

Perbandingan Metode *Protective Angle* Dan Metode *Rolling Sphere* Pada Proteksi Tegangan Lebih Saluran Distribusi 13,8 Kv PT. Chevron Pacivic Indonesia

Fadil Pradipta, Dian Yayan Sukma, Edy Ervianto

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

e-mail : pradipta.1990@yahoo.com

ABSTRACT

South Bekasap Area PT. Chevron Pacivic Indonesia was an area that has flash density reach at 1,970 flash/km²/year with IKL level at 136 thunder days per year. The amount of lightning current that strikes phase wires can be minimized by using a ground wire. this is done by adjusting the angle between the ground wire to phase wire to form a region that free from lightning strikes called protected region. In the analysis of protected region, first we must determined the level of lightning protective system needs base on standart that used in Indonesia, called SNI-03-7015-2004. From the analysis of hazard assesment, it was found the level of lightning protection needs at level I with striking distance at 20 meter. Based on data and analysis, then it is known that the distribution line 13,8 kV So.Bekasap has level protection system that is less good. In protective angle method calculations, the single poles (type A, B, and C) have protection region at 33° and double poles (type SAA, SBB, and SCC) at 26°. While based on rolling sphere method, the single poles (type A, B, and C) have protection region at 13° and double poles with double ground wires (type SAA, SBB, and SCC) at 27°.

Keywords: protected region, protection system, protective angle method, rolling sphere method.

Pendahuluan

Petir merupakan fenomena alam yang tidak dapat ditiadakan. Hingga kini petir masih menjadi permasalahan penting sebab petir memiliki kemampuan untuk mengganggu bahkan merusak infrastruktur publik seperti sistem tenaga listrik (pembangkit, transmisi, dan distribusi), sistem telekomunikasi, dan peralatan elektronik.

Provinsi Riau merupakan daerah yang memiliki tingkat kepadatan petir cukup tinggi, yaitu 136 hari guruh pertahun dengan kerapatan sambaran petir

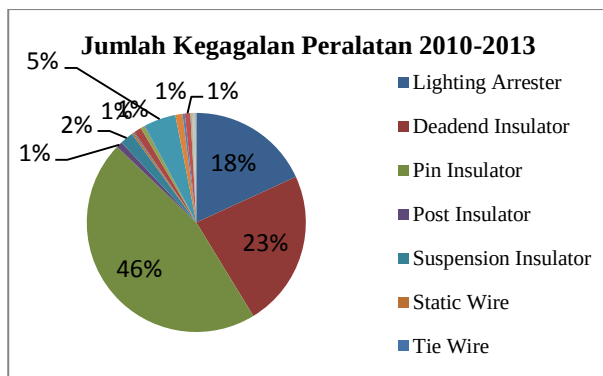
ketanah (N_g) mencapai 19,5128 sambaran/km²/tahun untuk tahun 2013.

Terkhusus pada saluran distribusi, saluran distribusi memegang peranan penting dalam proses penyaluran daya dari pusat pembangkit hingga kepusat beban. Saluran distribusi daerah So.Bekasap yang menjadi objek kajian dalam tugas akhir ini merupakan saluran yang memiliki tingkat kerapatan sambaran petir tertinggi selama 3 tahun terakhir, hal ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Peringkat atas dan peringkat bawah penyulang 13.8kV berdasarkan GFD

Top 5	2010-2012	Bottom 5	2010-2012
Feeder group	GFD(Flash/km2/year)	Feeder group	GFD(Flash/km2/year)
So. Bekasap	1,970	Libo	0,277
5B	1,455	Pematang	0,328
Pinang	1,453	Suram	0,366
4B	1,271	Ce. Kota Batak	0,386
3D	1,227	Ketigul	0,403

Kondisi ini bisa dijadikan dasar pertimbangan dalam memberikan proteksi lebih terhadap penyulang-penyulang yang rawan terhadap sambaran petir. Secara umum, tingginya kerapatan petir (GFD) pada saluran distribusi mempengaruhi banyaknya jumlah gangguan pada saluran tersebut. Namun tidak semua terlihat berbanding lurus, ada yang memiliki tingkat kerapatan petir tinggi sementara jumlah gangguannya sedikit, ataupun sebaliknya. Hal ini disebabkan sistem proteksi dan koordinasi isolasi yang berbeda-beda, sehingga masing-masing akan memiliki tingkat ketahanan (*severity*) yang berbeda-beda terhadap sambaran petir. Dengan mengaitkan data-data tingkat kerapatan petir dan pemadaman pada masing-masing penyulang sejak tahun 2010 hingga tahun 2012, didapatkan angka korelasi signifikan sebesar 0,631, yang menunjukkan sebuah keterkaitan yang cukup tinggi. Korelasi ini juga dapat dilihat dari banyaknya kerusakan alat yang ditimbulkan. Tingginya kerusakan yang disebabkan oleh petir dapat dilihat dari grafik berikut:



Gambar 1. Garfik Jumlah Kegagalan Peralatan Tahun 2010-2013 Akibat Sambaran Petir

Dari grafik diatas tampak bahwa jumlah kegagalan peralatan yang disebabkan oleh petir didominasi oleh pin insulator, *deadend* insulator dan *lightning* arrester. Berdasarkan hal tersebut penulis berasumsi bahwa terjadinya kesalahan penentuan level proteksi petir yang tidak sesuai standar kebutuhan sistem proteksi petir. Oleh karna itu penulis mencoba melakukan analisa kemungkinan penyebab kerusakan peralatan pada saluran distribusi 13,8kV PT. Chevron Pacific Indonesia.

Bahan Dan Metode

1. Data Penelitian

Adapun data-data yang terkait dalam kajian analisa sudut proteksi saluran distribusi 13,8 kV PT. Chevron Pacific Indonesia adalah sebagai berikut:

- **Air Terminal**

Air terminal pada saluran distribusi berupa kabel ACSR Oriole yang melintang pada ujung tiang dan terhubung dengan tiang yang lain. Kabel ACSR tersebut diharapkan memiliki sifat yang sama seperti batang penangkal petir sehingga dapat memperlancar proses tarik menarik dengan muatan listrik yang ada diawan.

Tabel 2. Data Spesifikasi Bahan Peralatan Proteksi Petir (Kawat Tanah)

Komponen Proteksi	Jenis Bahan	Bentuk	Ukuran (meter)	Panjang (meter)	Tinggi
Penangkal Petir (Kawat Tanah)	ACSR	Kawat Pilin	7,724x10 ⁻³	48000	-

- **Arrester**

Arrester merupakan salah satu bagian penting dalam koordinasi insulasi yakni perlindungan sistem tenaga listrik dari tegangan lebih. Fungsi utama *arrester* adalah untuk memotong dan mentanahkan tegangan yang melebihi dari tegangan kerjanya.

PT. Chevron menggunakan arrester “VarisilTM He Polymer House Gapless Metal Oxide Type” pada sistem distribusi 13,8 kV So. Bekasap dengan karakteristik sesuai tabel berikut:

Tabel 3. Data Karakteristik Arester Saluran Distribusi 13,8 kV

Rated voltage U_r : 5 kV up to 36 kV
Nominal discharge current : 10 kA
High current impulse withstand : 100 kA
Long duration current impulse withstand : 300 A
Line discharge class : 1
Short circuit withstand : 20 kA/0,2 s

- **Pole (Tiang)**

Jenis tiang pada saluran distribusi 13,8 kV, PT. Chevron Pacific Indonesia menggunakan 2 tipe tiang *single pole* dan *double pole* yang masing-masingnya terbagi atas 3 jenis, yaitu *single pole A*, *single pole B*, *single pole C*, *double pole AA*, *double pole BB*, dan *double pole CC*. Dengan karakteristik sesuai tabel berikut:

Tabel 4. Data Karakteristik Tiang Saluran Distribusi 13,8 kV

Karakteristik Tiang (meter)	Tipe Tiang					
	Single Pole			Double Pole		
	A	B	C	SAA	SBB	SCC
Tinggi Tiang (h)	15,39	15,39	15,39	18,89	18,89	18,89
Lebar Lengan	2,88	2,88	2,88	4,88	5,18	5,18
Lebar Lengan-Tiang(w)	1,44	1,44	1,44	2,74	2,74	2,74
Tinggi (Puncak-Lengan)	2,57	2,74	2,74	4,4	4,72	4,72
Jarak Antara 2 Tiang (s)	-	-	-	4,26	4,87	4,87
Ukuran	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
Jenis Bahan	Baja Galvanis	Baja Galvanis	Baja Galvanis	Baja Galvanis	Baja Galvanis	Baja Galvanis

• Data BMKG

Data BMKG yang terkait dalam penelitian ini adalah data hari guruh tahunan. Hari guruh adalah hari dimana guruh terdengar minimal satu kali dalam satu hari. Jumlah hari guruh yang terjadi pada suatu daerah dalam satu tahun disebut *Isokreaunic Level* dan disimbolkan dengan Ikl. Data Ikl daerah So.Bekasap dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 5. Data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Tahun 2013

Besaran / Parameter	Nilai
Data IKL (hari guruh rata-rata pertahun) (hari) (fg)	136
Curah hujan rata-rata pertahun (mm/th)	3073.8
Tinggi awan terendah (m) (Ha)	304.8
Tinggi diatas permukaan laut (m)	31
Frekuensi sambaran petir tahunan (Nc)	0,1

2. Teori Analisis Resiko Kerusakan Berdasarkan Standar SNI-03-7015-2004

Pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat (N_d) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan. Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun (N_d) dapat dihitung dengan perkalian kepadatan kilat ke bumi pertahun (N_g) dan luas daerah perlindungan efektif pada gedung (A_e).

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

Kerapatan sambaran petir ke tanah dipengaruhi oleh hari guruh rata-rata per tahun di daerah tersebut. Hal ini ditunjukkan dalam persamaan dibawah ini:

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} \text{ sambaran/ km}^2/\text{tahun} \quad (2)$$

Sedangkan besar A_e dapat dihitung sebagai berikut:

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \quad (3)$$

Maka dengan ketiga persamaan diatas, nilai N_d dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$N_d = 0,04 \times T_d^{1,26} (ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2) \quad (4)$$

Dimana :

- a = Panjang atap gedung (m)
- b = Lebar atap gedung (m)
- h = Tinggi atap gedung (m)
- N_g = Kepadatan sambaran petir
- T_d = Hari guruh pertahun (IKL)

Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan berdasarkan perhitungan N_d dan N_c dilakukan sebagai berikut:

- Jika $N_d \leq N_c$ tidak perlu sistem proteksi petir.
- Jika $N_d > N_c$ diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi :

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (5)$$

Dengan tingkat proteksi sesuai tabel 6, yaitu;

Tabel 6. Efisiensi SPP sehubungan dengan Tingkat Proteksi

Tingkat proteksi	Efisiensi SPP E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Tabel 7. Penempatan Terminasi Udara Berdasarkan Tingkat Proteksi

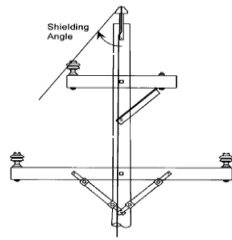
Protection level Tingkat proteksi	h (m) R (m)	20	30	45	60	Mesh width (m) Lebar mata jala (m)
		α	α	α	α	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

3. Sudut Lindung Eksisting (SLE)

Besarnya sudut lindung eksisting pada tiang dapat dicari dengan melakukan pendekatan menggunakan rumus *phytagoras* sederhana, yaitu:

$$SLE = \tan^{-1} \frac{\text{Lebar lengan ke tiang}}{\text{Tinggi puncak}} \quad (7)$$

Jika digambarkan, maka akan tampak sebagai berikut:



Gambar 2. Skema Sudut Lindung

4. Analisa Sudut Lindung Metoda *Protective Angle*

Analisa sudut lindung menggunakan metode *protective angle* dilakukan dengan memasukkan data karakteristik tinggi tiang terminal udara (h) sesuai dengan tipe tiangnya dan nilai jarak sambar petir (r) yang telah ditetapkan dalam standar sesuai dengan tingkat kebutuhan SPP pada daerah terukur ke dalam persamaan berikut:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{1}{h} + \frac{r}{h^2} \sqrt{2rh - h^2} - \left(\frac{r}{h}\right)^2 \arccos \frac{r-h}{r} \right) \quad (8)$$

Persamaan diatas hanya berlaku untuk $h \leq r$. Atau dapat menggunakan tabel 8 untuk ketinggian terminal kelipatan 5 sebagai berikut:

Tabel 8. Hubungan antara sudut pengamanan dan tinggi terminal udara penangkap petir

Tinggi terminal udara h dalam m	Tingkat pengamanan (%)		
	ekstrem	tinggi	normal
	20m	30m	45m
5	58	65	70
5	58	65	70
10	45	54	61
15	34	45	54
20	23	38	48
25	*	30	42
30	*	23	37
35	*	*	32
40	*	*	28
45	*	*	23

* tidak didefinisikan karena $h > r$

5. Analisa Sudut Lindung Metoda *Rolling Sphere*

Analisa sudut lindung menggunakan metode *rolling sphere* dilakukan dengan memasukkan data karakteristik tinggi tiang terminal udara (h) sesuai dengan tipe tiangnya dan nilai jarak sambar petir (r) yang telah ditetapkan dalam standar sesuai dengan tingkat kebutuhan SPP pada daerah terukur ke dalam persamaan berikut:

- Untuk *Single Pole*:

$$\alpha^o = \sin^{-1} \left(1 - \frac{H}{r} \right) \quad (9)$$

- Untuk dua buah batang tegak yang terpisah jarak S (*Double Pole*):

$$\alpha^o = \cos^{-1} \left(1 - \frac{S}{2r} \right) \quad (10)$$

Dimana: α^o = sudut lindung (derajat)

H = tinggi pole (m)

r = jarak sambar (m)

S = jarak antara 2 batang tegak (m)

Pada metode *rolling sphere*, dapat pula dicari besar arus minimum petir yang menyambar kabel fasa dengan menggunakan turunan persamaan berikut:

$$r = 10I^{0,65}, \text{ maka} \\ I = \frac{0,65}{10} \frac{r}{r} \quad (11)$$

Dimana, r adalah jarak sambar petir.

Dari besar arus minimum petir yang menyambar, maka dapat diketahui apakah *arrester* yang terpasang bekerja berat atau ringan pada sudut lindung yang terpasang.

Maksud dari *arrester* bekerja berat atau ringan adalah banyak atau sedikitnya *arrester* aktif bekerja melakukan proteksi terhadap arus lebih. *Arrester* yang ditempatkan pada saluran yang memiliki besar arus minimum petir yang lebih kecil dibandingkan rating arus pelepasannya ($I_p < I_A$) akan memiliki umur yang relatif lebih panjang dari pada *arrester* yang ditempatkan pada saluran yang memiliki besar arus minimum petir yang lebih besar dibandingkan rating arus pelepasannya ($I_p > I_A$), karena semakin besar nilai arus minimal petir yang mengalir melalui *arrester* setelah tembusnya sela seri, maka semakin besar kemungkinan *arrester* akan rusak atau berubah karakteristiknya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penentuan Tingkat Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Pada Saluran Distribusi 13,8 kV South Bekasap PT. Chevron Pacific Indonesia Duri-Riau Berdasarkan SNI-03-7015-2004

Berdasarkan standar SNI-03-7015-2004, pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir

langsung (N_d) yang diperkirakan kestruktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan (N_c) yang diperbolehkan.

Oleh karena itu untuk menentukan tingkat proteksi petir pada saluran distribusi 13,8 kV yang memiliki ukuran panjang saluran 48000 meter, tingkat IKL = 136, dan $N_c = 0,1$ maka dapat dilakukan perhitungan untuk tiap tipe tiang sebagai berikut:

a. Tiang Tipe A

Menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan (N_g) tiang tipe A dapat dihitung menggunakan persamaan 2. berikut;

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,26} \text{ sambaran/ km}^2/\text{tahun}$$

$$N_g = 0,04 \times 136^{1,26} \text{ sambaran/ km}^2/\text{tahun}$$

$$N_g = \underline{19,5128} \text{ sambaran/ km}^2/\text{tahun}$$

Menghitung area cakupan (A_e) tiang tipe A dapat dihitung menggunakan persamaan 3. berikut;

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2$$

$$A_e = (8000 \times 2,88) + 6 \times 15,39(8000 + 2,88 + 9\pi \times 15,39^2)$$

$$A_e = \underline{768.719,38 \text{ m}^2}$$

Menghitung frekuensi sambaran petir langsung (N_d) tiang tipe A dapat dihitung menggunakan persamaan 4. berikut;

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} / \text{tahun}$$

$$N_d = 19,5128 \times 768.719,38 \times 10^{-6} / \text{tahun}$$

$$N_d = \underline{15,00} / \text{tahun}$$

Menentukan efisiensi SPP (Sistem Proteksi Petir) lalu menentukan tingkat proteksi tiang tipe A dapat dihitung menggunakan persamaan 5. berikut;

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

$$E = 1 - \frac{0,1}{15} = \underline{0,99}$$

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7, maka terlihat bahwa tiang tipe A memiliki tingkat kebutuhan sistem proteksi petir yang tinggi yaitu pada tingkat proteksi I, dengan jarak sambar 20m.

Dengan cara yang sama, maka dapat diketahui pula tingkat kebutuhan sistem proteksi petir untuk tipe tiang yang lain, sesuai dengan hasil tabel 8.

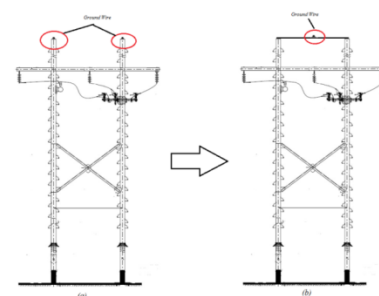
Tabel 9. Hasil Perhitungan Tingkat Kebutuhan SPP Tiap Tipe Tiang Berdasarkan SNI-03-7015-2004

Perhitungan	Tipe Tiang					
	Single Pole			Double Pole		
	A	B	C	SAA	SBB	SCC
Kerapatan Sambaran Petir (N_g)	19,5128	19,5128	19,5128	19,5128	19,5128	19,5128
Frekuensi Sambaran Petir Langsung (N_d)	15,00	14,95	14,95	19,43	19,53	19,53
Effisiensi	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Tingkat SPP (SNI-03-7015-2004)	I	I	I	I	I	I
Jarak Sambar(r) (SNI-03-7015-2004)	20m	20m	20m	20m	20m	20m

Data pada tabel 8. akan digunakan sebagai dasar perhitungan perbaikan sudut lindung menggunakan metode *protective angle* dan metode *rolling sphere*. Hal ini bertujuan untuk melihat metode mana yang memberikan area perlindungan yang lebih baik sesuai dengan tingkat kebutuhan SPP yang telah ditetapkan sebelumnya.

2. Sudut Lindung Eksisting Tiap Tipe Tiang

Besarnya sudut lindung eksisting pada tiap tipe tiang dapat dicari dengan menggunakan persamaan 6, tidak terkecuali untuk tiang tipe *double pole*. Untuk tiang *double pole*, dikarenakan kesalahan dalam aplikasi dilapangan yang seharusnya menggunakan 2 (dua) *ground wire*, akan tetapi yang terpasang hanya 1 (satu) *ground wire* seperti yang tampak pada gambar 3. Sehingga, tiang tipe *double pole* dalam setiap perhitungannya diperlakukan sama seperti tiang *single pole*.



Gambar 3. Aplikasi ground wire pada tiang double pole (a) benar, (b) eksisting

- Sudut Lindung Eksisting (SLE) Tiang Tipe A
Besarnya sudut lindung eksisting pada tiang tipe A adalah sebagai berikut:

$$SLE = \tan^{-1} \frac{\text{Lebar lengan ke tiang}}{\text{Tinggi puncak}}$$

$$SLE = \tan^{-1} \frac{1,44m}{2,57m}$$

$$SLE = 29,28^\circ$$

$$SLE = \underline{29^\circ}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka dapat diketahui nilai sudut lindung eksisting untuk tiap tipe tiang yang hasilnya ditunjukkan oleh tabel 9.

Tabel 10. Sudut Lindung Eksisting (SLE) Tiap Tipe Tiang

Tipe Tiang	A	B	C	SAA	SBB	SCC
Sudut Lindung Eksisting (α)	29°	28°	28°	48°	48°	48°

Pada tiang *double pole*, jika pengaplikasian *ground wire* dilakukan secara benar (menggunakan 2 *ground wire*), maka akan didapatkan sudut lindung dengan hasil sebagai berikut:

- **Tiang Tipe SAA**

Besarnya sudut lindung pada tiang tipe SAA jika menggunakan 2 (dua) *ground wire* adalah sebagai berikut:

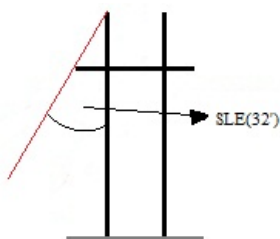
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\text{Lebar lengan ke tiang}}{\text{Tinggi puncak}}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{2,74m}{4,40m}$$

$$\alpha = 31,93^\circ$$

$$\alpha = \underline{32^\circ}$$

Jika digambarkan, maka sudut lindung tiang tipe SAA berdasarkan tinggi tiang dan lebar lengan-tiang ditunjukkan seperti gambar 4.



Gambar 4. Aplikasi *ground wire* pada tiang *double pole* pada tiang tipe SAA

- **Tiang Tipe SBB dan SCC**

Besarnya sudut lindung pada tiang tipe SBB dan SCC jika menggunakan 2 (dua) *ground wire* adalah sebagai berikut:

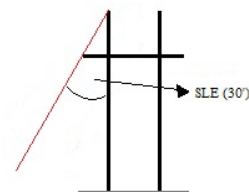
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\text{Lebar lengan ke tiang}}{\text{Tinggi puncak}}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{2,74m}{4,72m}$$

$$\alpha = 30,15^\circ$$

$$\alpha = \underline{30^\circ}$$

Jika digambarkan, maka sudut lindung tiang tipe SBB dan SCC berdasarkan tinggi tiang dan lebar lengan-tiang ditunjukkan seperti gambar 5.



Gambar 5. Aplikasi *ground wire* pada tiang *double pole* pada tiang tipe SBB dan SCC

3. Analisa Sudut Lindung Menggunakan Metode *Protective Angle*

Pada metode *protective angle* berdasarkan tabel (2.3) terdapat 3 (tiga) level proteksi. Level proteksi I dengan panjang jarak sambar 20m, level proteksi II dengan panjang jarak sambar 30m, dan level proteksi III dengan panjang jarak sambar 45m. Oleh karena itu sebelum memulai analisa, ada baiknya melihat besar sudut lindung pada tiap level proteksi untuk ketinggian tiap tipe tiang.

Perhitungan dilakukan untuk ketinggian 15,39m (*single pole*) dan 18,89m (*double pole*) untuk tiap level proteksi dengan menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

- **Tiang Tipe *Single Pole* Level Proteksi I**

$$\alpha = \arctan \frac{1}{h} + \frac{r}{h^2} \sqrt{2rh - h^2} - \left(\frac{r}{h}\right)^2 \arccos \frac{r-h}{r}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\frac{1}{15,39} + \frac{20}{15,39^2} \sqrt{2 \cdot 20 \cdot 15,39 - 15,39^2} - \left(\frac{20}{15,39}\right)^2 \arccos \frac{20-15,39}{20}}$$

$$\alpha = \underline{33^\circ}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka dapat diketahui nilai sudut lindung pada level dan ketinggian tiang yang lain yang tampak pada tabel 11.

Tabel 11. Hubungan Antara Level Proteksi, Jarak Sambar, Dan Tinggi Terminal Udara Penangkap Petir Metoda *Protective Angle*

Tipe Tiang	Tingkat		
	I 20m	II 30m	III 45m
<i>Single Pole</i> (15,39m)	33°	45°	54°
<i>Double Pole</i> (18,89m)	26°	39°	49°

Dari tabel 11. dapat diketahui *level* proteksi eksisting pada tiap tipe tiang saat ini berdasarkan metoda *protective angle* seperti yang tampak pada tabel 12.

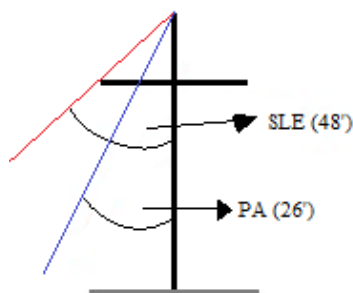
Tabel 12. Hubungan Sudut Lindung Eksisting dan Tingkat Proteksi Metode *Protective Angle*

Tipe Tiang	A	B	C	SAA	SBB	SCC
Sudut Lindung Eksisting	29°	28°	28°	48°	48°	48°
Tingkat SPP	I	I	I	III	III	III

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan oleh tabel 12, tampak bahwa sudut lindung pada tiang tipe *single pole* (A, B, dan C) telah memenuhi tingkat kebutuhan proteksi petir standar SNI -03-7015-2004 seperti yang tampak pada tabel 9. Sehingga perbaikan sudut lindung hanya perlu dilakukan pada tiang tipe *double pole* (SAA, SBB, dan SCC) karna berada pada tingkat proteksi yang tidak sesuai dengan standar kebutuhan proteksi saluran. Berikut detail penjelasannya:

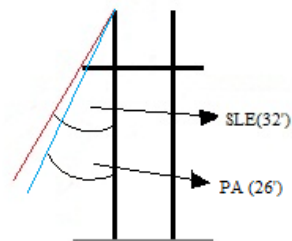
- **Tiang Tipe SAA**

Termasuk kedalam tiang tipe *double pole* dengan ketinggian terminal (h) 18,89 m, lebar setengah lengan 4,88 m, dan menggunakan insulator tipe *suspension* yang dipasang menggantung vertikal. Dengan sudut lindung eksisting (SLE) 48°, tiang tipe SAA berada pada tingkat proteksi III dan dinyatakan belum memenuhi standar kebutuhan proteksi saluran yang berada pada tingkat proteksi I seperti yang tampak pada gambar 6.



Gambar 6. Analisa Sudut Lindung Metoda *Protective Angle* Pada Tiang Tipe SAA dengan 1 (satu) *ground wire*

Pada tiang SAA, jika pengaplikasian *ground wire* dilakukan secara benar, maka perhitungan perbaikan sudut lindung akan tampak seperti gambar 7.

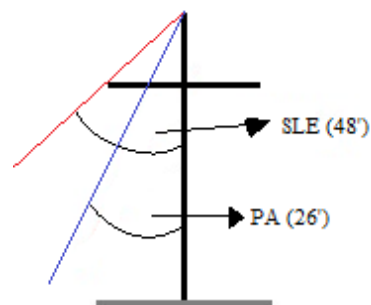


Gambar 7. Analisa Sudut Lindung Metoda *Protective Angle* Pada Tiang Tipe SAA dengan 2 (dua) *ground wire*

Dari gambar 6 dan 7 tampak bahwa, sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung tingkat proteksi I metode *protective angle*, sehingga diperlukan adanya perbaikan sudut lindung pada tiang tipe SAA, dengan cara melakukan sedikit perubahan pada jarak antara kabel fasa atau menurunkan tinggi lengan tiang hingga terbentuk sudut lindung yang memenuhi standar SNI-03-1015-2004.

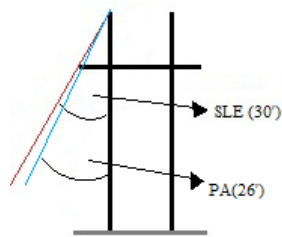
- **Tiang Tipe SBB dan SCC**

Termasuk kedalam tiang tipe *double pole* dengan ketinggian terminal (h) 18,89 m, lebar setengah lengan 5,18 m, dan menggunakan insulator tipe *suspension* yang dipasang menggantung horizontal. Dengan sudut lindung eksisting (SLE) 48°, tiang tipe SBB dan SCC berada pada tingkat proteksi III dan dinyatakan belum memenuhi standar kebutuhan proteksi saluran yang berada pada tingkat proteksi I seperti yang tampak pada gambar 8.



Gambar 8. Perbaikan Sudut Lindung Metoda *Protective Angle* Pada Tiang Tipe SBB dan SCC dengan 1 (satu) *ground wire*

Pada tiang SBB dan SCC, jika pengaplikasian *ground wire* dilakukan secara benar, maka perhitungan perbaikan sudut lindung akan tampak seperti gambar 9.



Gambar 9. Perbaikan Sudut Lindung Metoda Protective Angle Pada Tiang Tipe SBB dan SCC dengan 2 (dua) ground wire

Dari gambar 8 dan 9 tampak bahwa, sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung tingkat proteksi I metode *protective angle*, sehingga diperlukan adanya perbaikan sudut lindung pada tiang tipe SBB dan SCC, dengan cara melakukan sedikit perubahan pada jarak antara kabel fasa atau menurunkan tinggi lengan tiang hingga terbentuk sudut lindung yang memenuhi standar SNI-03-1015-2004.

4. Analisa Sudut Lindung Menggunakan Metode Rolling Sphere

Pada metode *rolling sphere* berdasarkan tabel 7. terdapat 4 (empat) level proteksi. Level proteksi I dengan panjang jarak sambar 20m, level proteksi II dengan panjang jarak sambar 30m, level proteksi III dengan panjang jarak sambar 45m, dan level proteksi IV dengan panjang jarak sambar 60m. Oleh karna itu sebelum memulai analisa, ada baiknya melihat besar sudut lindung pada tiap level untuk ketinggian tiap tipe tiang.

Perhitungan dilakukan untuk ketinggian 15,39m (*single pole*) dan 18,89m (*double pole*) untuk tiap level proteksi dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

- Tiang Tipe *Single Pole* Level Proteksi I

$$\alpha^o = \sin^{-1}\left(1 - \frac{h}{r}\right)$$

$$\alpha^o = \sin^{-1}\left(1 - \frac{15,39}{20}\right)$$

$$\alpha = 13^o$$

Pada tingkat proteksi I yang memiliki jarak sambar 20m, dapat diketahui pula besar arus minimum petir yang menyambar dengan menggunakan persamaan 3.2 sebagai berikut:

$$I = \frac{0,65}{10} \frac{r}{10} = \frac{0,65}{10} \frac{20}{10} = 2,90 = 3 \text{ kA}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka dapat diketahui nilai sudut lindung dan arus minimum petir pada level dan ketinggian tiang yang lain sesuai dengan tabel 13.

Tabel 13. Hubungan Antara Level Proteksi, Jarak Sambar, Arus Minimum Petir, Dan Tinggi Terminal Udara Penangkap Petir Metoda Rolling Sphere

Tipe Tiang	Tingkat			
	I	II	III	IV
	20m	30m	45m	60m
Single Pole (15,39m)	13°	29°	41°	48°
Double Pole dengan 1 ground wire(18,89m)	3°	22°	36°	43°
Arus Minimum (kA)	3	5	10	16

Dari tabel 13 dapat diketahui level proteksi eksisting pada tiap tipe tiang saat ini berdasarkan metoda *rolling sphere* seperti yang tampak pada tabel 14.

Tabel 14. Hubungan Sudut Lindung Eksisting dan Tingkat Proteksi Metoda Rolling Sphere

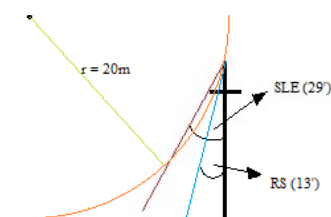
Tipe Tiang	A	B	C	SAA	SBB	SCC
Sudut Lindung Eksisting	29°	28°	28°	48°	48°	48°
Tingkat SPP	II	II	II	IV	IV	IV
Arus Minimum (kA)	5	5	5	>16	>16	>16

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan oleh tabel 14, tampak bahwa sudut lindung pada tiang tipe *single pole* (A, B, dan C) belum memenuhi tingkat kebutuhan proteksi petir standar SNI -03-7015-2004 seperti yang tampak pada tabel 9. Namun jika dilihat dari besar arus minimum petir yang menyambar, sudut lindung tiang *single pole* masih berada dibawah *rating* arus pelepasan nominal *arrester* ($I_p < I_a$). Sehingga peralatan masih aman.

Sedangkan untuk tiang tipe *double pole* (SAA, SBB, dan SCC), perbaikan sudut lindung sangat perlu dilakukan karna bukan hanya berada pada tingkat proteksi yang tidak sesuai dengan standar, tetapi juga arus minimum petir yang menyambar fasa telah melewati arus pelepasan nominal *arrester* ($I_p < I_a$). Berikut detail penjelasannya:

- **Tiang Tipe A**

Termasuk kedalam tiang tipe *single pole* dengan sudut lindung eksisting (SLE) 29°, tiang tipe A berada pada tingkat proteksi II dan dinyatakan belum memenuhi standar seperti pada gambar 10.

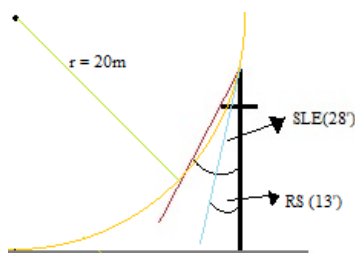


Gambar 10. Perbaikan Sudut Lindung Metoda Rolling Sphere Pada Tiang Tipe A

Dari gambar 10. tampak bahwa, sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung tingkat proteksi I metode *rolling sphere*, sehingga diperlukan adanya perbaikan pada tiang tipe A. Namun jika mempertimbangkan *rating arrester*, karena arus minimum petir yang menyambar tiang tipe A lebih kecil dari *rating* arus pelepasan nominal *arrester* ($I_p < I_a$).

- **Tiang Tipe B dan C**

Termasuk kedalam tiang tipe *single pole* dengan sudut lindung eksisting (SLE) 28° , tiang tipe B dan C berada pada tingkat proteksi II dan dinyatakan belum memenuhi standar seperti pada gambar 11.

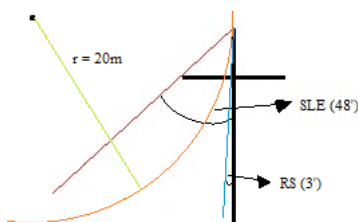


Gambar 11. Perbaikan Sudut Lindung Metoda *Rolling Sphere* Pada Tiang Tipe B dan C

Dari gambar 11 tampak bahwa, sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung tingkat proteksi I metode *rolling sphere*, sehingga diperlukan adanya perbaikan pada tiang tipe B dan C. Namun jika mempertimbangkan *rating arrester*, karena arus minimum petir yang menyambar tiang tipe B dan C lebih kecil dari *rating* arus pelepasan nominal *arrester* ($I_p < I_a$).

- **Tiang Tipe SAA**

Termasuk kedalam tiang tipe *double pole* dengan sudut lindung eksisting (SLE) 48° , tiang tipe SAA berada pada tingkat proteksi IV dan dinyatakan belum memenuhi standar yang berada pada tingkat proteksi I seperti yang tampak pada gambar 12.



Gambar 12. Perbaikan Sudut Lindung Metoda *Rolling Sphere* Pada Tiang Tipe SAA dengan 1 (satu) *ground wire*

Dari gambar 12 tampak bahwa, sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung tingkat proteksi I metode *rolling sphere*, sehingga diperlukan adanya perbaikan pada tiang tipe SAA.

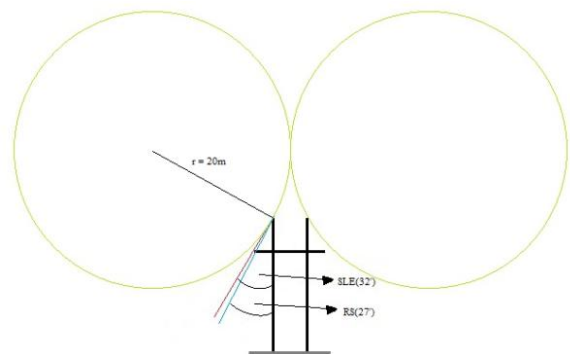
Dikarenakan pada tingkat proteksi I memiliki sudut lindung yang terlalu kecil, sehingga perbaikan yang memungkinkan untuk dilakukan ialah dengan menggunakan 2 (dua) *ground wire* pada tiang tipe SAA. Pada tiang SAA, jika pengaplikasian *ground wire* dilakukan secara benar, maka perhitungan sudut lindung akan menggunakan persamaan 10 dengan hasil akan sebagai berikut:

$$\alpha^\circ = \cos^{-1}\left(1 - \frac{S}{2r}\right)$$

$$\alpha^\circ = \cos^{-1}\left(1 - \frac{4,26}{2 \times 20}\right)$$

$$\alpha = 27^\circ$$

Jika digambarkan, maka akan tampak seperti gambar 13.

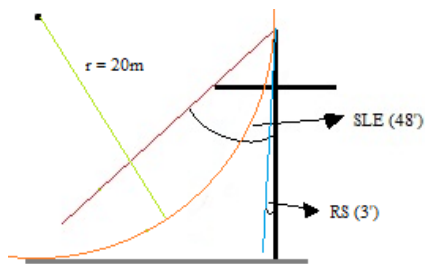


Gambar 13 Perbaikan Sudut Lindung Metoda *Rolling Sphere* Pada Tiang Tipe SAA dengan 2 (dua) *ground wire*

Dari gambar 13 tampak bahwa, walaupun sudah menggunakan 2 (dua) *ground wire*, tapi sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung proteksi tingkat I setelah dianalisa menggunakan metode *rolling sphere*, sehingga diperlukan adanya sedikit perubahan pada jarak antara kabel fasa atau menurunkan tinggi lengan tiang hingga terbentuk sudut lindung yang memenuhi standar SNI-03-1015-2004.

- **Tiang Tipe SBB dan SCC**

Termasuk kedalam tiang tipe *double pole* dengan sudut lindung eksisting (SLE) 48° , tiang tipe SBB dan SCC berada pada tingkat proteksi IV dan dinyatakan belum memenuhi standar yang berada pada tingkat proteksi I seperti yang tampak pada gambar 14.



Gambar 14. Perbaikan Sudut Lindung Metoda Rolling Sphere Pada Tiang Tipe SBB dan SCC dengan 1 (satu) ground wire

Dari gambar 14 tampak bahwa, sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung tingkat proteksi I metode *rolling sphere*, sehingga diperlukan adanya perbaikan pada tiang tipe SBB dan SCC.

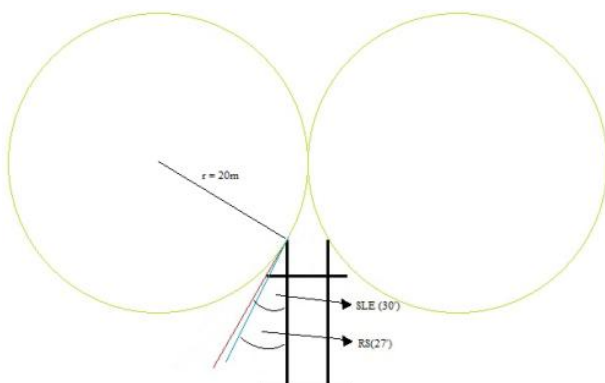
Dikarenakan pada tingkat proteksi I memiliki sudut lindung yang terlalu kecil, sehingga perbaikan yang memungkinkan untuk dilakukan ialah dengan memasang 2 (dua) *ground wire* pada tiang tipe SBB dan SCC. Pada tiang SBB dan SCC, jika pengaplikasian *ground wire* dilakukan secara benar, maka perhitungan sudut lindung akan menggunakan persamaan 10 dengan hasil akan sebagai berikut:

$$\alpha^o = \cos^{-1} \left(1 - \frac{S}{2r} \right)$$

$$\alpha^o = \cos^{-1} \left(1 - \frac{4,26}{2 \times 20} \right)$$

$$\alpha = 27^o$$

Jika digambarkan, maka akan tampak seperti gambar 15.



Gambar 15. Perbaikan Sudut Lindung Metoda Rolling Sphere Pada Tiang Tipe SBB dan SCC dengan 2 (dua) ground wire

Dari gambar 15 tampak bahwa, walaupun sudah menggunakan 2 (dua) *ground wire*, tapi sudut lindung eksisting (SLE) masih berada diluar sudut lindung

proteksi tingkat I setelah dianalisa menggunakan metode *rolling sphere*, sehingga diperlukan adanya sedikit perubahan pada jarak antara kabel fasa atau menurunkan tinggi lengan tiang hingga terbentuk sudut lindung yang memenuhi standar SNI-03-1015-2004.

KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi dan perbaikan sudut lindung menggunakan metoda *protective angle* dan metoda *rolling sphere* pada saluran distribusi 13,8 kV So.Bekasap PT. Chevron Pacivic Indonesia Duri-Riau, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan tingkat kebutuhan proteksi petirnya untuk tahun 2013, daerah So. Bekasap berada pada tingkat proteksi I.
2. Dari hasil analisis diperoleh, bahwa ketinggian terminal udara sangat berpengaruh kepada besar sudut lindung. Semakin tinggi terminal udara mendekati nilai jarak sambar petir, maka sudut lindung yang terbentuk akan semakin kecil, terutama jika menggunakan metoda *rolling sphere*.
3. Pada tingkat proteksi petir yang sama metode *rolling sphere* memberikan area perlindungan sambaran petir yang lebih baik dibandingkan metode *protective angle*.
4. Besar sudut lindung pada tingkat proteksi I untuk saluran 13,8 kV PT. Chevron menurut metode *rolling sphere* pada tiang *single pole* ialah 13^o , sedangkan pada tiang *double pole* dengan 2 (dua) *ground wire* adalah 27^o .
5. Besar arus minimum petir yang menyambar kawat fasa dapat menjadi bahan pertimbangan untuk menentukan *rating arrester* yang akan digunakan pada saluran tersebut. *Arrester* yang terpasang dengan *rating* arus nominal sebesar 10 kA dianggap memenuhi syarat untuk tingkat proteksi I dengan arus minimum petir sebesar 3 kA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada PT.Chevron Pacivic Indonesia yang telah memberikan data-data dan dana untuk melakukan analisa sudut lindung pada saluran distribusi 13,8 kV South Bekasap.

DAFTAR PUSTAKA

- SNI-03-7015-2004. Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung. BSN. Indonesia.
- Gassing. 2012. Analisis Sistem Proteksi Petir (*Lightning Performance*) Pada SUTT 150kV Sistem Sulawesi Selatan. *Prosiding*. 3-11.

Negara, I.M.Y. 2013. *Teknik Tegangan Tinggi; Prinsip dan Aplikasi Praktis*. Yogyakarta: PT. Graha Ilmu.

Khisimoto, Yasuo. 2009. Consideration Of Protection Angle Method And Lightning Protection Rules Of Sides Of Hgh-Rise Building In IEC 62305 Standard. *NTT Facilities Research Institute Inc.*837

Widhya. P.P. 2009. Evaluasi Sistem Proteksi Petir Pada Base Tranceiver Station (BTS). *Skripsi Program Pasca Sarjana Teknik Elektro*. Depok: UI.