

Makalah Seminar Tugas Akhir
**PERHITUNGAN *OUTAGE RATE* AKIBAT SAMBARAN KILAT TIDAK LANGSUNG
PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 kV (STUDI KASUS : FEEDER SRL 4 GI SRONDOL)**

Fuad Hidayanto - L2F 002 579
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak - Saluran distribusi 20 kV merupakan salah satu bagian penting dalam sistem tenaga listrik. Tegangan lebih induksi akibat sambaran kilat tidak langsung pada saluran distribusi 20 kV menyebabkan gangguan baik temporer maupun permanent. Gangguan ini menyebabkan turunnya kontinuitas pelayanan energi listrik ke konsumen atau dengan kata lain mengurangi tingkat kehandalan.

Dalam perhitungan tegangan induksi dilakukan menggunakan teori yang dikemukakan Rusck. Perhitungan angka keluaran (*outage rate*) didasarkan pada asumsi bahwa bila ada tegangan induksi yang melebihi batas ketahanan impuls isolator ($V_{50\%}$) maka penghantar akan terganggu. Dimana semakin kecil angka keluaran menunjukkan bahwa tingkat kehandalan energi listrik semakin baik.

Sebagai studi kasus digunakan feeder utama Srl 4 GI Sronдол 20 kV saluran tunggal tiga fasa. Dari perhitungan diperoleh besarnya tegangan induksi adalah 116 kV – 181 kV dan angka keluaran (*outage rate*) sebesar 6 gangguan per tahun.

Kata kunci : tegangan induksi, metode rusck, *outage rate*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan energi listrik di Indonesia baik dalam bidang konsumsi maupun dalam bidang produksinya semakin meningkat dari tahun ketahun. Perkembangan yang pesat ini haruslah diikuti dengan perbaikan dalam bidang mutu energi listrik yang dihasilkan. Dimana energi listrik yang dihasilkan harus berkualitas dan memiliki kehandalan yang tinggi, baik dari segi teknis maupun ekonomis. Dari segi teknis yang menjadi parameter kebaikan energi listrik yaitu tegangan, frekuensi dan kehandalan.

Tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh suatu pembangkit harus mempunyai besaran yang tertentu dengan suatu penyimpangan yang diijinkan. Kehandalan merupakan angka yang menunjukkan kemampuan pembangkit menyalurkan energinya ke konsumen dalam batas mutu yang diijinkan. Jadi merupakan kontinuitas pelayanan energi. Adanya gangguan yang terjadi pada sistem akan mengakibatkan turunnya kesinanggungan penyaluran energi listrik. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah gangguan tegangan lebih pada daerah penyaluran baik transmisi maupun distribusi.

Kondisi daerah Indonesia yang mempunyai tingkat kerapatan kilat yang tinggi dan curah hujan yang besar menyebabkan banyaknya gangguan yang terjadi akibat sambaran kilat baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada saluran distribusi pengaruh sambaran kilat tidak langsung memegang peranan yang lebih besar dibandingkan sambaran langsung. Terkait dengan hal ini maka perlu dihitung besarnya angka keluaran akibat sambaran kilat tidak langsung yang menunjukkan tingkat kehandalan sistem.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Menghitung besarnya tegangan induksi yang dihasilkan oleh sambaran kilat tidak langsung dan mengetahui angka keluarannya
2. Memperoleh hasil yang akurat dan mempermudah proses perhitungan serta mendapatkan hasil yang relatif singkat dengan bantuan program komputer
3. Mengetahui besarnya tegangan induksi dan *outage rate* pada feeder Srl 4 GI Sronдол.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Jaringan yang digunakan adalah feeder utama Srl 4 GI Sronдол 20 kV tiga fasa, bukan pada feeder cabang
2. Tidak dibahas jaringan satu fasa dan double circuit.
3. Perhitungan angka keluaran yang dilakukan akibat sambaran tidak langsung saja, perhitungan akibat sambaran langsung tidak dilakukan
4. Perhitungan tegangan induksi dan angka keluaran didasarkan pada metode RUSCK
5. Tidak dibahas mengenai sistem proteksi saluran
6. IKL yang digunakan berdasarkan hasil pengamatan BMG (Badan Geofisika dan Meteorologi) untuk wilayah semarang dan sekitarnya sebesar 154 hari guruh / tahun.

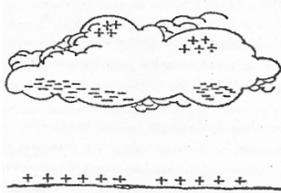
II. TEGANGAN LEBIH SURJA PETIR

2.1 Proses Terjadinya Kilat

Teori yang secara luas dapat diterima tentang petir yaitu bahwa awan terdiri dari daerah

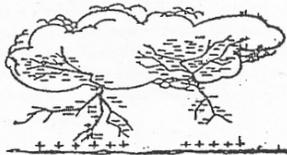
bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensial di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam. Dimana konsentrasi muatan tertinggi dan gradien tegangan tinggi dari awan ke bumi, timbul muatan pelepasan yang secara umum terjadi di awan. Ketika gradien tegangan tinggi pada titik konsentrasi muatan dari awan melebihi harga tembus udara yang terionisasi, maka udara di daerah konsentrasi tekanan tinggi mengionisasi atau tembus (break down).

Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradien tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Sambaran petir ke bumi mulai ketika suatu muatan sepanjang pinggir awan menginduksikan suatu muatan lawan ke bumi, seperti terlihat pada gambar 2.1.



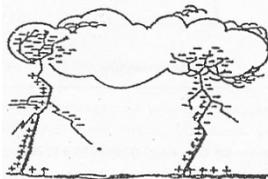
Gambar 2.1. Muatan Sepanjang pinggir awan menginduksikan muatan lawan pada bumi

Kemudian akan timbul lidah petir arah bawah menyebar dari awan ke bumi seperti terlihat pada gambar 2.2.



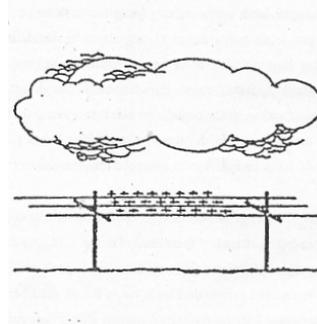
Gambar 2.2. Lidah petir menjalar ke arah bumi

Begitu lidah petir mendekati bumi, sambaran kearah atas terbentuk, biasanya dari titik tertinggi sekitarnya. Bila lidah petir ke arah atas dan kearah bawah bertemu seperti terlihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Kilat Sambaran balik dari bumi ke awan

Suatu hubungan awan ke bumi terbentuk dan energi muatan awan dilepaskan ke dalam tanah. Muatan-muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang ada disekitar sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi dinetralisir lewat gambar 2.4.



Gambar 2.4. Kumpulan muatan pada saluran distribusi

Besar muatan yang terjebak ini bergantung pada gradien mula awan ke bumi dan kedekatan sambaran jaringan. Tegangan terinduksi pada jaringan listrik sambaran akan menjalar sepanjang jaringan dalam bentuk gelombang berjalan sampai hilang oleh pengurangan (*attenuasi*), kebocoran, isolator rusak / pecah, atau arrester beroperasi

2.2 Pengaruh Petir pada Jaringan Listrik

Dari segi listrik petir sangat membahayakan kelangsungan pelayanan listrik. Kilat terjadi pada sembarang waktu dan sembarang tempat yang tidak dapat dipastikan. Gangguan kilat pada kawat penghantar listrik adalah gangguan karena kilat yang menyambar atau mempengaruhi kawat fasa/penghantar, sehingga hal tersebut dapat mengakibatkan timbulnya surja tegangan dan surja arus pada kawat penghantar yang sama atau melebihi ketahanan impuls isolasi dari isolator ataupun instalasi. Pada keadaan surja tegangan yang timbul menyamai atau melebihi ketahanan impuls isolator maka isolator akan *flash over*.

Kerusakan sistem distribusi karena petir merupakan persoalan penting pada sistem-sistem perusahaan besar dan sebagian besar diperhitungkan sebagai pengeluaran konsumen, merupakan pengeluaran tertinggi dalam perincian peralatan distribusi. Perlindungan terhadap petir yang kurang memadai mengakibatkan kesalahan pada sistem distribusi yang mungkin berakibat langsung pada transformator substasion. Kerusakan transformator distribusi yang diletakkan di atas tiang yang disebabkan oleh petir merupakan persoalan lama pada semua sistem. Pertimbangan ekonomi untuk perlindungan berkaitan dengan biaya perbaikan yang harus dikeluarkan. Persoalan lain yang dipikirkan adalah tidak nyamannya konsumen dan kehilangan keuntungan karena pengeluaran

III. PERHITUNGAN TEGANGAN LEBIH INDUKSI AKIBAT SAMBARAN TIDAK LANGSUNG

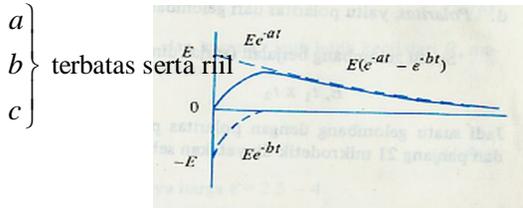
3.1 Karakteristik Gelombang Petir

Ekspresi dasar dari gelombang berjalan secara sistematis dinyatakan dengan persamaan di bawah ini,

$$e(t) = E(e^{-at} - e^{-bt}) \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana : E, a, b adalah konstanta.

Gelombang kilat tipikal



Gambar 3.1. Bentuk gelombang berjalan

Gelombang kilat tipikal merupakan bentuk yang paling mirip dengan bentuk gelombang surja kilat. Bentuk gelombang ini tergantung dari harga-harga a dan b.

3.1.1. Puncak dan muka gelombang

Puncak terjadi pada saat $t = t_1$, yaitu waktu untuk mencapai tegangan puncak.

Jadi, untuk $t = t_1$,

$$\frac{de(t)}{dt} = E(-ae^{-at_1} + be^{-bt_1}) = 0$$

$$ae^{-at_1} = be^{-bt_1}$$

maka

$$t_1 = \frac{\ln b/a}{b-a} = 1/a \left(\frac{\ln b/a}{b/a - 1} \right) = B/a \dots\dots(3.2)$$

dan

$$E_{puncak} = E(e^{-B} - e^{-Bb/a}) \dots\dots\dots(3.3)$$

3.3.2. Panjang gelombang

Waktu sampai 1/2 puncak = t_2 , jadi

$$E_{puncak} / 2 = E(-e^{-at_2} + e^{-bt_2})$$

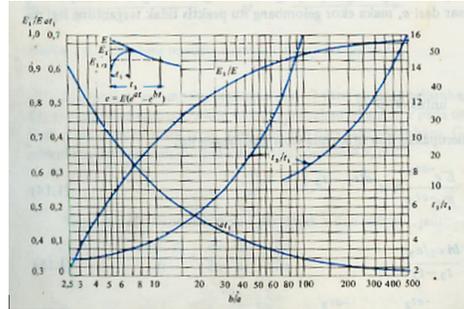
$$= E(-e^{-Bt_2/t_1} + e^{-(b/a)Bt_2/t_1})$$

$$\frac{1}{2} E(e^{-B} - e^{-Bb/a}) = E(-e^{-Bt_2/t_1} + e^{-(b/a)Bt_2/t_1}) \dots\dots(3.4)$$

dimana : E, B, a, b adalah konstanta.

Persamaan ini menyatakan hubungan antara t_2/t_1 untuk berbagai harga tertentu dari b/a. Tetapi karena persamaan ini transcendental, maka untuk

mencari t_2/t_1 harus dengan jalan mengisi harga-harga tertentu, misalnya membuat grafik



Gambar 3.2. Spesifikasi gelombang kilat tipikal

Grafik menunjukkan hubungan-hubungan:

$a t_1$ sebagai fungsi b/a dari persamaan (3.2)

E_1/E sebagai fungsi b/a dari persamaan (3.3)

t_2/t_1 sebagai fungsi b/a dari persamaan (3.4)

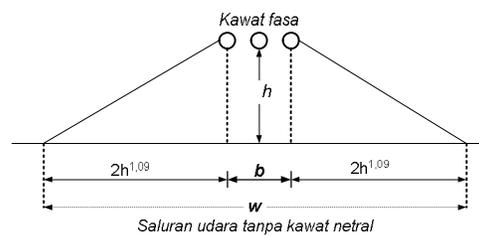
Cara penggunaan grafik untuk harga-harga t_1 dan t_2 yang diketahui, dicari harga b/a , $a t_1$, dan harga E_1/E dari lengkung t_2/t_1 dan kemudian cari harga a dari $a t_1$ dan b dari b/a .

Secara umum tegangan impuls petir bentuk 1,2/50 yang berarti tegangan impuls dengan $t_1=1,2\mu s$ dan $t_2=50\mu s$.

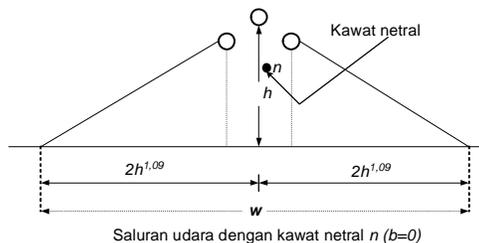
3.2 Daerah Perisaian

Suatu saluran distribusi di atas tanah dapat dikatakan membentuk bayang-bayang listrik yang berada dibawah saluran atau disebut daerah perisaian. Kilat yang biasanya menyambar tanah di dalam bayang-bayang itu akan menyambar saluran distribusi sebagai gantinya, sedang kilat di luar bayang-bayang itu sama sekali tidak menyambar saluran. Lebar bayang-bayang listrik itu menurut Whitehead adalah

$$W = (b + 4h^{1.09}) \text{ meter}$$



Gambar 2.5(a). Lebar bayang-bayang listrik saluran udara tanpa kawat netral n



Gambar 2.5(b). Lebar bayang-bayang listrik saluran udara dengan kawat netral n ($b=0$)

3.3 Tegangan Induksi Lebih Petir

Berdasarkan *RUSCK method*, diberikan persamaan sebagai berikut

$$V_{0,maks} = \frac{Z_0 I_0 h}{y} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{c}{c_0} \cdot \frac{1}{(1 - 1/2(c/c_0)^2)^{1/2}} \right) \dots(3.12)$$

Harga $c/c_0 = 0,1$ sampai $0,5$ jadi

$$V_{0,maks} = \frac{Z_0 I_0 h}{y} (1,07 - 1,38)$$

. Tegangan induksi pada saluran di titik yang jauh dari sambaran, yaitu bila diisikan $x = \pm \infty$

Bila harga ini diisikan dalam persamaan (3.10) dan kemudian dihitung tegangan induksi maksimum pada titik terjauh diperoleh,

$$V_i = V_{\infty,maks} = \frac{Z_0 I_0 h}{y} = \frac{30 I_0 h}{y} \dots\dots(3.13)$$

di mana :

- V_i = tegangan induksi pada kawat, dalam kV
- I_0 = besar arus kilat, dalam kA
- h = tinggi rata-rata di atas tanah, dalam m
- y = jarak horizontal antara sambaran kilat dengan kawat, dalam m

Bila saluran itu dilengkapi dengan kawat tanah, maka besar tegangan induksi pada kawat fasa telah diberikan persamaan (3.21)

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

dimana :

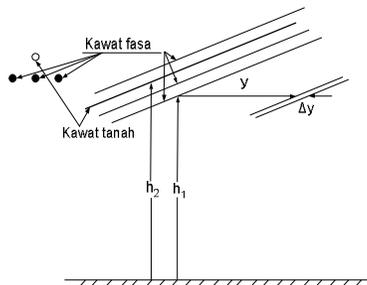
- V_i' = tegangan induksi dengan kawat tanah, kV
- V_i = tegangan induksi tanpa kawat tanah, kV
- Z_{22} = impedansi surja sendiri , ohm
- Z_{12} = impedansi surja bersama , ohm
- h_1 = tinggi rata-rata kawat fasa, meter
- h_2 = tinggi rata-rata kawat tanah, meter
- R = tahanan pentanahan, ohm

Jumlah sambaran pada daerah Δy untuk panjang 100 km saluran,

$$\Delta N = 0,015 IKL \Delta y \dots\dots\dots(3.27)$$

dimana :

- ΔN = Jumlah sambaran
- IKL = jumlah sambaran petir dalam 1 tahun
- Δy = bidang sambar , dalam m



Gambar 3.5. Saluran udara tegangan menengah dengan kawat tanah

Menurut persamaan (3.13), besar tegangan induksi pada kawat,

$$V_i = \frac{30 I_0 h}{y}$$

Supaya tegangan induksi sama atau melebihi ketahanan impuls isolasi $V_{50\%}$

$$I_0 \geq \frac{V_{50\%}}{30h} y$$

Probabilitas arus yang demikian diperoleh dari persamaan (3.25),

$$P_{I_0} = e^{-\frac{I_0}{34}}$$

atau

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{30 \cdot 34} \cdot \frac{y}{h} \right)}$$

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020} \cdot \frac{y}{h} \right)} \dots\dots\dots(3.28)$$

Jadi jumlah sambaran pada bidang Δy yang dapat menimbulkan tegangan melebihi $V_{50\%}$ adalah,

$$\Delta N_{FL} = 0,015 \cdot IKL \cdot \Delta y \cdot e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020} \cdot \frac{y}{h} \right)} \dots\dots\dots(3.29)$$

Bila Δy dibuat kecil sekali, Δy berubah menjadi dy dan ΔN_{FL} berubah menjadi dN_{FL} , dan setelah dilakukan integrasi dari $y_{min} (=2h^{1,09})$ sampai $y_{maks}(=tak \text{ terhingga})$ untuk kedua sisi saluran diperoleh,

$$N_{FL} = 2 \int_{2h^{1,09}}^{\infty} 0,015 IKL e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020} \cdot \frac{y}{h} \right)} dy$$

$$= 0,03 IKL \left(-\frac{1020h}{V_{50\%}} \right) \left\{ e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020h} \cdot \infty \right)} - e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020h} \cdot 2h^{1,09} \right)} \right\}$$

atau

$$N_{FL} = 30,6 IKL h e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} h^{0,09} \right)} \dots\dots(3.30)$$

Persamaan (3.30) di atas adalah untuk keadaan tidak ada kawat tanah. Bila ada kawat tanah maka menurut persamaan (3.21)

$$V_i' = FP V_i$$

$$= FP \times \frac{30 I_0 h}{y}$$

di mana :

- FP = faktor perisaian
- h = tinggi kawat fasa, m
- y = jarak sambaran petir terhadap saluran, m

Dari persamaan (3.20),

$$FP = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \cdot \frac{h_2}{h_1} \right)$$

Jadi jumlah lompatan api adalah :

$$N_{FL} = 30,6 \text{ IKL} \cdot FP \cdot h \cdot e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP} \cdot h^{0,09}\right)} \cdot \frac{1}{V_{50\%}} \dots\dots(3.31)$$

Tidak semua lompatan api dapat beralih menjadi busur api atau gangguan, dan besarnya gangguan itu tergantung dari besar probabilitas η . Dengan demikian jumlah gangguan karena sambaran induksi adalah :

(a) Tanpa kawat tanah

$$N_i = 30,6 \text{ IKL} \cdot h \cdot e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \cdot h^{0,09}\right)} \cdot \frac{1}{V_{50\%}} \cdot \eta \dots\dots(3.32)$$

(b) Dengan kawat tanah

$$N_i = 30,6 \text{ IKL} \cdot FP \cdot h \cdot e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP} \cdot h^{0,09}\right)} \cdot \frac{1}{V_{50\%}} \cdot \eta \dots\dots(3.33)$$

di mana :

N_i = angka keluaran (*Outage rate*) atau jumlah gangguan terinduksi (gangguan per 100 km per tahun)

IKL = jumlah sambaran petir dalam 1 tahun

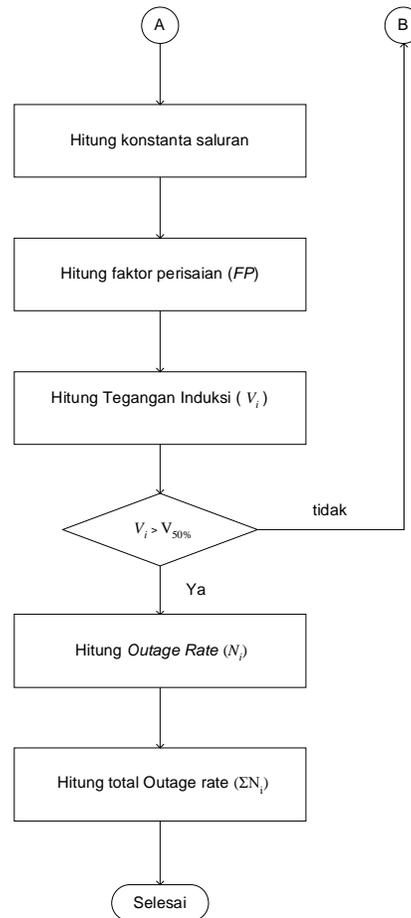
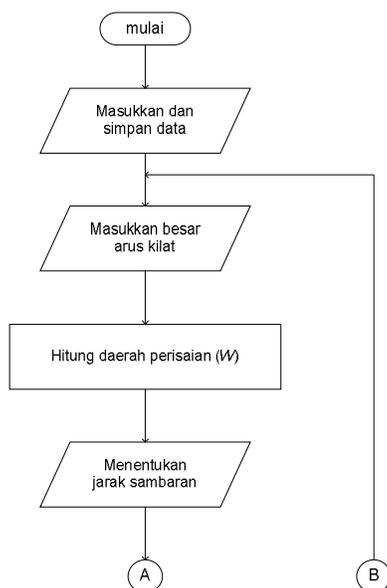
FP = faktor perisaian

h = tinggi kawat fasa, dalam m

η = probabilitas terjadinya busur api

$V_{50\%}$ = Ketahanan impulsi isolator (kV)

3.4 Flowchart Perhitungan *Outage rate*



IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Program Perhitungan

4.1.1 Data masukan

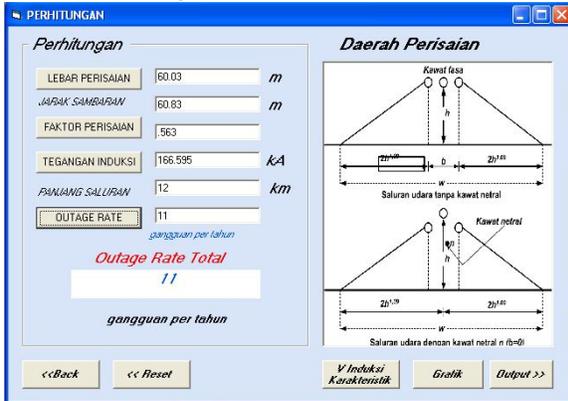
Konfigurasi tiang tipe C₁A

- tinggi kawat fasa (*HF*) : 12 m
- tinggi kawat netral (*HN*) : 11 m
- jari-jari kawat netral (*JR*) : 0,065 m
- jarak pisah antar kawat fasa (*A*) : 0,8 m
- panjang lengan tiang (*B*) : 1,4 m
- tahanan pentanahan (*R*) : 7 ohm

IKL : 154
Arus Kilat : 30-60

Gambar 4.2. Form Input Data

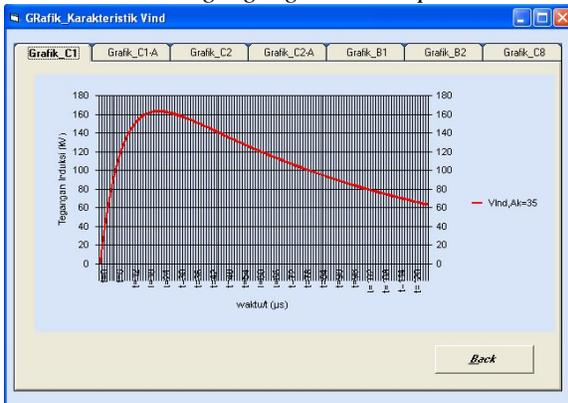
4.1.2 Perhitungan



Gambar 4.4. Form Perhitungan

4.2 Analisa Hasil Program

4.2.1. Gelombang tegangan induksi petir



Gambar 4.9. Grafik karakteristik tegangan induksi

Dari gambar 4.9 ditunjukkan harga tegangan induksi terhadap waktu mengikuti fungsi eksponensial. Hal ini dikarenakan bentuk tegangan induksi impuls petir menyerupai bentuk gelombang tipikal yang mempunyai persamaan

$$e(t) = E (e^{-at} - e^{-bt})$$

dimana : E, a, b adalah konstanta.

4.2.2. Pengaruh perubahan Arus petir dan jarak sambar terhadap besarnya tegangan induksi



Gambar 4.11. Grafik hubungan tegangan induksi dengan jarak sambaran

Dari gambar 4.11 ditunjukkan bahwa harga tegangan induksi berbanding lurus dengan besarnya arus kilat. Sedangkan dengan jarak tempat terjadinya sambaran kilat adalah berbanding terbalik.

4.2.3. Pengaruh konduktor netral terhadap besarnya tegangan induksi petir



Gambar 4.12. Grafik perbandingan tegangan induksi dengan kawat netral dan tanpa kawat netral

Dari gambar 4.12 ditunjukkan bahwa harga tegangan induksi dengan kawat netral lebih kecil daripada tegangan induksi tanpa kawat netral. Dimana pengaruh kawat netral menurunkan harga tegangan induksi. Hal ini dikarenakan pada konstruksi tanpa kawat netral mempunyai harga faktor perisaian = 1, sedangkan harga faktor perisaian konstruksi tiang dengan kawat netral sebesar :

$$FP = 1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1}$$

Dari rumus diatas terlihat bahwa nilai $FP < 1$, dan harga tegangan induksi sebanding dengan harga faktor perisaian

$$V_i = FP \times \frac{30 I_0 h}{y}$$

Dimana : V_i adalah tegangan induksi dan FP adalah faktor perisaian.

4.2.4. Pengaruh perubahan tahanan pentanahan terhadap outage rate



Gambar 4.15. Grafik perbandingan outage rate dengan tahanan pentanahan

Dari gambar 4.15 ditunjukkan bahwa harga tegangan induksi dan harga angka keluaran (*outage rate*) berbanding lurus dengan dengan besarnya tahanan pentanahan. Hal ini dapat dilihat dari rumus

$$FP = 1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1}, \text{ dimana } FR \text{ (faktor}$$

perisaian) berbanding lurus dengan tahanan pentanahan. Hubungan tegangan induksi dengan faktor perisaian juga berbanding lurus seperti telah dibahas diatas. Semakin besar tegangan induksi yang terjadi memungkinkan bertambah besarnya jatuh atau terganggunya penyaluran, yang berarti makin besarnya harga angka keluaran (*outage rate*).

4.2.5. Perbandingan tegangan induksi untuk berbagai konstruksi tiang



Gambar 4.16. Grafik perbandingan tegangan induksi untuk berbagai konstruksi tiang

Dari gambar 4.16 ditunjukkan bahwa harga tertinggi tegangan induksi terjadi pada konfigurasi tiang tipe C8, kemudian C1-A, B1, B2 dan C1. Tingginya tegangan induksi pada masing-masing konstruksi tiang dipengaruhi oleh tingginya konduktor fasa, jenis konstruksi tiang yang mempengaruhi harga faktor perisaian dan jenis isolator yang digunakan

4.3 Studi kasus feeder 04 GI SRL

Berdasarkan single line diagram dan hasil survai lapangan, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.3. Data Konstruksi Tiang Feeder 04 GI SRL

Tipe Konstruksi Tiang	Jumlah	Panjang Saluran
B1 dan B2	76	4,560 km
C1 dan C2	47	2,820 km
C1-A dan C2-A	100	6,000 km
C8	34	2,040 km

Data diatas merupakan pengelompokan konstruksi tiang berdasarkan tipe tiang yang dominan. Ketinggian semua tiang rata-rata adalah 13 m dengan panjang gawang 60 m. Sesuai standar PLN, tahanan pentanahan tiang rata-rata sebesar 7 ohm. Berdasarkan data dari BMG Semarang besarnya IKL daerah Semarang adalah 154.

Dari hasil perhitungan melalui program diatas dapat dibuat tabel hasil perhitungan angka Keluaran (*Outage Rate*) feeder 04 GI SRL, sebagai berikut :

Tabel 4.4. Konstruksi Tiang dan Angka Keluaran (*Outage Rate*)

Konstruksi Tiang	<i>Outage rate</i> (gangguan per 100 km per tahun)
C1 dan C2	35
C1-A dan C2-A	40
B1 dan B2	41
C8	52

Jumlah angka keluaran (*outage rate*) feeder SRL 04 GI Sronдол adalah sebagai berikut :

$$N_T = \left(\frac{1}{L}\right)(N_{t1}.L_1 + N_{t2}.L_2 + \dots + N_m.L_m)$$

$$N_T = \left(\frac{1}{15,42}\right)\{(35 \times 2,82) + (40 \times 6,00) + (41 \times 4,56) + (52 \times 2,04)\}$$

$$N_T = \frac{(98,70 + 240,00 + 186,96 + 106,08)}{15,42}$$

$$N_T = 631,74 / 15,42$$

$$N_T = 40,97 \text{ gangguan per 100 km per tahun}$$

$$N_t = \frac{15,42}{100} \times 40,97$$

$$N_t = 6,32 = 6 \text{ gangguan per tahun}$$

Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa pada konstruksi tiang C1, C2, C1-A dan C2-A *outage rate* atau kegagalan saluran terjadi pada arus petir 60 kA, untuk tipe B1, dan B2 terjadi pada arus petir 55 kA, sedangkan untuk tipe C8 terjadi pada arus petir 50 kA. Dari hasil perhitungan didapatkan total angka keluaran (*outage rate*) feeder SRL 04 GI Sronдол adalah sebesar 6 gangguan per tahun.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah diberikan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Besar tegangan induksi pada feeder Srl 4 GI Sronдол adalah 116 kV - 181kV
2. Total Angka keluaran (*Outage rate*) pada feeder Srl 4 GI Sronдол sebesar 6 gangguan per tahun.
3. Harga tegangan induksi berbanding lurus dengan besarnya arus kilat dan ketinggian kawat fasa. Sedangkan dengan jarak tempat

terjadinya sambaran kilat adalah berbanding terbalik.

4. Harga tegangan induksi dengan kawat netral lebih kecil dari pada tegangan induksi tanpa kawat netral
5. Faktor perisai dipengaruhi oleh besarnya tahanan pentanahan. Makin besar harga tahanan tersebut maka makin besar harga faktor perisainya. Dengan membesarnya harga faktor perisai maka berarti tingkat perlindungannya kurang baik.
6. Harga angka keluaran (*outage rate*) akan naik dengan naiknya tahanan pentanahan.
7. Harga tertinggi tegangan induksi terjadi pada konfigurasi tiang tipe C8, kemudian C1-A, B1, B2 dan C1.

5.2 Saran

1. Tugas akhir ini dapat dilanjutkan dengan mengadakan perhitungan tegangan induksi dan angka keluaran dengan adanya alat-alat pelindung seperti 'lightning arrester'
2. Tugas akhir ini hanya menghitung pada feeder utama, sehingga dapat dilanjutkan perhitungan pada saluran cabang.



Fuad Hidayanto lahir di Magelang tanggal 23 Januari 1984, Saat ini sedang menyelesaikan studi strata 1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan mengambil konsentrasi Tenaga Listrik.

Mengetahui dan menyetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP. 131 668 485

Abdul Syakur, ST, MT
NIP. 132 231 132

DAFTAR PUSTAKA

1. Hutaaruk, T. S, " Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja", Erlangga, Jakarta, 1989
2. Hutaaruk, T. S, "Transmisi Daya Listrik", Erlangga, Jakarta, 1996
3. Sulasno, Ir., " Analisis Sistem Tenaga Listrik", Jilid I, Satya Wacana, Semarang, Mei 1993.
4. Sulasno, Ir., "Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Jilid I, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang
5. Marsudi, Djiteng, Ir, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta, 1980.
6. Pabla, AS., Abdul Hadi, Ir. "Sistem Distribusi Daya Listrik", Erlangga, Jakarta, 1991.
7. Saadat, Hadi, "Power System Analysis", McGraw-Hill Book Company, Columbia.
8. Turan Gonen, " Electric Power Distribution System Engineering", McGraw-Hill, 1986.
9. C. A. Nucci, F. Rachidi, M. V. Ianoz and C. Mazzetti, "Lightning-induced voltages on overhead lines," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 35, no 1, February, 1993, pp. 75-85.
10. ---, "Buku Pedoman Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PLN", PLN Distribusi Jawa Tengah, Semarang, 1992
11. ---, "Kursus Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM", PT PLN Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta, 1997

