

REDUKSI RUGI CORONA DENGAN KONDUKTOR BERKAS PADA SALURAN TRANSMISI DAYA LISTRIK ARUS BOLAK BALIK

Dedi Nugroho

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri UNISSULA

ABSTRAK

Corona merupakan partial discharge yang terjadi pada permukaan – permukaan konduktor dibawah medan tegangan tinggi. Corona biasanya terjadi pada permukaan konduktor pada saluran transmisi tegangan tinggi. Gejala timbulnya corona dapat terlihat dengan jelas berupa cahaya kebiru-biruan disekitar permukaan konduktor dan disertai suara berdesis. Efek corona dapat mengakibatkan rugi-rugi corona, gangguan interferensi gelombang radio dan audible noise. Penurunan rugi corona umumnya dilakukan dengan konduktor berkas (bundled conductor) dengan susunan konfigurasi bervariasi, disesuaikan dengan tingkat tegangan transmisi dan segi ekonomi

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jumlah konduktor berkas dan jarak antar subkonduktor berkas dalam mereduksi besarnya rugi-rugi corona, oleh karena itu dalam penelitian ini disimulasikan sejumlah konduktor berkas yaitu masing – masing 2, 3, dan 4 konduktor berkas dengan jarak antar subkonduktor yang bervariasi yang selanjutnya dihitung besarnya rugi-rugi coronanya masing – masing.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa semakin banyak jumlah konduktor semakin kecil rugi – rugi coronanya, sebagai contoh untuk jarak subkonduktor diasumsikan tetap, yaitu 0,5 meter, maka jika digunakan 2 konduktor rugi-rugi corona 254,21 kW/km/fasa, namun rugi ini menurun menjadi 188,54 kW/km/fasa jika digunakan empat buah konduktor. Semakin lebar jarak antar subkonduktor, semakin kecil rugi-rugi corona, sebagai contoh untuk 2 buah konduktor, jika jarak antar subkonduktor 0,3 meter, maka rugi corona adalah 268,18 kW/km/fasa, apabila jarak tersebut diperlebar menjadi 0,5 meter, maka rugi corona menjadi 254,21 kW/km/fasa.

Kata Kunci : Reduksi, Corona, Konduktor Berkas

PENDAHULUAN

Sistem interkoneksi antar pusat-pusat pembangkit bertujuan untuk meningkatkan keandalan dalam menyuplai kebutuhan daya listrik pada konsumen. Sistem interkoneksi dilakukan melalui sistem transmisi tegangan ekstra tinggi (EHV) atau tegangan ultra tinggi (UHV). Di Indonesia sistem EHV 500 kV digunakan untuk sistem interkoneksi di pulau Jawa.

Apabila sistem tenaga Jawa-Bali tidak diinterkoneksi maka kemungkinan terjadinya *blackout* semakin besar, keterbatasan dalam penyediaan pasokan listrik, seringkali terjadi pemadaman, keandalan rendah, dan menghambat laju pertumbuhan ekonomi. Dengan demikian sistem interkoneksi melalui tingkat tegangan EHV sangat tepat dilakukan di pulau Jawa-Bali, mengingat kerapatan beban sangat tinggi, hal ini karena Pulau Jawa-Bali merupakan sentra industri dan berpenduduk terpadat di Indonesia, sehingga kebutuhan energi listrik sangat tinggi.

Disisi lain pemakaian sistem tegangan tinggi tersebut menimbulkan dampak negatif seperti munculnya corona pada saluran – saluran transmisi dan tingginya medan listrik dan medan magnet disekitar lokasi saluran yang dikhawatirkan dapat menimbulkan masalah kesehatan bagi masyarakat yang tinggal disekitar saluran tersebut. Pengaruh medan listrik dan medan magnet memang cukup meresahkan bagi sebagian masyarakat yang tinggal didaerah saluran SUTET, namun demikian sampai saat ini pengaruh medan listrik dan magnet akibat SUTET belum dapat dibuktikan secara ilmiah.

Corona merupakan gejala tegangan tembus sebagian (partial discharge) yang terjadi pada permukaan konduktor saluran transmisi. Efek dari corona dapat menimbulkan panas yang disebabkan oleh rugi corona, jika corona timbul pada permukaan konduktor didekat isolator, maka isolator dapat mengalami degradasi kekuatan dielektriknya. Selain itu corona dapat menimbulkan gangguan suara berupa audible noise dan interferensi gelombang radio yang berakibat terganggunya komunikasi.

Untuk mereduksi rugi corona dapat dilakukan dengan memperbesar diameter konduktor atau dengan konduktor berkas. Umumnya konduktor berkas digunakan dalam sistem transmisi tegangan tinggi, susunan konduktor berkas ini bervariasi, mulai 2, 3, 4 konduktor atau lebih, tergantung pada desain dan tingkat tegangan sistemnya. Desain saluran transmisi yang baik harus memperhatikan pemilihan jumlah konduktor berkas yang disesuaikan pula dengan tingkat tegangan transmisi yang digunakan. Umumnya semakin tinggi tingkat tegangan, semakin banyak jumlah konduktor berkas yang digunakan. Dalam penelitian ini akan dikaji seberapa besar efek jumlah konfigurasi terhadap rugi corona pada saluran transmisi.

Kajian Pustaka

Apabila potensial gradien permukaan konduktor melampaui kekuatan dielektrik disekitar udara, maka proses ionisasi akan terjadi dekat permukaan konduktor. Ionisasi parsial atau *partial discharge* ini dikenal sebagai corona. Kekuatan dielektrik udara adalah sekitar 30 kV/cm (pada 25°C dan 76 cmHg). Corona ini akan menyebabkan rugi daya, audible noise, dan interferensi radio. Corona merupakan fungsi dari diameter konduktor, konfigurasi saluran dan kondisi permukaannya. Kondisi atmosfer seperti kerapatan udara, kelembaban udara, dan angin akan mempengaruhi timbulnya corona. Rugi – rugi corona pada kondisi hujan atau bersalju dapat meningkat beberapa kali dibandingkan dengan kondisi kering. Adanya bahan – bahan kontaminan pada permukaan konduktor dapat menimbulkan gradient tegangan yang akan memicu terjadinya proses ionisasi parsial ini.

Corona merupakan hasil dari proses ionisasi diudara, dimana sebagian muatan yang terjadi pada konduktor dari saluran transmisi akan dilepaskan apabila gradien tegangan konduktor melebihi batas tembus udara disekelilingnya. Pengujian menunjukkan bahwa udara normal pada keadaan 20 derajat Celcius, 76 mmHg, memiliki kekuatan dielektrik 29,8 kV/cm (21,1 kV rms/cm), kejadian ini disebut corona, karena ada kemiripan dengan corona pada terjadinya gerhana matahari total.

Pada corona yang terjadi pada saluran transmisi, cahaya violet akan terlihat disekitar konduktor yang dibarengi dengan suara berdesis (*hissing*) dan berbau ozon. Bila tegangan konduktor dinaikkan dapat menimbulkan busur api. Suara berdesis dari kejadian corona lebih terasa pada cuaca buruk, sedangkan pada cuaca kering jarang diketemukan gejala corona.

Proses terjadinya corona pada saluran transmisi dapat dijelaskan sebagai berikut : Jika dua kawat sejajar diberi tegangan bolak balik, maka corona dapat terjadi. Pada tegangan yang cukup rendah, tidak terlihat gejala apa – apa, walaupun sudah terjadi discharge, namun bila tegangan dinaikkan, corona akan terjadi secara bertahap. Pertama kali kawat terlihat bercahaya dan mengeluarkan desis serta berbau ozon. Bila tegangan terus dinaikkan, akan makin terlihat nyata cahaya tersebut pada konduktor terutama pada bagian yang kasar, runcing dan kotor. Bila tegangan terus dinaikkan maka akan berkembang menjadi busur api, jika tegangan terus dinaikkan akan terjadi bunga api (*spark discharge*). Dalam keadaan udara lembab, corona menghasilkan asam nitrogen yang menyebabkan kawat berkarat sehingga menimbulkan rugi-rugi daya yang besar.

Apabila tegangan DC diterapkan, maka pada kawat positif, corona menampakkan diri dalam bentuk cahaya seragam pada permukaan kawat, sedangkan pada kawat negatifnya hanya terjadi pada tempat – tempat tertentu saja. Corona terjadi karena adanya ionisasi dalam udara yaitu adanya kehilangan electron dari molekul udara. Oleh karena itu lepasnya electron dan ion disekitar medan listrik akan menyebabkan electron – electron bebas ini mengalami gaya yang mempercepat gerakannya, sehingga terjadi tumbukan dengan molekul – molekul lainnya, akibatnya setiap kali terjadi tumbukan akan muncul electron – electron dan ion – ion baru. Proses ini berjalan terus sehingga jumlah electron dan ion bebas bertambah berlipat ganda bila gradien tegangan cukup besar. Peristiwa inilah yang disebut dengan corona.

Ionisasi udara menyebabkan redistribusi tegangan. Jika redistribusi tegangan sedemikian rupa sehingga gradient udara diantara dua kawat lebih besar dari pada gradient udara, maka terjadi lompatan api. Bila hanya sebagian saja pada udara antara dua kawat terionisasi, maka corona merupakan sampul (*envelope*) mengelilingi kawat. Gradient seragam yang dapat menimbulkan ionisasi kumulatif diudara normal (20°C, 760 mmHg) adalah 30 kV/cm.

Pada gambar 1 dijelaskan proses pelipat gandaan electron. Pertama electron terlepas dari permukaan elektroda akibat ada medan listrik, kemudian electron akan bertumbukan dengan atom gas, dari hasil tumbukan tercipta 1 buah electron baru dan satu buah ion positif, proses ini dikenal sebagai ionisasi tumbukan, pada proses berikutnya kedua electron tersebut akan bertumbukan kembali dengan atom – atom gas sehingga terjadilah ionisasi berantai sehingga tercipta pelipat gandaan electron , keadaan tersebut akan terus berlangsung selama gradien medan listrik cukup besar untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan oleh electron. Proses ionisasi digambarkan sebagai berikut :

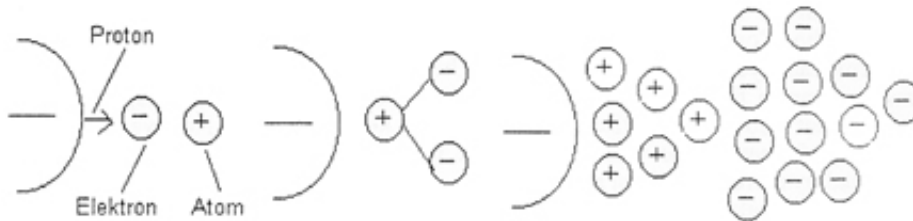


Dengan

A = Atom

A⁺ = Ion positif

E = electron



Gambar 1. Proses Terjadinya Ionisasi Berantai

Menurut F.W. Warburton (1956), dari New England Power & Co. dan H.H. Newell dari Worcester Polytechnic Institute, menyatakan bahwa yang menyebabkan terjadinya corona pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (EHV) pada cuaca baik bukan disebabkan ketaksempurnaan konduktor ACSR, melainkan adanya substansi bersama-sama udara seperti serangga, debu, dan material lainnya yang non metal.

Pengaruh lain yang menimbulkan corona adalah air pada konduktor. Air hujan yang mengenai konduktor yang sudah tua, akan membentuk tetesan kecil pada permukaan konduktor sebelah atas, kemudian tetesan air tersebut akan turun melalui untaian konduktor dan membentuk tetesan air dibagian bawah konduktor. Bila sudah banyak akan jatuh kebawah karena ada gaya gravitasi. Keadaan ini akan mengurangi kekuatan dielektrik disekitar permukaan konduktor dan memicu terjadinya intersepsi corona. Corona yang terjadi pada saluran transmisi dapat terlihat berupa cahaya kebiru-biruan disekeliling konduktor yang disertai dengan suara mendesis dan berbau ozon.

Rugi – rugi corona dapat direduksi dengan menambah ukuran konduktor atau dengan menggunakan konduktor berkas (*bundle conductor*). Konduktor berkas dapat disusun menjadi beberapa konfigurasi pada saluran transmisi daya listrik. Konfigurasi susunan konduktor berkas yang umum digunakan adalah susunan seperti dalam gambar 1 dibawah ini. Pada konfigurasi saluran udara horizontal, medan dari konduktor yang berada ditengah lebih besar dari pada medan masing-masing konduktor yang berada diluar. Oleh sebab itu tegangan kritis lebih kecil untuk konduktor yang berada ditengah tersebut dibandingkan dengan kedua konduktor lainnya. Jika konduktor dari saluran tersebut tidak diletakkan dalam posisi yang baik, maka gradient tegangan konduktor dan rugi corona menjadi tak sama. Ketinggian konduktor juga mempengaruhi rugi corona



Gambar 2. Konfigurasi Beberapa Konduktor Berkas

Rugi corona juga sebanding dengan frekuensi saluran. Semakin tinggi frekuensi akan semakin besar rugi corona, misal frekuensi 60 Hz pada sistem akan memiliki rugi corona lebih besar jika dibandingkan frekuensi 50 Hz.

Keadaan permukaan konduktor yang tidak seragam seperti tergores, sedikit membesar, ada gemuk menempel pada permukaan konduktor, partikel debu dan kotoran yang menempel dapat memperbesar angka rugi corona, sedangkan pada permukaan yang lebih luas akan memperbesar tegangan disruptif, yaitu suatu harga tegangan minimum dimana terjadi ionisasi pada keadaan cuaca cerah. Diameter konduktor juga dapat mempengaruhi rugi corona, jika diameter konduktor lebih besar maka rugi corona akan lebih kecil, oleh karena itu dalam sistem transmisi, digunakan konduktro dengan diameter yang lebih besar atau dengan menggunakan konduktor berkas (*bundled conductor*), yang akan memperbesar diameter efektif dengan memperkecil gradient tegangan pada permukaan konduktor.

Kekuatan dielektrik tembus (*breakdown strength*) dari udara berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya, hal ini bergantung pada keadaan atmosfer. Kekuatan tembus udara berbanding langsung dengan tekanan udara. Faktor tekanan udara dirumuskan melalui persamaan :

$$\delta = \frac{3,9211P}{273 + t} \quad (1)$$

dengan P = Tekanan udara (cmHg)

t = Temperatur sekeliling (°C)

Kondisi cuaca buruk seperti hujan dan kabut tebal akan menurunkan angka tegangan disruptif dan meninggalkan rugi corona. Angin kencang tidak memiliki efek terhadap angka tegangan disruptif, tetapi asap tebal yang terbawa angin kencang akan menurunkan angka tegangan disruptif dan meningkatkan rugi corona.

Sebuah sistem transmisi harus dirancang untuk beroperasi sedikit dibawah tegangan disruptif pada cuaca cerah sehingga corona hanya akan terjadi pada kondisi cuaca tidak bersahabat. Hasil perhitungan tegangan disruptif dari saluran akan menunjukkan tingkat keandalan dari saluran itu. Harga tegangan disruptif yang tinggi bukan merupakan satu satunya criteria menentukan saluran yang baik. Sensitifitas konduktor terhadap keadaan cuaca buruk harus menjadi bahan pertimbangan dalam desain saluran, misalnya efek corona lebih lambat terhadap konduktor yang dipilin dari pada konduktor pejal. Sehubungan dengan banyak factor yang terlibat, perhitungan yang tepat dari harga corona sangat sulit, jika tidak mungkin harga tegangan kritid disruptif diperoleh dari persamaan :

$$V_0 = E_0 r \ln \frac{D}{r} \quad (2)$$

dengan :

E_0 = Harga gradient tegangan kritis dimana gangguan corona mulai terjadi (kV/cm)

V_0 = Harga tegangankritis disruptif terhadap netral (kV)

r = Radius konduktor (cm)

D = Jarak antara dua buah konduktor (cm)

Pada udara normal berlaku kuat medan listrik 21,1 kV/cm rms, maka persamaan diatas menjadi

$$V_o = 21,1 r \ln \frac{D}{r} \tag{3}$$

Harga diatas berlaku untuk tekanan udara dan temperatur standar, 25° C – 76 cmHg, sedangkan untuk tekanan dan temperatur udara lain dikenakan rumus :

$$V_o = E_o \delta r \ln \frac{D}{r} \tag{4}$$

dengan δ adalah factor tekanan udara.

Pada tegangan kritis disruptif V_o , corona belum terlihat, pada saat gradient tegangan kritis meningkat lagi sampai titik dimana cahaya lemah berwarna ungu terlihat mengelilingi konduktor, maka keadaan ini dinamakan tegangan kritis visual dan diberikan oleh persamaan Peek yaitu :

$$V_v = 21,1 \delta m_v r \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{\delta r}} \right) \ln \frac{D}{r} \tag{5}$$

dengan :

V_v = Tegangan kritis visual (kV)

m_v = Faktor irregularitas untuk visual corona ($0 < m_v \leq 1$)

= 1 untuk konduktor slinder baru, licin, mengkilap dan kaku

= 0,93 – 0,98, untuk konduktor slinder yang telah terpengaruh cuaca

= 0,8 – 0,85, untuk konduktor berhelai yang telah terpengaruh cuaca

Tegangan disruptif pada konduktor berkas didekati oleh persamaan :

$$V_d = 123.m.GMR.\delta \left(1 + \frac{0,188}{(1 + 1485 + GMR^2)\sqrt{\delta.GMR}} \right) \times \log \frac{GMD}{GMR} \tag{6}$$

dengan : V_d = Tegangan disruptif (kV)

m = Faktor irregularitas ($0 < m < 1$)

GMR = Geometric Mean Radius (m)

GMD = Geometric Mean Distance (m)

δ = Faktor tekanan udara

Dari persamaan diatas terlihat bahwa besarnya tegangan disruptif dipengaruhi oleh jarak rata-rata radius konduktor dan jarak antar konduktor. Peek menyatakan bahwa rugi rugi corona untuk konduktor kering pada frekuensi daya adalah :

$$P = k (V - V_c)^2 \tag{7}$$

dengan :

P = Rugi-rugi corona (kW)

k = Konstanta

$$k = \frac{243,5}{\delta} (f - 25) \sqrt{\frac{r}{d}} 10^{-5} \tag{8}$$

V_c = Tegangan kritis corona (kV)

V = Tegangan sistem (kV)

Pada tahun 1924, Ryan dan Henline menganjurkan rugi – rugi corona yang cocok adalah :

$$P = 4 f C V(V - V_c) \tag{9}$$

dengan C = kapasitansi kawat tanah (farad)

f = frekuensi sistem (Hz)

V = Tegangan sistem (kV)

Rugi corona dapat dicari untuk konduktor berkas melalui persamaan empiris sebagai berikut :

$$P_c = \frac{243,5}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{GMD}{GMR}} \left(\frac{V}{\sqrt{3}} - V_d \right)^2 \times 10^{-5} \quad (10)$$

dengan :

P_c = Rugi corona (kW/fasa)

f = Frekuensi sistem (Hz)

V = Tegangan fasa saluran (kV)

V_d = Tegangan disruptif (kV/m)

Data – data Saluran SUTET

Data – data teknik saluran yang digunakan dalam studi kasus ini diperoleh dari data teknik Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTET 500kV) Ungaran dengan data – data selengkapnya terlihat dalam tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Data – data Teknik Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV Ungaran

Deskripsi	Jumlah Konduktor Berkas		
	Dua buah	Tiga buah	Empat Buah
Tegangan (<i>phase to phase</i>)	500 kV	500 kV	500 kV
Jarak Antar Subkonduktor	0,3 m	0,35 m	0,4 m
Luas Penampang	800 mm ²	519,5 mm ²	325,5 mm ²
Tekanan Udara	202,2 mm Hg	202,2 mm Hg	202,2 mm Hg
Suhu Lingkungan	30° C	30° C	30° C
Frekuensi Kerja	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Faktor irregularitas	0,83	0,83	0,83
Jarak antar konduktor	12 m	12 m	12 m

ANALISA

Simulasi perhitungan rugi corona dilakukan terhadap 3 jenis susunan konduktor berkas yaitu susunan 2 , 3 dan 4 buah konduktor berkas seperti terlihat dalam gambar 1. Perhitungan pertama dilakukan dengan membuat jarak antar subkonduktor berkas masing – masing berukuran 0,25 m, 0,30 m dan 0,35 m untuk masing – masing jumlah konduktor 2, 3 dan 4 buah, hasil perhitungan dapat dilihat dalam tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil perhitungan rugi corona untuk jarak antar subkonduktor 0,25 ; 0,30 dan 0,35 m untuk masing – masing jumlah konduktor 2, 3, dan 4 buah

Jumlah Konduktor (buah)	Jarak antar subkonduktor (meter)	Rugi – rugi corona (kW/kM/fasa)
Dua	0,25	391,09
Tiga	0,30	268,18
Empat	0,35	244,43

Selanjutnya jarak antar subkonduktor ditambah masing-masing 0,05 meter sehingga untuk jarak antar subkonduktor 030 ; 0,35 dan 0,40 meter untuk masing – masing jumlah konduktor 2, 3, dan 4 buah. Hasil perhitungan diperlihatkan dalam tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Hasil perhitungan rugi corona untuk jarak antar subkonduktor 0,30 ; 0,35 dan 0,4 meter untuk masing – masing jumlah konduktor 2, 3, dan 4 buah

Jumlah Konduktor (buah)	Jarak antar Subkonduktor (meter)	Rugi – rugi Corona (kW/kM/fasa)
Dua	0,30	268,18
Tiga	0,35	240,33
Empat	0,40	224,88

Simulasi berikutnya jarak antar subkonduktor ditambah kembali masing-masing 0,05 meter sehingga untuk jarak antar subkonduktor 0,35 ; 0,40 dan 0,45 meter untuk masing – masing jumlah konduktor 2, 3, dan 4 buah. Hasil perhitungan diperlihatkan dalam tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Hasil perhitungan rugi corona untuk jarak antar subkonduktor 0,35 ; 0,40 dan 0,45 m untuk masing – masing jumlah konduktor 2, 3, dan 4 buah

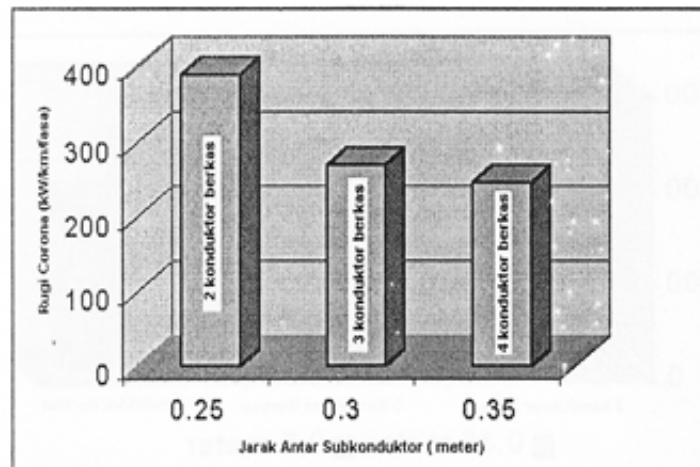
Jumlah Konduktor (buah)	Jarak antar Subkonduktor (meter)	Rugi – rugi Corona (kW/kM/fasa)
Dua	0,35	262,37
Tiga	0,40	236,05
Empat	0,45	199,04

Simulasi terakhir jarak antar subkonduktor dibuat sama sehingga untuk jarak antar subkonduktor konduktor berkas 2, 3, dan 4 buah, memiliki jarak antar subkonduktor yang sama yaitu masing – masing 0,5 meter. Hasil perhitungan diperlihatkan dalam tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Hasil perhitungan rugi corona untuk jarak antar subkonduktor 0,50 ; 0,50 dan 0,50 m untuk masing – masing jumlah konduktor 2, 3, dan 4 buah

Jumlah Konduktor (buah)	Jarak antar subkonduktor (meter)	Rugi – rugi corona (kW/kM/fasa)
Dua	0,50	254,21
Tiga	0,50	219,99
Empat	0,50	188,54

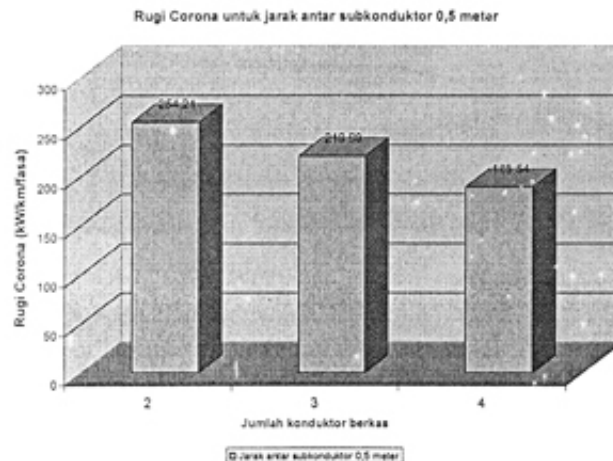
Dari hasil simulasi terlihat dengan jelas bahwa semakin banyak jumlah konduktor, maka rugi – rugi corona semakin kecil, hal ini disebabkan semakin banyak jumlah konduktor berkas, semakin besar diameter efektif konduktor tersebut, akibatnya rugi – rugi corona dapat dikurangi. Pemasangan konduktor berkas jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan memperbesar diameter konduktor tunggal, namun demikian perlu pemilihan jumlah konduktor berkas perlu disesuaikan dengan tingkat tegangan transmisi yang digunakan. Biasanya semakin banyak ukuran jumlah konduktor, maka semakin besar jarak antar subkonduktor. Grafik 2 diatas memperlihatkan bahwa pada konfigurasi konduktor berkas dengan jumlah konduktor 2 memiliki jarak antar subkonduktor 0,25 meter, dan untuk 3 buah konduktor berkas, jarak antar subkonduktor bertambah menjadi 0,3 meter dan terakhir untuk susunan 4 buah konduktor berkas jarak antar subkonduktor menjadi 0,35 meter. Keadaan ini terjadi karena semakin banyak jumlah konduktor maka diameter efektif dari konduktor berkas harus semakin besar, karena ditinjau dari ukuran fisik semakin bertambah, keadaan ini memang menguntungkan karena akan mereduksi besarnya rugi corona, seperti terlihat dalam gambar 2 diatas, yang memperlihatkan semakin banyak jumlah konduktor, semakin lebar jarak ukuran konduktornya dan akan mereduksi besarnya rugi corona.



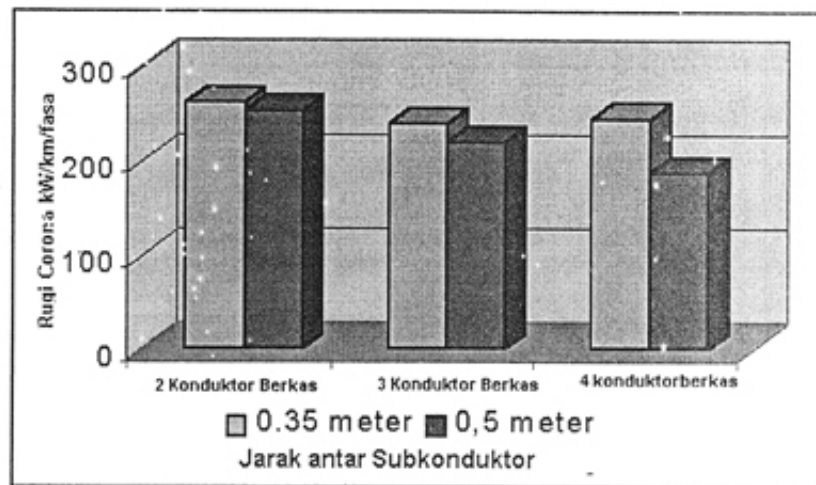
Gambar 2. Grafik Rugi Corona untuk 2, 3 dan 4 buah konduktor berkas dengan Jarak antar subkonduktor masing – masing 0,25 ; 0,3 dan 0,35 meter

Terlihat dalam tabel 2 yang diplot grafiknya pada gambar 2, pada konduktor berkas berjumlah 2 buah, rugi corona adalah 391,09 kW/km/fasa, pada konduktor berkas berjumlah 3 dan 4 masing masing rugi corona adalah 268,18 kW/km/fasa dan 244,42 kW/km/fasa. Apabila dimisalkan jarak antar subkonduktor dibuat sama yaitu 0,5 meter maka terlihat dalam gambar 3 diatas bahwa semakin banyak jumlah konduktor berkas semakin kecil rugi coronanya. Pada jumlah konduktor berkas 2 dengan jarak antar subkonduktor 0,5 meter, diperoleh rugi corona sebesar 264,1 kW/km/fasa dan dengan mempertahankan jarak subkonduktor tetap, diperoleh rugi corona untuk masing – masing untuk 3 dan 4 buah subkonduktor berkas adalah 219,99 kW/km/fasa dan 188,54 kW/km/fasa.

Dari kondisi ini terlihat tidak ideal jika mempertahankan jarak subkonduktor tetap (diameter efektif tetap) untuk berbagai jumlah konfigurasi konduktor berkas, dengan demikian wajar jika semakin banyak jumlah konduktor berkas, semakin lebar jarak antar subkonduktor berkas. Grafik pada gambar 4 dibawah ini memperlihatkan perbandingan rugi corona untuk 2, 3 dan 4 buah konduktor berkas dengan memperlihatkan jarak antar konduktor yang sama (untuk 0,35 meter dan 0,5 meter).

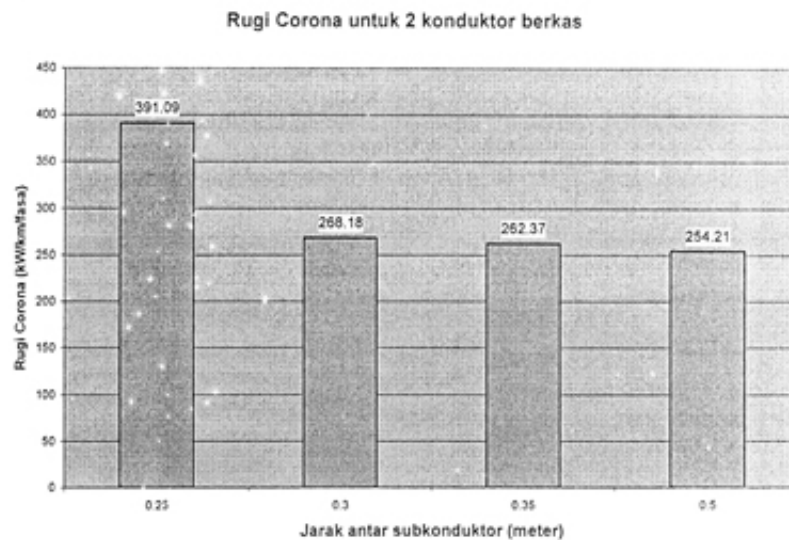


Gambar 3. Grafik Rugi Corona untuk 2, 3 dan 4 buah konduktor berkas dengan Jarak antar subkonduktor 0,5 meter



Gambar 4. Grafik Perbandingan Rugi Corona untuk 2, 3 dan 4 buah konduktor berkas dengan Jarak antar subkonduktor 0,35 dan 0,5 meter

Semakin lebar jarak antar subkonduktor akan semakin kecil rugi coronanya, hal ini terjadi karena ukuran diameter efektif semakin besar, akibatnya rugi corona semakin berkurang. Gambar 5 memperlihatkan lebih jelas pengaruh perubahan jarak antar subkonduktor terhadap besarnya rugi corona.



Gambar 5. Grafik Rugi Corona untuk 2 buah Konduktor Berkas

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada jarak antar subkonduktor 0,25 meter, besarnya rugi corona adalah 391,09 kW/km/phase, namun pada saat subkonduktor diperbesar, maka rugi corona semakin turun, seperti terlihat pada jarak subkonduktor 0,5 meter, rugi corona 254,1 kW/km/phase. Begitupula dengan rugi corona untuk 3 dan 4 buah konduktor berkas mengalami hal yang sama, yaitu semakin diperbesar jarak antar subkonduktor maka semakin menurun besarnya rugi corona.

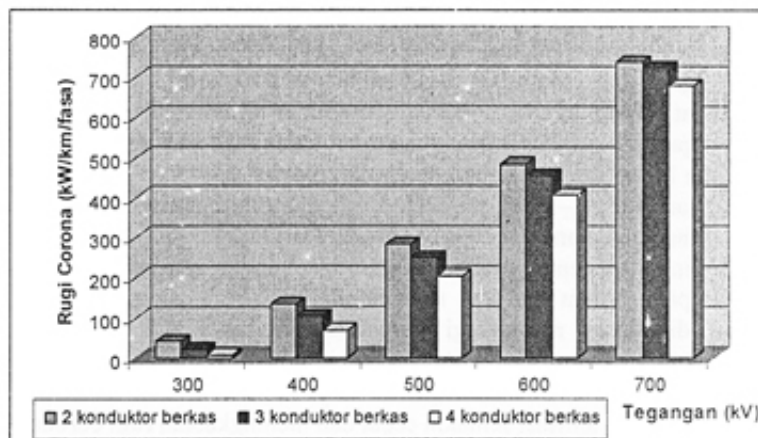
Pengaruh tegangan terhadap rugi Corona

Pada dasarnya besarnya tegangan sistem sangat mempengaruhi rugi corona. Pada sistem tegangan tinggi rugi corona belum begitu diperhitungkan, namun pada tegangan ekstra tinggi, rugi corona sangat diperhitungkan. Berikut ini akan diperlihatkan bagaimana pengaruh tegangan mempengaruhi besarnya rugi corona, oleh karena itu diasumsikan bahwa jarak antar subkonduktor sama besar (konstan), baik untuk konfigurasi 2, 3 dan 4 buah konduktor berkas. Selanjutnya tegangan diubah – ubah magnitude-nya, dan dihitung rugi – rugi coronanya. Hasil perhitungan diperlihatkan dalam tabel 6 dibawah ini. Dari hasil simulasi terlihat bahwa semakin tinggi tingkat tegangan sistem, semakin besar rugi corona, sebagai contoh untuk 2 buah konduktor berkas pada sistem 500 kV, rugi corona adalah 283,64 kW/km/fasa, namun jika tegangan sistem dinaikkan maka rugi corona meningkat menjadi 484,59 kW/km/fasa. Meningkatnya tegangan sistem akan memperbesar gradient tegangan dipermukaan konduktor, sehingga *electrical stress* atau tekanan medan listrik pada dielectric udara semakin besar, hal ini dapat menyebabkan proses ionisasi semakin cepat dan meningkatkan rugi corona.

Tabel 6. Hasil perhitungan rugi corona untuk jarak antar subkonduktor 0,25, dengan memperlihatkan perubahan tegangan system

Jumlah Konduktor Berkas	Tegangan Sistem (kV)	Rugi – rugi Corona (kW/km/fasa)
2	300	42,22
	400	136,18
	500	283,64
	600	484,59
	700	739,03
3	300	22,46
	400	105,65
	500	250,21
	600	456,14
	700	723,43
4	300	6,35
	400	70,74
	500	204,49
	600	407,62
	700	680,13

Pada gambar 6 memperlihatkan grafik perubahan tegangan terhadap besarnya rugi corona untuk 3 buah jenis konfigurasi konduktor berkas.



Gambar 6. Grafik Rugi Corona untuk Berbagai Tingkat Tegangan

Grafik diatas menunjukkan bahwa semakin besar tegangan, semakin besar rugi corona, namun rugi corona tersebut dapat direduksi dengan menggunakan konduktor berkas. Sebagai contoh rugi corona pada sistem 500 kV dengan 2 buah konduktor berkas adalah 283,64 kW/km/fasa, namun jika digunakan 3 buah konduktor berkas, besarnya rugi corona menurun menjadi 250,21 kW/km/fasa, dan jika digunakan 4 buah konduktor berkas, rugi corona semakin menurun lagi, menjadi 204,49 kW/km/fasa.

KESIMPULAN

1. Konduktor berkas berguna untuk menurunkan rugi corona pada saluran transmisi daya listrik, semakin banyak jumlah konduktor berkas maka semakin kecil rugi corona, dengan demikian konduktor berkas berguna untuk mereduksi corona. Jumlah konduktor berkas musti disesuaikan dengan tingkat tegangan sistem, karena semakin banyak jumlah konduktor berkas, semakin mahal biayanya, oleh karena itu sebaiknya ditentukan jumlah konduktor berkas yang optimal pada tingkat tegangan transmisi tertentu.
2. Semakin lebar jarak antas subkonduktor, semakin kecil corona, hal ini karena semakin menurunnya tekanan medan listrik pada dielektrik udara disekitar konduktor tersebut.
3. Tingkat tegangan yang digunakan dalam sistem transmisi daya listrik, sangat menentukan besarnya rugi corona, semakin tinggi tegangan transmisi, semakin besar rugi corona, hal ini karena semakin besar tekanan medan listrik pada dielektrik udara disekitar konduktor tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Goren Turan. (1997). *Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design*, Mc. Graw Hill Book, California.
- Hutauruk TS. (1993). *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- Saadat Hadi. (2002). *Power System Analysis*, Tata Graw Hill New Delhi.
- Stevensson. (1986). *Analisa Sistem Tenaga*, Erlangga, Jakarta.
- Theraja, BL. (1993). *Electrical Technology Edition II*, Nirja Contruction & Development, Ram Nagar New Delhi.