

# Perbaikan Desain Proteksi Petir Saluran Transmisi 150 kV Payakumbuh – Koto Panjang

Yusreni Warmi\*, Fauzan Ismail  
Institut Teknologi Padang, Padang  
E-mail: [mn\\_nafi@yahoo.com](mailto:mn_nafi@yahoo.com)

## ABSTRACT

*Lightning activity in Indonesia is very high, and lightning trip-outs of the transmission line frequently occur. In this paper, the lightning performance on the 150 kV transmission line Payakumbuh – Koto Panjang is studied in detail and it is shown that the lightning trip-out rate depends on the lightning activity at the local area, the tower footing resistance, the span length and the length of an arcing horn gap. The observed trip-out rate is in good agreement with the results of the simulation by the IEEE FLASH program. When the tower-footing resistance at all towers is arranged to be less than 10  $\Omega$  and the length of an arcing horn gap is arranged to be 1.2 to 1.3 m, the trip-out rate is expected to decrease to less than half of the present rate.*

*Keywords: Lightning trip-outs, tower footing resistance, transmission line, IKL, length of an arcing horn gap.*

## ABSTRAK

Aktifitas petir di Indonesia sangat tinggi, dan trip-out petir pada saluran transmisi sering terjadi. Pada paper ini, kinerja petir pada saluran transmisi 150 kV Payakumbuh – Koto Panjang di teliti secara detail dan menunjukkan bahwa tingkat trip-out petir tergantung pada aktifitas petir di area sekitarnya, tahanan kaki menara, panjang span dan panjang dari gap arching horn. Tingkat trip-out petir yang diamati sesuai dengan hasil simulasi dengan menggunakan program IEEE Flash. Ketika tahanan kaki menara pada semua menara di seting kurang dari 10  $\Omega$  dan panjang dari gap arcing horn di seting menjadi 1.2 m sampai 1.3 m, tingkat trip-out petir diharapkan berkurang 50% dari tingkat trip-out petir yang terjadi.

**Kata kunci:** Trip-out petir, tahanan kaki menara, saluran transmisi, IKL, panjang dari gap arcing horn.

## 1. PENDAHULUAN

Sistem transmisi tenaga listrik di Indonesia khususnya di Sumatera Barat yakni Payakumbuh – Koto Panjang pada umumnya menggunakan saluran udara di bandingkan dengan kabel bawah tanah. Saluran udara cukup rentan terhadap sambaran petir karena konstruksinya yang tinggi. Saluran udara transmisi 150 kV dari Payakumbuh – Koto Panjang melalui area yang mempunyai Isokeraunik level 165 hari/tahun, oleh karena itu sambaran petir pada saluran transmisi pada daerah ini sangat tinggi [1].

Kinerja petir pada saluran transmisi sudah lama diteliti. Menurut referensi [2-4], ratio rata-rata trip-out petir dari tegangan 110 kV sampai tegangan 138 kV di China, Mexico, and Malaysia selma lima tahun masing-masing adalah 62%, 50%, and 79%. Di Jepang ratio trip-out petir dari 110 – 154 kV adalah 75% [5]. Trip-out petir adalah operasi dari circuit breaker pada gardu induk karena flashover yang disebabkan oleh petir [6]. Selanjutnya, di tunjukan bahwa impedansi kaki menara memiliki pengaruh besar terhadap tingkat back-flashover, yakni semakin rendah impedansi kaki menara semakin berkurang terjadinya tingkat back-flashover [6-12].

Pada referensi [13], penulis menyebutkan trip-out petir di Sumatera Barat secara singkat. Hal ini menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya

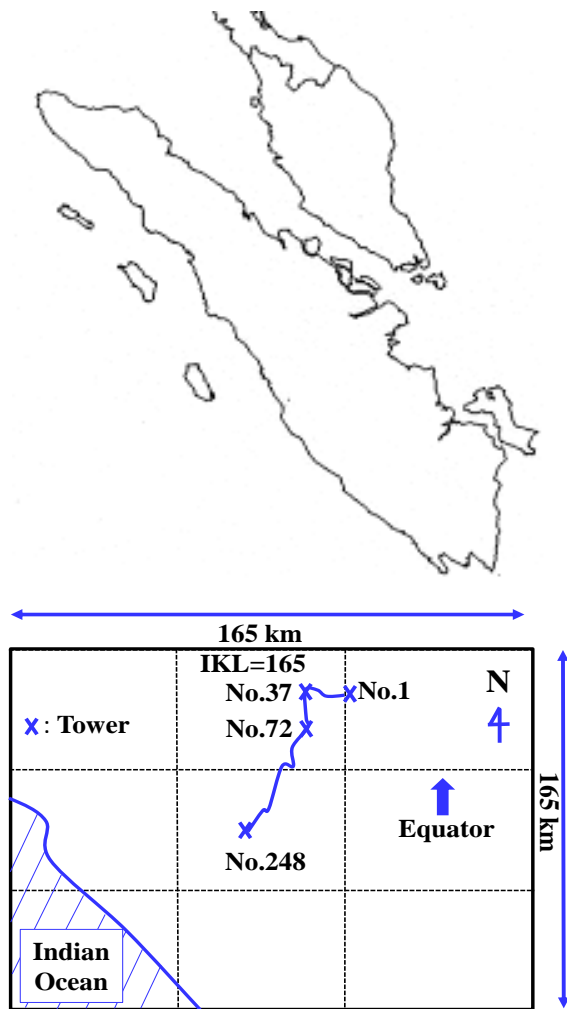
trip-out adalah petir yakni 66% dari semua trip-out dan tingkat trip-out berkurang dengan adanya perbaikan tahanan kaki menara dengan rata-rata dari 33.3  $\Omega$  menjadi 5.6  $\Omega$ , dan penyebab utama dari trip-out petir disimpulkan adalah back-flashover.

Di dalam paper ini kinerja petir pada saluran transmisi 150 kV Payakumbuh – Koto Panjang di pelajari secara detail. Hal ini menunjukkan tingkat trip-out petir tergantung pada tahanan pentahanan kaki menara dan panjang dari gap arcing horn. Selain itu di tunjukan bahwa tingkat trip-out petir yang diamati sesuai dan relative sama dengan hasil simulasi program IEEE flash [6, 14-17] dengan menggunakan tahanan impuls [16,18] pada menara yang mengalami trip-out yang disebabkan oleh petir.

Ketika tahanan kaki menara pada semua menara di seting kurang dari 10  $\Omega$  dan panjang dari gap arcing horn di seting 1.2 m sampai 1.3 m, tingkat trip-out diperkirakan akan turun dan berkurang setengah (50%) dari tingkat trip-out yang terjadi.

## 2. SALURAN TRANSMISI

Gambar 1 menunjukkan peta saluran transmisi 150 kV antara Payakumbuh – Koto Panjang dengan panjang total saluran 86 km. Saluran transmisi Payakumbuh – Koto Panjang merupakan saluran sikuit ganda (*double circuit*). Isokeraunik level (IKL)

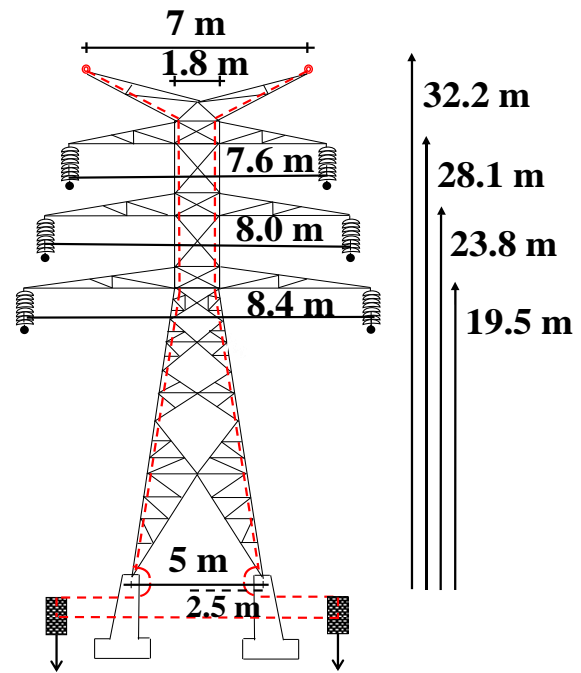


**Gambar 1** Peta saluran transmisi 150 kV Payakumbuh - Koto Panjang

adalah 165 hari-tahun untuk lokasi tower No. 1 sampai tower No.140 dengan panjang saluran 47 km.

Gambar 2 menunjukkan salah satu konfigurasi dari empat tipe menara yang mempunyai dimensi dan ukuran yang hampir sama [19,20]. Panjang span bervariasi dari 147 m sampai 434 m dengan panjang span rata-rata 333 m.

Tabel 1 menunjukkan kondisi saluran. Saluran mempunyai dua (2) kawat tanah, dengan diameter 9.6 mm, dan andongan 1.5% dari panjang span pada tower tersebut. Masing-masing fasa konduktor adalah ACSR (*Aluminum Conductor Steel Reinforced*), dengan diameter 25.5 mm, dan andongan adalah 2% dari panjang span tower tersebut. Jumlah rentengan isolator adalah 11, dengan jenis isolator adalah porselen dan tipe isolator adalah suspension, dengan dimateter isolator 254 mm dan 1.6 to 1.87 m adalah panjang rentengan isolator, dan BIL (*Basic Insulation Level*) of 1.21 – 1.27 MV. Disamping OHGW, saluran transmisi mempunyai system proteksi seperti arcung horn dan TLAs (*Transmission Line Arrester*).

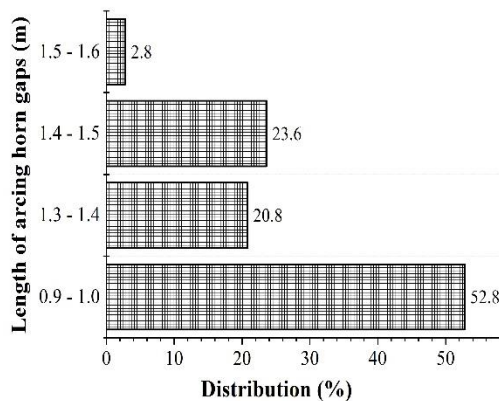


**Gambar 2** Konfigurasi menara

**Tabel 1** Kondisi saluran

OHGW	Line type	Ground Steel Wire (GSW)
	Diameter	9.6 mm
	Sag	1.5 % of span length
Phase conductor	Line type	ACSR (Aluminum conductor steel reinforced)
	Diameter	25.5 mm
	Sag	2 % of span length
Insulators	Type	11 porcelain suspension insulators
	BIL	1.21-1.27 MV
	Diameter	254 mm
Arcing horn	Total length	1.6 – 1.87 m
	length of an arcung horn gap	0.9 – 1.6 m
	Location	10 towers (4 to 6 pieces)
Span length	147 m – 434 m (average: 333 m)	

Gambar 3 menunjukkan distribusi dari panjang gap arcung horn yang dipasang pada masing-masing tower. Panjang dari gap arcung horn di seting mulai dari 75% sampai 85% dari panjang rentengan isolator, yaitu 1.3 m sampai 1.6 m. Pada menara yang sering mendapatkan gangguan isolator, panjang dari gap arcung horn di diperpendek menjadi 0.9 m sampai 1.0 m. Panjang dari gap arcung horn 0.9 m sampai 1.0



**Gambar 3** Distribusi Panjang gap arcing horn mulai Menara No. 1 sampai dengan Menara No. 140

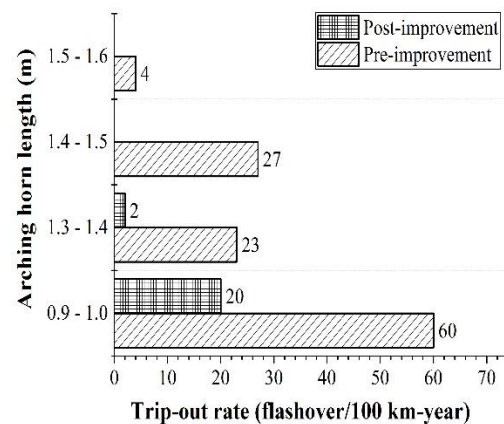
m adalah 50% dari jumlah keseluruhan arcing horn yang di pasang untuk semua menara.

Perbaikan tahanan kaki menara sudah dilakukan mulai dari taun 2010 sampai 2014 untuk mengurangi terjadinya flashover. Di dalam paper ini data trip-out yang dihasilkan mulai tahun 2010 sampai tahun 2014 adalah merupakan subjek untuk dianalisa dan dibahas. Periode rata-rata dari observasi sebelum perbaikan dan setelah perbaikan tahanan kaki menara adalah masing-masing 3.3 dan 1.8 tahun. Rata-rata tahanan kaki menara sebelum dan sesudah perbaikan tahanan kaki menara adalah masing-masing 33.3  $\Omega$  dan 5.6  $\Omega$ .

### 3. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TRIP-OUT PETIR

#### 3.1 Tahanan Kaki Menara

Jumlah menara yang mengalami flashover dan menghasilkan trip-out petir sebelum dan sesudah perbaikan tahanan kaki menara adalah masing-masing 38 dan 8. Lokasi flashover diidentifikasi dengan *fault locator*. Tingkat trip-out petir pada menara No. 1 sampai dengan menara No. 140 sebelum dan setelah perbaikan tahanan kaki menara masing-masing adalah 114 dan 22 flashover/100 km-tahun. Sebelum perbaikan tahanan kaki menara, rata-rata tahanan kaki menara pada menara yang mengalami flashover adalah 48  $\Omega$ . Setelah perbaikan tahanan kaki menara, rata-rata tahanan kaki menara pada menara yang mengalami flashover adalah 11  $\Omega$ . Oleh sebab itu, dikatakan bahwa perbaikan tahanan kaki menara menghasilkan pengurangan tingkat trip-out petir yang terjadi. Menurut ref [21] tingkat rata-rata trip-out petir pada saluran 110 kV sampai 154 kV mulai tahun 1980 sampai tahun 2000 adalah 3.25 flashover/100 km-tahun di Jepang, dengan rata-rata IKL adalah mulai 20 sampai 30. Panjang dari gap arcing horn untuk saluran transmisi 154 kV adalah 1.2 m [22]. Tingginya tingkat trip-out petir di



**Gambar 4** Tingkat trip-out sebagai fungsi dari Panjang gap arcing horn

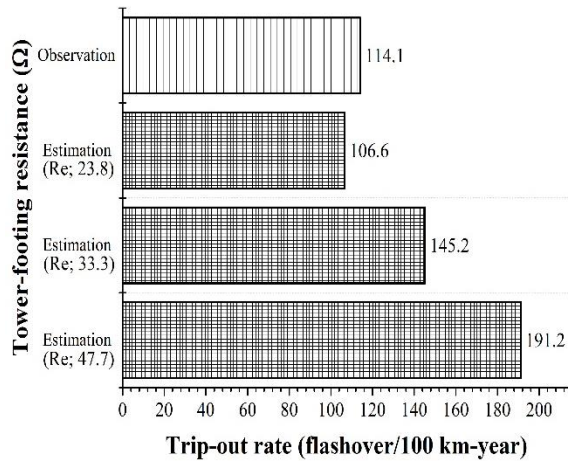
Payakumbuh – Koto Panjang, meskipun setelah perbaikan tahanan kaki menara disebabkan oleh tingginya IKL dan pendeknya gap arcing horn seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.

#### 3.2 Panjang Gap Arcing Horn

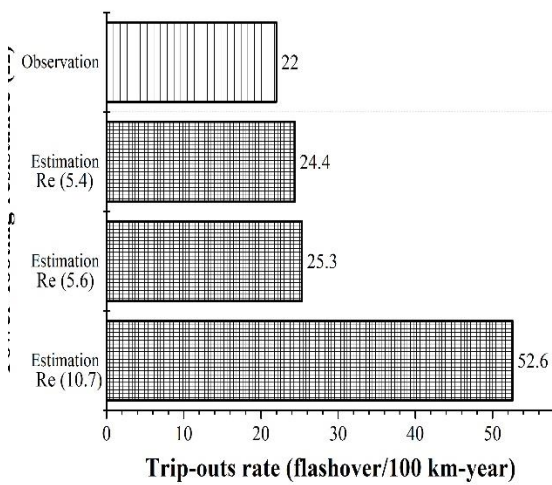
Tingkat trip-out petir sebelum dan setelah perbaikan tahanan kaki menara di tunjukan sebagai fungsi panjang dari gap arcing horn seperti terlihat pada gambar 4. Frekuensi dari trip-out pada menara yang mempunyai panjang gap arcing horn antara 0.9 m sampai 1.0 m lebih tinggi dari pada menara yang mempunyai panjang gap arcing horn lebih panjang dari 1.3 m sebelum dan setelah terjadinya perbaikan tahanan kaki menara. Hal ini disebabkan oleh tegangan flashover menurun dengan menurunnya panjang dari gap arcing horn.

#### 4. METODE DAN ANALISIS

Penulis mengestimasi tingkat trip-out petir dengan menggunakan program IEEE Flash. Simulasi dilakukan pada menara No. 1 sampai dengan menara No. 140, saluran transmisi sirkuit ganda, dan panjang saluran 47 km serta rata-rata panjang span adalah 333 m. Simulasi dilakukan untuk mengestimasi kinerja petir dari saluran transmisi. Panjang dari gap arcing horn diasumsikan menjadi 0.9 m atau 1.3 m. Tingkat trip-out dihitung dengan menggunakan referensi untuk mendapatkan hasil pada gambar 4. Tahanan kaki menara sangat berpengaruh pada tingkat trip-out yang dianggap sebagai parameter. Program IEEE Flash merekomendasikan untuk menggunakan pengukuran tahanan kaki menara pada saat frekuensi rendah [6]. Di dalam analisis, rata-rata tahanan kaki menara pada waktu terjadinya flashover masing-masing adalah (47.7 $\Omega$  atau 10.7  $\Omega$ ) dan rata-rata tahanan kaki menara pada menara No. 1 sampai menara No. 140 adalah masing-masing adalah (33.3



(a)



(b)

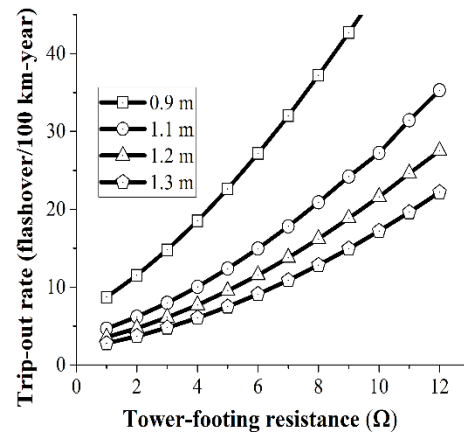
**Gambar 5** Tingkat trip, (a) sebelum perbaikan tahanan pentanahan kaki menara; (b) setelah perbaikan tahanan pentanahan kaki menara.

$\Omega$  atau  $5.6 \Omega$ ). Rata-rata tahanan impulse menara dapat mengurangi besaran tahanan dari menara tersebut karena pengaruh ionisasi, sebelum dan setelah perbaikan tahanan kaki menara di seting masing-masing adalah  $23.8 \Omega$  dan  $5.4 \Omega$ , dengan asumsi tahanan impulse adalah 50% dari tahanan pentanahan kaki menara yang diukur pada saat arus rendah dan frekuensi rendah [16,18]. Tahanan impulse juga digunakan dalam analisis ini.

## 5. SIMULASI DAN DISKUSI

### 5.1 Tingkat Trip-out

Gambar 5 (a) dan (b) menunjukkan perbandingan tingkat trip-out yang diamati dengan menggunakan analisis program IEEE Flash versi 1.81. Tingkat trip-out petir dengan menggunakan program IEEE Flash sesuai dengan hasil observasi sebelum dan setelah perbaikan tahanan kaki menara ketika tahanan impulse pada tower digunakan dalam analisis ini.



**Gambar 6** Ketergantungan dari tingkat trip-out pada tahanan kaki Menara Panjang dari gap arcwing horn.

Sementara itu, hasil observasi lebih rendah dibandingkan dengan tingkat trip-out petir dengan menggunakan program IEEE Flash pada kasus lainnya.

### 5.2 Desain Proteksi Tingkat Trip-out untuk Saluran Transmisi

Gambar 6 menunjukkan tingkat trip-out yang di hitung dengan menggunakan program IEEE Flash dengan menganggap tahanan kaki menara dari  $1 \Omega$  sampai  $12 \Omega$  dan panjang gap arcwing horn dari  $0.9 \text{ m}$  to  $1.3 \text{ m}$ . Tingkat trip-out meningkat dengan menurunnya panjang dari gap arcwing horn dan meningkatnya tahanan kaki menara. Ketika tahanan kaki menara pada semua menara di seting menjadi  $10 \Omega$ , yang berhubungan dengan tahanan  $5 \Omega$  di bawah arus impulse petir seperti pada gambar 6, tingkat trip-out menjadi kurang dari  $10 \text{ flashover}/100 \text{ km-tahun}$ , ketika panjang dari gap arcwing horn di seting menjadi lebih panjang dari  $1.2 \text{ m}$ . Seperti yang ditunjukkan oleh ref [19,20], gangguan isolator sering terjadi pada menara yang mempunyai panjang gap arcwing horn lebih panjang dari  $1.4 \text{ m}$ , meskipun tahanan kaki menara kurang dari  $10 \Omega$ . Di dalam mendisain isolasi secara actual digunakan perbandingan antara karakteristik V-T dari isolator dan gap arcwing horn.

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan investigasi dari tingkat trip-out pada saluran transmisi  $150 \text{ kV}$ , dengan hasil sebagai berikut.

1. Tingkat trip-out sangat dipengaruhi oleh tahanan kaki pentanahan menara, panjang dari gap arcwing horn.
2. Perhitungan tingkat trip-out dengan



memperhitungkan nilai reduksi tahanan kaki menara karena pengaruh ionisasi sangat sesuai dengan salah satu hasil observasi. Ini mengindikasikan bahwa pentingnya tahanan impulse dalam analisa perhitungan.

3. Tingkat trip-out dapat berkurang 50% dari tingkat trip-out yang ada, yaitu menjadi 22 flashover/100 km-tahun, jika tahanan kaki menara di seting kurang dari 10  $\Omega$  dan panjang dari gap arcing horn di seting lebih panjang dari 1.2 m.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Meteorological and Geophysical of Padang Panjang, "Annual report," BMKG Padang Panjang, Indonesia, Dec. 2010.
- [2] J. He, X. Wang, Z. Yu, and R. Zeng, "Statistical Analysis on Lightning Performance of Transmission Lines in Several Regions of China," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 30, no. 3, pp. 1543–1551, 2014. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6924796/>
- [3] R. de la Rosa, G. Enriquez, and J. L. Bonilla, "Contributions to lightning research for transmission line compaction," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 3, no. 2, pp. 716 – 723, Apr. 1988.
- [4] I. M. Rawi and M. Z. A. A. Kadir, "Investigation on the 132kV overhead lines lightning- related flashovers in Malaysia," in *Proc. VIII International Symposium on Lightning Protection (SIPDA)*, Balneario Comboriu, Brazil, Oct 2015, pp. 239 – 243. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4310/>
- [5] Subcommittee for transmission lines, study committee a lightning risk, "Application Guide for Transmission Line Surge Arrester," CRIEPI Report H-07 2012 (in Japanese).
- [6] IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines, *IEEE Std 1243-1997*, pp. 1 – 44, Dec. 1997. <http://ieeexplore.ieee.org/document/640303/>
- [7] F. M. Gatta, A. Geri, S. Lauria, M. Maccioni, and F. Palone, "Tower Grounding Improvement vs. Line Surge Arresters: Comparison of Remedial Measures for High-BFOR Subtransmission Lines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 6, pp. 4952 – 4960, June 2015. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7131509/>
- [8] S. Wu and W. Sun, "Back flashover protection performance analysis of 220kV double circuit transmission line," in *Proc. Asia-Pacific Conference Power and Energy Engineering (APPEEC)*, Wuhan, Cina, March 2011, pp. 1 – 4. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5749070/>
- [9] A. Ametani and T. Kawamura, "A method of a lightning surge analysis recommended in Japan using EMTP," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 2, pp. 867–875, Apr. 2005. <http://ieeexplore.ieee.org/document/1413327/>
- [10] J. Sardi and M. Z. A. Ab Kadir, "Investigation on the effects of line parameters to the lightning performance of 132 kV Kuala Krai-Gua Musang transmission line," in *Proc. 7<sup>th</sup> International Symposium on Power Engineering and Optimization, (PEOCO)*, Langkawi, Malaysia, June 2013, pp. 594 – 599. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6564617/?denied>
- [11] E. F. Koncel, "Potential of a Transmission-Line Tower Top When Struck by Lightning," *Trans. Am. Inst. Electr. Eng.*, vol. 75, no. 3, pp. 457 – 462, Jan. 1956. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4499327/>
- [12] A. Holdyk and B. Gustavsen, "Inclusion of Field Solver-Based Tower Footing Grounding Models in Electromagnetic Transients Programs," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 6, pp. 5101 – 5106, 2015. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7056439/>
- [13] Y. Warmi and K. Michishita, "Investigation of Lightning Trip-out on 150 kV Transmission Line in West Sumatra," *IEEJ Trans. Electrical and Electronic Engineering.*, vol. 11, Issue. 5, pp.671–673, September 2016. DOI:10.1002/tee.22286. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tee.22286/full>
- [14] IEEE Working group on Lightning Performance of Transmission Lines, "A simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-104, pp. 919 – 932, July 1985. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5528828/>
- [15] IEEE Working group on Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines, "IEEE Working Group Report – Estimating Lightning Performance of Transmission Line II – Updates to Analytical Models," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. PWRD-8, no. 3, pp. 1254 – 1267, July 1993. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5528828/>
- [16] J.G. Anderson, "Lightning Performance of Transmission Line," *Transmission Line References Book 345 and Above*, California, 1982, pp. 545–597.
- [17] W. A. Chisholm, "The IEEE Flash program: A Structure for Evaluation of Transmission Lightning Performance", *IEEJ Trans. Power & Energy*, vol. 8, No. 8, pp.914–917, 2001.
- [18] M. Darveniza, M. A. Aargent, G. J. Limbourn, Liew Ah Choy, R. O. Caldwell, J. R. Currie, B. C. Holcombe, R. H. Stillman, R. Frowd, "Modelling for lightning performance calculations", *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-98, pp. 1900 – 1908, Dec. 1979.
- [19] Y. Warmi and K. Michishita, "Horn Length Estimation for Decrease of Trip-out Rates on 150 kV Transmission Line in West Sumatra in Indonesia," Joint Conference of The tenth International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2016) and 2016 Japan-

- Koroa Joint Symposium on Electrical Discharge and High Voltage Engineering (JK 2016 on ED & HVE), ED-16-127, SP-16-056, HV-16-112, Miyazaki, Japan (2016.11.4). <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021027830/>
- [20] Y. Warmi and K. Michishita, "Tower-footing Resistance and Lightning Trip-outs of 150 KV Transmission Lines in West Sumatra in Indonesia, " International Review of Electrical Engineering (IREE), Vol 12, No 3, ISSN 1827 – 6660. <https://doi.org/10.15866/iree.v12i3.12233>
- [21] Subcommittee for transmission lines, Lightning protection design committee, "Guide to Lightning Protection Design for Transmission Line, "CRIEPI Report T-72 2002 (in Japanese).
- [22] D. Tanaka, T. Shindo, T. Miki, M. Miki, "Probability of concurrent flashover in a parallel gap configuration", IEEJ Trans. Power & Energy, , vol. 11, pp. 669–674, 2015. DOI:10.1541/teejpes.135.669.