

PENGARUH TAHANAN-JENIS TANAH PADA TEGANGAN LANGKAH YANG DITIMBULKAN OLEH SEBUAH SAMBARAN PETIR

Budi Utama^{1,a}

¹Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta

^abudiutamaduautama@gmail.com

Abstrak

Tulisan ini menganalisis penyebaran tegangan langkah disekitar sebuah struktur menara Base Transceiver Station (BTS) pascasambaran petir di puncaknya. Tegangan langkah diinvestigasi terhadap setiap perubahan komposisi tahanan-jenis (resistivity) tanah yang diakibatkan oleh musim kemarau dan hujan. Perhitungan dikerjakan dengan menggunakan perangkat (program) Matlab dengan menyelesaikan model persamaannya. Analisis ini menggambarkan bahwa besaran tegangan langkah bervariasi dengan perubahan nilai 'tahanan jenis' tanah ketika musim kemarau dan selama musim hujan terjadi. Pada musim hujan dan di akhir musim hujan tegangan langkah yang muncul relatif sangat kecil dibandingkan dengan pemunculan tegangan langkah saat di penghujung musim kemarau dimana terjadi hujan pertama kali. Hasilnya sangat penting bagi negara seperti Indonesia di mana tingkat presipitasi (curah hujan) umumnya tinggi di sebagian besar negara.

Kata kunci: Menara-BTS, Tegangan-Langkah, Petir

Abstract

This paper analyses the step voltage distribution on the surface of the ground in the proximity of the Base Transceiver Station (BTS) after a lightning stroke at the top of the BTS tower. Since each change of the resistivity of the ground caused by rainy and dry season, the step voltage will be calculated and investigated. The computations were carried out using Matlab software by solving the modelling equations. The analysis depicts that the magnitude of the step voltage varies with the change of the value of resistivity of the ground in the proximity of the BTS tower when in the dry season and rainy was happened. If a lightning strike to hit the top of the BTS tower, the magnitude of step voltage is relatively small compared to that at the end of the dry season where the first rain occurred. The results are of high significance to a country such as Indonesia where the precipitation levels are generally high in most parts of the country.

Keywords: Tower-BTS, Step-Voltage, Lightning

1. Pendahuluan

Semua piranti (*device*) yang terpasang diatas menara BTS merupakan perlengkapan komunikasi yang sangat rentan terhadap induksi elektromagnetik dari sebuah sambaran petir (*stepped leader*). Induksi ini muncul saat terjadi sambaran petir di puncak menara BTS. Fenomena seperti ini terbukti ketika terjadi insiden sambaran petir pada menara BTS yang berdiri di atas lahan 500 meter persegi berdekatan dengan pemukiman warga dan sejumlah rumah warga yang jaraknya beradius 200 meter juga terkena dampak. Bentuk lain keluhan warga sekitar menara BTS adalah rasa takut ketika hujan deras, ketika terdengar suara dan kilatan petir disekitar menara BTS.

Dalam beberapa tahun terakhir, dengan penggunaan telekomunikasi telepon seluler yang luar biasa, kekhawatiran yang semakin besar tentang kemungkinan bahaya kesehatan telah sangat meningkat di kalangan publik dan ilmuwan. Penelitian yang berorientasi untuk mengetahui reaksi psikologis dan psikobiologis yang telah dilakukan [1] menunjukkan bahwa paparan ponsel telah terbukti memiliki banyak efek pada fungsi kekebalan tubuh, merangsang hormon, otak mamalia, motilitas sperma dan morfologi, dan sindrom neurologis patologi [1]. Pada sistem yang beroperasi pada koridor frekuensi *Extremely Low Frequency*, ELF, pada kehadiran lingkungan *power-plant*, *switchgear* tegangan tinggi, saluran transmisi tegangan tinggi, pada transformator daya, dan banyak peralatan listrik yang untuk saat ini akan menyebabkan manusia terpaparkan (*exposure*) oleh medan elektromagnetik pada koridor ELF ini [2].

Di dalam piranti elektronik modern, konverter energi digunakan sebagai pengganti transformator, ini menyebabkan pemunculan yang lebih tinggi harmonik tegangan dan arus listrik. Khususnya pada harmonik ketiga 150 Hz mempunyai nilai signifikans dan juga muncul di dalam lingkungan [2]. Belum lagi jika menara antenna BTS ini tersambar oleh petir, tentunya potensi untuk tersambar petir kemungkinannya ada dan mempunyai tingkat *probability* yang tinggi, hal ini

dikarenakan struktur menara men julang vertikal dan tinggi yang mampu menimbulkan kuantitas dan densiti garis medan yang cukup tinggi serta mempunyai konfigurasi garis medan (fluks medan) yang bersifat 'sangat amat tak homogen'. Sifat medan listrik seperti ini (medan listrik yang tak homogen) adalah menjadi jalan 'tol' yang paling disenangi oleh alur petir (*stepped leader*). Sebuah sambaran petir akan menimbulkan efek : elektrostatis, induksi, dan radiasi. *Lightning rod* yang terpasang di puncak menara BTS merupakan bagian terminasi untuk menjemput alur *stepped leader* petir yang berasal dari awan dan juga sekaligus menjadi terminasi pemunculan 'aliran-penghubung-naik' (*upward streamer*) yang muncul di ujung *Lightning Rod* dengan arah ke atas. Sebuah alur sambaran petir akan terjadi jika perjalanan antara *stepped leader* (yang berarah ke bumi) dan perjalaaan *upward streamer* (yang berarah ke atas) bertemu di suatu titik pertemuan. Ketika sebuah sambaran petir mengenai puncak menara BTS maka terjadi penyatuan dua aliran yaitu 'aliran-penghubung-naik' (*upward-streamer*) dan 'aliran lidah lompat' atau *stepped leader* yang menghasilkan 'muatan paksa' (*forcing charge*) di atas menara dalam bentuk gelombang impuls (*impulse wave*) muatan q [3, 4]. Pada lokasi menara BTS di dusun Mendak ini kontur tanah termasuk subur dan di jumpai beberapa ongkok bebatuan dengan ukuran kecil sampai besar, dan juga dapat di tumbuhi oleh sedikit tumbuhan jenis semak. Sedangkan jenis tanah disekitar lokasi terdiri dari jenis : 1. Tanah *Mediteran* ; 2. Tanah *Regosol* ; 3. Tanah *Latosol* ; 4. Tanah *Gromosol* dan 5. Tanah *Rendzina*. Khusus kawasan di dusun Mendak, kontur tanah termasuk subur dan dijumpai beberapa ongkok bebatuan dengan ukuran kecil sampai besar, dan juga dapat ditumbuhi oleh sedikit tumbuhan jenis semak. Disisi lain, kondisi kawasan termasuk kawasan dengan tingkat *isokrauniclevel* (IKL) petirnya berkisar antara 30 sampai dengan 40.

Jika gelombang impuls muatan q_0 mengalami pergerakan maka akan menimbulkan gelombang impuls arus yang arahnya menuju ke kaki menara BTS dan kemudian masuk ke sistem pentanahan (*grounding system*) melalui konduktor turun (*down conductor*) yang sebelumnya telah terpasang pada menara BTS tersebut. Besar arus ini adalah sama dengan $(v \cdot c \cdot q_0)$ dimana : c adalah kecepatan cahaya (3×10^{10} cm per detik), v adalah kecepatan 'arah aliran balik' (*the head of the return streamer*), biasanya diambil 30 % dari kecepatan cahaya dan q_0 adalah kerapatan muatan dalam coulombs per cm [3]. Se sampainya dipermukaan tanah gelombang arus ini menyebar kesegala arah secara radial dan membentuk tegangan langkah (*step-voltage*) disekitar menara *Base Transceiver-Station*, BTS. Tinggi rendahnya magnitud gelombang arus ini sebelum masuk ke bumi tergantung pada muatan listrik (q_0) yang diluahkan (*discharge*) oleh arus sambaran petir ketika menyentuh puncak menara BTS. Pada sosok struktur menara arus ini membentuk *retarded potential* yang terakumulasi di dalam struktur metal menara [4].

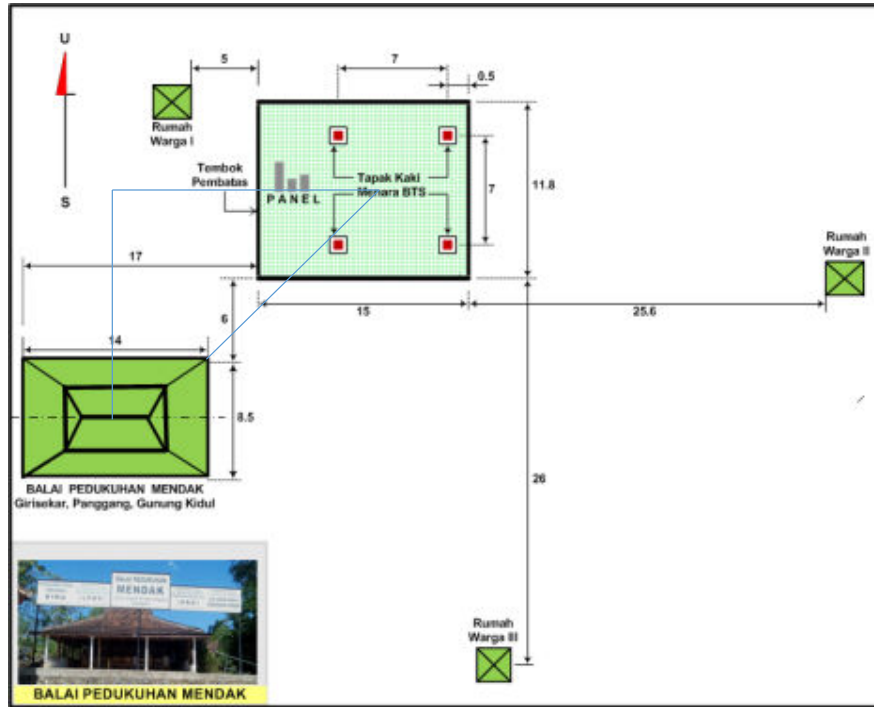
Setelah arus ini menyebar di dalam tanah maka arus ini akan berinteraksi dengan kondisi tanah pada waktu dilewatinya. Suatu kawasan dapat mempunyai kondisi tanah yang berbeda beda. Selain dari itu, kondisi tanahnya juga di pengaruhi oleh kondisi iklim / cuaca sepanjang tahun, sehingga musim hujan dan musim kemarau juga ikut mempengaruhi kondisi tanah yang berada di kawasan Indonesia. Saat musim hujan kandungan tanah menjadi terisi dengan air dan tanahnya menjadi basah, sebaliknya dimusim kemarau tanah yang tadinya diguyur oleh air hujan berangsur menjadi kering. Kondisi basah dan kering ini akan merubah nilai/angka dari tahanan jenis dari tanahnya (ρ dibaca : rho) yang mempunyai satuan (Ohm.mtr).

Tulisan ini mencoba menyajikan dan bertujuan menentukan angka nilai tegangan langkah (*step-voltage*) yang disebabkan oleh sambaran petir di puncak menara *Base Transceiver Station* (BTS), dengan tinggi menara 40 meter. Disajikan juga visualisasi sebaran tegangan langkah secara radial terhadap jarak radialnya dari titik poros menara BTS dengan beberapa kondisi tahanan jenis tanah (Ohm.mtr) yang dipengaruhi oleh musim hujan dan musim kemarau (karena Indonesia mengalami dua musim ini). Inves tigasi sebaran tegangan langkah dikerjakan pada jarak sejauh 500 meter dari posisi poros menara BTS, namun demikian secara detail sebaran tegangan langkah sejauh 200 meter ikut di tampilkan juga dengan visual yang diperbesar. Hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan kurva tegangan langkah. Bentuk variabel tegangan langkah (V_s) disatukan dengan besar amplitudo arus petirnya (I_p) sehigga membentuk : (V_s/I_p) dengan satuan Volt tegangan langkah per Amper arus sambaran petir untuk setiap posisi jarak objek yang akan dihitung / ditentukan angka besaran teganga langkah yang terjadi.

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian terletak di dusun Mendak, Desa Girisekar, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul. Menara *Base Transceiver Station* (BTS) yang ditemui di dusun Mendak ini dibangun berdekatan dengan rumah rumah penduduk/warga dan balai dusun Mendak (sekitar 10 meter dari poros menara BTS), dengan ketinggian kurang lebih 40 meter, jenis menara empat kaki. Kondisi iklim dilokasi menara termasuk tropis, jadi mengalami dua musim, kemarau dan musim hujan. Terletak pada kawasan yang mempunyai *isokraunic level* (IKL) diantara 30 dan 40 dengan kerapatan sambaran petir ketanah per

kilo meter persegi perta hunnya berkisar pada angka 2.808 smbaran per km² per tahun sampai dengan 4.024 sambaran per km² per tahun [5]. Menara berdiri diatas bukit dengan ketinggian antara 20 meter sampai dengan 25 meter. Berikut denah lokasi penelitian, dan beberapa foto visual lokasi menara BTS yang ditempatkan di Dusun Mendak, Desa Girisekar, Kec. Panggang, Gunung Kidul – Yogyakarta.



Gambar 1. Tampak atas menara Base Transceiver Station, BTS

Posisi menara terletak di sisi Timur balai Pedukuhan Mendak dan menaik sedikit di atas bukit. Disekeliling menara di pagar dengan tembok semen setinggi 1.90 m. Ada tiga rumah warga yang terdekat yaitu : Rumah warga I, rumah warga II, dan rumah warga III (Gbr. 1).



Gambar 2. Posisi Balai Pedukuhan Mendak terletak 3 – 17 meter sisi barat dari titik Poros Menara BTS

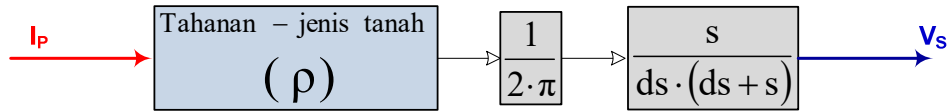
Di dalam tembok terdapat lemari (panel) untuk kabel-kabel yang terhubung ke antena di atas menara. Sedikit ke arah selatan dan sisi barat lebih kurang 3 m sampai dengan 17 m berdiri balai pedukuhan Mendak (Gambar 1 dan Gambar 2)

2.1 Modelling Persamaan

Bentuk persamaan yang digunakan untuk menentukan tegangan langkah melibatkan variabel tahanan-jenis tanah (ρ) dengan satuan Ohm-meter, panjang bentangan kaki rata-rata seorang manusia (s) dalam meter, dan jarak sebaran (ds) dalam meter. Model persamaan ini dapat ditulis [6],

$$V_s = \left(\frac{I_p \cdot \rho}{2 \pi} \right) \cdot \left(\frac{s}{ds \cdot (ds + s)} \right) \tag{1}$$

dengan diagram *block*-nya :

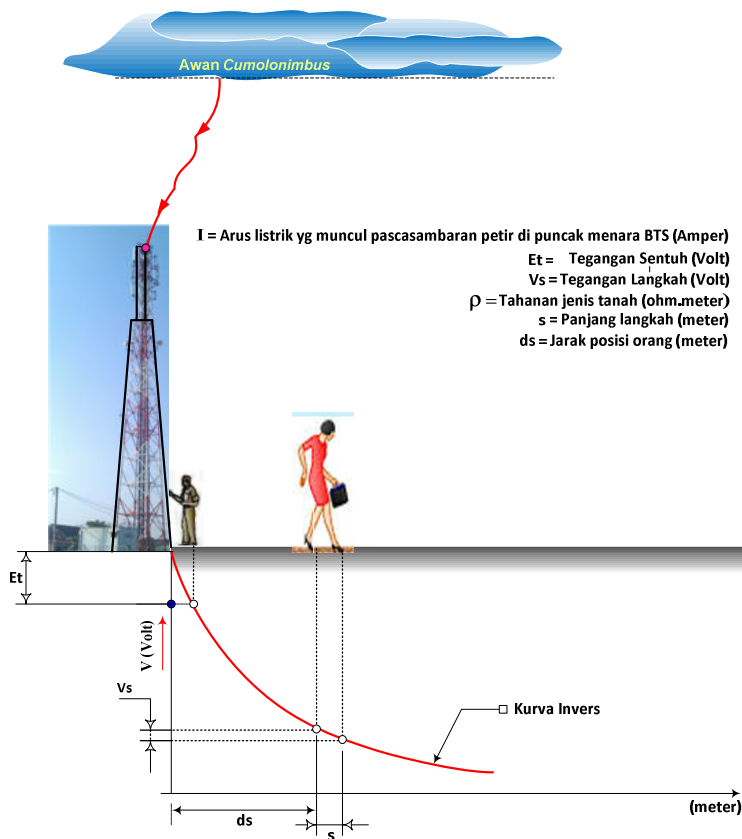


Gambar 3. Diagram *block* terjadinya besaran tegangan langkah.

Karena besaran amplitudo arus petir merupakan data alam yang tidak dapat diketahui harganya maka dalam proses analisisnya persamaan (1) dirubah menjadi,

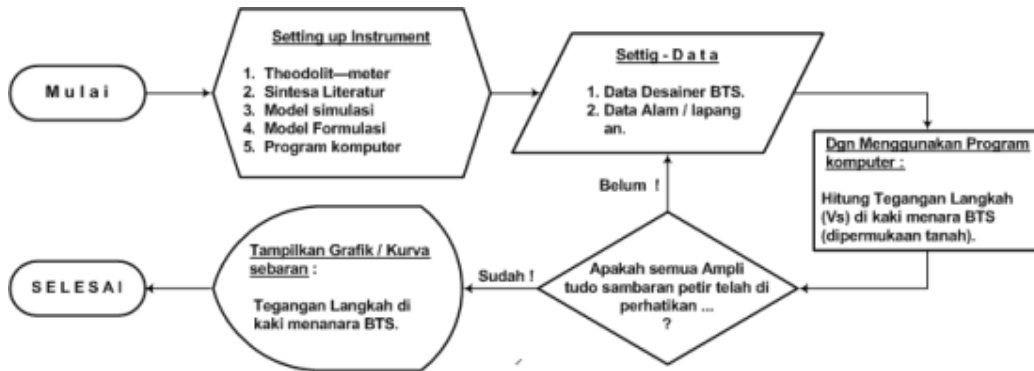
$$\frac{V_s}{I_p} = \left(\frac{\rho}{2 \pi} \right) \cdot \left(\frac{s}{ds \cdot (ds + s)} \right) \tag{2}$$

Bentuk (V_s/I_p) mempunyai satuan Volt per Amper. Sedangkan nilai 'rho' (ρ) dipilih pada kondisi : tanah *organic* basah yaitu hujan deras dan terjadi genangan air, tanah lembab berupa hujan biasa tanpa genangan air, tanah kering yaitu kondisi terjadi saat ditengah musim kemarau, dan tanah kering bebatuan yaitu tanah pada kawasan yang memang jarang turun hujan



Gambar 4. Sebaran tegangan langkah Vs di permukaan tanah [6].

2.2 Diagram alir (flow-chart) keseluruhan penelitian

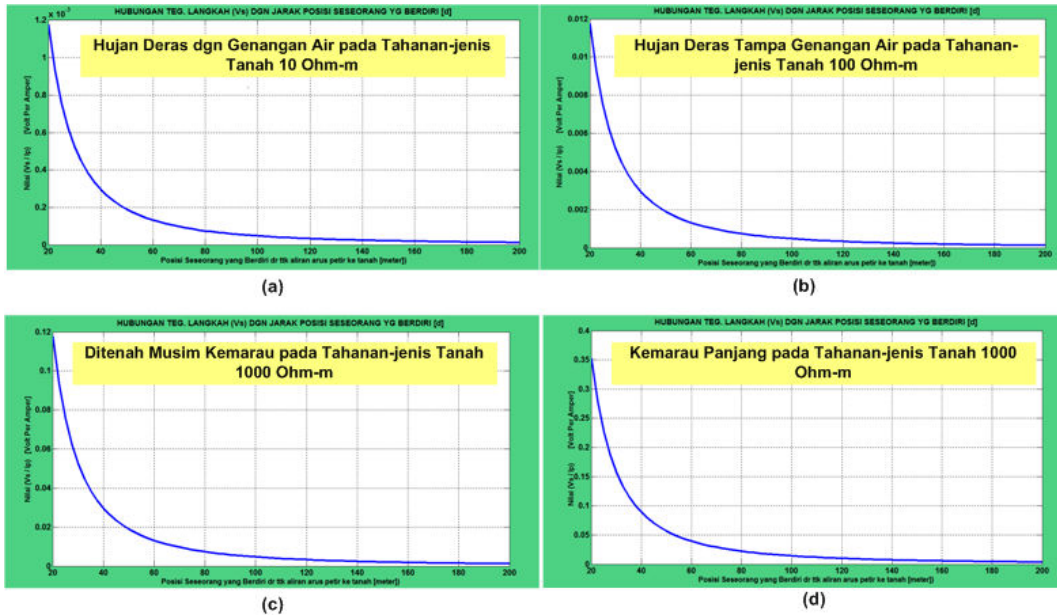


Gambar 5. Alur dan Tahapan Kerja Penelitian

Gambar 5 adalah diagram alir (flowchart) secara keseluruhan dari proses analisis perhitungan di dalam penelitian ini.

3. Hasil dan Analisis

Berikut disajikan beberapa nilai tegangan langkah untuk jarak 200 meter pada tahanan-jenis tanah ketika musim kemarau dan musim penghujan.



Gambar 6. Sebaran Tegangan Langkah pada Permukaan Tanah

3.1. Kondisi Kemarau dan Musim Hujan

Pada musim kemarau tidak ada petir sama sekali, namun demikian diujung akhir musim kemarau panjang akan masuk ke musim hujan pertama kali akan berpotensi pemunculan petir. Oleh karena itu, berdasarkan simulasi yang dikerjakan yaitu dgn amplitudo petir : 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, 30 kA dan 50 kA maka tegangan langkah di penghujung musim kemarau dgn hujan pertama kali dapat ditentukan dengan bantuan Gambar 7 merupakan hasil simulasi dan investigasi untuk tegangan langkah sejauh 20 meter sampai dengan 117.50 meter dengan interval jaraknya sebesar 2.50 meter, dengan nilai ‘tahanan-jenis’ (resistivity) tanah sebesar 3 000 (Ω.m).

Tegangan langkah yang muncul untuk pada jarak 100 meter (gunakan Gambar 7; item nomor 33) untuk kondisi di ujung kemarau panjang, transisi masuk ke musim hujan pertama kali :

$$10 \text{ kA} \rightarrow \left(\frac{V_S}{I_P}\right) = \left(\frac{V_S}{10\,000}\right) = 0.01428110 \rightarrow V_S = (10\,000) \times (0.01428110) = 142.811 \text{ (Volt)}$$

$$15 \text{ kA} \rightarrow \left(\frac{V_S}{I_P}\right) = \left(\frac{V_S}{15\,000}\right) = 0.01428110 \rightarrow V_S = (15\,000) \times (0.01428110) = 214.216 \text{ (Volt)}$$

$$20 \text{ kA} \rightarrow \left(\frac{V_S}{I_P}\right) = \left(\frac{V_S}{20\,000}\right) = 0.01428110 \rightarrow V_S = (20\,000) \times (0.01428110) = 285.622 \text{ (Volt)}$$

$$25 \text{ kA} \rightarrow \left(\frac{V_S}{I_P}\right) = \left(\frac{V_S}{25\,000}\right) = 0.01428110 \rightarrow V_S = (25\,000) \times (0.01428110) = 357.027 \text{ (Volt)}$$

$$30 \text{ kA} \rightarrow \left(\frac{V_S}{I_P}\right) = \left(\frac{V_S}{30\,000}\right) = 0.01428110 \rightarrow V_S = (30\,000) \times (0.01428110) = 428.433 \text{ (Volt)}$$

$$50 \text{ kA} \rightarrow \left(\frac{V_S}{I_P}\right) = \left(\frac{V_S}{50\,000}\right) = 0.01428110 \rightarrow V_S = (50\,000) \times (0.01428110) = 714.055 \text{ (Volt)}$$

Tabel : 1
Nilai Tegangan Langkah per Amplitudo Petir untuk Tahanan Jenis Tanah 3 000 (Ohm-meter)

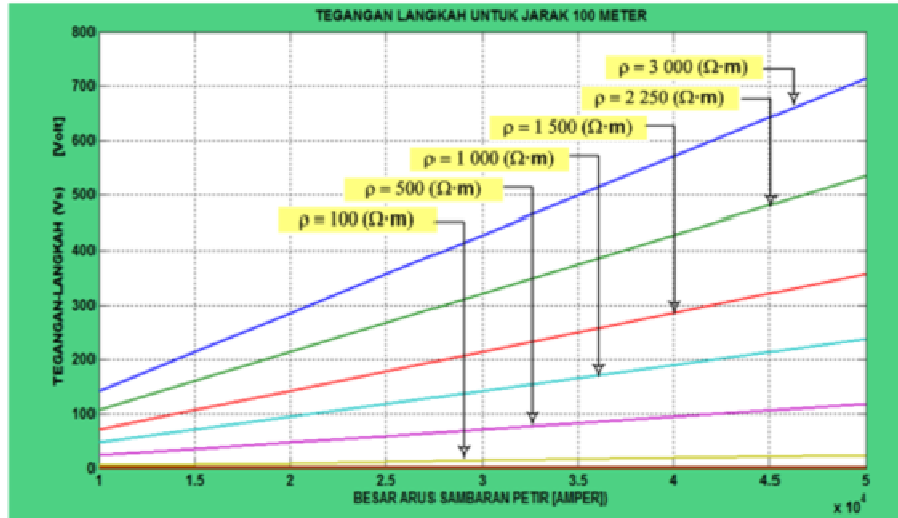
No.	Vs per I [Volt / Amp]	Jarak Posisi Seseorang dari titik Arus Petir yang Masuk ke dalam Bumi [m]
1	0.35280652	20.000
2	0.27921920	22.500
3	0.22646553	25.000
4	0.18736357	27.500
5	0.15757915	30.000
6	0.13437097	32.500
7	0.11593642	35.000
8	0.10105076	37.500
9	0.08885822	40.000
10	0.07874626	42.500
11	0.07026708	45.000
12	0.06308718	47.500
13	0.05695406	50.000
14	0.05167368	52.500
15	0.04709500	55.000
16	0.04309898	57.500
17	0.03959078	60.000
18	0.03649413	62.500
19	0.03374707	65.000
20	0.03129891	67.500

Tabel : 2
Nilai Tegangan Langkah per Amplitudo Petir untuk Tahanan Jenis Tanah 3 000 (Ohm-meter)

No.	Vs per I [Volt / Amp]	Jarak Posisi Seseorang dari titik Arus Petir yang Masuk ke dalam Bumi [m]
21	0.02910779	70.000
22	0.02713896	72.500
23	0.02536334	75.000
24	0.02375644	77.500
25	0.02229755	80.000
26	0.02096903	82.500
27	0.01975580	85.000
28	0.01864490	87.500
29	0.01762513	90.000
30	0.01668680	92.500
31	0.01582144	95.000
32	0.01502170	97.500
33	0.01428110	100.000
34	0.01359395	102.500
35	0.01295523	105.000
36	0.01236048	107.500
37	0.01180577	110.000
38	0.01128758	112.500
39	0.01080278	115.000
40	0.01034855	117.500

Gambar 7. Nilai Tegangan Langkah per Amplitudo Petir untuk Tahanan Jenis Tanah 3000 (Ohm-meter)

Untuk kelembaban dan genangan air dipermukaan tanah dimasukkan dalam analisis perhitungan untuk tahanan jenis (*resistivity*) tanah pada angka : 2250 (Ω.m), 1500 (Ω.m), 1000 (Ω.m), 500 (Ω.m), dan 100 (Ω.m) dimana dikerjakan dengan analisis yang serupa dengan perhitungan di atas hasilnya ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tegangan langkah dengan sambaran petir

3.2 Pengaruh terhadap iklim

Pengaruh terhadap iklim dikelompokkan menjadi: a). Hujan deras dengan genangan air, b). hujan tanpa genangan air, c). ditengah musim kemarau, dan d). Kemarau panjang. Untuk kondisi hujan deras dengan genangan air direpresentativkan dgn angka tahanan-jenis tanah sebesar 10 ($\Omega \cdot m$), tanpa genangan air : 100 ($\Omega \cdot m$), ditengah musim kemarau : 1000 ($\Omega \cdot m$), dan untuk kondisi kemarau panjang direpre sentativkan dengan tahanan-jenis tanah sebesar 3000 ($\Omega \cdot m$). Berikut Gambar 9 menunjukkan hubungan tegangan langkah dengan arus sambaran petir sebesar 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, 30 kA, dan 50 kA pada jarak 100 meter dari titik poros menara yang tersambar petir dengan iklim yang bervariasi.



Gambar 9. Tegangan langkah versus arus sambaran petir

3.3 Tegangan Langkah disekitar Menara BTS

Tegangan Langkah disekitar menara BTS yang dianalisis dan diinvestigasi adalah tegangan langkah yang tersebar di atas permukaan tanah yang dilingkupi oleh bangunan ‘Balai Pedukuhan Mendak’ (BPM). Kawasan permukaan tanah yang terlindungi oleh bagian BPM berjarak antara 20 meter sd 32 meter sehingga dengan demikian nilai (V_s/I_p) yang dipakai yaitu mulai dari nomor urut 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 (Gambar 10). Setelah melakukan analisis perhitungan seperti di atas dengan menggunakan Gambar 10, maka nilai tegangan langkah untuk yang selanjutnya dapat ditentukan dengan cara yang serupa.

No.	Vs per I [Volt/ Amp]	Jarak Posisi Seseorang dari titik Arus Petir yang masuk ke dalam Bumi [m]	No.	Vs per I [Volt/ Amp]	Jarak Posisi Seseorang dari titik Arus Petir yang masuk ke dalam Bumi [m]
1	0.11760217	20.000	21	0.00970260	70.000
2	0.09307307	22.500	22	0.00904632	72.500
3	0.07548851	25.000	23	0.00845445	75.000
4	0.06245452	27.500	24	0.00791881	77.500
5	0.05252638	30.000	25	0.00743252	80.000
6	0.04479032	32.500	26	0.00698968	82.500
7	0.03864547	35.000	27	0.00658527	85.000
8	0.03368359	37.500	28	0.00621497	87.500
9	0.02961941	40.000	29	0.00587504	90.000
10	0.02624875	42.500	30	0.00556227	92.500
11	0.02342236	45.000	31	0.00527381	95.000
12	0.02102906	47.500	32	0.00500723	97.500
13	0.01898469	50.000	33	0.00476037	100.000
14	0.01722456	52.500	34	0.00453132	102.500
15	0.01569833	55.000	35	0.00431841	105.000
16	0.01436633	57.500	36	0.00412016	107.500
17	0.01319693	60.000	37	0.00393526	110.000
18	0.01216471	62.500	38	0.00376253	112.500
19	0.01124902	65.000	39	0.00360093	115.000
20	0.01043297	67.500	40	0.00344952	117.500

Gambar 10. Nilai Tegangan Langkah per Amplitudo Petir untuk Tahanan Jenis Tanah 1000 (Ohm-meter)

Untuk Jarak dari Titik Sambaran Petir (m)												
Arus Petir (kA)	20 meter		22.5 meter		25 meter		27.5 meter		30 meter		32.5 meter	
	Pada Angka Tahanan-Jenis (Resistivity) Tanah dalam satuan (Ω.m) × 10 ³											
	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	3.0
Besarnya Tegangan-Langkah (Step-Voltage) Dalam satuan (Volt)												
10	1176	3528	931	2792	755	2265	624.5	1874	525.3	1576	447.9	1344
15	1764	5292	1396	4188	1132	3397	936.8	2810	787.9	2364	671.8	2016
20	2352	7056	1861	5584	1510	4529	1249	3747	1050	3152	895.8	2687
25	2940	8820	2327	6980	1887	5662	1561	4684	1313	3939	1120	3359
30	3528	10584	2792	8377	2265	6794	1874	5621	1576	4727	1344	4031
50	5880	17640	4654	13961	3774	11323	3123	9368	2626	7879	2239	6718

Lihat Gambar : 8

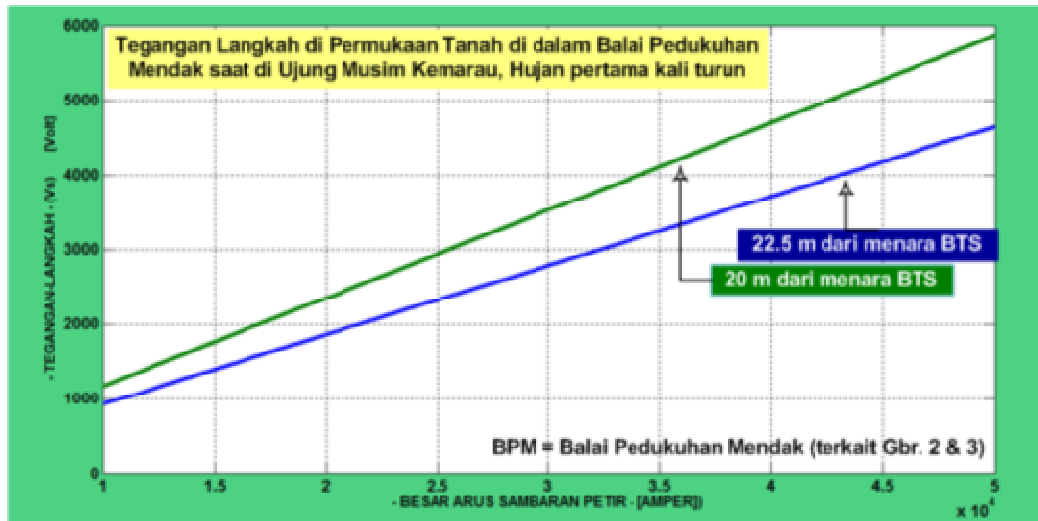
■ Kurva biru muda ■ Kurva merah ■ Kurva Warna Hijau ■ Kurva Warna Biru

Gambar 11. Sebaran Tegangan Langkah di Balai Padukuhan Mendak

Pada kolom 6, 8, 10, dan kolom 12 Gambar 11 masing masing bersesuaian dengan kurva biru muda, kurva merah, kurva warna hijau, dan kurva warna biru pada Gambar 10. Gambar 10 menunjukkan bahwa ketika terjadi hujan pertama kali diujung kemarau pada jarak 25 meter dari poros menara BTS tegangan langkah yang muncul adalah: 755 Volt, 1132 Volt, 1510 Volt, 1887 Volt, 2265 Volt, dan 3774 Volt masing masing untuk arus sambaran petir : 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, 30 kA, dan 50 kA. Jarak antara 20 meter sd 32.5 meter merupakan kawasan tanah yang di atasnya berdiri bangunan balai Padukuhan Mendak. Dengan cara yang sama dapat diperoleh untuk jarak yang lainnya. Dari Gambar 11 diperoleh bahwa balai padukuhan Mendak masuk pada zona yang riskan/rawan terhadap sambaran petir di puncak menara BTS pada penyebaran tegangan langkah yang terjadi, apalagi bangunan yang berada di bawah jarak 20 meter dari poros menara BTS. Zona yang teraman terhadap sambaran petir yang menyebarkan tegangan langkah adalah pada jarak 200 meter dari menara BTS (dapat dilihat Gambar 6a, b, c, d).

Sedangkan untuk jarak sejauh 20 meter dan 22.50 meter, angka investigasi masih terkait pada tabel 4, kolom 2 dan kolom 4, menunjukkan angka-angka maksimum tegangan langkah yang terjadi di atas permukaan tanah yang dilingkupi oleh struktur bangunan Balai Pedukuhan Mendak (BPM). Kurva kenaikan nilai tegangan langkahnya masih mengikuti sifat linear sebagaimana sifat kurva yang lainnya.

Berikut Gambar 12 yang menunjukkan sebaran tegangan langkah untuk jarak sejauh 20 meter dan 22.50 meter dari titik poros menara *Base Transceiver Station* (BTS) yang berada di pedukuhan/dusun Mendak, desa Girisekar, Kec. Panggang, Kab. Gn. Kidul – Yogyakarta.



Gambar 12. Tegangan Langkah Versus Sambaran Petir

4. Kesimpulan dan Saran

Pada pembahasan dan analisis perhitungan di atas diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kawasan/zona tanah dimana di atasnya berdiri bangunan balai pedukuhan Mendak masuk pada Zona bentangan jarak dari menara BTS mulai dari 20 meter sampai dengan 32.5 meter secara radial.
2. Dengan demikian bangunan balai pedukuhan Mendak yang mempunyai luas sebesar (8.5×14) meter persegi menduduki permukaan tanah yang paling rawan terhadap kebencanaan pada tegangan langkah yang disebabkan oleh fenomena petir ketika terjadi sambaran petir di puncak menara BTS.
3. Waktu yang paling membahayakan terhadap invansi tegangan langkah jatuh di ujung akhir musim kemarau dimana terjadi hujan pertama kali jika disertai dengan badai guntur dan petir.

Direkomendasikan supaya balai pedukuhan Mendak digeser secara radial sejauh minimal 200 meter dari titik poros menara *Base-Transceiver-Station* (BTS). Supaya berwaspada ketika masuk di akhir musim kemarau, karena pada saat kondisi seperti ini banyak awan (*cumulonimbus*) yang sudah terakumulasi secara matang dengan muatan muatan listrik dalam kuantitas yang besar, sehingga kondisi awan seperti ini sangat berpotensi untuk meluahkan (*discharge*) muatannya pada struktur-struktur runcing (termasuk menara BTS).

Ucapan Terimakasih

Kepada Kopertis V yogyakarta yang telah memberikan dana bantuan penelitian DIPA Tahun 2018 melalui berita acara Bapak Kordinator Kopertis V Yogyakarta tertanggal 25 Mei 2018, nomor: 1455 /K5/KM/2018, dan juga Kepala P3M STTNAS yang telah memfasilitasi proses penelitian.

Daftar Pustaka

- [1]. Shahbazi-Gahrouei D, Karbalae M, Moradi HA, Baradaran-Ghahfarokhi M., 2014, “**Health effects of living near mobile phone base transceiver station (BTS) antennae: a report from Isfahan, Iran**”, US National Library of Medicine Institutes of Health, The National Center for Biotechnology

- Information (NCBI), Electromagn Biol Med. 2014 Sep; 33(3): 206-10.DOI: 10.3109/15368378.2013.801352., Epub 2013 Jun 19.
- [2]. Koziarowska A, Romerowicz-Misielak M, Sołek P, Koziarowski M., 2018, “**Extremely low frequency variabel elektromagnetic fields affect ccancer and noncancerous cells in vitro differently: Preliminary study**”, US National Library of Medicine Institutes of Health, The National Center for Biotechnology Information (NCBI), Electromagn Biol Med. 2018;37(1):35-42. DOI: 10.1080/15368378.2017.1408021 Epub 2018 Mar 7.
- [3]. Wagner, CF., Hileman, AR., 1960, “**A New Approach to the Calculation of the Lightning Performance of Tramsmission Lines : part III-A simplified Method Stroke to Tower**”, Power Apparatus and Systems, vol. 79, Okt. 1960, DOI : 10.1109/AIEEPAS.1960.4500810, p. 589-603., Westinghouse Electric Corporations, East Pittsburgh Pennsylvania (Pa) – United State of America (USA).
- [4]. Liew, AC., dan Darveniza, M., 1971, “**A Sensitivity Analysis of Lightning Performance Calculations for Transmission Lines**”, the IEEE Summer Power Meeting and EHV Conference, the IEEE Transmission & Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society, July 12- 17, hal. 1443-1451, Los Angeles, California – United State of America USA.
- [5]. Utama, B., “**Zona Perlindungan Petir pada Gedung E Sekolah Tinggi Teknologi Nasional (STTNAS) Yogyakarta Pasca pembangunan Struktur Menara *Lift-Frame***”, P3M-STTNAS Yogyakarta, Nomor: 1602.a/STTNAS/ST-LIT/VI/2016., Yogyakarta – Indonesia (INA).
- [6]. Utama, B “**Potensi Bahaya dan Dampak Sambaran Petir pada Menara Tiang Vertikal Tinggi**” P3M-STTNAS Yogyakarta, Nomor : 1608.d/STTNAS/ST-DSN/VII/2017., Yogyakarta – Indonesia (INA).