#### Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi Pada Tower BTS (*Base Transceiver Station*)

Diah Permata ,Nining Purwasih Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung <u>diah\_jte@unila.ac.id</u>, <u>nining@unila.ac.id</u>

Abstrak--BTS (Base Transceiver Station) merupakan bangunan yang tinggi yang sangat rentan terhadap sambaran petir. Apabila sebuah BTS tersambar petir secara langsung, maka akan terjadi arus lebih yang mengalir pada sistem yang berasal dari arus surja petir, arus surja tersebut akan terdistribusi ke saluran-saluran yang terhubung dengan sistem pentanahan melalui bonding bar antara lain saluran daya dan saluran peralatan radio. Untuk melindungi saluran daya dan saluran peralatan radio dari kerusakan akibat arus lebih yang dihasilkan oleh sambaran petir, maka dipasanglah alat pemotong arus surja yaitu SPDs, dalam hal ini SPDs yang digunakan adalah arester ZnO. Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan kapasitas arus surja arester yang dibutuhkan setiap saluran yang ada pada suatu BTS dengan melakukan simulasi EMTP.

Kata Kunci : BTS, arus surja, arrester

Abstract–BTS (Base Transceiver Station) is a high building that vulnerable to lightning strike. Once the BTS has been struck by lightning, an overcurrent will flow to the system caused by a lightning surge current. This surge current then distributed to the line that connected to the grounding system through a bonding bar i.e. power and radio equipment line. A surge protector devices (SPDs) will be installed in order to protect power and radio equipment line from the damage caused by lightning surge current. This reseach will determine the current capacity of the SPDs by simulating the system. A type of SPDs that will be use in this research is an arrester ZnO.

*Keywords* : *BTS*, *lightning surge current*, *arrester* 

#### A. Pendahuluan

Petir merupakan peristiwa pelepasan muatan listrik antara awan bermuatan dengan awan bermuatan lainnya atau dengan bumi. Sambaran petir pada tempat yang jauh sekali pun sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi, sistem kontrol, dan alat-alat pemancar.

Sebagaimana diketahui bahwa Indonesia merupakan daerah tropik dimana hari guruh per tahun relatif lebih tinggi dibandingkan dengan negara lain seperti di Eropa yang hanya 30 hari guruh per tahun dan Amerika 100 hari guruh per tahun. Menurut badan Meteorologi dan Geofisika tingkat hari guruh per tahun di Indonesia adalah 100 sampai 200. Kisaran ini memperlihatkan adanya kecenderungan jumlah sambaran petir yang tinggi.

Sambaran petir merupakan fenomena alam vang terjadi secara random, tidak dapat dikendalikan kejadiannya dan dapat mengakibatkan kerusakan pada objek yang disambarnya. BTS merupakan struktur tinggi dalam bentuk radio room di bawahnya dan sering menjadi objek sambaran petir secara langsung. Oleh karena itu, BTS harus dilengkapi peralatan proteksi petir. Oleh karena itu, BTS harus dilengkapi peralatan proteksi petir. Pada objek yang tersambar oleh petir secara langsung, arus petir akan terdistribusi ke saluran yang terhubung pada bonding bar. Saluran umumnya dilengkapi dengan peralatan proteksi petir yaitu arester (SPDs).

Jika besarnya arus terdistribusi pada saluran yang ditimbulkan oleh surja petir lebih besar dari kemampuan pemutusan arus arester, maka arester tidak dapat

Naskah ini diterima pada tangal 25 Februari 2009, direvisi pada tanggal 20 Maret 2009 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 20 April 2009

bekerja untuk memproteksi peralatan yang terhubung dengan saluran. Oleh karena itu, perlu di lakukan penelitian mengenai pengaruh sambaran petir terhadap sistem proteksi pada BTS.

# **B.** Tinjauan Pustaka BTS (Base Transciever Station)

Bangunan BTS terdiri dari dua bagian utama yaitu tower dan shelter.

# Tower

Tower yang dibahas dalam tugas akhir disini adalah menara yang terbuat dari rangkaian besi atau pipa baik segi empat atau segi tiga, atau hanya berupa pipa panjang (tongkat), yang bertujuan untuk menempatkan antena dan radio pemancar maupun penerima gelombang telekomunikasi dan informasi. Tower BTS (Base Transceiver Station) sebagai sarana komunikasi dan informatika ini, berbeda dengan tower SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) Listrik PLN. Dari segi radiasi, tower BTS memiliki radiasi yang jauh di ambang batas toleransi yang ditetapkan WHO. Tower BTS terendah (40 meter) memiliki radiasi 1 watt/m<sup>2</sup> (untuk pesawat dengan frekuensi 800 MHz) s/d 2 watt/m<sup>2</sup> (untuk pesawat 1800 MHz). Sedangkan standar yang dikeluarkan WHO maximal radiasi yang bias ditolerir adalah 4,5 (800 MHz) s/d 9 watt/m<sup>2</sup> (1800 MHz). Sedangkan radiasi dari radio informatika/internet (2,4 GHz) hanya sekitar 3 watt/m<sup>2</sup> saja. Masih sangat jauh dari ambang batas WHO 9 watt/m<sup>2</sup>. Radiasi ini makin lemah apabila tower makin tinggi. Rata-rata tower seluler yang dibangun di Indonesia memiliki ketinggian 80 meter. Dengan demikian radiasinya jauh lebih kecil lagi<sup>[4]</sup>.

# Shelter

Shelter adalah bangunan *radio room* dibawah tower yang biasanya berukuran 3 x 3 meter, yang di dalamnya terdapat berbagai *combiner*, *module per carrier*, *core module* (modul inti), *power supply*, fan (kipas) pendingin, dan AC/DC converter.



Gambar 1. Blok diagram BTS

# Sistem Proteksi pada Tower BTS

Tower BTS berfungsi tidak hanya sebagai antena telekomunikasi tetapi juga sistem proteksi terhadap sambaran langsung, agar petir tidak menyambar langsung pada *radio room /shelter* disebelahnya. Pada BTS terdapat dua macam proteksi yaitu proteksi eksternal dan proteksi internal.

# Proteksi Eksternal

Proteksi eksternal pada sustu struktur tinggi seperti BTS atau pada gedunggedung terdiri dari batang pengaman (*Lightning rod*), konduktor penghubung tanah (*down conductor*) dan sistem pentanahan (*grounding*).

# **Batang Pengaman**

Batang pengaman pertama kali ditemukan oleh Benjamin Franklin. Terdiri atas batang logam runcing yang dipasang pada titik tertinggi suatu bangunan. Batang pengaman dapat berupa tembaga padat, atau alumunium. perunggu, Batang pengaman tembaga biasanya memiliki lapisan nikel. Panjang batang pengaman minimal 12 inci, setidaknya berdiameter 0,5 inci untuk tembaga dan berdiameter 5/8 inci untuk alumunium. Batang pengaman setidaknya harus berada 10 inci di atas objek atau area yang akan diproteksi. Batang pengaman harus dipasang pada puncak tower.



Gambar 2. Contoh Batang Pengaman.

# Konduktor Penghubung Tanah

Konduktor penghubung tanah adalah konduktor vertikal yang menghubungkan batang pengaman ke tanah. Konduktor penghubung tanah terdiri atas jalur resistansi rendah untuk mengalirkan arus ke tanah dengan aman. Setiap tower BTS setidaknya memiliki satu konduktor penghubung tanah yang diletakkan di sudut tower.



a. Ericore Conductor b. Coaxial Conductor

Gambar 3 Macam-macam Konduktor Penghubung Tanah.

# Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan yang sering digunakan saat ini adalah sistem pentanahan driven rod, counterpoise, dan grid. Sistem pentanahan driven rod dilakukan dengan cara menanam elektroda pentanahan tegak lurus ke dalam tanah yang terdiri dari satu atau lebih elektroda dengan panjang 3 sampai 15 meter. Sistem pentanahan *counterpoise* dilakukan dengan cara menanam elektroda pentanahan ke dalam tanah dengan posisi horizontal atau sejajar dengan permukaan tanah dan direntangkan menjauhi objek yang dilindungi. Sedangkan sistem pentanahan grid dilakukan dengan cara kawat tembaga dihubungkan seperti anyaman (mesh) dalam bentuk persegi panjang atau bujur sangkar, dapat berupa 1 mesh, 4 mesh, 16 mesh, dan seterusnya.



a. Driven rod

b.*Counterpoise* 



Gambar 4. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan yang baik harus mampu melindungi seorang atau peralatan dari bahaya tegangan lebih yang terjadi. Agar mampu mengalirkan arus listrik yang besar ke tanah dengan aman, maka sistem pentanahan harus memiliki sistem impedansi yang cukup rendah. Elektroda pentanahan dalam bentuk batang atau pelat elektroda harus dihubungkan ke setiap konduktor tanah melalui titik uji.

# **Proteksi Internal**

Peralatan proteksi internal pada BTS biasanya menggunakan peralatan pemotong arus surja petir seperti SPDs (*SurgeProtective Devices*) atau arrester.

## SPDs(Surge Protective Devices)/Arrester

Surge Protective Devices (SPDs) dapat dikategorikan menjadi arester arus petir *(lightning*) current arresters) dan suppressors. SPDs dapat memberikan proteksi terhadap muatan elektrik bahkan sebelum adanya sambaran kilatan petir. SPDs dihubungkan di antara sumber tenaga dan peralatan atau komponen yang sedang diproteksi. SPDs terdiri dari kapasitor dan resistor yang cukup besar untuk menahan dan mengalihkan ke tanah pulsa elektrik yang tidak lazim yang dapat peralatan elektronik merusak atau peralatan radio pada BTS.

## Sambaran Petir

Petir terjadi berawal dari proses fisika dimana terjadi pengumpulan muatanmuatan listrik di awan. Dalam keadaan normal, pada atmosfer bumi terdapat ion positif dan ion negatif yang tersebar secara acak. Ion-ion ini terjadi karena tumbukan atom, pancaran sinar kosmis dan energi thermis. Pada keadaan cuaca cerah terdapat medan listrik yang berarah tegak lurus kebawah menuju bumi. Dengan adanya medan listrik tersebut, maka butiran air yang ada di udara akan terpolarisasi karena induksi. Bagian atas bermuatan negatif dan bagian bawah bermuatan positif. Di dalam awan adakalanya terjadi pergerakan arus udara ke atas membawa butir-butir air yang berat jenisnya lebih tinggi. Karena mengalami pendinginan, butiran air ini akan membeku sehingga berat jenisnya membesar yang mengakibatkan timbulnya gerakan ke bawah dengan kecepatan sangat tinggi. Dalam pergerakannya, timbul gaya tarik terhadap ion-ion negatif dan menolak ion positif.



Gambar 5. Muatan pada Awan.

Akibatnya butiran air besar yang mengandung ion negatif berkumpul di bagian bawah awan, sementara pada bagian atas awan akan berkumpul ion bermuatan positif.

Bersamaan dengan terjadinya pengumpulan muatan, pada awan timbul medan listrik yang intensitasnya semakin besar dan akibatnya gerakan ke bawah butir-butir air menjadi terhambat atau terhenti. Akibatnya terbentuk medan listrik antara awan dan permukaan bumi. Apabila medan listrik ini melebihi kekuatan tembus udara terjadilah pelepasan muatan. Distribusi muatan di awan pada umumnya di bagian atas bermuatan positif dan di bagian bawah bermuatan negatif. Sambaran akan diawali oleh kanal muatan negatif menuju daerah yang terinduksi positif, umumnya sambaran yang terjadi adalah sambaran muatan negatif dari awan ke tanah.

Polaritas awan tidak hanya berpengaruh pada arah sambaran, tetapi juga berpengaruh pada besar arus sambaran. Aliran muatan listrik yang terjadi antara awan dengan tanah disebabkan adanya kuat medan listrik, antara muatan awan dengan muatan induksi di permukaan tanah yang polaritasnya berlawanan. Semakin besar muatan yang terdapat pada awan, semakin besar pula medan listrik yang terjadi. Apabila kuat medan ini melebihi kekuatan tembus udara, maka terjadilah aliran muatan dari awan ke tanah. Peristiwa aliran ini disebut kilat atau petir.

Setiap sambaran petir diawali dengan muatan awal bercahaya lemah yang disebut dengan aliran perintis (pilot streamer). Aliran perintis ini menentukan arah pearambatan muatan awan ke udara. Kejadian ini disebabkan adanya tembus listrik lokal di dalam awan, akibat kuat medan listrik yang dibentuk oleh muatan mayoritas negatif dengan muatan minoritas positif di bagian bawah awan petir. Arus yang berhubungan dengan aliran perintis ini sangat kecil yang hanya mencapai beberapa ampere. Tembus lokal memberi kesempatan kepada muatan untuk bergerak dan bergesekan dengan uap air dengan temperatur yang tinggi, sehingga akan meningkatkan konsentrasi muatan negatif di awan.

Akibat konsentrasi muatan yang amat tinggi sehingga melebihi harga kritisnya, menyebabkan terbentuknya lidah muatan negatif. Lidah bermuatan negatif adalah gejala aliran muatan sebagian yang dikenal dengan nama sambaran perintis (*stepped leader*).

Langkah dari sambaran perintis selalu diikuti oleh titik-titik cahaya yang bergerak turun ke bumi dan melompat-lompat lurus, dengan arah lompatan langkah yang berubah, sehingga keseluruhan jalannya tidak lurus dan patah-patah. Selama pusat muatan di awan dapat memberikan muatan untuk mempertahankan gradien tegangan pada ujung sambaran perintis yang melebihi kekuatan tembus udara, maka sambaran perintis akan terus bergerak turun. Sebaliknya bila gradien tegangan di ujung sambaran perintis lebih kecil dari kekuatan tembus udara, maka tidak terjadi lidah berikutnya dan sambaran perintis akan berhenti. Bila perintis ini telah dekat dengan bumi, akan terbentuk kanal muatan positif dari bumi yang naik menyongsong turunnya sambaran perintis. Pertemuan kedua kanal akan menyebabkan ujung sambaran perintis terhubung singkat ke tanah dan seketika gelombang muatan positif di bumi bergerak naik menuju ke pusat awan. Peristiwa ini dikenal dengan sambaran balik (*return stroke*)<sup>[1]</sup>.



# Gambar 6. Sambaran langsung pada Tower BTS.

Sambaran petir mempunyai besar arus surja yang berbeda-beda. Probabilitas besarnya arus surja petir yang terjadi ini dirumuskan menurut *Anderson*-erikson sebagai berikut<sup>[2]</sup> :

$$P_{i} = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31kA}\right)^{2,6}} \times 100\%$$
(1)

Dimana :  $P_i$  = Probabilitas sambaran petir I = Arus surja petir (kA)

#### C. Pengujian dan Simulasi

Pada penelitian ini metodologi yang digunakan adalah dengan memodelkan sistem proteksi pada BTS kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak EMTP.

#### Pemodelan EMTP

Distribusi arus surja yang akan dirasakan pada pentanahan di sekitar tower BTS yang tersambar petir secara langsung akan dicari dengan membuat model setiap komponen yang ada pada sistem proteksi pada tower BTS tersebut. Komponenkomponen yang akan dimodelkan antara lain adalah:

- a. Surja petir
- b. Batang pengaman dan konduktor penghubung tanah.
- c. SPDs/Arester.
- d. Transformator tegangan menengahrendah.
- e. Sistem pentanahan.
- f. Peralatan radio.

#### **Model Surja Petir**

Surja petir sebagai fungsi waktu dapat didefinisikan dengan bentuk gelombang sebagai berikut <sup>[5]</sup>:

$$I(t) = I(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$
<sup>(2)</sup>

dimana: I = nilai arus puncak,  $\alpha$  = koefisien karakteristik pertama arus,  $\beta$  = koefisien karakteristik kedua arus, dan t = waktu.

Bentuk arus surja petir dapat digambarkan seperti pada gambar berikut.



Gambar.7. Bentuk gelombang surja petir.

## Model Batang Pengaman dan Konduktor Penghubung Tanah.

Prinsip utama proteksi terhadap sambaran petir menggunakan batang pengaman adalah dengan mengalihkan sambaran petir ke batang pengaman sehingga tidak menyambar objek yang diproteksi. Sebagai alat proteksi ada dua fungsi utama batang pengaman yaitu; pertama sebagai tameng atau perisai yang kedua sebagai pemberi jalan termudah untuk dilalui/disambar petir. Konduktor penghubung tanah berfungsi untuk menyalurkan arus surja petir yang telah ditangkap oleh batang pengaman ke tanah secara aman tanpa terjadinya loncatan listrik (imbasan) ke bangunan atau manusia. Ini dapat dimodelkan dengan tahanan dan induktor terhubung seri sebagaimana vang dimodelkan oleh Rakotomalala A, et al (1994)<sup>[6]</sup>. Resistansinya diberikan oleh persamaan:

$$R_{rod} = \rho \frac{l}{S} \tag{3}$$

$$L_{rod} = L \times l \tag{4}$$

dimana:

 $\rho$  = resistifitas konduktor,

l = panjang konduktor penghubung tanah,

S = luas permukaan konduktor

penghubung tanah,

L = induktansi per unit panjang.



Gambar.8. Model batang pengaman dan konduktor penghubung tanah.

#### SPDs/Arrester

Model SPD akan digunakan model EMTP<sup>[7]</sup> atau menurut IEEE<sup>[8]</sup>. Arester ZnO dapat dimodelkan sebagai rangkaian arester ganda, dengan tambahan RLC. Model arester ZnO yang diajukan oleh IEEE W.G #.4.11 tahun 1992 diperlihatkan pada gambar 11.



Gambar 9. Model Arester ZnO oleh IEEE

Sedangkan untuk karakteristik arester  $ZnO^{[8]}$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

A0		A1		
I (A)	V (kV)	<b>I</b> (A)	V (kV)	
100	238,70	100	190,50	
1000	260,40	1000	210,80	
2000	269,70	2000	221,65	
4000	279,00	4000	229,40	
6000	282,10	6000	232,50	
10000	294,50	10000	240,25	
16000	310,00	16000	246,45	
20000	325,50	20000	249,55	

Tabel 1. Karakteristik arester ZnO.

#### Model Saluran Daya.

Model saluran daya akan digunakan model saluran daya untuk saluran pendek dan menurut nilai- nilai R dan L yang berdasarkan pada tabel karakteristik konduktor<sup>[9]</sup>.





daya.

$$R = R \frac{\Omega}{mi}$$

$$R = \frac{R}{1,609 \times 10^3} \frac{\Omega}{m}$$
(5)

$$L = \frac{X_L}{2\pi \times f} \Omega / mi$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi \times f \times 1,6093 \times 10^3} \Omega / m \tag{6}$$

Dimana :

R = resistansi konduktor

 $X_L$  = Reaktansi induktansi konduktor.

f = Frekuensi.

L = Induktansi konduktor.

# Model Transformator Tegangan Menengah Rendah

Transformator tegangan rendah pada sisi sekunder akan dimodelkan sebagai berikut<sup>[6]</sup>:



Gambar .11. Model transformator

#### Model sistem pentanahan

Sistem pentanahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem pentanahan tiga *driven rod* yang dimodelkan dalam rangkaian ekivalen sebagai berikut<sup>[10]</sup>:



Gambar 12. Model sistem pentanahan tiga *driven rod*.

Dengan asumsi arus uniform maka resistansi dari *driven rod* adalah :

$$R = \frac{\rho}{4\pi\ell} \left[ \ln\left(\frac{32\ell}{d.d_{12}}\right) - 2 + \frac{d_{12}}{2.\ell} - \frac{d_{12}^2}{16.\ell^2} \right]$$
(7)

Kapasitansi dari driven rod adalah :

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_r\varepsilon_0\ell}{\ln\left(\frac{d_{12}}{d}\right)}$$
(8)

Induktansi dari driven rod adalah :

$$L = 2.10^{-7} . \pi . \ell . \left[ \ln \left( \frac{1}{r} \right) + \ln \left( d_{12} \right) \right]$$
(9)

Dimana :

- $\rho$  = Resistivitas dari tanah ( $\Omega$ m)
- $\ell$  = Panjang batang pembumian (m)
- d = Diameter batang pembumian (m)
- $d_{12}$  = Jarak antara dua batang pembumian (m)
- r = Jari-jari batang pembumian (m)
- r' = 0.,7788 r (faktor koreksi ionisasi tanah)
- $\varepsilon_0$  = Konstanta dielektrik hampa udara
- $\varepsilon_r$  = Konstanta dielektrik dari tanah antara 4 dan 70 ( 4 untuk tanah kering, 9

untuk tanah basah dan 70 untuk air murni).

#### Peralatan radio

Model saluran peralatan radio akan digunakan model sebagai berikut<sup>[11]</sup> :



Gambar 13. Model saluran peralatan radio

Distribusi arus surja pada tower yang tersambar langsung dapat digambarkan menjadi sebuah pada gambar 10. Dari skema gambar 10 dapat dibuat menjadi sebuah rangkaian ekivalen sistem proteksi petir dalam EMTP seperti gambar 11.

## Simulasi dengan EMTP

Model tersebut digambar dengan menggunakan program ATP Draw selanjutnya dijalankan (run) dengan menggunakan EMTP. Data dari hasil simulasi adalah besarnya arus yang terdistribusi ke masing-masing saluran, yakni saluran daya (i<sub>dy</sub>), pentanahan(i<sub>ptn</sub>), dan peralatan radio  $(i_{re})$  dengan beberapa variabel yakni:

- Perubahan nilai arus surja. Dimana arus surja bervariasi dari 10 kA, 14 kA, 20 kA, 30 kA, 50 kA, 70 kA, 90 kA dan 100 kA.
- Perubahan waktu muka dan waktu ekor gelombang arus surja. Yaitu 1,2 /50 μs, 1,8/30 μs, 5,5/75μs dan 18/200 μs.

Pada simulasi ini, parameter tetap yang digunakan adalah:

- 1. Tahanan dan induktansi batang pengaman dan konduktor penghubung tanah, (Rdc) sebesar 27,6 m $\Omega$  dan (Ldc) sebesar 80  $\mu$ H.
- 2. Tahanan transformator (Rtr) sebesar 0,1  $\Omega$ , induktansi transformator (Ltr) sebesar 0,1  $\mu$ H, dan kapasitansi transformator (Ctr) sebesar 1 nF.



Gambar.14. Skema sistem proteksi pada BTS



Gambar.15. Model rangkaian EMTP sistem proteksi pada BTS

- 3. Tahanan elektroda pentanahan (Rptn) sebesar 5,75  $\Omega/m$ , induktansi elektroda pentanahan (Lptn) sebesar 12,15  $\mu$ H/m, dan kapasitansi elektroda pentanahan (Cptn) sebesar 169,23 pF/m.
- 4. Tahanan saluran daya (Rdy) sebesar 0,23750  $\Omega$ /m dan induktansi saluran daya (Ldy) sebesar 9,56 x 10-4 H/m.
- 5. Tahanan saluran parelatan radio (Rre) sebesar 94 x 10-3  $\Omega/m$ , induktansi saluran peralatan radio (Lre) sebesar

0,67  $\mu$ H/m, dan kapasitansi saluran peralatan radio (Cre) sebesar 59 pF/m.

# Penentuan Kapasitas Arus Surja Arester

Penentuan kapasitas arus surja arester bukan semata-mata dilihat dari arus terbesar yang dapat terjadi pada saat sambaran petir. Tetapi juga mempertimbangkan probabilitas besarnya arus surja petir yang sering terjadi. Probabilitas dirumuskan ini oleh Anderson-erikson adalah sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

$$P_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31kA}\right)^{2,6}} \times 100\%$$

## D. Pembahasan

Hasil simulasi adalah besarnya arus yang terdistribusi ke masing-masing saluran, yakni saluran daya  $(i_{dy})$ , pentanahan $(i_{ptn})$ , dan peralatan radio  $(i_{re})$ .Gambar 16, 17. 18 dan 19 adalah contoh hasil dari simulasi dengan arus surja sebesar 10 kA dengan waktu muka dan waktu ekor yang bervariasi.



Gambar 16. Hasil simulasi untuk arus surja 10 kA dengan  $(T_1)$  dan  $(T_2)$  sebesar 1,2 /50 µs.

Hasil lengkap simulasi untuk ketiga jenis arus pada kondisi arus surja 10 kA, 14 kA, 20 kA, 30 kA, 50 kA, 70 kA, 90 kA dan 100 kA dengan waktu muka yang berbeda berbeda disajikan dalam bentuk tabel dan grafik adalah sebagai berikut :



Gambar 17. Hasil simulasi untuk arus surja 10 kA dengan  $(T_1)$  dan  $(T_2)$  sebesar 1,8 /30 µs.



Gambar 18. Hasil simulasi untuk arus surja 10 kA dengan (T1) dan (T2) sebesar 5,5 /75 µs.



Gambar 19. Hasil simulasi untuk arus surja 10 kA dengan (T1) dan (T2) sebesar 18 /200 µs.

Tabel 2. Distribusi arus yang masuk kedalam sistem pentanahan (Iptn) dalam kA.

Arus	1,2 /50	1,8/30	5,5/75	18/200
kA	μs	μs	μs	μs
10	6,595	6,618	6,120	5,181
14	9,233	9,266	8,568	7,253
20	13,190	13,237	12,241	10,362
30	19,784	19,885	18,361	15,543
50	32,665	32,816	30,547	25,902
70	44,881	45,113	42,233	36,154
90	57,056	57,346	53,642	46,034
100	62,682	62,297	59,246	50,906

60,000 50,000 40,000 Idy (A) 30,000 20,000 10,000 0 0 20 40 60 80 100 120 Isurja (kA) - 1,2/50 - 1,8/30 - 5,5/75 - 18/200

Gambar 21. Hubungan antara arus surja dan arus yang terdistribusi ke dalam saluran daya

Tabel 3. Distribusi arus yang masuk kedalam sistem daya (Idy) dalam kA.

Arus	1,2 /50	1,8/30	5,5/75	18/200
kA	μs	μs	μs	μs
10	3,867	3,566	4,487	5,027
14	5,413	4,993	6,281	7,041
20	7,733	7,133	8,974	10,058
30	11,600	10,699	13,460	15,087
50	19,242	17,751	22,416	25,145
70	26,707	24,624	31,240	35,175
90	34,163	31,486	39,996	45,131
100	37,886	34,908	44,378	50,094



Gambar 20. Hubungan antara arus surja dan arus yang terdistribusi ke dalam sistem pentanahan

Tabel 4. Distribusi arus yang masuk kedalam saluran peralatan radio (Ire) dalam kA.

Arus	1,2 /50	1,8/3	5,5/75	18/20
kA	μs	μs	μs	μs
10	3,539	3,297	4,054	4,427
14	4,955	4,616	5,675	6,198
20	7,078	6,566	8,107	8,854
30	10,617	9,981	12,13	13,281
50	17,568	16,37	20,24	22,134
70	24,270	22,26	28,14	30,953
90	30,966	28,81	35,95	39,670
100	34,313	31,91	39,86	44,009



Gambar 22. Hubungan antara arus surja dan arus yang terdistribusi ke dalam peralatan radio

Dari hasil simulasi yang ditampilkan melalui tabel dan grafik, terlihat besarnya arus surja maksimum yang terdistribusi pada masing-masing saluran berbeda hasilnya tergantung besar arus surja yang diinjeksikan. Semakin besar nilai arus surja yang diinjeksikan maka semakin besar pula nilai distribusi arusnya.

Perubahan waktu muka/waktu ekor gelombang juga berpengaruh terhadap besarnya arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran. Untuk besar arus yang sama waktu muka/waktu ekor vang berbeda menyebabkan distribusi arus yang berbeda juga. Pada saluran daya dan saluran peralatan radio semakin besar waktu muka/waktu ekor gelombang, semakin besar arus yang mengalir di saluran daya  $(I_{dv})$  dan saluran peralatan radio  $(I_{re})$ tersebut. Sedangkan untuk arus yang mengalir di saluran pentanahan  $(I_{ptn})$ , akan semakin kecil seiring dengan meningkatnya waktu muka/waktu ekor gelombang.

Hal ini disebabkan karena pada saluran daya dan saluran peralatan radio terdapat dimana pada keadaan normal arester. arester berfungsi sebagai isolator dengan impedansi yang besar dan bila timbul arus surja berfungsi sebagai konduktor dengan impedansi yang kecil. Perubahan arester dari isolator menjadi konduktor ini memerlukan waktu, sehingga apabila arus surja datang dengan waktu muka/waktu ekor yang besar atau lebih landai maka impedansi arester akan semakin kecil dan menyebabkan arus yang dilewatkan arester semakin besar.

## Penentuan Kapasitas Arus Arrester

Untuk melindungi saluran daya dan saluran peralatan radio dari kerusakan akibat arus lebih yang dihasilkan oleh sambaran petir, maka dipasanglah alat pemotong arus surja vaitu SPDs, dalam hal ini SPDs yang digunakan adalah arester ZnO. Penentuan kapasitas arus surja yang dibutuhkan oleh arester pada suatu BTS adalah arus surja maksimum yang mengalir pada saluran daya dan saluran peralatan radio dengan mempertimbangkan besarnya kemungkinannya arus puncak surja petir yang sering terjadi atau probabilitasnya paling besar. Berdasarkan rumus Anderson-Erikson (1), probabiltas 50 % terjadi pada nilai  $\pm 30$  kA. Pada nilai arus surja 30 kA, besar arus surja yang paling besar dirasakan oleh saluran peralatan radio dan saluran daya adalah sebesar 15,087 kA. Sehingga arester yang direkomendasikan bila faktor probabilitas diperhitungkan adalah arester yang mempunyai kapasitas arus surja sebesar 20  $kA^{[12]}$ .

Tetapi jika tanpa mempertimbangkan probabilitas sambaran yang sering terjadi, maka distribusi arus maksimum yang akan melewati arester adalah 50,094 kA pada saat sambaran petir sebesar 100 kA. Jadi arester yang digunakan adalah arester yang mempunyai kapasitas arus sebesar 65 kA<sup>[12]</sup>.

## Daftar Pustaka

- Abduh, Syamsir dan Laksana, D, Ronald, 2002, "Pengaruh Arus Sambaran Petir Dan Tinggi Tiang Pada Tegangan Puncak Tiang Transmisi", Jurnal Teknik Tegangan Tinggi Indonesia.
- [2] Hutauruk,T.S.,1989, "Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja", Erlangga. Jakarta.
- [3] Zoro, Reynaldo, 2002. "Sistem Proteksi Terhadap Pengaruh Sambaran Petir Pada Struktur Bangunan Tinggi Dengan Bangunan Di Sekotarnya", Lab. Teknik Tegangan Tinggi dan Arus Tinggi, 4-5 juli..

- [4] Purwanto, 2006, "Telaahan Staf Mengenai Tower Sebagai Sarana Pendukung Komunikasi Dan Informasi", Kepala kantor pengolahan data elektronik dan arsip daerah, Kabupaten Purbalingga.
- [5] Anderson, R.B. and A.J. Erikson, 1980, "*Lightning Parameters For Engineering Aplication*", Electra, pp. 65-102.
- [6] Rakotomala A, et al, 1994, *"Lightning Distribution Through Earthing System"*, IEEE Trans Power Appar. And Syst, pp. 419-423.
- [7] Dommel, H.W, 1986, "*EMTP Theory Book*", Bonneville.

- [8] IEEE WG 3.4.11, 1992, "Modeling of Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Trans. on Pow. Delivery. 7(1), pp 302-309.
- [9] Gonen, Turan, 1998, "Electric Power Transmission System Engineering", John Wiley & Sons, USA.
- [10] Rajagukguk, Managam, 2002,
   "Analisis Transiens Prilaku Sistem Pembumian Driven Rod", Jurnal Teknik Tegangan Tinggi Indonesia.
- [11] -----.2006. "UTP High Speed Data/LAN Type". www.digikey.com.
- [12] <u>http://www.schneider-</u> <u>electric.com/sites/corporate/en/produ</u> <u>cts-service</u>.