

“Analisa Pengaruh Sambaran Petir pada Jaringan Distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP - Pertamina Hulu Bandar Pedada Menggunakan Software ATP-EMTP”

Rahmad Wahyudi Syaifulloh*, Eddy Hamdani**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
E-mail: rahmadwahyudisyaifulloh@yahoo.co.id

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze the effect of indirect lightning strikes on the 13.8 kV distribution network at BOB PT. BSP - Pertamina Hulu Bandar Pedada by using ATP-EMTP. Maximum induced voltage of indirect lightning is computed by using Rusck theory, then indirect lightning strikes are simulated by using ATP-EMTP. In this paper, five conditions are simulated. The first condition is the distribution line without the indirect lightning strikes with 15 kV lightning arresters and the ground wire is installed, the second condition is the indirect lightning strikes without the 15 kV lightning arresters and ground wire, the third condition is indirect lightning strikes with the ground wire is installed and without the 15 kV lightning arrester, the fourth condition is the indirect lightning strikes with 15 kV lightning arresters are installed and without the ground wire, and the fifth condition is the indirect lightning strikes with the 15 kV lightning arresters and ground wire is installed. The simulation results show that the ground wire is able to reduce the effect of the induced voltage from the indirect lightning strikes, the 15 kV lightning arresters are able to reduce the effect of the induced voltage from the indirect lightning strikes, and the best results are obtained when the ground wire and the 15 kV lightning arresters are installed on the distribution line.

Keyword : *Indirect lightning strikes, Rusck theory, lightning arresters, ground wire, medium voltage distribution line.*

I. PENDAHULUAN

BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada merupakan salah satu perusahaan daerah Kabupaten Siak, yang terletak di Provinsi Riau yang bergerak dalam bidang Pertambangan Minyak dan Gas Bumi, yang memiliki pembangkit listrik sendiri untuk menyuplay kebutuhan energi kelistrikan perusahaan. Untuk memenuhi kebutuhan listrik, pada setiap sistem jaringan diperlukan sistem proteksi terhadap tegangan lebih yang mungkin terjadi. Salah satunya adalah proteksi terhadap sambaran petir, baik itu sambaran petir langsung maupun sambaran petir tidak langsung (induksi).

Sambaran petir pada jaringan menyebabkan tegangan lebih yang mengakibatkan terjadinya kegagalan sistem di jaringan listrik BOB PT. BSP - Pertamina Hulu Bandar Pedada. Terjadinya gangguan sangat berpengaruh besar terhadap kelangsungan operasi perusahaan secara keseluruhan. Terutama pada sumur-sumur produksi minyak yang dikelola BOB PT. BSP-

Pertamina Hulu Bandar Pedada, karena jaringan listrik tersebut langsung terhubung ke beban berupa motor-motor pompa minyak di sumur-sumur produksi.

Berdasarkan permasalahan diatas maka sangatlah diperlukan proteksi terkait sambaran petir pada jaringan distribusi 13,8 kV diperusahaan tersebut. Sebuah analisa akan dilakukan pada parameter-parameter sambaran petir di lokasi, yaitu arus puncak, tegangan puncak, tegangan induksi pada jaringan distribusi.

Tegangan Induksi pada Saluran Akibat Sambaran Tidak Langsung (Induksi)

Sambaran induksi adalah sambaran kilat yang menyambar ke tanah di dekat saluran. Pada saluran udara menengah, sambaran tidak langsung atau induksi tidak boleh diabaikan. Pada saluran udara tegangan menengah, jumlah sambaran induksi lebih banyak dibandingkan dengan jumlah sambaran langsung. Saat terjadi sambaran kilat ke tanah

di dekat saluran, maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal kilat. Akibat peristiwa ini, timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat ditempat sambaran berlangsung. Besarnya tegangan maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diturunkan oleh Rusck dengan bantuan dari persamaan Maxwell. Menurut Rusck, jumlah gelombang tegangan induksi akibat sambaran kilat tidak langsung adalah (Hutauruk, 1991) :

$$V = V_1 + V_2 \quad (1)$$

$$V_1 = Z_o I_o h_w (c/c_o) \left\{ \frac{c_o t - x}{y^2 + (c/c_o)^2 (c_o t - x_l)^2} \right\} x \left\{ 1 + \frac{x + (c/c_o)^2 (c_o t - x_l)}{\sqrt{(c/c_o)^2 (c_o t)^2 + (1 - (c/c_o)^2) (x_l^2 + y^2)}} \right\} \quad (2)$$

$$V_2 = V_1(-x_l) \quad (3)$$

dengan :

$$Z_o = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 30\Omega \quad (4)$$

dimana :

V : jumlah gelombang tegangan induksi akibat sambaran kilat tidak langsung

h_w : Tinggi kawat di atas tanah (m)

c_o : Kecepatan merambat cahaya 3×10^8 m/s

c : Kecepatan merambat sambaran balik petir (m/s)

t : Waktu (s)

x_l : Jarak sambaran petir sepanjang saluran udara (m) , $x=0$ berarti sambaran tepat pada ujung saluran udara

y : Jarak sambaran petir yang tegak lurus terhadap saluran udara (m), $y=0$ berarti sambaran petir tepat pada saluran udara

V_i : Tegangan induksi maksimum
Pada titik $x=0$, terjadi tegangan induksi maksimum (Hutauruk, 1991) :

$$V_{oMax} = \frac{Z_o I_o h_w}{y} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{c}{c_o} \cdot \frac{1}{(1 - 1/2(c/c_o)^2)^{1/2}} \right) \quad (5)$$

Nilai $c/c_o = 0,1$ sampai $0,5$, sehingga :

$$V_{oMax} = \frac{Z_o I_o h_w}{y} (1,07 - 1,38) \quad (6)$$

Dari persamaan 5 dapat dilihat bahwa tegangan induksi tidak begitu tergantung pada kecepatan merambat sambaran balik petir. Pada tegangan induksi pada saluran di titik yang jauh dari sambaran, bila $x = \pm\infty$ disubstitusikan ke persamaan 3, maka tegangan induksi maksimum pada titik terjauh adalah (Hutauruk, 1991) :

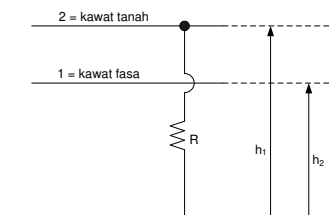
$$V_i = v_{\infty Max} = \frac{Z_o I_o h_w}{y} = \frac{30 I_o h_w}{y} \quad (7)$$

Lightning Arrester

Lightning Arrester atau penangkap petir adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Arrester berlaku sebagai jalan pintas (*by-pass*) sekitar isolasi. Lightning Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan.

Pengaruh Kawat Tanah Terhadap Tegangan Induksi

Kawat tanah adalah kawat untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Adanya kawat tanah pada saluran dapat mempengaruhi jumlah gangguan petir secara langsung ataupun tidak langsung (induksi).



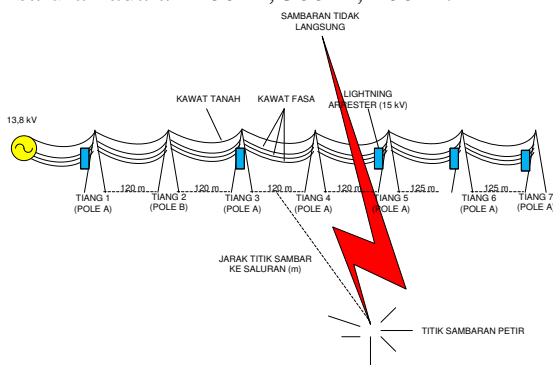
Gambar 1 Representasi Saluran dengan 2 Kawat (Hutauruk, 1991)

Bila saluran dilengkapi dengan kawat tanah, maka besar tegangan induksi pada kawat fasa adalah (Hutauruk, 1991) :

$$V_1' = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1} \right) V_1 \quad (8)$$

II. METODOLOGI PENELITIAN

Objek yang dijadikan objek penelitian adalah jaringan distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada. Penelitian ini meneliti tentang pengaruh induksi tegangan yang berasal dari sambaran tidak langsung terhadap saluran serta meneliti tentang kinerja *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah yang terpasang pada saluran tersebut. Jaringan distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada dimodelkan dengan menggunakan ATP-EMTP. Pada saluran tersebut, terdapat 7 tiang distribusi yang akan dimodelkan dengan panjang total panjang saluran dari ketujuh tiang tersebut adalah sejauh 850 m. Pada saluran tersebut, dipasang 5 buah *lightning arrester* 15 kV dan saluran tersebut dilengkapi dengan kawat tanah. Besar tegangan induksi dihitung dengan menggunakan teori Rusck. Arus puncak yang digunakan adalah 63 kA, 199 kA, dan 253 kA dengan waktu muka dan ekor adalah sebesar 1,2/50 μ s dengan durasi sambaran selama 0,001 detik. Jarak sambar dari saluran adalah 400 m, 300 m, 200 m.



Gambar 2 Ilustrasi Pemodelan Sambaran Tidak Langsung yang Terjadi Didekat Saluran Distribusi Tegangan Menengah BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada

Tegangan Induksi Maksimum

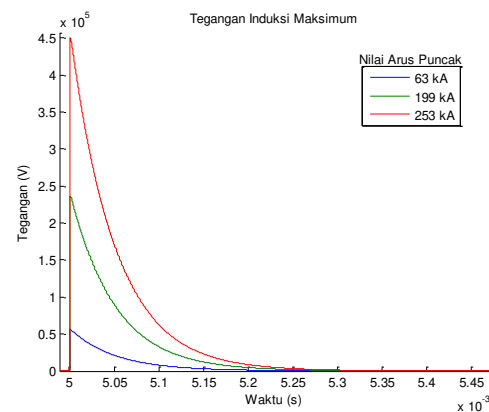
Nilai arus puncak yang digunakan untuk simulasi sebesar 63 kA, 199 kA, dan 253 kA dengan jarak antara sambaran petir dan saluran adalah 400 m, 300 m dan 200 m dengan karakteristik waktu muka dan ekor sebesar 1,2/50 μ s dengan durasi sambaran selama 0,001 detik. Besar nilai tegangan induksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Rusck. Sehingga besar sumber

tegangan induksi yang digunakan pada simulasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Besar Tegangan Induksi Maksimum

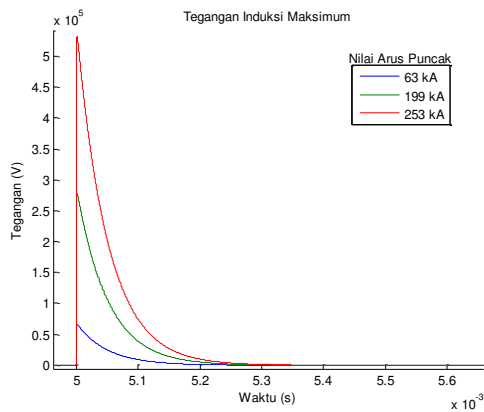
Arus Puncak (kA)	Jarak Sambaran (m)	Tegangan Induksi Maksimum pada Saluran yang Menggunakan Kawat Tanah (kV)	Tegangan Induksi Maksimum pada Saluran yang Tidak Menggunakan Kawat Tanah (kV)
63	400	56,1670	66,2483
199	300	236,5553	279,0139
253	200	451,1192	532,0894

Gambar 3 merupakan gelombang tegangan induksi maksimum yang akan digunakan sebagai sumber tegangan induksi untuk simulasi sambaran tidak langsung menggunakan ATP-EMTP pada jaringan distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada yang dilengkapi dengan kawat tanah.



Gambar 3 Gelombang Tegangan Induksi Maksimum pada Saluran yang Menggunakan Kawat Tanah

Gambar 4 merupakan gelombang tegangan induksi maksimum yang akan digunakan sebagai sumber tegangan induksi untuk simulasi sambaran tidak langsung menggunakan ATP-EMTP pada jaringan distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada yang tidak dilengkapi dengan kawat tanah.



Gambar 4 Gelombang Tegangan Induksi Maksimum pada Saluran yang Tidak Menggunakan Kawat Tanah

Pemodelan *Lightning Arrester*

Karakteristik arrester dimodelkan dengan menggunakan *datasheet lightning arrester* 15 kV yang ada pada jaringan distribusi 13,8 kV BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada.

Tabel 2 adalah nilai karakteristik V-I *lightning arrester* untuk pemodelan *lightning arrester* pada ATP-EMTP.

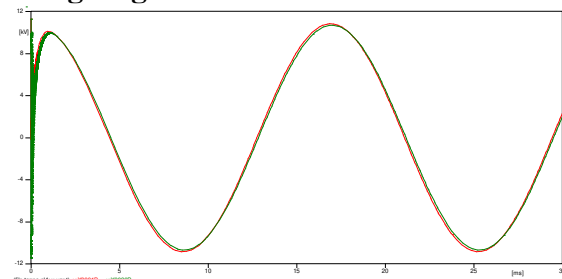
Tabel 2 Nilai Karakteristik V-I

kA	kV
1,5	39,5
2,5	40,5
3,5	41,0
5	43,4
10	47,9
20	54,7

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam simulasi ini, nilai arus puncak adalah sebesar 199 kA, jarak sambaran dari titik sambaran ke saluran adalah sejauh 300 m, dan besar tegangan induksi maksimum yang diinjeksikan pada saluran yang menggunakan kawat tanah adalah sebesar 279,0139 kV, sedangkan saluran yang tidak menggunakan kawat tanah adalah sebesar 236,5553 kV.

Tanpa Gangguan Sambaran Tidak Langsung



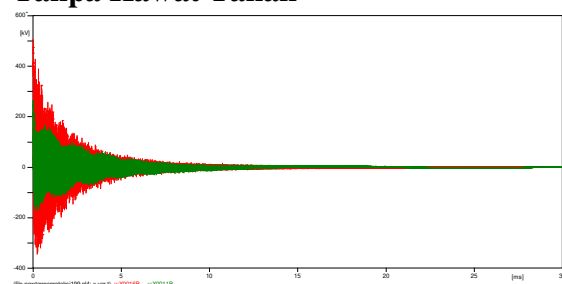
Gambar 5 Bentuk Gelombang Tegangan pada Jaringan Distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada Saat Kondisi Tanpa Gangguan Sambaran Tidak Langsung

Keterangan Gambar 5 :

- X0001B : Tegangan di sisi kirim (kV)
- X0030B : Tegangan disisi terima (kV)

Pada gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai tegangan di sisi kirim dan sisi terima pada saat tidak ada gangguan adalah cenderung stabil. Pada sisi kirim, nilai tegangan maksimum adalah sebesar 11,2677 kV, dan pada sisi terima sebesar 11,2677 kV.

Tanpa *Lightning Arrester* 15 kV dan Tanpa Kawat Tanah



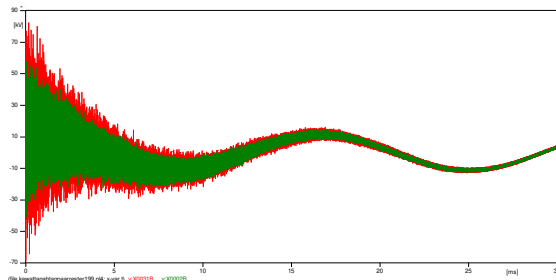
Gambar 6 Bentuk Gelombang Tegangan pada Jaringan Distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada Saat Kondisi Gangguan Sambaran Tidak Langsung (Tanpa *Lightning Arrester* 15 kV dan Tanpa Kawat Tanah)

Keterangan Gambar 6 :

- X0011B : Tegangan di sisi kirim (kV)
- X0016B : Tegangan disisi terima (kV)

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai tegangan di sisi kirim dan sisi terima saat terkena sambaran tidak langsung adalah cenderung meningkat drastis akibat adanya induksi tegangan. Induksi tegangan tersebut mengakibatkan kenaikan tegangan di sisi kirim menjadi 263,8462 kV dan di sisi terima menjadi 504,5965 kV.

dengan Kawat Tanah dan tanpa Lightning Arrester 15 Kv



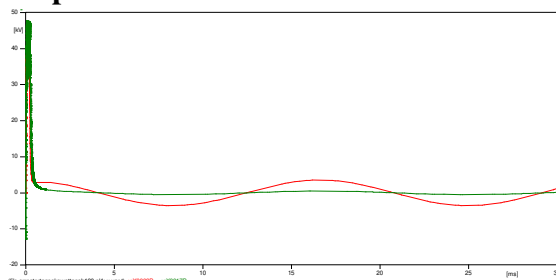
Gambar 7 Bentuk Gelombang Tegangan pada Jaringan Distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada Saat Kondisi Gangguan Sambaran Tidak Langsung (dengan Kawat Tanah dan Tanpa Lightning Arrester 15 kV)

Keterangan Gambar 7 :

- X0002B : Tegangan di sisi kirim (kV)
- X0031B : Tegangan disisi terima (kV)

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai kenaikan tegangan di sisi kirim dan sisi terima yang terkena sambaran tidak langsung lebih rendah dari nilai kenaikan tegangan pada saluran yang tidak diproteksi oleh kawat tanah dan lightning arrester 15 kV. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa kawat tanah mampu mereduksi tegangan yang disebabkan oleh induksi tegangan akibat sambaran tidak langsung. Akibat adanya pengaruh kawat tanah, tegangan di sisi kirim menjadi 57,7815 kV dan di sisi terima menjadi 82,3703 kV.

dengan Lightning Arrester 15 kV dan tanpa Kawat Tanah



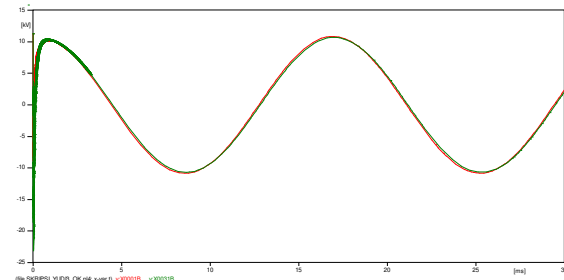
Gambar 8 Bentuk Gelombang Tegangan pada Jaringan Distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada Saat Kondisi Gangguan Sambaran Tidak Langsung (dengan Lightning Arrester 15 kV dan Tanpa Kawat Tanah)

Keterangan Gambar 8 :

- X0002C : Tegangan di sisi kirim (kV)
- X0017C : Tegangan disisi terima (kV)

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa saluran yang dipasang lightning arrester mampu mereduksi tegangan induksi yang disebabkan oleh sambaran tidak langsung. Induksi tegangan yang disebabkan oleh sambaran tidak langsung dapat di reduksi. Akibat adanya pengaruh lightning arrester, tegangan di sisi kirim menjadi 39,6777 kV dan di sisi terima menjadi 47,7052 kV.

dengan Lightning Arrester 15 kV dan Kawat Tanah



Gambar 9 Bentuk Gelombang Tegangan pada Jaringan Distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada Saat Kondisi Gangguan Sambaran Tidak Langsung (dengan Lightning Arrester 15 kV dan Kawat Tanah)

Keterangan Gambar 9 :

- X0001B : Tegangan di sisi kirim (kV)
- X0031B : Tegangan disisi terima (kV)

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa saluran yang dipasang lightning arrester dan kawat tanah mampu mereduksi tegangan induksi yang disebabkan oleh sambaran tidak langsung. Induksi tegangan yang disebabkan oleh sambaran tidak langsung yang terjadi dapat di reduksi. Akibat adanya pengaruh lightning arrester dan kawat tanah, tegangan di sisi kirim menjadi 11,2677 kV dan di sisi terima menjadi 11,2677 kV.

Simulasi sambaran tidak langsung juga di simulasikan dengan nilai arus puncak dan jarak sambaran yang bervariasi untuk melihat pengaruh sistem proteksi yang telah dipasang di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada. Tabel 3 merupakan hasil simulasi sambaran tidak langsung dengan variasi nilai arus puncak dan jarak sambaran.

Tabel 3 Hasil Simulasi Sambaran Tidak Langsung dengan Variasi Nilai Arus Puncak dan Jarak Sambaran pada Saluran Udara Tegangan Menengah BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada

Kondisi Saluran	Arus Puncak (kA)	Jarak Sambaran (m)	Tegangan Induksi Maksimum (kV)	Tegangan (V_{puncak}) di Sisi Kirim (kV)	Tegangan (V_{puncak}) di Sisi Terima (kV)
Tidak Ada Gangguan (Terpasang Lightning Arrester 15 kV dan Kawat Tanah)	-	-	-	11,2677	11,2677
	-	-	-		
	-	-	-		
Tanpa Lightning Arrester 15 kV dan Tanpa Kawat Tanah	63	400	56,1670	60,8883	108,6460
	199	300	236,5553	263,8462	504,5965
	253	200	451,1192	505,7023	975,8484
Terpasang Kawat Tanah dan Tanpa Lightning Arrester 15 kV	63	400	66,2483	22,3098	28,1358
	199	300	279,0139	57,7815	82,3703
	253	200	532,0894	99,9734	146,8798
Terpasang Lightning Arrester 15 kV dan Tanpa Kawat Tanah	63	400	56,1670	21,6617	28,3740
	199	300	236,5553	39,6777	47,7052
	253	200	451,1192	42,7941	52,6025
Terpasang Lightning Arrester 15 kV dan Kawat Tanah	63	400	66,2483	11,2677	11,2677
	199	300	279,0139	11,2677	11,2677
	253	200	532,0894	11,2677	11,7077

Dari Tabel 3 dapat kita lihat bahwa adanya induksi tegangan yang disebabkan oleh sambaran tidak langsung dapat menyebabkan kenaikan tegangan pada jaringan distribusi 13,8 kV BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada. Semakin tinggi kawat penghantar pada saluran, semakin tinggi nilai tegangan induksinya. Semakin dekat lokasi sambaran petir dengan saluran, semakin tinggi nilai tegangan induksinya. Semakin tinggi tegangan induksi, semakin tinggi kenaikan tegangan yang dirasakan pada saluran. Saluran yang dipasang *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah adalah paling baik dalam mereduksi induksi tegangan yang disebabkan oleh sambaran tidak langsung

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa saluran yang dipasang *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah lebih baik dalam mereduksi induksi tegangan yang disebabkan oleh sambaran tidak langsung dan mampu menjaga nilai tegangan saluran seperti pada saat kondisi tidak ada gangguan.

Pada saat tegangan induksi sebesar 56,1670 kV, saluran yang dipasang *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah dapat memotong tegangan sebesar 49,6206 kV pada sisi kirim, yaitu dari 60,8883 menjadi 11,2677 kV. Sedangkan pada sisi terima, *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah dapat memotong tegangan sebesar 97,3783 kV, yaitu dari 108,6460 kV menjadi 11,2677 kV.

Pada saat tegangan induksi sebesar 236,5553 kV, saluran yang dipasang *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah dapat memotong tegangan sebesar 252,5785 kV pada sisi kirim, yaitu dari 263,8462 kV menjadi 11,2677 kV. Sedangkan pada sisi terima, *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah dapat memotong tegangan sebesar 493,3288 kV, yaitu dari 504,5965 kV menjadi 11,2677 kV.

Pada saat tegangan induksi sebesar 451,1192 kV, saluran yang dipasang *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah dapat memotong tegangan sebesar 494,4346 kV pada sisi kirim, yaitu dari 505,7023 kV menjadi 11,2677 kV. Sedangkan pada sisi terima, *lightning arrester* 15 kV dan kawat tanah dapat memotong tegangan sebesar 964,1407 kV, yaitu dari 975,8484 kV menjadi 11,7077 kV.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya, agar dapat melakukan simulasi dengan saluran yang lebih panjang dan agar dapat menganalisa pengaruh penempatan *lightning arrester* 15 kV pada jaringan distribusi 13,8 kV di BOB PT. BSP-Pertamina Hulu Bandar Pedada.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, bapak Eddy Hamdani ST., MT selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan

dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada teman-teman, rekan-rekan Teknik Elektro yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, M. Yusron. (2009). Studi Pengaruh Tegangan Lebih Akibat Induksi Petir pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Menggunakan *Coupling Model*. *Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia*.
- Cabral, J. Roberto dkk. (2012). Evaluation of the Wire-Guard Arrangements in Overhead Distribution Feeders Against Lightning. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICRE PQ'12) Vol.1, No.10, 1474-1477*.
- Cabral, Roberto J., dkk. (2012). Analysis of Distribution Lines Performance Against Lightning Using ATP-EMTP. *IEEE*.
- Hutauruk, T.S. (1988). Perhitungan Gangguan Kilat pada Saluran Udara Tegangan Menengah. *Proceedings ITB Vol. 21, No. 1*.
- Hutauruk, T.S. (1991). *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- IEEE Standard Association. (2011). IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, *Newyork*.
- Leonard L. Grigsby. (2006). *Electric Power Engineering Handbook Second Edition*. CRC Press.
- Murdiya, Fri. (2010). Analisis Disain Sistem Proteksi Petir pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin. *Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR, Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia*.
- Omidiora, Michael A & Lehtonen, Matti. (2008). Performance Of Shield Wire In Surge-Protected Distribution Lines. *XVIII-th International Conference on Electromagnetic Distribution-EMD 2008*, 181-186.
- Parhuship, Ira Debora, dkk. (2013). Studi Pengaruh Variasi Parameter Sambaran Petir Terhadap Tegangan Induksi Pada Jaringan Distribusi 20 kV (Studi Kasus Feeder 3 Gi Bumi Semarang Baru). *Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Indonesia*.
- Prikler, László., & Høidalen, Hans Kristian. (2002). Users' Manual ATPDRAW version 3.5 for Windows 9x/NT/2000/XP.
- Suswanto, Daman. (2009). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik untuk Mahasiswa Teknik Elektro*. Padang.
- Zoro, R., Pakpahan, P., Hidayat, S., dkk. (2002), *Studi Sistem Pengaman Terhadap Sambaran Petir di PT Caltex Pacific Indonesia*, LAPI ITB, Bandung.
- Zoro R, Ryan M. (2004), *Evaluation and Improvement of Lightning Protection on Transmission and Distribution Lines Using Lightning Detection Network*, Pro. 27th ICLP, Avignon.