

Distribusi Potensial Pentanahan Gedung Baru Universitas Muhammadiyah Palembang

Anisa Dwiyana¹, Rahmat Wiranto¹, Wiwin A. Oktaviani¹, Taufik Barlian¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang
Palembang, Indonesia

corresponding author(s) : wiwin_oktaviani@um-palembang.ac.id

Abstrak—Pembangunan dua gedung baru di kampus Universitas Muhammadiyah Palembang diperlukan untuk mengakomodir kebutuhan akan gedung perkuliahan dan administrasi yang lebih representatif. Gedung-gedung baru ini ketinggiannya cukup mencolok dibandingkan gedung-gedung terdahulu, sehingga dibutuhkan sistem proteksi petir untuk meminimalisir dampak dari sambaran. Sistem perlindungan yang dimaksud meliputi *air terminal* yang dihubungkan dengan elektroda pentanahan melalui *down conductor*. Salah satu parameter yang harus diperhatikan adalah besaran potensial dan distribusinya di antara elektroda pentanahan, karenanya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai potensial pentanahan dan distribusi potensial elektroda pentanahan pada kedua gedung serta faktor yang mempengaruhinya. Pada penelitian ini, perhitungan distribusi potensial sistem proteksi eksternal gedung baru kampus Universitas Muhammadiyah Palembang dilakukan melalui simulasi menggunakan *Alternative Transient Program (ATP) Draw 72*. Dalam simulasi, kabel *Bare Core 70 mm²* digunakan sebagai *down conductor* dan dua elektroda pentanahan. Secara fisik kedua gedung tidak banyak perbedaan sehingga konfigurasi sistem proteksi petir eksternal juga tidak jauh berbeda. Dari simulasi diperoleh besar potensial pada Gedung FEB sebesar 61 kV sedangkan pada Gedung Terpadu FT-FAI sebesar 89 kV. Nilai-nilai ini sama untuk kedua batang elektroda yang menunjukkan potensial terdistribusi merata di antara elektroda pentanahan. Perbedaan nilai potensial disebabkan kondisi tanah antara kedua gedung berbeda dimana Gedung FEB berada pada lahan yang relatif lebih kering dibandingkan Gedung Terpadu FT-FAI. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah menjadi faktor yang paling mempengaruhi nilai potensial sistem pentanahan.

Kata kunci—*potensial, distribusi potensial, air terminal, down conductor, ATP Draw72*

Abstract—The construction of two new buildings on the Palembang Muhammadiyah University campus is needed to accommodate the necessity for more representative lecture and administrative buildings. These new buildings are quite striking in height compared to previous buildings, so a lightning protection system is needed to minimize the impact of a strike. The protection system includes an air terminal that is connected to a grounding electrode through a down conductor. The parameters that must be considered in grounding system are potential magnitude and distribution between the grounding electrodes; thus, the purpose of this study is to determine the value of the grounding potential and the potential distribution of the grounding electrode in both buildings, as well as the factors that influence it. In this study, the calculation of the potential distribution of the external protection system for the new building of the University of Muhammadiyah Palembang is carried out through a simulation using the *Alternative Transient Program (ATP) Draw 72*. A 70 mm² Bare Core wire is utilized as a down conductor and two grounding electrodes in the simulation. Physically the two buildings are not much different, so that the configuration of the external lightning protection system is also not much different. From the simulation, the potential magnitude in the FEB Building is 61 kV while the FT-FAI Integrated Building is 89 kV. These values are the same for both electrode rods indicating the potential is evenly distributed between the grounding electrodes. The difference in potential value is due to the different soil conditions between the two buildings where the FEB Building is located on relatively drier land than the FT-FAI Integrated Building. From these results, it can be concluded that the soil condition is the most influencing factor for the potential value of the grounding system

Keywords—*potential, potential distribution, air terminal, down conductor, ATP Draw72*

I. PENDAHULUAN

Petir adalah pelepasan listrik di udara yang terjadi antara awan, antara pusat muatan di awan, dan antara awan dan tanah. Secara umum, kita dapat mengatakan bahwa terjadinya petir adalah hasil dari akumulasi muatan atmosfer di awan. Muatan di awan ini akan menginduksi muatan lain di tanah [1], [2]. Ketika potensi antara tanah dan awan lebih besar dari tegangan tembus kritis udara, sambaran petir akan terjadi [3].

Sistem pembumian adalah perangkat terpasang yang melepaskan arus petir atau arus gangguan pembumian. Sistem pentanahan peralatan yang baik merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi stabilitas sistem dan keamanan peralatan listrik. Sistem pentanahan yang baik harus dapat memperoleh nilai hambatan distribusi maksimum sebesar 5 (lima) Ω yang diukur dengan alat uji tahanan pentanahan [4]. Sistem pentanahan bertujuan untuk mencapai nilai tahanan pentanahan yang relatif rendah sehingga arus gangguan dapat terdistribusi merata secara instan ke tanah. Pengukuran resistivitas tanah mensyaratkan bahwa karakteristik tanah merupakan faktor penting yang mempengaruhi nilai tahanan tanah [5].

Sistem pentanahan atau *grounding* adalah sistem pengamanan pada alat-alat yang menggunakan listrik sebagai sumber energi terhadap surja yang disebabkan oleh arus lebih terutama petir. Perlindungan semacam ini tidak hanya pada peralatan saja tetapi juga diterapkan pada struktur bangunan yang rentan tersambar petir [6], seperti pada Gedung baru Fakultas Ekonomi dan Bisnis di Kampus A dan Gedung Perkuliahan Terpadu Fakultas Teknik dan Fakultas Agama Islam yang terletak di Kampus B Universitas Muhammadiyah Palembang. Sistem proteksi petir eksternal dibutuhkan untuk meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan akibat sambaran langsung petir dimana ketika terjadi sambaran petir maka sarana inilah yang akan menyalurkan arus petir kedalam tanah [7], [8] melalui elektroda pbumian. Pemasangan proteksi petir eksternal didasarkan pada perhitungan resiko kerusakan akibat sambaran petir terhadap gedung [9].

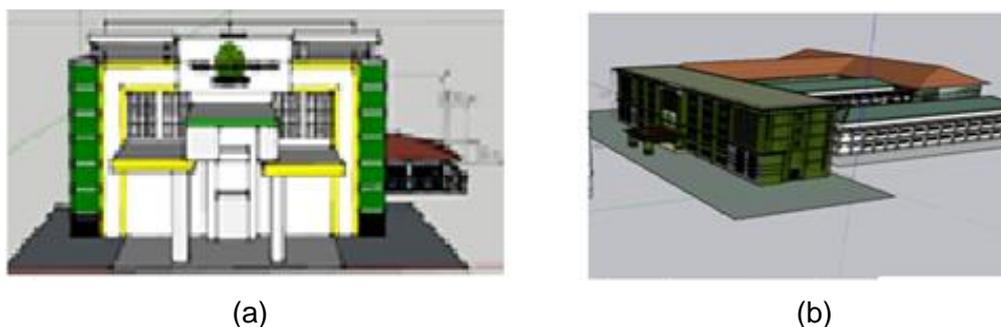
Elektroda batang merupakan salah satu jenis elektroda yang banyak digunakan dikarenakan keunggulannya yang dapat menembus lapisan tanah yang dalam dan tidak memerlukan lahan yang luas karena dapat ditanam dalam posisi vertikal. Untuk mencapai nilai resistansi pentanahan yang sesuai dengan standar seperti PUIL 2000, diperlukan jumlah elektroda yang lebih banyak. Dengan kata lain semakin banyak elektroda yang digunakan maka semakin kecil nilai resistansi pentanahan yang didapat. Akan tetapi, penambahan ini tentu saja membawa konsekuensi biaya yang tidak sedikit. Sebagai contoh, penggunaan 3 buah elektroda batang akan berdampak pada peningkatan biaya sebesar 40% bila dibandingkan dengan menggunakan 1 batang elektroda saja [10]. Selain jumlah elektroda, kedalaman penanaman dan jenis tanah juga berpengaruh terhadap penurunan nilai resistansi pentanahan, seperti pada penelitian Widyansih dkk yang menunjukkan bahwa pengurangan nilai resistansi mencapai 33% pada tanah liat dan 87,7% pada tanah jenis pasir laut dengan rentang penanaman 20 cm hingga 100 cm [11]. Hal ini disebabkan pengaruh komposisi tanah, suhu, kadar air (kelembaban) dan komposisi kimia tanah yang berbeda untuk setiap jenis tanah [12]. Sawah tanah rawa merupakan jenis tanah yang paling cepat menyerap arus sambaran petir [13]. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah besaran area pentanahan yang berpengaruh terhadap sebaran atau distribusi potensial seperti penelitian yang dilakukan oleh Dermawan dkk, bahwa distribusi potensial elektroda pentanahan yang ditanam di *septic tank* hanya sebatas pada luasan *septic tank* saja. Keberadaan pembatas berupa dinding semen pada *septic tank* juga akan mempengaruhi nilai tahanan pentanahan [14].

Pada paper ini disajikan besaran potensial yang timbul pada batang pentanahan dari Sistem Proteksi Petir (SPP) eksternal pada kedua gedung baru Universitas Muhammadiyah Palembang menggunakan *software Alternative Transient Program (ATP)*. Simulasi menggunakan Kabel *Bare Core 70 mm²* yang terbuat dari material tembaga sebagai *down conductor* dengan dua elektroda pentanahan. Pemilihan Kabel *Bare Core* dengan diameter 70 mm^2 dan penggunaan dua elektroda pentanahan berdasarkan penelitian terdahulu [15] memberikan nilai potensial yang lebih kecil dibandingkan jenis kabel yang sama dengan diameter yang berbeda. Dengan penelitian ini dapat diketahui besaran potensial pada elektroda batang dan pola distribusi potensial antar elektroda pada kedua gedung serta adakah pengaruh perbedaan lokasi kedua gedung terhadap besaran potensial elektroda pentanahan.

II. METODE PENELITIAN

A. Pemodelan Lay Out Gedung

Tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu membuat *lay out* kedua gedung yang menjadi objek penelitian menggunakan *Software Sketchup*. Berikut adalah data dari kedua gedung dimaksud.



Gambar 1. *Lay out* gedung baru FEB (a) dan Gedung terpadu FT-FAI (b) UM Palembang

Gedung FEB memiliki panjang 72 m, lebar 20 m dan tinggi 28 m sementara Gedung Terpadu FT-FAI memiliki panjang, lebar dan tinggi berturut-turut 78m, 16,5 m dan 23 m. Gedung FEB terletak pada lahan dengan kontur tanah liat padat, sementara Gedung Terpadu FT-FAI berdiri di atas lahan tanah rawa timbunan. Gedung FEB merupakan Gedung tertinggi di Kampus Utama yang terdiri dari 7 lantai. Ketinggian Gedung ini cukup mencolok dikarenakan gedung fakultas lainnya tertinggi hanya terdiri dari 3 lantai. Berbeda dengan Gedung Terpadu FT-FAI yang terdiri dari 5 lantai, berada dekat dengan gedung perkuliahan Fakultas Kedokteran (FK) 4 lantai dan gedung administrasi FK setinggi 3 lantai.

B. Penentuan Jumlah Terminasi Udara

Jarak antar terminasi udara (*air terminal*) dihitung menggunakan Sistem Franklin dimana sudut perlindungan pada sistem Franklin sebesar 56° mengikuti persamaan (1) berikut:

$$\tan 56^\circ = R/t \quad (1)$$

dengan R jarak antar terminasi udara dan t adalah tinggi total dari terminasi udara dan tinggi atap.

Dari persamaan (1) diturunkan persamaan untuk menghitung jarak antar terminasi udara sebagai berikut:

$$R = t \times \tan 56^\circ \quad (2)$$

Diketahui baik gedung Baru FEB maupun Gedung terpadu FT-FAI UM Palembang memiliki tinggi atap gedung 6 meter dan tinggi terminasi udara 8 m namun dengan panjang gedung yang berbeda; 72 meter untuk Gedung FEB dan 78 m untuk Gedung Terpadu FT-FAI. Dengan menggunakan persamaan (2) didapat jarak antar terminal udara untuk kedua Gedung sebesar,

$$\begin{aligned} R &= (\text{tinggi atap} + \text{tinggi terminasi udara}) \tan 56^\circ \\ &= (6+8) \tan 56^\circ \\ &= (14) \tan 56^\circ \\ &= 14 \cdot 1,48 \\ &= 20,72 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah terminasi udara ditentukan melalui perbandingan panjang gedung dengan nilai R sehingga didapat untuk jumlah terminasi udara Gedung Baru FEB dan Gedung Terpadu FT-FAI sejumlah 3 terminasi dengan jarak antar terminasi 20,72 m.

C. Perhitungan Nilai R, L dan C Down Conductor

Nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi dari *down conductor* beserta kelengkapannya dan elektroda pembumian harus dihitung terlebih dulu. Hasil yang didapat akan menjadi data inputan untuk membuat rangkaian ekuivalen. Perhitungan nilai-nilai tersebut menggunakan persamaan (3) – (8) berikut :

$$R_d = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

dengan ;

ρ = Densitas

A = Panjang penghantar

L = Luas Penampang Penghantar (mm^2)

Dan untuk menghitung induktansi dengan menggunakan persamaan

$$L_d = 0.21 \left[\ln \left(\frac{2l}{r} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

dengan ;

L = Panjang penghantar (m)

R = jari-jari penghantar (m)

Dan untuk menghitung kapasitansi dengan menggunakan persamaan

$$\frac{C1}{\ell} = \frac{1}{2 \times ke \times \left[\ln \left(\frac{b}{a} \right) \right]} \quad (5)$$

dengan;

C = Kapasitansi kabel koaksial (F)

ke = Konstanta elektrostatis ($ke = 8.99 \times 10^9$)

b = Jari - jari luar (m)

a = Jari - jari dalam (m)

Nilai dari setiap komponen rangkaian ekuivalen elektroda pentanahan vertikal dapat diketahui dengan menggunakan persamaan

$$R = \frac{\rho}{2\pi\ell} \times \left\{ \left[\ln \left(\frac{8\ell}{a} \right) \right] - 1 \right\}; \Omega \quad (6)$$

$$L = \frac{\mu_0\ell}{2\pi} \left\{ \left[\ln \left(\frac{8\ell}{a} \right) \right] - 1 \right\}; \mu H \quad (7)$$

$$C = 2\pi \times \epsilon_0 \times \ell \left\{ \left[\ln \left(\frac{8\ell}{a} \right) \right] - 1 \right\}; nF \quad (8)$$

dengan;

ρ_g = Resistivitas tanah (diasumsikan tanah bersifat homogen = $100 \Omega.m$)

ℓ = Panjang elektroda, dalam meter ($\ell = n.\Delta\ell$, dimana n adalah jumlah batang elektroda)

d = Diameter elektroda (m)

eISSN 2716-4063

 μ_0 = Permeabilitas udara ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m) ϵ_0 = Permittivitas udara ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m)

Berikut pada Tabel 1 disajikan data *down conductor* dan elektroda pentanahan beserta hasil perhitungan komponen RLC.

TABEL 1. SPESIFIKASI DAN NILAI R-L-C *DOWN CONDUCTOR* DAN ELEKTRODA PENTANAHAN

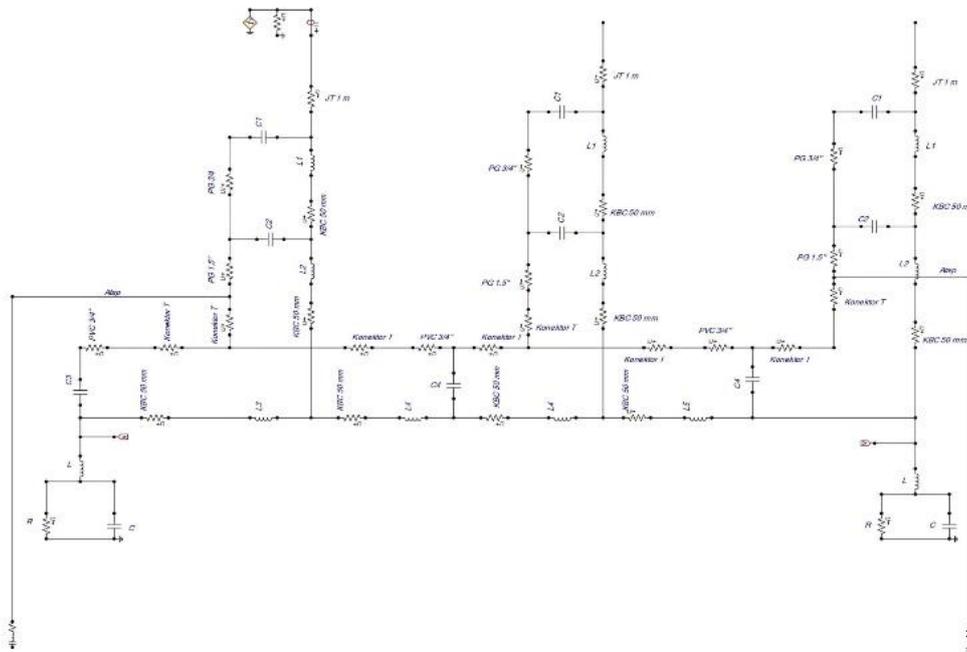
Komponen	Spesifikasi	Gedung FEB	Gedung FT -FAI
Atap Gedung	R, Ω	0,0062	
	L, μ H	1,7	
	C, μ F	0.00106	
Jarum Tembaga <i>Air Terminal</i>	Panjang, m	1	0,3
	d	3 4 " = 0.01905 m	
Pipa Galvanis-1 (PG-1)	R, Ω	5.96×10^{-5}	1.78×10^{-5}
	Panjang, m	3	0.9
	r _{luar} , m	0,0134	0.0169
	r _{dalam} , m	0,01	0.0125
	d	¾ inchi	1 inchi
Pipa Galvanis-2 (PG-2)	R, Ω	1.25×10^{-3}	$2.21 \times 10^{-12} \Omega$
	Panjang, m	4	0,5
	r _{luar} , m	0,0242	0.021
	r _{dalam} , m	0,02	0.016
	d	1,5 inchi	1.25 inchi
Konektor "T"	R, Ω	6.87×10^{-4}	8.6×10^{-5}
	atas	Panjang, m	0,06
	r _{luar} , m	0.0301625	
	r _{dalam} , m	0.0262509	
samping	R, Ω	8.65×10^{-6}	
	Panjang, m	0,16	
	r _{luar} , m	0.0167005	
	r _{dalam} , m	0.0133223	
Pipa PVC ¾ "	R, Ω	5.03×10^{-5}	
Tengah SPP Bangunan	Panjang, m	21	18
	r _{luar} , m	0.0134	
	r _{dalam} , m	0.01	
	R, Ω	1.31×10^{19}	1.26×10^{19}
Pada Kiri SPP Bangunan	Panjang, m	21,12	18.12
	r _{luar} , m	0.0134	
	r _{dalam} , m	0.01	
	R, Ω	1.32×10^{19}	1.27×10^{19}
Kabel <i>Bare Core</i> 70 mm ²		Pada Jarum Tembaga 1 m	Pada Jarum Tembaga 0,3 m
PG - 1	Panjang, m	3	0,9
	R, Ω	7.28×10^{-4}	2.18×10^{-4}
	L, μ H	0.001281	1.037
	C, μ F	2.6×10^{-4}	6.2×10^{-2}
PG - 2	Panjang, m	4	0,5
	R, Ω	9.7×10^{-4}	1.2×10^{-4}
	L, μ H	0.001344	0.9156
	C, μ F	1.51×10^{-4}	1.9×10^{-5}
Tengah SPP Bangunan	Panjang, m	10.5	9
	R, Ω	2.55×10^{-3}	2.18×10^{-3}
	L, μ H	0.001554	1.5225
	C, μ F	-	-
Kiri SPP Bangunan	Panjang, m	21,12	18,12
	R, Ω	5.15×10^{-3}	4.4×10^{-3}
	L, μ H	0.001701	1.6695
	C, μ F	1.49×10^{-3}	1.27×10^{-3}
Kanan SPP Bangunan	Panjang, m	21	18

	R, Ω	5.1×10^{-3}	4.37×10^{-3}
	L, μH	0.00168	1.667
	C, μF	1.47×10^{-3}	1.26×10^{-3}
Elektroda Pentanahan	Panjang,m	6	2,4
	R, Ω	3.15	4.8
	L, mH	2.27×10^{-8}	1.18×10^{-9}
	C, μF	6.32×10^{-12}	3.27×10^{-13}

D. Pemodelan Rangkaian Simulasi dengan ATP

Dari *lay out* yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a) dan (b) tersebut dibuat pemodelan rangkaian ekivalen dari Sistem Proteksi Petir (SPP) eksternal pada Gedung Baru FEB dan Gedung Kuliah Terpadu FT dan FAI Universitas Muhammadiyah Palembang menggunakan *software Alternative Transient Program (ATP)* sesuai dengan data *lay out* yang ada. Data yang dihasilkan dari simulasi *software* yaitu berupa grafik potensial yang nantinya nilai potensial dari grafik tersebut akan ditampilkan dan menjadi bahan evaluasi dari SPP eksternal gedung.

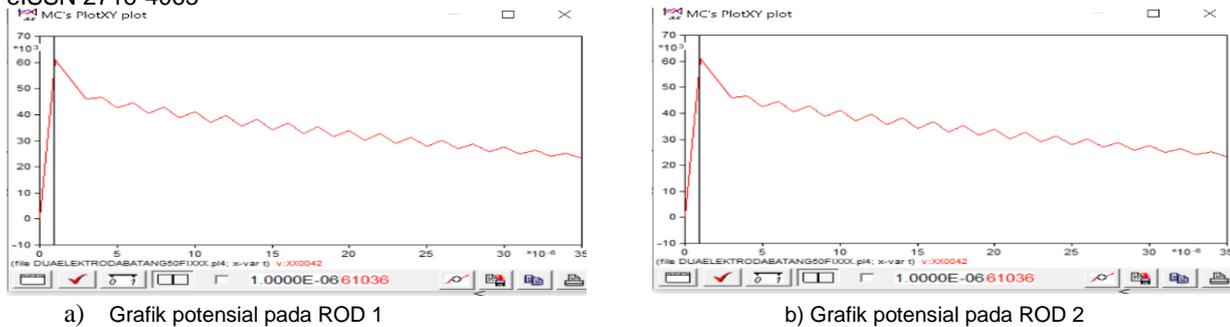
Dari hasil perhitungan sebelumnya, untuk kedua Gedung Baru Universitas Muhammadiyah Palembang ditempatkan tiga terminasi udara, dimana antar terminasi udara dihubungkan dengan *down conductor* dan dipasang di bawah atap gedung. Konstruksi atap gedung menggunakan listplang *Aluminium Composite Panel (ACP)* dengan rangka besi *hollow* dan terhubung dengan beton bertulang dari dinding bangunan yang ditanam ke tanah. Dengan demikian konstruksi atap – beton dapat dianggap sebagai *down conductor* yang dimodelkan sebagai rangkaian R-L-C pada simulasi. Selengkapnya rangkaian simulasi ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



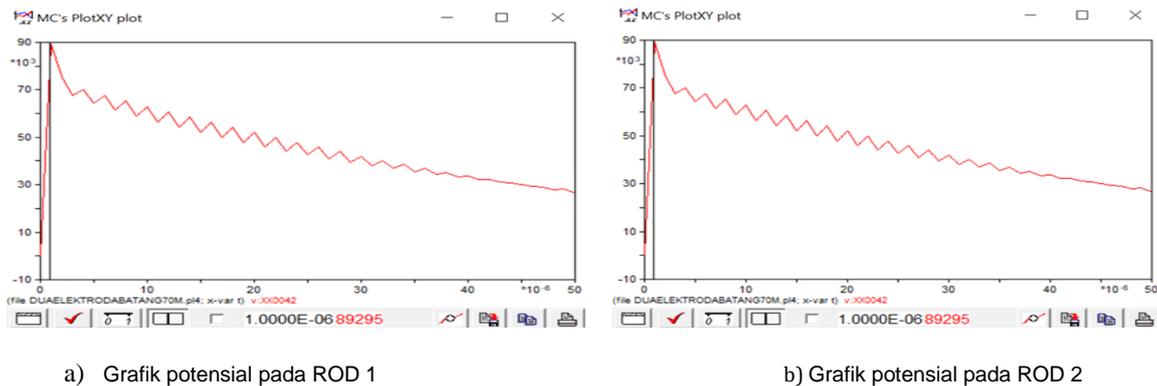
Gambar 2. Rangkaian simulasi sistem proteksi eksternal untuk kedua gedung

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi yang dijalankan digunakan sumber arus Heidler sebesar 30 kA dengan karakteristik gelombang 1.2 / 50 yang merupakan karakteristik arus petir di daerah Palembang [15]. Sebagai *down conductor* digunakan kabel Bare Core 70 mm² yang terbuat dari material tembaga. Berdasarkan *lay out* yang telah dibuat, jumlah elektroda pentanahan yang digunakan pada simulasi sebanyak dua elektroda. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 3 a) dan b) untuk Gedung FEB dan Gambar 4 a) dan b) untuk Gedung Terpadu FT-FAI.



Gambar 3. Besaran potensial batang pentanahan Gedung FEB



Gambar 4. Besaran potensial batang pentanahan Gedung Terpadu FT-FAI

Dari Gambar 3 diketahui bahwa nilai potensial pada kedua batang elektroda untuk pentanahan Gedung FEB adalah sama yaitu sebesar 61 kV, sedangkan pada Gedung Terpadu FT-FAI nilai potensial sebesar 89 kV sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Secara fisik kedua bangunan tidak terlalu jauh berbeda, sehingga jumlah terminasi udara dan penempatan *down conductor* serta material yang digunakan juga sama. Akan tetapi, lokasi kedua gedung tidak berada pada lahan yang sama dimana Gedung FEB terletak di Kampus Utama (A) yang memiliki karakteristik tanah liat sehingga lebih padat dan kering. Sedangkan Gedung terpadu FT-FAI terletak di Kampus B dengan karakteristik tanah rawa timbunan bercampur batu di lapisan atas, sehingga kondisi tanah relative lebih basah daripada lahan di Kampus A. Hal inilah yang menjadi penyebab nilai potensial batang elektroda Gedung Terpadu FT-FAI 47% lebih tinggi dibandingkan pada Gedung FEB. Perbedaan panjang komponen-komponen penyusun *down conductor* juga turut mempengaruhi nilai R-L-C konduktor yang pada akhirnya mempengaruhi nilai potensial batang pentanahan.

Dari grafik hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 terlihat bahwa nilai potensial terdistribusi secara merata di antara kedua elektroda baik di Gedung FEB maupun di Gedung Terpadu FT-FAI, yang artinya beda potensial antara kedua elektroda adalah nol. Nilai potensial yang tinggi, 61 kV di Gedung FEB dan 89 kV di Gedung Terpadu FT-FAI, menunjukkan bahwa sebagian besar arus mengalir melalui instalasi *down conductor*. Jika ditinjau dari sudut pandang perlindungan eksternal gedung terhadap sambaran petir, dapat disimpulkan bahwa Gedung FEB dan Gedung Terpadu FT-FAI telah terlindungi. Akan tetapi jika ditinjau dari keamanan untuk manusia, hasil ini menunjukkan masih adanya potensi resiko terutama bagi orang yang berada dekat instalasi *down conductor* dikarenakan besarnya arus yang mengalir di penghantar ini.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tanah merupakan faktor utama yang mempengaruhi besaran distribusi potensial pentanahan. Jenis tanah pada Gedung FEB adalah tanah liat sedangkan gedung lainnya berdiri di atas tanah rawa timbunan. Kondisi tanah akan mempengaruhi panjang batang elektroda yang akan ditanam. Pada kedua gedung, nilai potensial terdistribusi sama di antara dua elektroda pentanahan, 61 kV di Gedung FEB dan 89 kV di Gedung Terpadu FT-FAI. Terdapat perbedaan nilai potensial antara Gedung FT-FAI yang terletak di lahan yang lebih basah dengan Gedung FEB yang terletak di lahan yang lebih kering sebesar 28 kV. Untuk meminimalisir resiko bagi orang yang berada dekat *down conductor*, perlu dipasang pelindung berbahan dasar PVC pada *down conductor* seperti *cable conduit* atau *cable duct*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Cooray, *An Introduction To Lightning*. Springer Netherlands, 2015. Doi: 10.1007/978-94-017-8938-7.
- [2] K. W. Russell, A. L. Cochran, S. T. Mehta, S. E. Morris, And M. C. Mcdevitt, "Lightning Burns," *J. Burn Care Res.*, Vol. 35, No. 6, Pp. E436–E438, Nov. 2014, Doi: 10.1097/Bcr.0b013e3182957783.
- [3] M. Saini, A. M. S. Yunus, And A. Pangkung, "Pengembangan Sistem Penangkal Petir Dan Pentanahan Elektroda Rod Dan Plat," *Intek J. Penelit.*, Vol. 3, No. 2, Art. No. 2, Oct. 2016, Doi: 10.31963/Intek.V3i2.53.
- [4] W. R. Tamma, Y. N. I Made, And D. Fahmi, "Pemanfaatan Bentonite Sebagai Media Pembumian Elektroda Batang," *J. Tek. Its*, Vol. 6, No. 1, Art. No. 1, Mar. 2017, Doi: 10.12962/J23373539.V6i1.21216.
- [5] W. P. Widyarningsih, "Perubahan Konfigurasi Elektrode Pentanahan Batang Tunggal Untuk Mereduksi Tahanan Pentanahan," *Eksergi*, Vol. 9, No. 2, Art. No. 2, May 2013, Doi: 10.32497/Eksergi.V9i2.187.
- [6] H. P. A And F. Murdiya, "Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Baru Fakultas Teknik Universitas Riau," *Journal: Earticle*, Riau University, 2017. Accessed: Nov. 05, 2021. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/199841/>
- [7] Y. Du, B. Li, And M. Chen, "Surges Induced In Building Electrical Systems During A Lightning Strike," *Electr. Power Syst. Res.*, Vol. 139, Pp. 68–74, Oct. 2016, Doi: 10.1016/J.Epsr.2015.11.034.
- [8] E. Hosea, E. Iskanto, And H. M. Luden, "Penerapan Metode Jala Sudut Proteksi Dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal Yang Diaplikasikan Pada Gedung W Universitas Kristen Petra," *J. Tek. Elektro*, Vol. 4, No. 1, Art. No. 1, Jun. 2004, Doi: 10.9744/Jte.4.1.
- [9] A. Suryadi, "Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Politeknik Enjineri Indorama," *Sinergi*, Vol. 21, No. 3, Pp. 219–230, 2017, Doi: 10.22441/Sinergi.2017.3.009.
- [10] A. Budiman, "Pengaruh Resistansi Pembumian Terhadap Prakiraan Jangka Pendek Biaya Instalasi Sistem Pembumian Peralatan Pada Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan," *J. Borneo Sainstek*, Vol. 1, No. 1, Art. No. 1, 2017.
- [11] W. P. Widyarningsih And W. A. Bahar, "Analisis Pengaruh Kedalaman Penanaman Elektroda Pembumian Secara Horizontal Terhadap Nilai Tahanan Pembumian Pada Tanah Liat Dan Tanah Pasir Di Semarang," Vol. 11, No. 1, P. 6, 2015.
- [12] D. M. R. Sanjaya, C. G. I. Partha, And I. G. D. Arjana, "Perencanaan Sistem Pembumian Grid-Rod Pada Gardu Induk 150 Kv New Sanur," *J. Spektrum*, Vol. 7, No. 1, Pp. 69–75, Mar. 2020, Doi: 10.24843/Spektrum.2020.V07.I01.P10.
- [13] R. Citra, I. G. N. Satriyadi H, And M. Ashari, "Analisis Perambatan Tegangan Impuls Pada Pentanahan Grid Gardu Induk Dengan Pemodelan Rugi Saluran Transmisi," Institut Teknologi Sepuluh Nopember. [Online]. Available: <http://digilib.its.ac.id/public/its-undergraduate-15744-paper-pdf>
- [14] A. Dermawan, J. Juningtyastuti, And A. Syakur, "Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Yang Ditanam Di Tanah Dan Di Septictank Pada Perumahan."
- [15] R. Ainun And M. A. B. Sidik, "Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Aula Dan Pusat Kegiatan Mahasiswa Fakultas Ekonomi Universitas Sriwijaya," undergraduate, Sriwijaya University, 2020. Accessed: Nov. 08, 2021. [Online]. Available: <https://repository.unsri.ac.id/35574/>