

ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI KONDUKTOR BERKAS TERHADAP EFISIENSI, REGULASI TEGANGAN DAN KORONA PADA SALURAN TRANSMISI UDARA

Untung Susilo (L2F 004 520)¹

Ir. Tedjo Sukmadi, M.T. – Susatyo Handoko, S.T., M.T.²
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Abstrak

Penyaluran daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban membutuhkan saluran transmisi dengan efisiensi tinggi, regulasi tegangan rendah serta aman bagi lingkungan disekitarnya. Penggunaan tegangan ekstra tinggi dapat meningkatkan efisiensi dan menurunkan jatuh tegangan tetapi berakibat pada terjadinya korona. Korona meningkatkan rugi penyaluran dan menimbulkan gangguan terhadap lingkungan berupa Audible Noise (AN) dan Radio Interference (RI). Audible Noise (AN) dan Radio Interference (RI) yang terlalu besar akan mengganggu masyarakat disekitar jalur saluran transmisi. Penggunaan konduktor berkas merupakan cara untuk mengurangi regulasi tegangan dan risiko terjadinya korona.

Tugas akhir ini membahas tentang pengaruh konfigurasi konduktor berkas terhadap nilai efisiensi, regulasi tegangan, rugi korona, AN dan RI pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV. Macam konfigurasi meliputi variasi jumlah berkas, variasi jarak antar subkonduktor dan variasi ukuran konduktor yang digunakan. Sedangkan macam sirkit yang dibahas sesuai dengan SNI 04-6918-2002 yaitu sirkit tunggal dan sirkit ganda.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh perubahan jumlah berkas terhadap nilai efisiensi, regulasi tegangan, rugi korona, AN dan RI lebih dominan daripada pengaruh perubahan jarak antarsubkonduktor maupun perubahan diameter konduktor. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penambahan jumlah berkas menurunkan regulasi tegangan, rugi korona, AN dan RI tetapi meningkatkan efisiensi. Penurunan regulasi tegangan menunjukkan jatuh tegangan semakin kecil. Hasil perhitungan nilai AN dan RI pada SUTET 500 kV dengan konstruksi menara dan konfigurasi konduktor berkas yang sesuai SNI 04-6918-2002 masih aman karena nilainya masih dibawah batas Kriteria Perry dan SPLN 46-1-1981 tentang Pedoman Pembatasan Tingkat Bising dan IEEE Radio Noise Design Guide tentang batas maksimal nilai RI.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pusat pembangkit tenaga listrik yang berada jauh dari pusat beban membutuhkan saluran transmisi untuk menyalurkan daya listrik. Karena permukaan tanah yang tidak selalu datar dan kadang saluran transmisi harus melewati bukit-bukit maka saluran udara lebih dipilih daripada saluran bawah tanah. Dalam penyaluran daya listrik akan terjadi rugi daya penyaluran dan jatuh tegangan (*voltage drop*) yang besarnya sebanding dengan panjang saluran. Penggunaan tingkat tegangan yang lebih tinggi merupakan solusi dari permasalahan tersebut. Namun, jika tegangan terus ditingkatkan akan timbul peristiwa korona. Korona menyebabkan rugi korona dan dampak negatif terhadap lingkungan berupa *Audible Noise* (AN) dan *Radio Interference* (RI) yang terjadi pada saluran transmisi udara tegangan diatas 100 kV. Tegangan 500 kV merupakan tingkat tegangan yang umum digunakan di Indonesia untuk SUTET sehingga perlu dilakukan analisis mengenai dampak korona nya.

Berdasarkan penelitian *Bonneville Power Administration* (BPA) di Amerika serikat, penggunaan konduktor berkas (*bundled conductor*) dapat menjadi solusi mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh korona. Konduktor berkas juga mengurangi induktansi saluran sehingga jatuh tegangan saluran dapat dikurangi. Konduktor berkas (*bundled conductor*) adalah penggunaan beberapa kawat konduktor pada tiap fasa yang dipisahkan oleh *spacer* pada jarak tertentu. *Spacer* dapat dipilih berdasarkan jumlah berkas, jarak antar subkonduktor (*spacing*) dan diameter subkonduktor.

Perencana saluran dapat memilih *spacer* yang digunakan untuk mendapatkan konfigurasi konduktor berkas yang sesuai sehingga dihasilkan saluran transmisi yang efisien dan aman bagi lingkungan. Efisien karena memiliki rugi saluran rendah baik itu rugi tahanan ataupun rugi korona. Aman karena nilai AN dan RI masih dalam standar batas yang tidak mengganggu kehidupan masyarakat disekitar jalur SUTET.

1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh konfigurasi kawat konduktor berkas berupa jumlah berkas, jarak antar subkonduktor dan diameter subkonduktor terhadap efisiensi, regulasi tegangan, rugi korona dan efek korona (*audible noise* dan *radio interference*) dari Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).
2. Membandingkan hasil perhitungan *audible noise* (AN) dan *radio interference* (RI) pada SUTET dengan standar batas maksimal nilai AN dan nilai RI.

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk menyederhanakan permasalahan dalam Tugas Akhir ini diperlukan adanya batasan-batasan, yaitu:

1. Saluran yang dianalisis adalah Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV.
2. Jenis sirkit yang dibahas adalah sirkit tunggal dan sirkit ganda berdasarkan SNI 04-6918-2002.
3. Analisis pada sirkit ganda hanya menggunakan saluran yang ditransposisi.
4. Konfigurasi konduktor berkas berdasarkan *spacer* yang meliputi variasi jumlah berkas, variasi jarak antar subkonduktor dan diameter subkonduktor.
5. Jenis *spacer* yang digunakan adalah merk PFISTERER SEFAG buatan Swiss.
6. Dalam tugas akhir ini tidak membahas faktor ekonomis pemilihan konduktor.
7. Jenis konduktor yang digunakan adalah ACSR (*Alluminium Conductor Steel Reinforced*).
8. Standar batas maksimal nilai *Audible Noise* (AN) mengacu pada Kriteria Perry dan SPLN 46-1-1981 Tentang Pedoman Pembatasan Tingkat Bising.
9. Standar batas maksimal nilai *Radio Interference* (RI) mengacu pada *IEEE Radio Noise Design Guide*.

¹) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

²) Dosen Jurusan Teknik Elektro UNDIP

II. DASAR TEORI

2.1 Saluran Transmisi^{[9],[13]}

Saluran udara ataupun saluran bawah tanah yang berguna menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban atau dari pusat beban satu ke pusat beban yang lain dengan tegangan lebih besar dari 20 kV.

Berdasarkan panjang saluran transmisi daya listrik dibedakan menjadi tiga yaitu: saluran pendek ($l \leq 80$ km), saluran menengah ($80 \text{ km} < l < 250$ km) dan saluran panjang ($l \geq 250$ km). Sedangkan menurut jumlah sirkit yang digunakan dibedakan menjadi dua yaitu : sirkit tunggal dan sirkit ganda.

2.2 Konduktor Berkas (*Bundled Conductor*)^{[4],[8]}

Konduktor berkas adalah konduktor yang terdiri dari dua konduktor atau lebih yang dipakai sebagai konduktor satu fasa. Konduktor berkas mulai efektif digunakan pada tegangan diatas 400 kV. Penggunaan konduktor berkas bertujuan untuk mengurangi risiko terjadi korona dan meningkatkan kapasitas daya hantar saluran transmisi.

Keuntungan menggunakan konduktor berkas antara lain:

1. Mengurangi reaktansi induktif saluran sehingga jatuh tegangan dapat diturunkan.
2. Mengurangi gradien tegangan permukaan konduktor sehingga dapat meningkatkan tegangan kritis korona dan mengurangi rugi-rugi daya korona, *Audible Noise* (AN) dan *Radio interferensi* (RI).

Kerugian menggunakan konduktor berkas antara lain:

1. Meningkatkan berat total saluran sehingga berpengaruh pada konstruksi menara.
2. Meningkatkan kapasitansi saluran.
3. Konstruksi isolator lebih rumit.
4. Meningkatkan investasi awal.

2.3 Hubungan Arus dan Tegangan Pada Saluran Transmisi

Hubungan antar tegangan dan arus di sisi terima dengan sisi kirim dibedakan sesuai jenis saluran adalah :

1. Saluran Pendek

$$V_S = V_R + ZI_R \quad (2.1)$$

$$I_S = I_R \quad (2.2)$$

2. Saluran Menengah

- Nominal T

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)V_R + \left(Z + \frac{Z^2Y}{4}\right)I_R \quad (2.3)$$

$$I_S = YV_R + \left(1 + \frac{Z}{2}\right)I_R \quad (2.4)$$

- Nominal Phi

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)V_R + ZI_R \quad (2.5)$$

$$I_S = \left(Y + \frac{ZY^2}{4}\right)V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)I_R \quad (2.6)$$

3. Saluran Panjang

$$V_S = V_R \cosh \sqrt{ZY} l + Z_k I_R \sinh \sqrt{ZY} l \quad (2.7)$$

$$I_S = I_R \cosh \sqrt{ZY} l + V_R / Z_k \sinh \sqrt{ZY} l \quad (2.8)$$

Keterangan :

V_S	= tegangan sisi kirim
I_S	= arus sisi kirim
V_R	= tegangan sisi terima
I_R	= arus sisi terima
Z	= impedansi saluran
Y	= suseptansi saluran
Z_k	= impedansi karakteristik

2.4 Efisiensi Saluran Transmisi^{[2],[9]}

Adalah perbandingan antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan. Efisiensi saluran dinyatakan dengan persamaan:

$$\eta(\%) = \frac{P_R}{P_S} \times 100\% \quad (2.9)$$

Keterangan:

P_R	= daya pada ujung terima (MW)
P_S	= daya pada ujung kirim (MW)

2.5 Regulasi tegangan^{[2],[9],[10]}

Regulasi tegangan merupakan prosentase penurunan tegangan pada sisi terima dari kondisi beban nol berubah menjadi kondisi beban penuh. Regulasi tegangan dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_{Reg}(\%) = \frac{|V_{R(NL)}| - |V_{R(FL)}|}{|V_{R(FL)}|} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan :

$ V_{R(NL)} $	= $ V_S $ = tegangan ujung beban pada beban nol (<i>no load</i>)
$ V_{R(FL)} $	= $ V_R $ = tegangan ujung beban pada beban penuh (<i>full load</i>)

2.6 Korona

Pengertian korona berdasarkan *American Standards Association* adalah peluahan sebagian (*partial discharge*) ditandai dengan timbulnya cahaya violet karena terjadi ionisasi udara disekitar permukaan konduktor ketika gradien tegangan permukaan konduktor melebihi nilai kuat medan kritis disruptifnya. Terjadinya korona juga ditandai dengan suara mendesis (*hissing*) dan bau ozon (O_3). Korona makin nyata kelihatan pada bagian yang kasar, runcing dan kotor. Peristiwa korona semakin sering terjadi jika pada saluran transmisi diterapkan tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan kritis dan ketika udara yang lembab serta cuaca buruk. Peristiwa korona menimbulkan rugi-rugi penyaluran, merusak bahan isolasi serta gejala tegangan tinggi berupa *Audible Noise* (AN) dan *Radio Interference* (RI). Faktor –Faktor yang mempengaruhi terjadinya korona antara lain:

1. Kondisi Atmosfer
2. Diameter konduktor
3. Kondisi permukaan konduktor
4. Jarak konduktor antar fasa
5. Tegangan

Lima faktor diatas menjadi penentu perhitungan terhadap gradien tegangan permukaan konduktor. Gradien tegangan permukaan konduktor merupakan faktor yang mempengaruhi besar nilai rugi korona, *Audible Noise* (AN) dan *Radio Interference* (RI).

2.7 Tegangan kritis disruptif [3],[5],[8]

Tegangan kritis disruptif merupakan tegangan minimal yang dibutuhkan untuk terjadinya ionisasi pertama kali dipermukaan konduktor. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Peek's, kekuatan dielektrik udara maksimum pada kondisi standar dengan tekanan udara 1 atm (760 mmHg), suhu udara 25 °C adalah 30 kV/cm. Kekuatan dielektrik udara sebanding dengan kepadatan udara sekitar. Besarnya kepadatan udara dapat di rumuskan :

$$\delta = \frac{0,3921 \cdot p}{273 + t} \quad (2.11)$$

Keterangan:

δ = kepadatan udara

p = tekanan udara (mmHg)

t = suhu udara (°C)

Tegangan kritis disruptif dengan mempertimbangkan pengaruh faktor konduktor, keseragaman permukaan konduktor dan lingkungan sebagaimana diteliti oleh Peek's adalah sebagai berikut:

$$V_d = E_d \cdot m_o \cdot \delta \cdot r \ln \frac{D}{r} \quad (2.12)$$

Jika besar gradien tegangan permukaan konduktor tunggal adalah:

$$E_{om} = \frac{V}{r \cdot \ln \left(\frac{2H}{r} \right)} \quad (2.13)$$

Dan besar kuat medan listrik udara pada kondisi standar (E_d) adalah 21,1 kV rms/cm. Sedangkan nilai $H = 0,5 D$ maka persamaan (2.51) dan (2.52) dapat disederhanakan menjadi:

$$V_d = \frac{21,1 \cdot m_o \cdot \delta}{E_{om}} \cdot V \quad (2.14)$$

2.8 Tegangan kritis visual [3],[5],[8]

Tegangan kritis visual adalah tegangan minimum pada saat timbul cahaya violet disekitar permukaan konduktor saat korona terjadi. Berdasarkan penelitian Peek's dihasilkan:

$$V_v = E_d \cdot m_v \cdot \delta \cdot r \cdot \left(1 + \frac{0,0301}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{r} \right) \quad (2.15)$$

Jika kuat medan listrik pada kondisi standar (tekanan udara 760 mmHg dan 25 °C) adalah 21,1 kV rms/cm maka besar tegangan kritis visual untuk sirkit tunggal konfigurasi horisontal adalah:

$$V_v = \frac{21,1 \cdot m_v \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,0301}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right)}{E_{om}} \cdot V \quad (2.16)$$

Keterangan:

V_d = tegangan kritis disruptif fasa ke netral (kV rms)

V_v = tegangan kritis visual fasa ke fasa (kV rms)

V = tegangan saluran fasa ke fasa (kV rms)

E_{om} = gradien tegangan permukaan konduktor pada konduktor tunggal (kV rms/cm)

m_o, m_v = faktor keseragaman permukaan konduktor
= 1 untuk konduktor silinder solid dengan permukaan mulus

= 0,92 < m < 0,94 untuk permukaan konduktor kasar

= 0.82 konduktor pilin (*stranded*)

2.9 Rugi-rugi korona [3],[4]

Rugi-rugi korona akan semakin besar jika tegangan saluran terus dinaikkan melebihi tegangan kritis disruptif. Dalam beberapa penelitian telah dirumuskan beberapa persamaan empiris yang mempertimbangkan faktor penggunaan konduktor berkas. Persamaan yang digunakan untuk sistem tiga fasa dengan konduktor berkas dirumuskan oleh Anderson, Baretzky dan Mccarty para peneliti dari EHV project, USA. Besar rugi-rugi korona pada kondisi cuaca hujan akan menghasilkan rugi korona yang lebih besar.

$$P_c = P_{FW} + \left[0,3606 \cdot K \cdot V \cdot r^2 \cdot \ln(1 + 10\rho) \sum_1^n E^5 \right] \quad (2.17)$$

Keterangan:

P_c = rugi daya korona per 3 fasa (kW/km)

P_{FW} = rugi korona pada cuaca baik (kW/km)

= 1 - 5 kW/km untuk tegangan 500 kV

= 3 - 20 kW/km untuk tegangan 700 kV

K = $7,04 \cdot 10^{-10}$ untuk 400 kV

= $5,35 \cdot 10^{-10}$ untuk 500 kV sampai dengan 700 kV

ρ = curah hujan (mm/jam)

K = koefisien kebasahan ($K=10$)

r = jari-jari konduktor (cm)

V = tegangan saluran V_{L-L} (kV)

E = gradien tegangan permukaan konduktor puncak (kV peak/cm)

n = jumlah konduktor

0,3606 = faktor konversi mil ke km dan tegangan dari V_{L-N} ke V_{L-L}

2.10 Audible Noise (AN) [4],[8], [18]

Audible noise (gangguan bising) atau sering disebut AN adalah bunyi yang kontinu baik yang merata, tak teratur serta tidak nyaman didengar oleh rasa pendengaran manusia normal. Tingkat AN diukur dalam satuan dBA yang sesuai dengan satuan pendengaran manusia. Besar AN sebanding dengan peningkatan tegangan saluran. AN cenderung besar ketika cuaca buruk. Pada musim hujan, tetes air yang jatuh dipermukaan konduktor menghasilkan korona yang lebih besar sehingga terjadi AN. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya AN antara lain: gradien tegangan permukaan konduktor, jumlah berkas, diameter konduktor, kondisi atmosfer dan jarak lateral objek yang akan dievaluasi AN nya dari kawat konduktor. Batas AN menurut Kriteria Perry berdasarkan tingkat ketidaknyamanan masyarakat dibedakan menjadi tiga yaitu:

1. Tanpa teguran : AN < 52,5 dBA

2. Sedikit teguran : 52,5 dBA < AN < 59 dBA

3. Banyak teguran: AN > 59 dBA

Tingkat nilai AN juga dapat dibandingkan dengan SPLN 46-1-1981 Tentang Pedoman Pembatasan Tingkat Bising sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tingkat bising menurut SPLN 46-1-1981^[14]

Tingkat bising dB (A)	Kriteria Pendengaran
100 < AN ≤ 120	Menulikan
80 < AN ≤ 100	Sangat Hiruk
60 < AN ≤ 80	Kuat
40 < AN ≤ 60	Sedang
20 < AN ≤ 40	Tenang
AN ≤ 20	Sangat Tenang

2.10.1 Perhitungan AN dalam desain Saluran Transmisi Udara Tegangan Ekstra Tinggi dengan rumus Empiris BPA^[4]

Perhitungan dengan rumus dari BPA adalah :

- Jumlah berkas $n < 3$

$$AN_{(i)} = 120 \log_{10} E_{om(i)} + 55 \log_{10} d - 11,4 \log_{10} D_{(i)} - 115,4 \quad (2.18)$$

- Jumlah berkas $n \geq 3$

$$AN_{(i)} = 120 \log_{10} E_{om(i)} + 55 \log_{10} d - 11,4 \log_{10} D_{(i)} + 26,4 \log_{10} N - 128,4 \quad (2.19)$$

Keterangan:

$AN_{(i)}$ = AN pada konduktor berkas -i pada kondisi rata-rata hujan L_{50} (dBA)

$E_{om}(i)$ = rata-rata gradien tegangan permukaan konduktor pada konduktor (i) (kV rms/cm), $i = 1, 2, 3, \dots, n$

d = diameter subkonduktor (cm)

n = jumlah berkas

$D(i)$ = jarak radial fasa (i) ke lokasi yang diamati (m)

2.10.2 Perhitungan AN dalam desain Saluran Transmisi Udara Tegangan Ekstra Tinggi dengan rumus Empiris TLCALC 2001^[12]

Program TLCALC 2001 merupakan program perhitungan yang dikembangkan oleh Korea dalam riset pembangunan tegangan ekstra tinggi. Rumus AN berdasarkan Program TLCALC 2001 adalah sebagai berikut :

- Jumlah berkas $n < 3$

$$SL_{L50}(i) = 122,68 \log G(i) + 58,68 \log d(i) - 10,53 \log D(i) - 122,73 \quad (2.20)$$

- Jumlah berkas $n \geq 3$

$$SL_{L50} = 122,68 \log G(i) + 24,99 \log N + 58,68 \log d(i) - 10,53 \log D(i) - 133,89 \quad (2.21)$$

$SL_{L50}(i)$ = AN pada konduktor berkas -i pada kondisi rata-rata hujan L_{50} (dBA)

$G(i)$ = gradien tegangan permukaan konduktor rata-rata pada konduktor -i (kV rms/cm), $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$d(i)$ = diameter subkonduktor (cm)

N = jumlah berkas

$D(i)$ = jarak fasa -i ke lokasi yang diamati (m)

2.10.3 Perhitungan AN dalam desain Saluran Transmisi Udara Tegangan Ekstra Tinggi dengan rumus jurnal IEEE^[20]

Berdasarkan jurnal IEEE Trans. Power Apparatus System yang diterbitkan pada bulan Oktober tahun 1982, perhitungan AN L_{50} pada saluran transmisi udara tegangan ekstra tinggi adalah sebagai berikut^[20]:

- jumlah berkas $n=1$

$$AN_{50}(i) = \frac{-665}{g(i)} + 20 \log n + 44 \log d(i) - 10 \log D(i) - 0,02 D(i) + 75,2 + 7,5 \left[14,2 \frac{g_c(i)}{g(i)} - 8,2 \right] \quad (2.22)$$

- Jumlah berkas $n=2$

$$AN_{50}(i) = \frac{-665}{g(i)} + 20 \log n + 44 \log d(i) - 10 \log D(i) - 0,02 D(i) + 75,2 + 2,6 \left[14,2 \frac{g_c(i)}{g(i)} - 8,2 \right] \quad (2.23)$$

- Jumlah berkas $n \geq 3$

$$AN_{50}(i) = \frac{-665}{g(i)} + 20 \log n + 44 \log d(i) - 10 \log D(i) - 0,02 D(i) + 67,9 + 22,9(n-1) \cdot \frac{d(i)}{B(i)} \left[14,2 \frac{g_c(i)}{g(i)} - 10,4 - 8 \left[(n-1) \cdot \frac{d(i)}{B(i)} \right] \right] \quad (2.24)$$

Sedangkan Total AN yang dihasilkan oleh saluran transmisi adalah :

$$SL = 10 \cdot \log \sum_1^{Np} 10^{\frac{AN}{10}}$$

Keterangan :

$g_c(i)$ = 24,4 (d(i)^{-0,24})

$AN_{50}(i)$ = AN pada konduktor berkas -i pada kondisi rata-rata hujan L_{50} (dBA)

SL = total AN (dBA)

$g(i)$ = gradien tegangan permukaan konduktor rata-rata pada konduktor (i) (kV rms/cm), $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$d(i)$ = diameter subkonduktor (cm)

N = jumlah berkas

$D(i)$ = jarak fasa (i) ke lokasi yang diamati (m)

$B(i)$ = diameter konduktor berkas (cm)

2.11 Radio Interference (RI)^{[4],[12],[21]}

Korona yang terjadi dalam saluran transmisi menghasilkan gangguan elektromagnetik yang menyebabkan gangguan penerimaan gelombang radio. Gelombang AM dipancarkan gelombang pembawa (carrier) pada frekuensi 0,5-1,6 Mhz. Daerah frekuensi ini memiliki kecenderungan terganggu oleh radio interference (RI) korona. Peristiwa korona menghasilkan pulsa arus dan pulsa tegangan disekitar permukaan konduktor dengan spektrum frekuensi tinggi dari 3 kHz sampai 30000 Mhz. Pada gelombang FM pengaruhnya kurang signifikan karena RI akan semakin kecil pada frekuensi tinggi selain itu bentuk modulasi frekuensi mengakibatkan gelombang FM kebal terhadap RI korona.

Satuan RI dinyatakan dalam nilai $\mu V/m$ atau dalam satuan desiBel (dB) dengan acuan 1 $\mu V/m$. Nilai 1 μV setara dengan 20 dB ($\mu V/m$). Besarnya RI seperti halnya AN dipengaruhi oleh gradien tegangan permukaan konduktor, jumlah berkas, diameter konduktor, kondisi atmosfer dan jarak lateral objek yang akan dievaluasi RI -nya dari kawat konduktor serta frekuensi alat pengukuran. Prediksi nilai RI pada perencanaan SUTET dapat dihitung dengan rumus empiris CIGRE, rumus TLCALC 2001.

Batasan besar RI dapat menggunakan standar IEEE Radio Noise Design Guide yang menetapkan batas

nilai tertinggi RI pada saat cuaca cerah adalah 40 dB μ V/m pada jarak 100 ft atau 30 m dari fasa konduktor paling luar. Pada kondisi cuaca hujan nilai RI akan meningkat 16-22 dB μ V/m. Jika nilai RI terlalu besar maka beberapa langkah dapat dilakukan antara lain dengan memperbesar diameter konduktor, memperbanyak jumlah berkas, meningkatkan kemampuan tapis gangguan (*noise filter*) pada stasiun penerima atau bahkan memindahkan lokasi antenna penerima.

2.11.1 Perhitungan RI dengan rumus empiris

CIGRE ^{[4],[25]}

Perhitungan RI dengan rumus empiris *CIGRE* pada kondisi cuaca baik dengan frekuensi alat ukur 0.5 Mhz adalah sebagai berikut^[4]:

$$RI_i = 3,5.E_m + 12.r - 33.\log_{10}\left(\frac{D_i}{20}\right) - 30 \quad (2.25)$$

Keterangan:

RI_i = RI pada konduktor (i) terhadap antenna (dB μ V/m)

E_m = gradien tegangan permukaan konduktor berkas (kV rms/cm)

r = jari-jari subkonduktor (cm)

D_i = jarak antara konduktor (i) dengan antenna (m)

$$D = \sqrt{(h^2 + R^2)}, i = 1,2,3,\dots,n$$

h = ketinggian konduktor -i dari tanah (m)

R = jarak lateral dari antenna ke konduktor -i (m)

2.11.2 Perhitungan RI dengan rumus empiris TLALCALC 2001^[12]

Perhitungan RI berdasarkan rumus empiris TLALCALC 2001 adalah sebagai berikut:

1. RI pada cuaca baik

$$RI_{FL50}(i) = -105,81 + 117,41.\log G(i) + 40,38.\log d + 1,54.\log N - 10,22.\log D(i) - 27,10.\log f \quad (2.26)$$

2. RI pada cuaca hujan

$$RI_{FL50}(i) = -81,98 + 119,56.\log G(i) + 43,57.\log d + 3,97.\log N - 19,05.\log D(i) - 25,07.\log f \quad (2.27)$$

Keterangan:

RI_{FL50}(i) = RI konduktor (i) terhadap antenna (dB(uV/m))

G = Gradien tegangan permukaan konduktor berkas (kV/cm rms)

d = diameter subkonduktor (cm)

N = jumlah berkas

D(i) = jarak radial antara konduktor (i) dengan antenna (m)

$$D = \sqrt{(h^2 + R^2)}, i = 1,2,3,\dots,n$$

h = ketinggian konduktor -i dari tanah (m)

R = jarak lateral dari antenna ke konduktor -i (m)

f = frekuensi alat ukur (MHz)

III. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

3.1 Algoritma Program

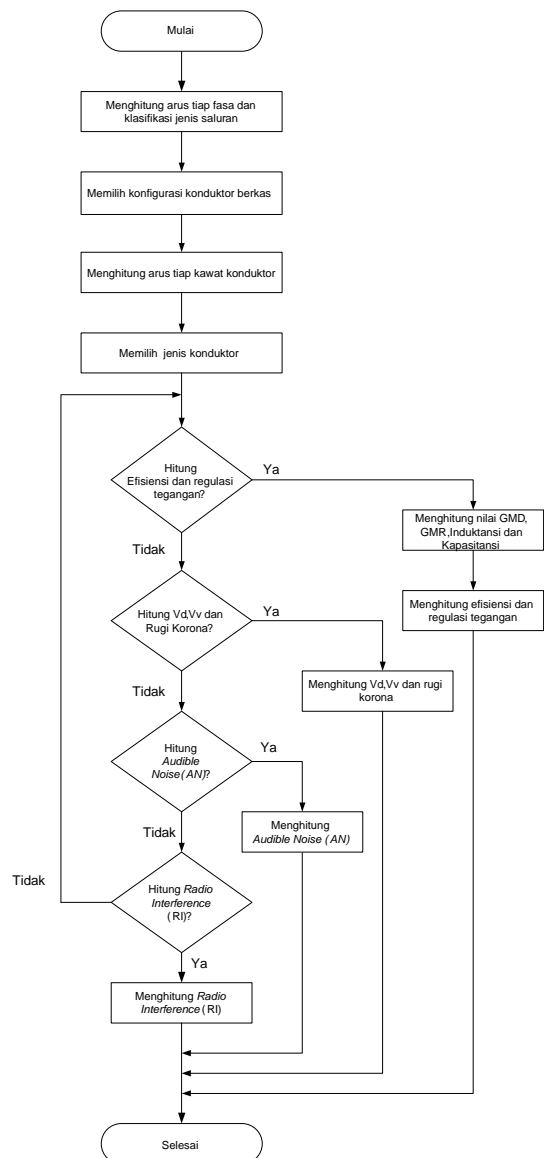
Algoritma program adalah sebagai berikut

1. Mulai program.
2. Memilih jenis sirkit yaitu sirkit tunggal atau sirkit ganda.

3. Menghitung arus tiap fasa dan klasifikasi jenis saluran.
4. Memilih konfigurasi konduktor berkas (jumlah dan jarak antar subkonduktor).
5. Menghitung arus maksimal tiap kawat subkonduktor.
6. Memilih konduktor dengan KHA yang lebih besar dari arus maksimal kawat subkonduktor hasil perhitungan.
7. Menentukan atau menghitung nilai jarak antar kawat dan menentukan jarak antar sirkit pada sirkit ganda.
8. Menghitung nilai GMD, GMR, induktansi dan kapasitansi saluran.
9. Memilih jenis fungsi perhitungan:
 - Efisiensi dan regulasi tegangan.
 - Rugi korona.
 - Gangguan berisik /Audible Noise (AN).
 - Gangguan Radio/ Radio Interferensi (RI).
10. Menghitung fungsi yang dipilih.
11. Program selesai.

3.2 Flowchart Program

Flowchart program adalah seperti berikut :



Gambar 3.1 Flowchart program secara keseluruhan

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Program

Perhitungan program berdasarkan persamaan-persamaan di atas adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data masukan perhitungan program utama

Parameter	Nilai	
	Sirkuit tunggal	Sirkuit Ganda
Daya sisi terima (Pr)	500 MW	500 MW
Tegangan sisi terima (Vr)	500 kV	500 kV
faktor daya sisi terima(PFr)	0,85	0,85
frekuensi	50 Hz	50 Hz
Panjang saluran	50 km	50 km
Jarak antar fasa (D)	12 m	12 m
Jarak antar sirkit	-	14,6 m

Diameter konduktor yang dipilih untuk analisis menggunakan ukuran konduktor yang banyak digunakan pada SUTET 500 kV ataupun SUTT 150 kV di Indonesia antara lain: ACSR Hawk (21,78 mm), ACSR Dove (23,54 mm), ACSR Gannet (25,76 mm) dan ACSR Zebra (28,62 mm).

Data perhitungan rugi korona berdasarkan data BMG wilayah Cilacap tahun 2008. Tekanan udara rata-rata sebesar 757,562 mmHg, suhu udara rata-rata 26,8 °C sedangkan curah hujan total sebesar 2385,1 mm/tahun atau sekitar 0,276 mm/jam.

Prediksi perhitungan *Audible Noise* (AN) dilakukan pada pinggir ruang bebas horisontal SUTET 500 kV yaitu 22 m untuk sirkit tunggal dan 17 m untuk sirkit ganda. Ketinggian objek yang diukur sesuai dengan kriteria *Perry* yaitu 1 m diatas tanah. Sedangkan cuaca menggunakan kondisi cuaca hujan.

Prediksi perhitungan *Radio Interference* (RI) sesuai dengan *IEEE Radio Noise Design Guide* yang dilakukan pada jarak 30 m dari fasa terluar pinggir ruang bebas horisontal SUTET 500 kV yaitu 42 m untuk sirkit tunggal dan 37,3 m untuk sirkit ganda. Frekuensi Alat ukur yang digunakan 1 Mhz pada kondisi cuaca cerah.

Variasi konfigurasi konduktor berkas yang dianalisis meliputi :

1. Variasi Jumlah berkas
2. Variasi jarak antarsubkonduktor
3. Variasi diameter subkonduktor
4. Variasi jumlah berkas dan diameter subkonduktor.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan efisiensi dan regulasi tegangan

Variasi	N	d (mm)	Ds (mm)	Eff (%)		Reg V (%)	
				Sirkuit tunggal	Sirkuit ganda	Sirkuit tunggal	Sirkuit ganda
n	1	25,76	450	98,83	99,41	3,78	1,124
	2			99,41	99,70	2,58	0,724
	3			99,60	99,80	2,18	0,590
	4			99,70	99,85	1,95	0,515
	5			99,75	99,88	1,85	0,485
	6			99,80	99,90	1,66	0,428
Ds	4	25,76	400	99,70	99,85	1,98	0,524
			450	99,70	99,85	1,95	0,515
			457	99,70	99,85	1,94	0,514
d	4	23,54	450	-	99,87	-	0,394
		25,76	450	-	99,89	-	0,377
		28,62	450	-	99,91	-	0,360
N dan Ds	2	25,76	450	99,41	99,70	2,58	0,724
	3			99,53	99,76	2,25	0,621
	4			99,58	99,79	2,05	0,562

Efisiensi akan semakin besar jika jumlah berkas semakin banyak dan diameter konduktor semakin lebar. Semakin banyak berkas, tahanan total akan semakin kecil sehingga efisiensi akan meningkat. Konduktor berkas merupakan salah satu cara untuk menurunkan induktansi saluran. Semakin kecil induktansi saluran maka impedansi menjadi semakin kecil. Jatuh tegangan sebanding dengan impedansi saluran sehingga nilai jatuh tegangan akan menjadi semakin kecil jika impedansi saluran semakin kecil atau sebaliknya. Jika jatuh tegangan kecil maka regulasi tegangan menjadi semakin kecil. Memperlebar diameter konduktor akan menurunkan tahanan saluran sehingga efisiensi meningkat selain itu juga akan menurunkan induktansi saluran sehingga jatuh tegangan dan regulasi tegangan semakin kecil. Sedangkan penambahan jarak antar subkonduktor memperkecil induktansi saluran tetapi tidak berpengaruh terhadap tahanan saluran. Hal ini berakibat penambahan subkonduktor hanya memperkecil regulasi tegangan tetapi tidak dapat mengubah efisiensi. Pengurangan lebar diameter subkonduktor dapat dikompensasi dengan penambahan jumlah berkas sehingga berakibat efisiensi tetap meningkat.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan rugi korona

variasi	N	d (mm)	Ds (mm)	Rugi Korona (kW per-3 fasa/km)	
				Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda
N	1	25,76	450	146,528	331,221
	2			58,335	134,413
	3			29,009	64,822
	4			18,217	38,643
	5			13,653	29,662
	6			10,633	19,862
Ds	4	25,76	400	17,684	37,117
			450	18,217	38,643
			457	18,297	38,872
d	4	23,54	450	-	42,458
		25,76	450	-	35,829
		28,62	450	-	29,683
n dan d	2	25,76	450	58,335	134,413
	3			34,250	77,770
	4			24,084	53,455

Nilai rugi korona semakin kecil jika jumlah berkas ditingkatkan, jarak antar subkonduktor diperkecil, diameter subkonduktor diperlebar. Rugi korona sebanding dengan gradien tegangan permukaan konduktor. Menambah jumlah berkas dan memperbesar diameter subkonduktor akan memperkecil gradien tegangan permukaan konduktor sedangkan memperlebar jarak antar subkonduktor berakibat sebaliknya.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan nilai *Audible Noise (AN)*

var iasi	N	d (mm)	Ds (mm)	AN BPA (dBA)	
				Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda
N	1	25,76	450	76,708	80,612
	2			58,909	63,515
	3			45,767	50,739
	4			39,697	44,965
	5			35,112	40,183
	6			30,998	36,762
Ds	4	25,76	400	39,304	44,499
			450	39,697	44,965
			457	39,755	45,034
d	4	23,54	450	-	45,881
		25,76		-	44,12
		28,62		-	42,117
n dan d	2	25,76	450	58,909	63,515
	3	23,54		47,562	52,513
	4	21,78		43,033	48,266

Perhitungan terhadap AN dengan rumus TLALC 2001 dan Rumus IEEE adapat dilihat pada lampiran 1.

Hasil perhitungan *Audible Noise* dengan rumus BPA, rumus TLALC 2001 dan rumus IEEE pada tabel menunjukkan penambahan jumlah berkas memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap penurunan nilai AN. Nilai AN yang ditimbulkan saluran transmisi akan lebih kecil jika jumlah berkas diperbanyak, jarak subkonduktor diperkecil dan ukuran konduktor diperbesar. Nilai AN juga dipengaruhi oleh gradien tegangan permukaan konduktor. Besar gradien tegangan permukaan konduktor dipengaruhi oleh konfigurasi konduktor berkas. Sehingga jika gradien tegangan permukaan konduktor diperkecil maka nilai AN yang timbul juga semakin kecil. Hasil perhitungan AN menunjukkan sirkuit tunggal lebih baik daripada sirkuit ganda. Nilai AN sirkuit tunggal lebih kecil daripada sirkuit ganda. Hal ini disebabkan gradien tegangan permukaan konduktor pada sirkuit ganda lebih tinggi daripada sirkuit tunggal. Selain itu, AN total merupakan penjumlahan dari nilai AN yang ditimbulkan tiap kawat. Sirkuit ganda memiliki jumlah kawat dua kali sirkuit tunggal.

Dari Lampiran 1, hasil perhitungan AN pada SUTET 500 kV dengan konfigurasi berkas sesuai SNI 04-6918-2002 (jumlah berkas $n = 4$, jarak antar subkonduktor $D_s = 450$ mm) menunjukkan skala tingkat rendah ($< 52,5$ dBA) dan sedang ($52,5 \text{ dBA} < AN < 59 \text{ dBA}$). Sedangkan ditinjau dengan skala tingkat kebisingan SPLN 46-1-1981, nilai AN menunjukkan skala tingkat sedang ($40 \text{ dBA} < AN \leq 60 \text{ dBA}$).

Tabel 4.5 Hasil perhitungan nilai *Radio Intereference (RI)*

var iasi	N	d (mm)	Ds (mm)	RI CIGRE (dBuV/m)	
				Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda
N	1	25,76	450	84,52	91,102
	2			51,803	58,222
	3			34,339	40,183
	4			23,955	29,416
	6			12,032	17,025
Ds	4	25,76	400	23,558	34,393
			450	23,955	34,812
			457	24,014	34,784
d	4	23,54	450	-	31,721
		25,76		-	28,679
		28,62		-	25,738
n dan d	2	25,76	450	51,803	58,222
	3	23,54		37,975	44,154
	4	21,78		29,552	35,607

Hasil Perhitungan Radio Interference (RI) dengan rumus TLALC 2001 dapat dilihat di Lampiran I.

Hasil perhitungan RI menunjukkan penmabhan jumlah berkas memiliki pengaruh cukup besar terhadap perubahan nilai RI. Nilai RI yang ditimbulkan menjadi lebih kecil jika jumlah berkas diperbanyak dan diameter subkonduktor diperbesar tetapi jika jarak subkonduktor diperbesar akan meningkatkan nilai RI. Perhitungan RI menunjukkan sirkuit tunggal lebih baik daripada sirkuit ganda. Nilai RI sirkuit tunggal lebih kecil daripada sirkuit ganda karena sirkuit tunggal memiliki gradien tegangan permukaan konduktor yang lebih kecil.

Dari lampiran I, hasil perhitungan RI pada SUTET 500 kV dengan konfigurasi berkas sesuai dengan SNI 04-6918-2002 menunjukkan nilai yang masih dibawah 40 dBuV/m yang merupakan batas maksimal RI pada jarak 30 m dari fasa terluar sesuai dengan IEEE Radio Noise Design Guide.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari Tugas Akhir ini diantaranya adalah

1. Pengaruh perubahan jumlah berkas lebih dominan terhadap nilai efisiensi, regulasi tegangan, rugi korona, *Audible Noise (AN)* dan *Radio Interference (RI)* jika dibandingkan dengan pengaruh perubahan jarak antar subkonduktor atau diameter subkonduktor.
2. Penambahan jumlah berkas dapat meningkatkan efisiensi dan menurunkan regulasi tegangan, rugi korona, *audible noise (AN)* serta *radio interference (RI)*
3. Rugi korona, *Audible Noise (AN)* dan *Radio Interference (RI)* pada sirkuit tunggal lebih rendah daripada sirkuit ganda. Namun, efisiensi dan regulasi tegangan pada sirkuit tunggal lebih kecil daripada sirkuit ganda.
4. Berdasarkan hasil perhitungan *Audible Noise (AN)*, Nilai AN pada SUTET 500 kV dengan konstruksi menara dan konfigurasi konduktor berkas yang sesuai SNI 04-6918-2002 adalah tidak mengganggu lingkungan sesuai dengan kriteria Perry dan SPLN

46-1-1981 Tentang Pedoman Pembatasan Tingkat Bising.

5. Berdasarkan hasil perhitungan *Radio Interference* (RI), SUTET 500 kV dengan konstruksi menara dan konfigurasi konduktor berkas yang sesuai SNI 04-6918-2002 adalah aman karena nilai RI dibawah batas maksimal *IEEE Radio Noise Design Guide*.

5.2 Saran

1. Peneliti yang selanjutnya diharapkan melakukan perhitungan pengaruh konfigurasi konduktor berkas terhadap efek medan yaitu medan listrik dan medan magnet.
2. Peneliti selanjutnya dapat mengembangkan analisis pengaruh konfigurasi konduktor berkas dengan berbagai konfigurasi menara saluran transmisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdel-Salam, et all., *High Voltage Engineering : Theory and Practice, 2nd Edition, Revised and Expanded*, Marcel Dekker Inc., New York, 2000.
- [2] Arismunandar, A. dan Kuwahara, S., *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II : Saluran Transmisi*, cetakan kelima, Pradnya Paramita, Jakarta, 1982.
- [3] Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi*, cetakan kelima, Pradnya Paramita, Jakarta, 1984.
- [4]. Begamudre, R.D., *Extra High Voltage A.C. Transmission Engineering*, Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1987.
- [5] Deshpande, M.V., *Electrical Power System Design*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi. 1984.
- [6] Divisi Penelitian dan Pengembangan MADCOMS, *Pemrograman Borland Delphi 7*. Penerbit Andi, Yogyakarta, 2002.
- [7] Fauzi, Ahmad, *Studi Analisis Pemilihan Tegangan Optimal untuk Saluran Transmisi Daya Listrik*, Tugas Akhir S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
- [8] Gönen, Turan, *Electric Power Transmission System Engineering : Analysis & Design*, John Wiley and Sons, Inc. Toronto, 1988.
- [9] Hutaeruk, T. S., *Transmisi Daya Listrik*, cetakan keempat, Erlangga, Jakarta, 1996.
- [10] Saadat, Hadi., *Power System Analysis*, Mc Graw Hill Inc, Singapore, 1999.
- [11] CS. Indulkar, “*Statistical Evaluation of Corona and Radio Noise in EHV Transmission Lines*”, International Journal of Power and Energy Systems, Vol 85, December 2004.
- [12] K.H.Yang, et all, “*New Enviromentally Friendly Design Program, TL CALC 2001 for High Voltage AC Transmission Lines*”, IEEJ Trans. PE, Vol.124, No.1, 2004.
- [13] -----, SNI 04-6918-2002 : Ruang bebas dan jarak bebas minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), BSN, Jakarta, 2002.
- [14] -----, SPLN 46-1 Tahun 1981: Pedoman Pembatasan Tingkat Bising, Bagian 1: Tingkat Bising di Lingkungan Kerja.
- [15] Stephanus Antonius Ananda dkk, “*Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Tegangan Tarik dan Andongan*”, Jurnal Teknik Elektro Universitas Kristen Petra Vol. 6, No. 1, Maret 2006.
- [16] Supriyatno, “*Presentasi Hasil Pengukuran Corona Detektor pada Berbagai Sistem Tegangan*”, PT. PLN (PERSERO) P3B JAWA BALI REGION JAWA TENGAH DAN DIY UJT PURWOKERTO, 2008.
- [17] T.D Bracken, Inc. “*Klondike iii/biglow canyon wind integration, appendix c: electrical effects*”, March. 2006.
- [18] Thomas G. Livernois, Ph.D., P.E., “*New York Regional Interconnection Study: Electric and Magnetic Fields, Ions, Audible Noise, and Radio Noise*”, New York, 2007.
- [19] Kumar, S.R. Satish dan A.R. Santha Kumar. “*Transmission Tower*”, http://nptel.iitm.ac.in/courses/IITMADRAS/Design_Steel_Structures_II/7_transmission_towers/1_introduction.pdf, esember 2008.
- [20] ----, “*A Comparison of Methods for Calculating Audible Noise of High Voltage Transmission Lines*”, IEEE Task Force Report, IEEE Trans. Power Appar. Syst.vol. PAS-101, no. 10, p. 4290, Oct. 1982.
- [21] ----, “*Electrical Effects from the New Jersey Section of the Susquehanna – Roseland 500 kV Transmission Line*”, K & R Consulting, LLC, Januari 2009
- [22] ---, <http://www.wikipedia.com>
- [23] ---, <http://www.hubbellpowersystems.com>
- [24] ---, <http://www.pfisterer.com>
- [25] ---, <http://www.cigre.org>
- [26] Badan Meteorologi dan Geofisika, *Data Klimatologi, Stasiun Cilacap*, 2008.



Untung Susilo (L2F 004 520),
Lahir di Semarang, menyelesaikan pendidikan di SD Tlogosari 04 Semarang, SLTPN 14 Semarang dan SMUN 3 Semarang. Saat ini sedang menempuh pendidikan di jurusan Teknik Elektro Undip Bidang Konsentrasi Teknik Energi Listrik

Semarang, Mei 2009
Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Tedjo Sukmadi, M.T.
NIP 131 764 876

Susatyo Handoko, S.T., M.T.
NIP 132 282 683

LAMPIRAN I

Tabel 1. Hasil perhitungan *Audible Noise* (AN)

Jenis variasi	N	Jenis konduktor	Ds (mm)	AN BPA (dBA)		AN TLALC 2001 (dBA)		AN IEEE (dBA)	
				Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda	Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda	Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda
Jumlah berkas (N)	1	ACSR Gannet	450	76,708	80,612	76,163	80,153	53,355	73,02
	2			58,909	63,515	57,971	62,673	42,67	63,239
	3			45,767	50,739	45,714	50,789	51,732	59,068
	4			39,697	44,965	39,261	44,636	44,234	52,993
	6			30,998	36,762	30,02	35,898	30,024	41,093
Jarak subkonduktor (Ds)	2	ACSR Gannet	400	58,668	62,242	57,724	62,395	42,483	63,309
			450	58,909	63,515	57,971	62,673	42,62	63,239
			457	58,944	63,554	58,006	62,713	42,697	63,258
			500	59,161	63,796	58,229	62,961	42,866	63,446
	4	ACSR Gannet	400	39,304	44,499	38,859	44,16	43,886	52,941
			450	39,697	44,965	39,261	44,636	44,234	52,993
457			39,755	45,034	39,321	44,706	44,289	53,013	
Jenis Konduktor	4	ACSR Dove	450	-	45,881	-	45,573	-	53,909
		ACSR Gannet		-	44,12	-	43,76	-	52,032
		ACSR Zebra		-	42,117	-	41,833	-	49,588
Jumlah Berkas dan Jenis Konduktor	2	ACSR Gannet	450	58,909	63,515	57,971	62,673	42,67	63,239
	3	ACSR Dove		47,562	52,513	47,453	52,506	53,419	60,342
	4	ACSR Hawk		43,033	48,266	42,493	47,832	48,368	56,19

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Radio Interference* (RI)

Jenis variasi	N	Jenis konduktor	Ds (mm)	RI CIGRE (dB μ V/m)		RI TLALC 2001 (dB μ V/m)	
				Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda	Sirkuit Tunggal	Sirkuit Ganda
Jumlah berkas (N)	1	ACSR Gannet	450	84,52	91,102	72,202	74,863
	2			51,803	58,222	55,645	58,828
	3			34,339	40,183	43,641	47,095
	4			23,955	29,416	34,812	38,483
	6			12,032	17,025	22,252	26,288
Jarak subkonduktor (Ds)	2	ACSR Gannet	400	51,429	55,392	57,76	58,552
			450	51,803	55,645	58,222	58,828
			457	51,857	55,681	58,288	58,867
			500	52,197	55,907	58,7	59,1
	4	ACSR Gannet	400	23,558	34,393	28,894	38,01
			450	23,955	34,812	29,416	38,483
457			24,014	34,784	29,493	38,553	
Jenis Konduktor	4	ACSR Dove	450	-	31,721	-	39,944
		ACSR Gannet		-	28,679	-	37,7
		ACSR Zebra		-	25,738	-	35,132
Jumlah Berkas dan Jenis Konduktor	2	ACSR Gannet	450	51,803	58,222	55,645	58,828
	3	ACSR Dove		37,975	44,154	45,913	49,35
	4	ACSR Hawk		29,552	35,607	39,039	42,684

NB: Konfigurasi konduktor berkas sesuai dengan **SNI 04-6918-2002** adalah jumlah berkas (n) = 4 dengan jarak antar subkonduktor (Ds) = 450 mm.