

STUDI ANALISIS PEMILIHAN TEGANGAN OPTIMAL UNTUK SALURAN TRANSMISI DAYA LISTRIK

Oleh :

Ir.Sulasno, Ir.Tejo Sukmadi,MT, A.Fauzi
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro²⁰⁰⁶

Abstrak – *Determining of the transmission voltage is represents very important factor in power transmission. By optimal electrical power transmission which include the appropriate voltage, it will be obtained the effective and efficient system. According to Alfred Still that the optimal value of power transmission voltage could be determined with relationship between voltage with power is delivered and the length of transmission line. But, in the real application determining of the optimal transmission voltage is also influenced by the equipments cost factor, such as conductor cost.*

This final assignment will determine the voltage of transmission line from an individual generation, such as uses empirical equation of Alfred Still. Beside of that, it is also used the voltage equation in which the losses and cost factor are not neglected.

In the calculation of the voltage that uses the equation with economic factor, the value of transmission voltage is closer to the PLN and ANSI standard than technical equation, such as Alfred Still equation. Alfred Still equation is used for determining the transmission voltage technically, because it neglects the cost factor.

I. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dalam penyaluran tenaga listrik untuk memperoleh nilai ekonomis dan teknis yang tinggi, maka penentuan tegangan saluran transmisi yang optimal merupakan faktor yang sangat penting. Seiring dengan meningkatnya biaya peralatan listrik tegangan tinggi dan kebutuhan akan optimalisasi penyaluran daya listrik maka pemilihan tegangan transmisi yang optimal sangat dibutuhkan. Apabila tegangan transmisi dinaikkan maka rugi-rugi transmisi menurun dan daya guna (efisiensi) penyaluran daya listrik akan meningkat. Akan tetapi dengan menaikkan tegangan transmisi berarti akan meningkatkan isolasi dan biaya peralatan.

Pemilihan tegangan transmisi yang optimum dapat pula ditentukan dengan menggunakan hubungan antara tegangan dengan daya yang disalurkan dan panjang saluran transmisi. Berdasarkan dua parameter tersebut *Alfred Still* menuliskan persamaan *empiris* untuk menentukan nilai tegangan. Persamaan empiris ini merupakan salah satu latar belakang penulisan tugas akhir ini.

Penggunaan penghantar yang kecil dibatasi oleh kemampuan penyaluran arusnya, sedangkan pertimbangan ekonomis penghantar yang kecil berarti biaya investasi transmisi semakin rendah. Demikian juga dengan sistem tegangan, semakin tinggi tegangan transmisi, maka rugi daya yang disebabkan oleh tahanan semakin kecil. Akan tetapi biaya investasi transmisi menjadi lebih besar karena membutuhkan isolator yang lebih kuat. Oleh karena itu diperlukan optimasi untuk menentukan tegangan transmisi yang optimal agar diperoleh sistem transmisi yang

handal dan ekonomis. Pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan pula daya yang disalurkan, jarak penyaluran, biaya untuk tegangan tertentu dan sistem tegangan yang sesuai dengan standarisasi yang berlaku. Selain itu, penentuan tegangan harus juga disesuaikan dengan standarisasi peralatan yang ada.

1.2. Tujuan

Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan tegangan optimal pada saluran transmisi yang memperhitungkan faktor teknis dan ekonomis pada penyaluran daya listrik tertentu dengan menggunakan rumus-rumus tegangan yang telah ditentukan dalam tugas akhir ini, salah satunya adalah rumus empiris *Alfred Still*.

1.3. Batasan Masalah

Yang dimaksud dengan pemilihan tegangan dalam tugas akhir ini adalah pemilihan tegangan transmisi yang optimal dari pembangkit *terpisah* (pembangkit yang menyuplai satu pusat beban dan tidak terhubung dengan jaringan interkoneksi) menggunakan beberapa persamaan tegangan dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Parameter biaya transmisi dinyatakan dalam US Dollar (1 USD = Rp10.000,00)
2. Dalam tugas akhir ini tidak membahas pondasi tower, design tower dan design isolator.
3. Konduktor sejenis untuk satu kali perhitungan tegangan.
4. Faktor beban dan persentasi biaya pemeliharaan berdasarkan data statistik PLN tahun 2004.
5. Variasi jenis konduktor yang digunakan, besar biaya spesifikasi transmisi dan variasi daya dalam tugas akhir ini

berdasarkan referensi dari *Supreme Cable Manufacturing Corp* (PT. SUCACO) dan PLN-Enjiniring (PLN-E) Jakarta.

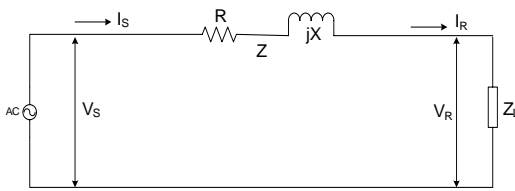
- Standard yang menjadi acuan nilai tegangan adalah SPLN-1 / 1995 dan *American National Standards Institute* (ANSI).

II. Saluran Transmisi Daya Listrik

2.1 Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Panjang Saluran

a. Saluran Transmisi Pendek

Panjang saluran transmisi pendek kurang dari 80 km. Gambar 2.1 menunjukkan diagram pengganti dari saluran transmisi pendek.



Gambar 2.1. Diagram pengganti saluran transmisi pendek

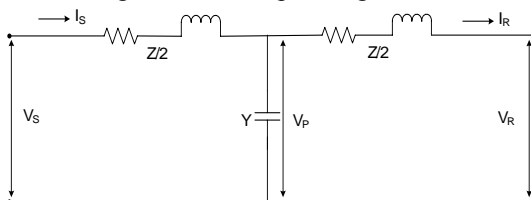
Hubungan tegangan dan arus adalah:

$$V_S = V_R + Z I_R \quad (2.1)$$

$$I_S = I_R$$

b. Saluran Transmisi Menengah

Saluran transmisi menengah dapat digambarkan dengan nominal T (bintang) dan π (delta). Panjang saluran transmisi menengah 80 km sampai dengan 250 km.



Gambar 2.2. Diagram pengganti saluran transmisi menengah nominal T

Hubungan tegangan dan arus sebagai berikut:

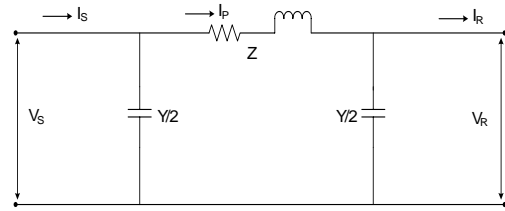
$$V_S = V_R + I_R \frac{Z}{2} + I_S \frac{Z}{2}$$

$$I_S = I_R V_P Y = I_R + \left(V_R + I_R \frac{Z}{2} \right) Y$$

maka:

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R + \left(Z + \frac{Z^2 Y}{4} \right) I_R \quad (2.2)$$

$$I_S = Y V_R + \left(1 + \frac{Z}{2} \right) I_R \quad (2.3)$$



Gambar 2.3. Diagram pengganti saluran transmisi menengah nominal π

Hubungan tegangan dan arus:

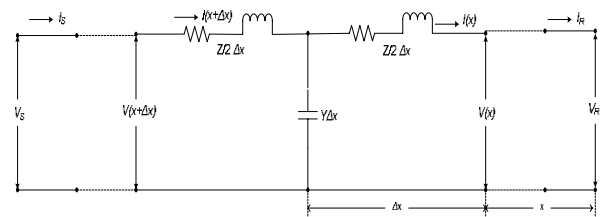
$$V_S = V_R + I_P Z ; I_P = I_R + V_R \frac{Y}{2}$$

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R + Z I_R \quad (2.4)$$

$$I_S = I_P + V_S \frac{Y}{2} ; I_S = I_R + V_R \frac{Y}{2} + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R + Z I_R \frac{Y}{2}$$

$$I_S = \left(Y + \frac{ZY^2}{4} \right) V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) I_R \quad (2.5)$$

c. Saluran Transmisi Panjang



Gambar 2.4. Diagram pengganti saluran transmisi panjang

Hubungan tegangan dan arus :

$$V_R = V_S \cosh \sqrt{ZY} l - I_S Z_k \sinh \sqrt{ZY} l \quad (2.6)$$

$$I_R = I_S \cosh \sqrt{ZY} l - V_S / Z_k \sinh \sqrt{ZY} l \quad (2.7)$$

2.2 Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Tegangan Kerja

Di Indonesia tegangan transmisi yang digunakan adalah 70kV, 150 kV, 245kV, 275kV dan 500 kV. Di negara-negara maju, terutama dalam bidang transmisi, seperti Amerika, Rusia dan Canada, nilai tegangan transmisi mencapai 1000 kV, maka di negara-negara tersebut klasifikasi saluran transmisi berdasarkan tegangannya adalah: tegangan tinggi sampai dengan 138 kV, tegangan ekstra tinggi (*Extra High Voltage*, antara 220 kV – 765 kV dan tegangan ultra tinggi (*Ultra High Voltage*) di atas 765 kV.

Tabel 2.1. Standar tegangan transmisi PLN

Kategori	Rating Tegangan (kV)
Teg. tinggi	di atas 35 kV – 245 kV
Teg. Ekstra Tinggi	di atas 245 – 765 kV

Tabel 2.2. Standar tegangan transmisi ANSI

Kategori	Rating Tegangan (kV)	
	Nominal	Maksimum
Teg. tinggi	34.5	36.5
	46	48.3
	69	72.5
	115	121
	161	169
	230	342
Teg. Ekstra Tinggi	345	362
	400	
	500	550
	765	800
Teg. Ultra Tinggi	1100	1200

2.2 Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan fungsi dalam operasi

Berdasarkan fungsinya dalam operasi, saluran transmisi sering diberi nama *transmisi*, *sub-transmisi* dan *distribusi*.

2.3 Kawat Penghantar

Kawat penghantar yang banyak digunakan pada saluran transmisi di Indonesia adalah penghantar aluminium yang terdiri dari berbagai jenis dengan kode sebagai berikut:

- 1) AAC (*All Aluminium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- 2) AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- 3) ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- 4) ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*), kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Jenis penghantar yang digunakan dalam tugas kahir ini diantaranya DOVE (ACSR; 327.95mm²), ZEBRA (ACSR; 484.5mm²), DRAKE (ACSR; 468.39mm²), GANNET (ACSR; 392.77) dan ACSR (380/50; 431.5 mm²).

III. Persamaan Tegangan

Secara teknis, untuk meningkatkan efisiensi penyaluran daya listrik dapat dilakukan dengan menaikkan tegangan

transmisi. Namun, tegangan saluran yang semakin tinggi dapat mengakibatkan rugi korona.

3.1 Penentuan tegangan berdasarkan daya natural

Untuk kawat panjang:

$$V_S = V_R \cosh \gamma l + Z_k I_R \sinh \gamma l \quad (3.1)$$

$$I_S = I_R \cosh \gamma l + V_R / Z_k \sinh \gamma l \quad (3.2)$$

$$S_R = j \frac{|V_R| |V_S| \sin \delta}{Z_0 \sin \beta l} + j \left[\frac{|V_R| |V_S| \cos \delta}{Z_0 \sin \beta l} - \frac{|V_R|^2 \cos \beta l}{Z_0 \sin \beta l} \right]$$

$$P_R = \frac{|V_R| |V_S| \sin \delta}{Z_0 \sin \beta l} \quad (3.3)$$

Nilai maksimum P_R diperoleh jika $|V_R| = |V_S| = |V|$ dan ujung beban ditutup dengan tahanan yang sama dengan impedansi surja dari saluran. Nilai $|V|^2 Z_0$ disebut daya natural. Sehingga

$$P_R = P_N = \frac{|V|^2}{Z_0} \quad (3.4)$$

$$V = \sqrt{Z_0 \cdot P_N} \quad (3.5)$$

Besar impedansi untuk saluran udara adalah mendekati nilai 400 Ohm, maka:

$$V = \sqrt{\frac{P_N}{2,5}} \quad (kV) \quad (3.6)$$

Dalam tugas akhir ini, persamaan 3.5 disebut sebagai *Rumus 4*.

3.2 Penentuan tegangan menggunakan persamaan empiris Alfred Still

Pemilihan tegangan transmisi yang optimum dapat pula ditentukan dengan menggunakan hubungan antara tegangan dengan daya yang disalurkan dan panjang saluran transmisi. Berdasarkan kedua parameter tersebut, *Alfred Still* merumuskan:

$$V = 5,5 \sqrt{l + \frac{P}{100}} \quad (3.7)$$

$$V = 5,5 \sqrt{l + \frac{S}{150}} \quad (3.8)$$

P dalam kW, S dalam kVA dan l dalam mile. Untuk selanjutnya persamaan 3.7 disebut sebagai *Rumus Alfred Still A* dan persamaan 3.8 disebut sebagai *Rumus Alfred Still B*.

3.3 Analisis tekno-ekonomis

3.3.1 Biaya investasi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya biaya investasi suatu saluran transmisi, yaitu:

1. Faktor biaya setempat yang besarnya tidak tergantung pada besaran listrik, seperti upah kerja dan biaya pembebasan tanah. Pada

daerah yang kering dan gersang serta jauh dari pemukiman, biaya pembebasan tanah relatif kecil. Sebaliknya, untuk saluran transmisi yang melintasi daerah pemukiman, biaya pembebasan tanah cukup tinggi. Variasi biaya pembebasan tanah tidak tergantung pada tegangan kerja saluran transmisi maupun luas penampang penghantar, tetapi tergantung pada lokasi lintasan saluran transmisi sehingga dalam analisis biaya transmisi dianggap sebagai biaya tetap berdasarkan perkiraan biaya rata-rata pembebasan tanah perkilometer. Faktor ini dinyatakan dengan suatu konstanta a .

2. Faktor biaya yang besarnya tergantung pada tegangan kerja, dalam hal ini misalnya isolator. Faktor ini dapat dinotasikan dengan bV , dimana b adalah suatu konstanta dan V adalah tegangan kerja saluran transmisi.
3. Faktor biaya yang besarnya tergantung pada luas penampang konduktor. Faktor biaya ini erat kaitannya dengan menara transmisi, biaya pembuatan pondasi dan biaya penarikan kawat. Faktor ini dapat dinotasikan dengan cA , dimana c adalah suatu konstanta dan A adalah luas penampang penghantar.

Dari beberapa faktor biaya di atas dapat ditulis suatu bentuk persamaan matematis yang menyatakan hubungan fungsional antara biaya investasi transmisi spesifik (persatuan panjang) dengan variabel tegangan dan luas penampang penghantar sebagai berikut:

$$K_s = a + bV + cA \quad (3.9)$$

Biaya investasi total menjadi

$$K_i = (a + bV + cA) \ell \quad (3.10)$$

3.3.2 Biaya Pengusahaan

Jika t_e adalah waktu kerja efektif selama 1 tahun (jam) dan b_e adalah biaya operasi untuk tenaga listrik per-kWH, maka biaya rugi-rugi daya dapat ditulis

$$K_r = \Delta P \cdot t_e \cdot b_e \quad (3.11)$$

Biaya pemeliharaan biasanya dikaitkan dengan biaya investasi. Dalam persamaan dapat ditulis:

$$K_m = k_m \cdot K_i \quad (3.12)$$

Biaya pengusahaan (K_p) = $K_r + K_m$

$$K_p = \Delta P \cdot t_e \cdot b_e + k_m \cdot K_i \quad (3.13)$$

Biaya total tahunan

$$K_t = K_a + K_p \quad (3.14)$$

K_a = biaya investasi tahunan = $(k_a + k_i)K_i$ dengan mensubstitusikan K_a dan K_p ke persamaan (3.14) maka:

$$K_t = (k_a + k_i)K_i + \Delta P \cdot t_e \cdot b_e + k_m \cdot K_i$$

$$K_t = (k_a + k_i + k_m)K_i + \Delta P \cdot t_e \cdot b_e$$

$$K_t = (a + bV + cA)k_t \cdot \ell + \Delta P \cdot t_e \cdot b_e \quad (3.15)$$

$$k_t = k_a + k_i + k_m$$

3.3.3 Optimasi tegangan

$$K_t = (a + bV + cA)k_t \cdot \ell + \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \phi} \cdot \frac{\rho \ell}{A} \cdot t_e \cdot b_e$$

Biaya tahunan akan minimum terhadap tegangan jika:

$$\frac{dK_t}{dV} = 0 \quad , \quad \text{maka nilai tegangannya}$$

menjadi:

$$V = \sqrt[3]{\frac{2P^2}{\cos^2 \phi} \cdot \frac{\rho \cdot t_e \cdot b_e}{A \cdot b \cdot k_t}} \quad (3.16)$$

Dalam tugas akhir ini, persamaan 3.16 disebut sebagai *Rumus 1*.

Untuk mendapatkan bentuk umum dapat dilakukan dengan pendekatan variabel ΔP dan A dalam bentuk η (efisienasi).

$$\Delta P \approx \frac{P(1-\eta)}{\eta} \quad \text{dan} \quad A \approx \frac{P \cdot \rho \cdot \ell}{V^2(1-\eta)}$$

pendekatan di atas disubstitusikan ke persamaan 3.15, diperoleh:

$$K_t = (a + bV + cA)k_t \cdot \ell + \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \phi} \cdot \frac{\rho \ell}{A} \cdot t_e \cdot b_e$$

nilai tegangan pada saat biaya minimum adalah:

$$V = \sqrt[3]{\frac{2c \rho P \ell}{b(1-\eta)}} \quad (3.17)$$

Dalam tugas akhir ini, persamaan 3.17 disebut sebagai *Rumus 2*.

A.T. Starr telah menjelaskan tentang penentuan tegangan tekno-ekonomis dalam bukunya "*Generation, Transmission and Utilization of Electrical Power*", sebagai pendekatan anggaplah sebuah sistem transmisi sepanjang ℓ dan menyalurkan daya sebesar P . Biaya transformer dan switchgear sebesar $(A+B)V$, dimana A dan B adalah konstan dan V adalah tegangan. Biaya isolator sebesar $(C+DV) \ell$. Biaya konduktor sebanding dengan $\ell P/V$, katakanlah $E \ell P/V$. Jadi biaya totalnya (K_{tot}) sebesar:

$$K_{tot} = (A+B)V + (C+DV)\ell + E \frac{P\ell}{V} \quad (3.18)$$

Untuk biaya minimum, adalah

$$\frac{dK_{tot}}{dV} = 0 \rightarrow \frac{dK_{tot}}{dV} = BP + D\ell - E \frac{P\ell}{V^2}$$

$$V = \sqrt{\frac{E.I.P}{(BP + DI)}} \quad (3.19)$$

Dalam tugas akhir ini, persamaan 3.19 disebut sebagai *Rumus 3*.

3.4 Korona

Korona suatu proses konduksi gas di sekitar konduktor akibat terjadinya ionisasi dari molekul udara di sekeliling konduktor tersebut.

Jika tegangan transmisi dinaikkan terus-menerus maka akan timbul cahaya dan suara mendesis (*hissing*) pada konduktor. Semakin tinggi tegangan yang diberikan cahaya yang timbul semakin terang. Dalam keadaan udara lembab, korona menghasilkan asam nitrogen (*Nitrousacid*) yang menyebabkan konduktor berkarat.

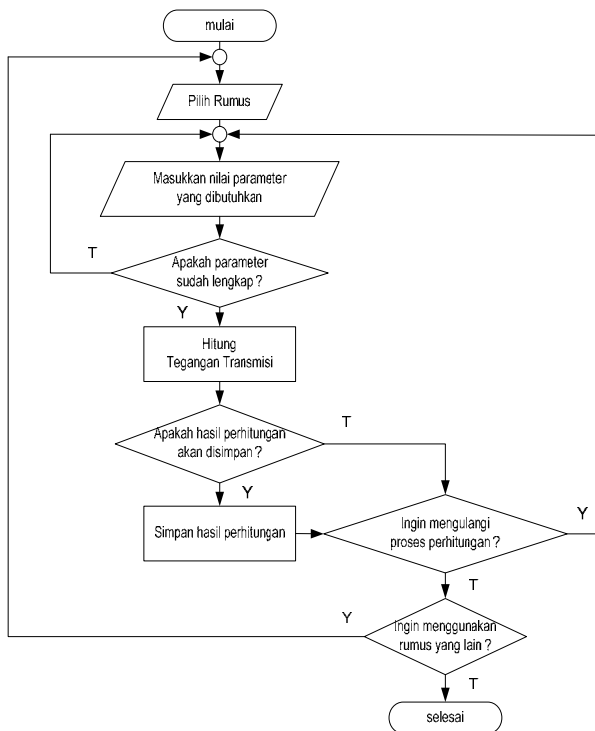
Secara matematis rugi korona ditulis sebagai berikut:

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

$$E = \frac{1 + (n - 1)r/R}{nr \ln \left(\frac{2h}{R(n r'/R)^{1/n} \sqrt{1 + (2h/s)^2}} \right)} V$$

3.5 Diagram alir

Diagram alir utama dalam tugas akhir ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1.

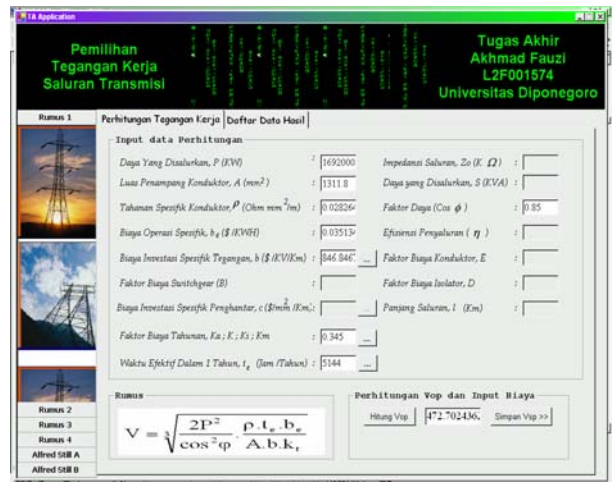


Gambar 3.1 Diagram alir utama

IV. Analisis Penentuan Tegangan Transmisi Daya Listrik

Penentuan nilai tegangan transmisi dalam tugas akhir ini meliputi aplikasi perhitungan dan aplikasi penyimpanan. Dalam aplikasi perhitungan meliputi pengujian beberapa nilai parameter yang dibutuhkan oleh masing-masing persamaan tegangan terutama *Rumus 1* dan *Rumus 2* yang memerlukan perhitungan sekunder, diantaranya pengujian nilai *b*, nilai *c* dan nilai *te*.

Dalam aplikasi penyimpanan, program akan menyimpan hasil perhitungan tegangan termasuk nilai parameter-parameter yang telah dimasukkan. Berikut ditunjukkan contoh perhitungan dan penyimpanan dengan *Rumus 1*.



Gambar 4.1 Tampilan perhitungan tegangan dengan *Rumus 1*

V ₀	P	A	Rho	be	b	kt	te	PF
512.93058786	1912500	1311.8	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
260.5254948	595000	969	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
131.7393822	148750	468.39	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
130.2627474	148750	484.5	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
133.036801	148750	454.79	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
144.6682210	148750	353.7	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
146.0012538	148750	344.1	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
142.6275687	148750	369.1	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
135.3914463	148750	431.5	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
136.6052112	148750	420.1	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
129.7206092	148750	490.6	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
143.3727050	297500	1453.5	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
146.4291149	297500	1364.37	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
143.0838722	297500	1462.32	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
144.9979520	297500	1405.17	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
138.4202312	280500	1405.17	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
158.6309807	280500	936.17	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
137.8575035	280500	1453.5	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
140.7983407	280500	1364.37	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85
137.5797814	280500	1462.32	0.028264	0.035134	846.827	0.345	5144	0.85

Gambar 4.2 Tampilan aplikasi penyimpanan dengan *Rumus 1*

Tabel 4.1 Hasil perhitungan tegangan rata-rata dengan rumus 1

Daya (MVA)	Tegangan Hasil Perhitungan Rata-Rata (kV)
1880	451.619
2250	492.086

700	273.938
500	176.441
350	158.243
175	141.979
330	151.613
165	138.233
174	144.506
348	160.152
140	130.829
280	156.053
129	134.993
258	151.988
50	75.208
53	78.187

Tabel 4.2 Hasil perhitungan tegangan rata-rata dengan rumus 2

Daya (MVA)	Panjang Saluran (km)	Tegangan Hasil Perhitungan Rata-Rata (kV)
1880	1000	415.799
2250	1000	455.962
700	350	257.283
500	225	176.706
350	225	158.469
175	225	142.179
330	225	151.842
165	225	138.457
174	225	143.468
348	225	160.669
140	225	131.004
280	225	157.075
129	225	135.188
258	225	152.259
50	50	73.098
53	53	78.259

Tabel 4.3 Hasil perhitungan tegangan dengan rumus 3

Daya (MVA)	Panjang Saluran (mile)	Hasil Perhitungan Tegangan (kV)
1880	621.5	335.500
2250	621.5	345.337
700	217.525	200.550
500	139.84	163.500
350	139.84	153.760
175	139.84	130.639
330	139.84	151.996
165	139.84	128.491
174	139.84	130.430
348	139.84	153.591
140	139.84	122.404
280	139.84	146.850
129	139.84	119.338
258	139.84	144.175
50	62.15	76.121
53	62.15	77.586

Tabel 4.4 Hasil perhitungan tegangan dengan rumus 4

Daya (MVA)	Tegangan Hasil Perhitungan (kV)
------------	---------------------------------

1880	822.678
2250	900
700	501.996
500	424.264
350	354.965
175	250.998
330	344.674
165	243.721
174	250.279
348	353.949
140	224.499
280	317.490
129	215.499
258	304.762
50	134.164
53	138.130

Tabel 4.5 Hasil perhitungan tegangan dengan rumus Alfred Still A

Daya P (MVA)	Panjang Saluran l (mil)	Tegangan Hasil Perhitungan (kV)
1880	621.5	728.444
2250	621.5	794.583
700	217.525	444.021
500	139.84	374.640
350	139.84	315.464
175	139.84	227.758
330	139.84	306.713
165	139.84	221.701
174	139.84	227.160
348	139.84	314.600
140	139.84	205.779
280	139.84	283.655
129	139.84	198.369
258	139.84	272.893
50	62.15	124.469
53	62.15	127.707

Tabel 4.6 Hasil perhitungan tegangan dengan rumus Alfred Still B

Daya P (MVA)	Panjang Saluran l (mil)	Hasil Perhitungan Tegangan (kV)
1880	621.5	630.819
2250	621.5	687.423
700	217.525	384.378
500	139.84	324.134
350	139.84	273.520
175	139.84	198.801
330	139.84	266.045
165	139.84	193.662
174	139.84	198.293
348	139.84	272.782
140	139.84	180.176
280	139.84	246.367
129	139.84	173.911
258	139.84	237.192
50	62.15	109.377
53	62.15	112.108

Standard ANSI nilai tegangan transmisinya adalah 345 kV.

V. Pernutup

Berdasarkan hasil analisis mengenai penentuan tegangan transmisi di atas, dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut:

5.1. Kesimpulan

1. Hasil penentuan tegangan dengan persamaan empiris *Alfred Still* (tabel 4.9) berbeda cukup jauh dari standard PLN (tabel 2.1 dan tabel 2.2) dan menghendaki penerapan tegangan yang lebih besar daripada tegangan yang telah direncanakan oleh PLN-Enjiniring (PLN-E).
2. Jika mengacu pada Standard ANSI, maka hasil penentuan tegangan dengan persamaan empiris *Alfred Still* masih termasuk yang diizinkan terutama pada perhitungan tegangan ekstra tinggi.
3. Persamaan empiris *Alfred Still* digunakan untuk menentukan tegangan transmisi secara teknis saja, karena persamaan empiris ini tidak memperhitungkan faktor biaya atau ekonomis.
4. Pemilihan tegangan transmisi sangat dipengaruhi oleh daya yang disalurkan dan panjang saluran. Semakin besar daya yang disalurkan dan semakin panjang salurannya maka dibutuhkan nilai tegangan transmisi yang semakin besar pula.
5. Pengaruh rugi korona dalam penyaluran daya listrik bertegangan ekstra tinggi (EHV) cukup signifikan. Dalam tugas akhir ini rugi korona mencapai 1.35%, yaitu pada penyaluran daya 1880 MVA menggunakan penghantar GANNET (ACSR, $3 \times 392.77 \text{ mm}^2$).
6. Rumus yang dipilih untuk menentukan tegangan transmisi adalah rumus 2, karena memperhitungkan faktor biaya dan efisiensi saluran. Dengan menggunakan rumus 2 ini, hasil perhitungan tegangan saluran transmisi dari PLTU Tanjung Jati B ke Ungaran adalah 233,74 kV (tabel 4.10). Apabila PLTU Tanjung Jati B difungsikan sebagai pembangkit terpisah, maka jika mengacu pada SPLN (*SPLN mengacu pada Standard IEC 38; 1983*) nilai tegangan transmisi dari PLTU Tanjung Jati B ke Ungaran adalah 275 kV, atau jika mengacu pada

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan kemudahan dalam penggantian peralatan yang *existing* sebaiknya penggunaan tegangan transmisi disesuaikan dengan SPLN yang diadopsi dari Standard IEC (*International Electrotechnical Commission*) atau disesuaikan dengan Standard internasional yang lain, misalnya ANSI (*American National Standards Institute*).
2. Dalam sistem transmisi daya listrik yang sangat panjang memungkinkan nilai tegangan sisi terima jauh lebih rendah dari sisi kirim karena pengaruh impedansi saluran bersifat induktif yang cukup besar, maka perlu dipasang kapasitor di sisi terima untuk memperbaiki tegangan. Sebagai contoh, pada penyaluran daya listrik 1880 MVA menggunakan konduktor berkas ACSR ($4 \times \text{Dove } 327.95 \text{ mm}^2$), nilai tegangan sisi kirim 288,68 kV (V_{LN}), dengan menggunakan analisis saluran transmisi panjang, nilai tegangan sisi terima 266.212 kV (V_{LN}). Dalam sistem transmisi daya listrik yang sangat panjang, juga memungkinkan nilai tegangan pada saat berbeban lebih besar daripada beban nol karena pengaruh kapasitansi saluran yang cukup besar, maka perlu dipasang reaktor induktif di sisi terima untuk mengkompensasi pengaruh kapasitansi saluran tersebut.
3. Pengaruh stabilitas dan korona pada saluran transmisi tegangan tinggi cukup signifikan, semakin tinggi nilai tegangan transmisinya maka pengaruh stabilitas dan korona semakin besar, maka disarankan ada perhitungan tersendiri tentang stabilitas dan korona.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das Begamudre Rakosh, *Extra High Voltage AC Transmission Engineering*, Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1987.
- [2] Dass, H.K, *Mathematics for Engineers*, First Edition, S. Chad & Company Ltd., New Delhi-110055, 1997.
- [3] Dorf C Richard, *The Electrical Engineering Hand Book*, Second Edition, CRC Press & IEEE Press, 1997.
- [4] Halim Mohammad, Ir, MSIE & OR, *Manajemen*, ITB, Bandung, 1987.
- [5] Hutaeruk T. S., *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1985.
- [6] Kadir Abdul, Prof, Ir, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, PT. Pustaka LP3S, Jakarta, 1993.
- [7] Rusdiyanto Otong, *Studi Perencanaan Saluran Transmisi 150 kV Cikande-Citra Habitat Serang*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 1994.
- [8] Saadat Hadi, *Power System Analysis*, WCB/ McGraw-Hill, 1999.
- [9] Sulasno, Ir, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi II, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 1993.
- [10] Sulasno, Ir, *Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
- [11] Starr A. T., *Generation, Transmission and Utilization of Electrical Power*, Pitman, New York, 1957.
- [12] Tim, *SPLN I*, PT. PLN (Persero) Kantor Pusat, Jakarta, 1995.
- [13] Tim, *Statistik PLN 2004*, PT. PLN (Persero) Kantor Pusat, Jakarta, 2004.
- [14] Tri Setyo, *Studi Perhitungan Kemampuan Daya Hantar Arus Saluran Transmisi 500 kV Bandung Selatan-Ungaran*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 1990.
- [15] Umar Zulkifli, *Studi Pemilihan Sistem Tegangan dan Jenis Penghantar Transmisi EHV*

Suralaya-Gandul, STTN, Jakarta, 1983.

- [16] W.D.Stevensen,Jr, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi IV, Erlangga, Jakarta, 1984.
- [17] Yuningtyastuti, "Korona dan Cuaca", *Transmisi Vol.2 No.1*, 1999.
- [18], *Bare Conductor*, PT Supreme Cable Manufacturing Corp., Jakarta.
- [19], *Overhead Conductors, Comparison of Conductor Materials*, BICC.
- [20], Curve Fitting, http://ft.uns.ac.id/ts/kul_ol/numerik Februari 2006
- [21], *Geografi*, http://maigo.sfc.keio.jp/id/about_Indonesia.html, Mei 2006.

(^_^)



Akhmad Fauzi – L2F001574, Pendidikan SD sampai dengan SMU diselesaikan di Banyuwangi. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro Fakultas teknik

Universitas Diponegoro Semarang dengan konsentrasi *Ketenagaan*.

Semarang, Juni 2006

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Sulasno
NIP 130871629

Ir. Tejo Sukmadi.MT
NIP 131764 876