegangan rata-rata 100 Volt.



Gambar 9. Rangkaian Pembangkitan Impuls dengan injeksi pada batang pembumian

**3.3. Simulasi Pemodelan Dengan Menggunakan Program ATP-EMTP**

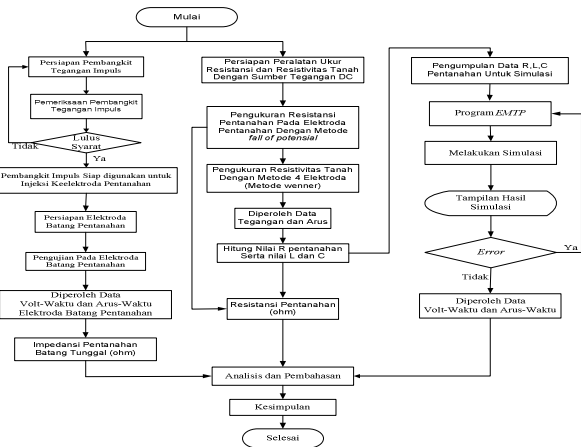
Rangkaian pengganti untuk memodelkan rangkaian pengujian di atas dengan untuk dapat disimulasikan dengan software ATP EMTP adalah sebagai berikut :



Gambar 10. Model rangkaian pengujian dengan software ATP – EMTTP

3.4. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 11. Diagram alir penelitian

4. PEMBAHASAN

Pengujian elektroda pembumian batang tunggal yang telah dilakukan, menggunakan sumber pembangkit tegangan impuls kapasitif dan tegangan impuls uji yang digunakan bervariasi yaitu antara 1390 Volt hingga 1710 Volt dengan kenaikan rata-rata tegangan 100 Volt. Variasi nilai waktu muka impuls tersebut yaitu 3,0  $\mu s$  dan 4,0  $\mu s$  dengan mengatur induktor yang ada pada pembangkit tegangan tinggi impuls. Nilai waktu muka ini dipilih karena mendekati nilai waktu muka surja *standard*. Data-data yang dihasilkan dari pengujian di lapangan berupa data-data kurva tegangan dan arus impuls terhadap nilai waktunya. Dari proses pengujian di lapangan maka diperoleh nilai elemen-elemen yang diperlukan untuk dimasukkan ke dalam simulasi pemodelan. Data-data yang diperoleh dari proses simulasi pemodelan dengan menggunakan program ATP-EMTP berupa data kurva tegangan dan arus impuls terhadap nilai waktunya.

4.1. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Resistansi Pembumian Batang Tunggal dengan Menggunakan Sumber DC.

Hasil pengukuran nilai resistansi pembumian batang tunggal ini diperoleh dengan menggunakan metode *fall of potensial* dan alat ukur yang digunakan adalah *earth*

*tester* dengan menggunakan sumber baterai atau sumber DC. Hasil pengukurannya adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Nilai Resistansi Pembumian

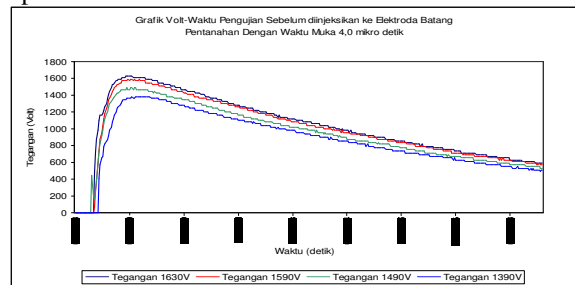
No.	Kedalaman (m)	Resistansi ( $\Omega$ )
1	2	54,7
2	3	35,0
3	4	30,4
4	5	24,8
5	6	21,0

Tabel 2. Hasil Perhitungan Resistansi, Induktansi dan Kapasitansi Pembumian.

No.	Kedalaman (m)	Resistansi ( $\Omega$ )	Induktansi (mH)	Kapasitansi ( $\mu F$ )
1	2	54,99	0,00249	0,0001443
2	3	37,46	0,00398	0,0002046
3	4	30,72	0,00554	0,0002624
4	5	25,40	0,00714	0,0003187
5	6	21,70	0,00879	0,0003738

4.1.a Hasil pengujian tegangan impuls tanpa diinjeksikan ke elektroda pembumian batang tunggal.

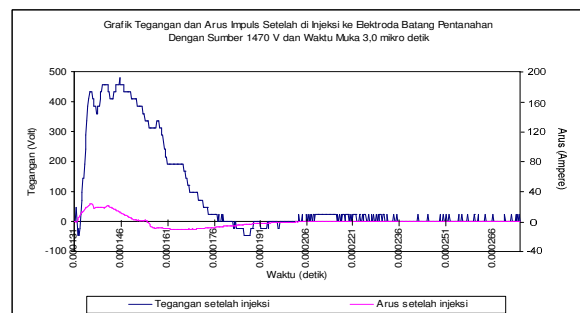
Pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan impuls hasil keluaran dari pembangkit tegangan tinggi impuls.



Gambar 12. Tegangan impuls tanpa injeksi ke elektroda pembumian

4.1.b Hasil pengujian tegangan impuls yang diinjeksikan ke elektroda pembumian batang tunggal.

Hasil pengujian tegangan impuls yang diinjeksikan ke elektroda pembumian batang tunggal ini, diambil dari sampel ketika elektroda batang pembumian ditanam pada kedalaman 6 m.



Gambar 13. Tegangan impuls dengan injeksi ke elektroda pembumian

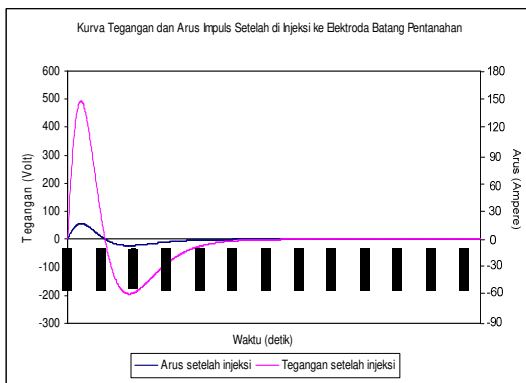
Impedansi pembumian diperoleh dari  $(V_{\max}/I_{\max})$  respon impuls injeksi.

Kedalaman (m)	Impedansi ( $\Omega$ ) Pada Waktu Muka 4,0 $\mu$ S	Impedansi ( $\Omega$ ) Pada Waktu Muka 3,0 $\mu$ S
2	57,18	52,58
3	37,63	37,95
4	33,12	33,20
5	27,11	27,33
6	23,01	23,10

Impedansi Pembumian Maksimum  $(V_t/I_t)$  Dengan Waktu Muka Impuls Injeksi 4,0 mikro detik.

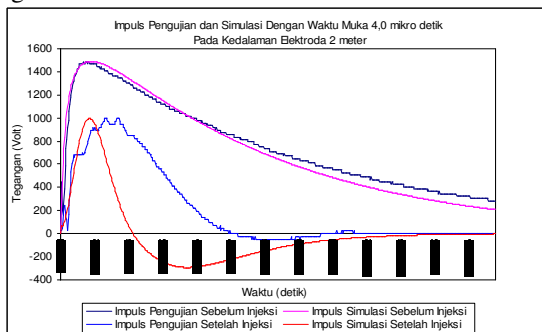
Kedalaman Elektroda (m)	Impuls Injeksi 1390V	Impuls Injeksi 1490V	Impuls Injeksi 1590V	Impuls Injeksi 1630V
2	1149,53	1174,02	1146,57	1168,65
3	860,32	873,19	854,82	931,89
4	776,54	760,08	804,40	798,77
5	712,56	708,31	805,71	689,33
6	683,32	693,02	704,57	685,04

Respon Tegangan dan Arus Impuls Setelah diinjeksi ke elektroda batang pembumian dengan waktu muka 4,0  $\mu$ S



Gambar 14. Tegangan dan arus impuls setelah diinjeksi Ke elektroda pembumian dengan waktu muka 4,0  $\mu$ S

Tegangan Impuls Hasil Pengujian di Lapangan dan Hasil Simulasi Pemodelan dengan Menggunakan Program ATP-EMTP.



Gambar 15. Tegangan Impuls hasil pengujian dan pemodelan

Persentase perbedaan antara resistansi pembumian hasil pengukuran dengan sumber DC dan impedansi pentanahan  $(V_{\max}/I_{\max})$  hasil pengukuran dengan sumber

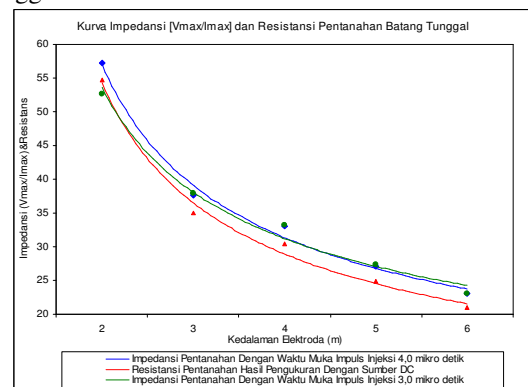
impuls yang paling besar yaitu pada kedalaman elektroda batang pembumian 6 m. rata-rata persentase perbedaan resistansi pembumian dengan impedansi pembumiannya sebagai berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{4,53 + 7,51 + 8,94 + 9,31 + 9,57}{5}$$

$$\bar{x} = 8,0\%$$

Perbedaan rata-rata yang diperoleh sebesar 8,0 %, merupakan perbedaan yang sangat signifikan. Karena dari sini dapat diketahui bahwa pengukuran tahanan pembumian dengan sumber impuls frekuensi tinggi hasil yang diperoleh sangat berbeda dengan pengukuran menggunakan sumber DC.



Gambar 16. Kurva impedansi dan resistansi pembumian batang tunggal

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Impedansi pembumian batang tunggal yang diukur dengan sumber impuls memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan resistansi yang diukur dengan sumber DC, hal ini karena pengukuran impedansi memperhitungkan komponen R,L dan C pembumian.
2. Rata-rata persentase perbedaan antara pengukuran resistansi pembumian dengan menggunakan sumber DC dan pengukuran impedansi pembumian dengan menggunakan sumber impuls sebesar 8,0 %.
3. Perubahan waktu muka impuls injeksi dari 4,0  $\mu$ S menjadi 3,0  $\mu$ S mengakibatkan perubahan nilai impedansi ( $Z_t$ ) yang semakin besar, hal ini karena pada waktu muka impuls injeksi 3,0  $\mu$ S terjadi *ripple* yang besar dibandingkan pada saat waktu muka impuls injeksi 4,0  $\mu$ S sehingga menyebabkan kenaikan *magnitude* tegangan impuls yang sangat signifikan. *Ripple* yang terjadi merupakan tanggapan peralatan ukur impuls yaitu *resistif voltage divider* terhadap pengaruh injeksi frekuensi tinggi.
4. Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan sumber DC dan perhitungan pada variasi kedalaman

elektroda batang pbumian 2 m sampai 6 m, maka terjadi penurunan nilai resistansi pbumian rata-rata sebesar  $4,7\ \Omega$  untuk setiap penambahan 1 m kedalaman elektroda batang pbumian.

5. Penambahan kedalaman elektroda pbumian menyebabkan nilai impedansi pbumian semakin kecil. Kedalaman elektroda mulai dari 2 m sampai 6 m menyebabkan penurunan impedansi pbumian rata-rata sebesar  $5,25\ \Omega$  untuk setiap penambahan 1 m kedalaman elektroda pbumian.
6. Persentase perbedaan nilai tegangan antara hasil pengujian dan hasil simulasi pemodelan sebesar 0,57%, sedangkan persentase perbedaan rata-rata nilai arus maksimum antara hasil pengujian dan simulasi sebesar 2,57%.

## Referensi

- [1] Arismunandar, A. 1984. *high voltage technique*. prad paramita. Jakarta.
  - [2] National Standard Agency. 2000. *Electricity Installation General Rules* sni. 04-0225.2000. Foundation PUIL. jakarta.
  - [3] Irianto, Tri haryono, 2002. *Electrode Obstacle Measurement Validation soil*. Proceeding SNWTT V. Yogyakarta.
  - [4] Ketaren, Gamaliel. 2002. *System long influence driven rod towards impulse impedance*. Proceeding SNWTT'02.
  - [5] Kind, D. 1993. *Technique messenger Eksperimental High Voltage*. Penerbit ITB Bandung.
  - [6] Rajagukguk, M. 2002. *Analysis Transien behavior grounding system driven rod*. Untan. Pontianak.
  - [7] The Substation Commite of The IEEE Power Engineering Society. 1985.
- Denunciated American National Standards IEEE Guide for Safety in A.C Substation Grounding*. IEEE standard board. American National Standards Institute.
- [8]. Pakpahan, P.M. 2002. *Conductor Impedance grounding in study Voltage More lightning consequence*. snwt v. yogyakarta.

