

TRANSMISI TENAGA LISTRIK



MILIK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG	
DITERIMA TEL :	4-1-2000
SUMBER/KATEGORI :	Hd 1
NOLUP :	14
NOMOR INVENTARIS :	3352/IC/2000-t2(44)
KATEGORI :	621.319 ASI t2

Oleh :

Drs. Aslimeri, MT

Editor :

Drs. Amran Gambut, MA

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

DIP Universitas Negeri Padang

Nomor : 071/XXIII/008/4/--/1999

Tanggal : 1 April 1999

KATA PENGANTAR

Akhir akhir ini ini memang sudah ada usaha penulisan dan pengadaan buku-buku teknik dalam bahasa Indonesia, akan tetapi jumlahnya masih terbatas. Namun bagi Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang khususnya Jurusan Teknik Elektro masih dirasakan keterbatasan-keterbatasan terutama dalam pengungkapan topik terutama dalam pengungkapan topik ataupun materi kuliah yang betul betul sesuai dengan silabus dan materi kuliah yang diterapkan .

Hal ini pulalah yang mendorong penulis untuk menyusun buku ini sebagai buku pegangan dalam mata kuliah transmisi tenaga listrik yang diajarkan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang .

Adapun materi yang dibahas dalam buku ini meliputi karakteristik saluran transmisi, merencanakan saluran transmisi, metode perhitungan rancangan mekanis dan cara merencanakan menara transmisi.

Dengan adanya buku ini diharapkan akan dapat membantu mahasiswa dalam mempelajari transmisi tenaga listrik.

Penulisan buku ini dapat diselesaikan berkat bantuan Proyek Universitas negeri padang . Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pimpinan Universitas Negeri padang dan Drs. Amaran Gambut yang telah bersedia sebagai Editor buku ini .

Akir kata penulis mengharapkan semoga buku ini bermamfaat bagi segala pihak terutama mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

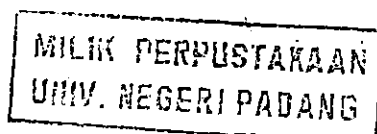
negeri Padang. Kemudian dari itu saran dan kritik yang membangun dari segala pihak sangat diharapkan untuk penyempurnaan buku ini .

Padang Desember 1999

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Sistim Sumber Tenaga Listrik	1
B. Sistim Pendistribusian Tenaga Listrik.....	1
C. Klasifikasi Jaringan Tenaga Listrik	2
D. Persyaratan Saluran Transmisi	3
E. Peralatan Sistim Transmisi	4
1. Menara Transmisi Beserta Pondasinya	4
2. Isolator	9
3. Kawat Penghantar	10
4. Kawat Tanah	11
BAB II KARAKTERISTIK SALURAN TRANSMISI	12
A. Saluran Transmisi Pendek	12
B. Saluran Transmisi Menengah	14
1. Nominal "T"	14
2. Nominal "PI"	15
C. Saluran Panjang	17
D. Konstanta-Konstanta Umum Saluran Transmisi .	22
1. Saluran Pendek	23
2. Saluran Menengah	23
3. Saluran Panjang	25
BAB III MERENCANAKAN SALURAN TRANSMISI	27
A. Kurva Kawat Berbentuk Parabola	30
1. Persamaan Kurva Rentangan	31
2. Tegangan Pada Titik Ikat	33
3. Panjang Rentangan Kawat	35
B. Kurva Kawat Berbentuk Hyperbola	37



1. Persamaan Kurva Rentangan	37
2. Andongan	40
3. Tegangan Pada Titik Ikat	41
4. Panjang Kurva Kawat	42
C. Kawat Dijumpa Pada Titik Ikat Tidak Sama Tinggi	44
1. Titik Ikat Tidak Sama Tinggi Sebagai bagian Dari Span Rata	44
2. Kurva Merupakan Bagian Setengah Kurva Hyperbola	47
3. Tegangan Pada Titik Ikat	52
D. Pengaruh Perubahan Temperatur	52
E. Pengaruh Angin	55

BAB IV METODE PERHITUNGAN RANCANGAN MEKANIS SALURAN TRANSMISI 58

A. Perhitungan Untuk Span Rata	61
1. Perhitungan pada Kondisi Suhu Pemasangan.	62
2. Perhitungan Pada Kondisi Paling Dingin.	64
3. Perhitungan Pada Kondisi Paling Panas	67
B. Perhitungan Untuk Span Miring	68
1. Perhitungan Pada Kondisi Suhu Pemasangan.	69
2. Perhitungan Pada Kondisi Paling Dingin.	70
3. Perhitungan Pada Kondisi Paling Panas	72
C. Perhitungan Untuk Span Terjal	73
1. Perhitungan Pada Kondisi Suhu Pemasangan	75
2. Perhitungan Pada Kondisi Paling Dingin.	77
3. Perhitungan Pada Kondisi Paling Panas	79

BAB V PERENCANAAN MENARA TRANSMISI 80

A. Pembebanan Menara Transmisi	80
1. Pembebanan Vertikal	80
2. Pembebanan Tranversal	80
3. Pembebanan Longitudinal	81

B. Metode Penentuan Tinggi Menara	84
1. Penentuan Tinggi Menara Untuk Span Datar .	86
2. Penentuan Tinggi Menara Untuk Span Miring	87
3. Penentuan Tinggi Menara Untuk Span Terjal	88

DAFTAR PUSTAKA	103
--------------------------	-----

BAB I

PENDAHULUAN

A. SISTEM SUMBER DAYA TENAGA LISTRIK

Tenaga listrik banyak digunakan karena tenaga listrik itu dapat dengan mudah ditransportasikan atau disalurkan dan juga mudah diatur. Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat listrik tenaga seperti PLTA, PLTU, PLTP, PLTG, PLTD, PLTN dll

Pusat-pusat tenaga listrik bertenaga besar umumnya terletak jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan atau pusat-pusat beban (load centre). Karena itu tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi. Karena tegangan generator pada umumnya antara 6 KV sampai 24 KV, maka tegangan ini biasanya dinaikkan dengan pertolongan transformator daya ke tingkat yang lebih tinggi antara 30 KV sampai 500 KV.

Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini selain memperbesar daya hantar dari saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, juga untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Sudah jelas, dengan mempertinggi tegangan, isolasi pun lebih tinggi, dengan demikian biaya peralatan juga tinggi.

B. SISTEM PENDISTRIBUSIAN TENAGA LISTRIK

Tegangan generator-generator yang biasanya berkisar diantara 13,8 KV sampai 24 KV, tegangan generator dinaikkan ke tingkat penyaluran dalam daerah antar 115 KV sampai 500 KV

Dalam pendistribusian tenaga listrik dikenal dengan distribusi langsung dan distribusi tak langsung.

Distribusi langsung artinya tegangan tenaga listrik yang berasal dari pembangkit disalurkan langsung ke sumber-sumber beban tanpa harus dinaikkan dengan menggunakan saluran transmisi. Sedangkan distribusi tak langsung tenaga listrik dinaikkan melalui saluran transmisi dan setelah itu diturunkan lagi untuk pemakaian ke pusat-pusat beban.

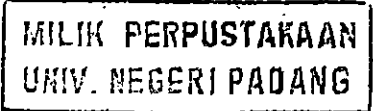
Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan pada gardu induk (GI), dimana tagangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah, misalnya dari 500 KV ke 150 KV atau dari 150 KV ke 70 KV. Kemudian penurunan kedua dilakukan pada gardu distribusi dari 150 KV ke 20 KV atau dari 70 KV ke 20 KV. Tegangan 20 KV ini disebut dengan distribusi primer.

Ada dua kategori saluran transmisi yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran tanah (*underground cable*). Saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang tergantung pada menara (tiang) transmisi dengan perantaraan isolator-isolator. Sedangkan saluran tanah dengan cara kabel-kabel yang ditanam di bawah permukaan tanah.

C. KLASIFIKASI JARINGAN TENAGA LISTRIK

Klasifikasi jaringan tenaga listrik berdasarkan fungsi operasional (pemakaian) dibagi atas:

1. Transmisi, digunakan untuk menyalurkan daya besar dari pusat-pusat pembangkit ke daerah beban atau antara dua atau lebih sistem.
2. Sub-Transmisi adalah transmisi percabangan dari saluran tinggi ke saluran yang lebih rendah.



3. Distribusi, merupakan tegangan yang lebih rendah untuk penyaluran tenaga listrik ke pusat beban. Di Indonesia tegangan distribusi yang digunakan sekarang adalah 20 KV.

Untuk keperluan analisa atau perhitungan jaringan transmisi dibagi dalam 3 kelas yaitu:

1. Transmisi saluran pendek (kecil dari 80 Km)
2. Transmisi saluran menengah (80 sampai 250 Km)
3. Transmisi saluran panjang (besar dari 250 Km).

Di Indonesia standar tegangan transmisi adalah 66 KV, 150 KV, 380 KV, dan 500 KV, sedangkan standart tegangan transmisi di Amerika dan Eropa adalah:

1. Tegangan Tinggi (HV) adalah berkisar 138 KV
2. Tegangan Ekstra Tinggi (EHV) adalah antara 220 KV sampai 765 KV
3. Tegangan Ultra Tinggi (UHV) adalah di atas 765 KV.

D. PERSYARATAN SALURAN TRANSMISI

Apabila tegangan tranmisi di tinggikan, maka daya guna penyaluran akan naik oleh karena rugi-rugi transmisi turun, namun peninggian tegangan transmisi berarti juga menaikkan isolasi dan biaya peralatan dan gardu induk. Oleh karena itu pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan jaringan (*reliability*), biasanya peralatan untuk tegangan tertentu serta tegangan-tegangan yang sekarang ada dan yang direncanakan. Kecuali itu, penentuan tegangan harus juga dilihat dari segi standarisasi peralatan yang ada. Penentuan tegangan merupakan bagian dari perancangan sistem secara keseluruhan.

E. PERALATAN SISTEM TRANSMISI

Peralatan utama sistem transmisi terdiri dari:

1. Menara transmisi beserta pondasinya
2. Isolator-isolator
3. Kawat penghantar
4. Kawat tanah

1. Menara Transmisi beserta pondasinya

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi. Ada beberapa macam bangunan penopang saluran transmisi yang sering digunakan yaitu Menurut Arismunandar (1979:33)

- a. Menara baja
- b. Tiang baja
- c. Tiang beton bertulang

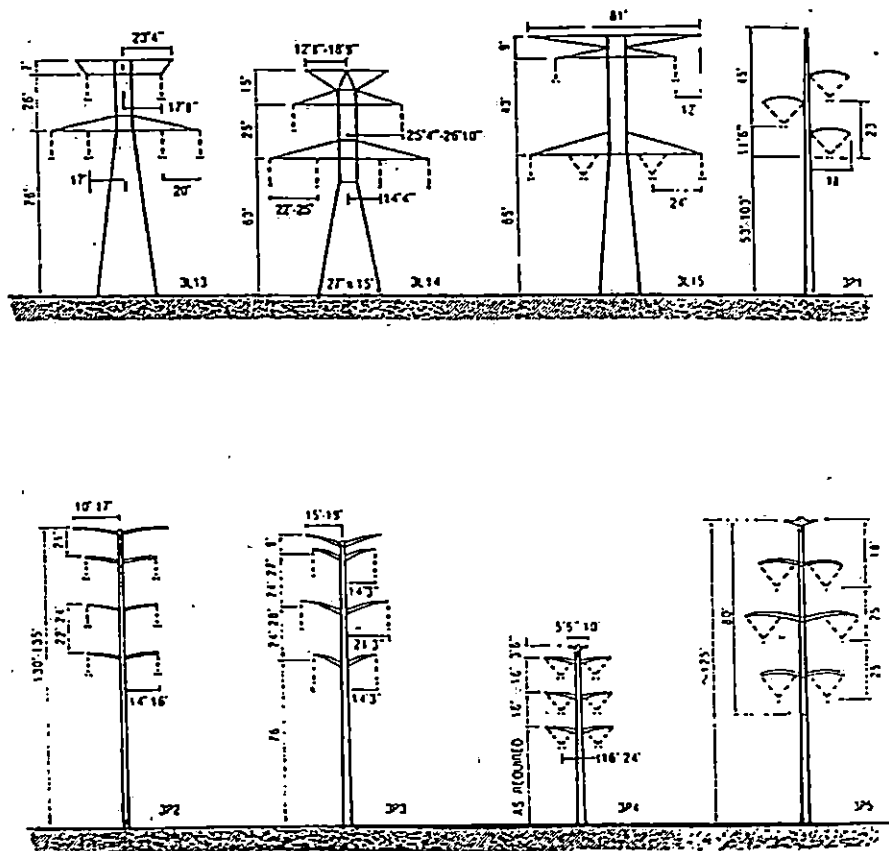
a. Menara baja

Menara baja adalah bangunan tinggi terbuat dari baja yang bahagian kakinya mempunyai pondasi sendiri-sendiri. Menara baja untuk saluran transmisi dibagi menurut bentuk dan sifat konstruksinya yaitu: menara persegi panjang, menara jenis korset, menara gontai, menara rotari, menara MC dan menara bertali (*Guyed tower*).

Jenis menara yang paling banyak dipakai untuk saluran transmisi adalah menara baja persegi. Menara persegi panjang banyak dipakai untuk saluran tunggal dan untuk gawang yang lebar. Menara gontai digunakan bila saluran menyeberangi jalan kereta api, jalan raya, serta kanal-kanal air.

Menara baja menurut konstruksinya dikelompokkan atas menara baja kaku (*rigid*),

lentur (fleksibel) dan setengah lentur (semi fleksibel), Menara kaku direncanakan untuk menahan beban mendatar. Sedang menara lentur dan setengah lentur direncanakan untuk memikul beban yang sedikit sekali pada arah kawat.



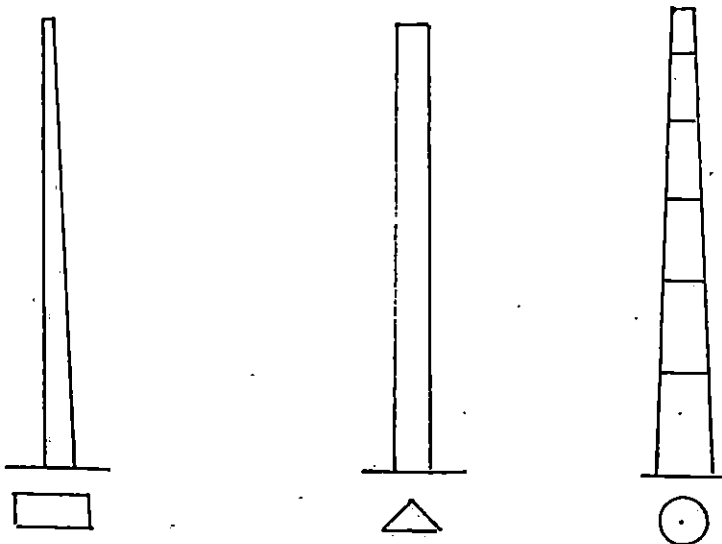
Gambar 1. Menara Transmisi (Turan Gonen, 1988:58)

Menara baja terdiri dari menara baja standar dan menara khusus. Menara baja standar antara lain: menara singgung (*tangent tower*) diterapkan bila sudut mendatar kurang dari 3° . Menara sudut (*angle tower*). Menara sudut kecil, ditetapkan bila sudut mendatar kurang dari 20° . Menara sudut

ditetapkan sudut mendatar kurang dari 30° . Menara ujung (*Dead end tower*) digunakan untuk merentang kawat di ujung jaringan. Menara penegang (*tention tower*) digunakan untuk memperkuat tegangan kawat. Menara khusus, menara ini digunakan kalau menara standar tidak bisa digunakan.

b. Tiang baja

Tiang baja mempunyai satu pondasi untuk semua bagian kakinya. Tiang baja terdiri dari tiang persegi, tiang segitiga, tiang pipa baja dan tiang panzer seperti gambar 2.



Gambar 2. Tiang Baja (Arismunandar, 1975:8)

Tiang baja persegi banyak digunakan karena tiang ini cukup kuat. Tiang baja segitiga adalah konstruksi yang terdiri dari tiga kaki yang mempunyai bagian-bagian segitiga sama sisi dan diagonal seperti pada tiang persegi. Tiang jenis ini dipakai pada kawat transmisi beban ringan. Tiang pipa baja dibuat dari pipa dengan penampang

bulat. Tiang panzer terbuat dari plat-plat baja tipis ditempat penopang.

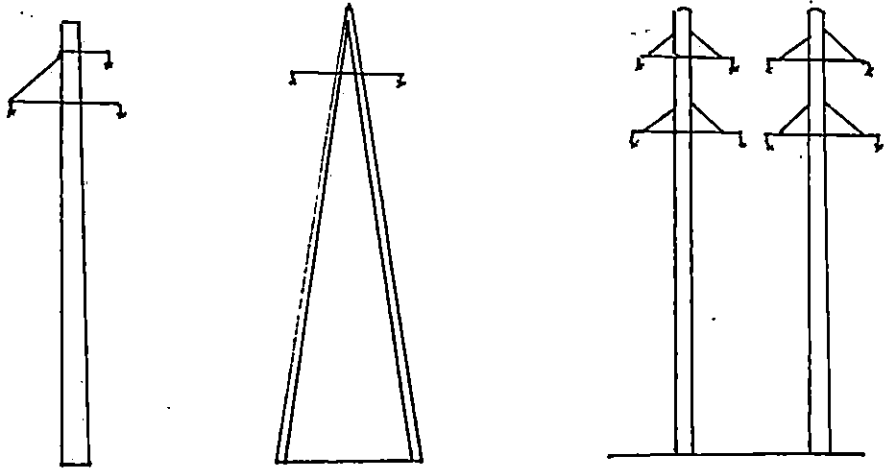
Tiang-tiang baja ini terbagi menurut karakteristiknya menjadi tiang kaku, tiang lentur dan tiang setengah lenter, sedangkan penggunaan masing-masing sama dengan menara baja.

c. Tiang Beton Bertulang

Tiang beton bertulang umumnya digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan yang relatif rendah, (dibawah 70 KV).

Tiang beton bertulang dapat diklasifikasikan menurut cara pembuatannya dan menurut cara menghimpunnya. Dan biasanya diklasifikasikan dari pembuatannya di pabrik .

Jenis tiang beton bertulang terdiri dari jenis H dan jenis A dan jenis gerbong kuil. Tiang beton bertulang umumnya digunakan untuk tiang transmisi saluran tunggal. Lihat gambar 3.



Gambar 3. Jenis-jenis Tiang Baja Bertulang dan Tiang Kayu Menurut Cara Menghimpunnya.

(Arismunandar.1975.9)

STAKAAN RI PADANG

d. Tiang Kayu

Berdasarkan pertimbangan bahwa kayu untuk penopang saluran transmisi saluran mempunyai keuntungan-keuntungan. Dibandingkan dengan tiang jenis lain tiang kayu ini mempunyai keuntungan antara lain:

- Harga jauh lebih murah
- Isolasinya baik terhadap petir
- Biaya pemeliharannya jauh lebih murah

Cara mengklasifikasikan tiang kayu sama dengan tiang beton bertulang. Penggunaan tiang kayu bentuk A dan bentuk H dipakai bila dikehendaki kekuatan yang lebih besar (3-5 kali) dibanding dengan tiang tunggal. Hal ini telah dilakukan di Amerika Serikat dengan tiang kayu bentuk H dapat dipakai pada saluran dengan kelas 110 KV, 135 KV, 154 KV, dan 230 KV. Berdasarkan atas pengalaman itu maka jenis H dan A telah dipakai untuk saluran dengan tegangan 230 KV.

2. Isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas menurut konstruksinya dikenal tiga jenis isolator yaitu:

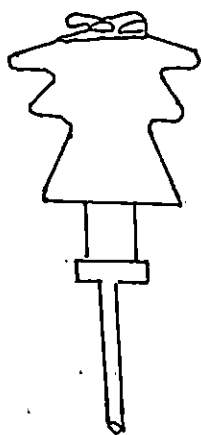
- Isolator pasak
- Isolator pos saluran
- Isolator gantung seperti gambar 4

Isolator jenis pos saluran biasanya digunakan pada jaringan transmisi dengan tegangan kerja 22 KV-33 KV. Sedangkan isolator gantung dapat digandeng menjadi rentetan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan. Menurut R.T. Lythall

isolator gantung dikenal dua jenis isolator yaitu jenis *clevis* dan *ball and socket*, masing-masing terbuat dari porselin dengan tutup (*cap*) disatu pihak dengan tangkai dari baja, yang keduanya diikatkan pada porselinnya dengan semen berkualitas baik. Jenis pasak post saluran terbuat dari porselin yang bahagian bawahnya diberi tutup (*thimble cap*) besi cor yang disemenkan pada porselin serta pasak baja yang disekrupkan.

(a) jenis *clavis*(b) jenis *ball dan socket*

Gambar 4. Isolator Gantung (Hutaaruk, 1985:5)

Gambar 5.
Isolator PasakGambar 6.
Isolator Pos Saluran

(Sudibyono, 1990:4)

3. Kawat Penghantar

Penghantar yang banyak dipakai untuk saluran transmisi adalah kawat tembaga dengan konduktivitas antaranya adalah 97,5%, konduktivitas 100% dan alumunium 61%. Ada beberapa macam penghantar yang dipakai untuk jaringan transmisi yaitu:

- a. Penghantar alumunium
- b. Penghantar tembaga
- c. Penghantar tembaga berinti baja
- d. Penghantar alumunium berinti baja
- e. Penghantar tembaga kadium
- f. Penghantar baja.

Penghantar tembaga ada yang berbentuk pejal (*solid*) berbentuk berbelit (*Stranded*) dan berbentuk berongga.

Ada beberapa macam kawat tembaga yaitu:

- Kawat tembaga tarikan (*hard drawn copper wire*), banyak dipakai sebagai saluran transmisi saluran udara, kawat ini mempunyai daya hantar yang baik,
- Kawat tembaga berlapis (*Coaled copper wire*) sebagai kawat pelindung dapat dipakai timah putih, timbal, atau perak,
- Kawat tembaga campuran (*Copper alloy wire*) kawat ini dapat dibuat dari logam atau tembaga tarikan, juga kawat tembaga kadium.

Penghantar alumunium sangat rapuh tetapi ringan meskipun daya hantar arusnya kurang baik. Ada beberapa macam kawat alumunium sebagai berikut:

- Kawat alumunium tarikan (*hard drawn alumunium wire*) mempunyai kekuatan mekanis lebih baik dari alumunium murni,

- Kabel alumunium berinti baja (*alumunium cable steel reinforced*), mempunyai kekuatan tarik yang tinggi, tetapi daya hantar listriknya rendah, kawat ini lebih dikenal dengan ACSR,
- Kawat baja mempunyai kekuatan tarik yang besar dan bisanya digunakan sebagai kawat tanah.

Macam-macam kawat menurut konstruksinya, dapat dibagi menjadi:

- a. Kawat pejal (*solid wire*) adalah kawat tunggal pejal berpenampang bulat dan hanya untuk kawat yang berpenampang kecil.
- b. Kawat berlilit (*standed konduktor*) terdiri dari satu atau lebih inti dengan beberapa lapis kawat lain, kawat ini agak lentur dibandingkan kawat pejal,
- c. Kawat berongga (*hallow condutor*) ialah kawat berongga didalamnya, biasanya digunakan untuk menyalurkan daya yang besar dengan arus yang besar, rongga pada kawat ini selain untuk memperbesar luas penampang kawa juga digunakan untuk melewatkan udara atau gas sebagai bahan pendingin dari kawat tersebut.

4. Kawat Tanah

Kawat tanah yang juga disebut kawat pelindung gunanya untuk melindungi kawat-kawat fase terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah dipasang di atas kawat fase, sebagai kawat tanah biasanya digunakan kawat baja.

BAB II

KARAKTERISTIK SALURAN TRANSMISI

Untuk keperluan analisa jaringan transmisi, jaringan transmisi bisa dikelompokkan atas:

1. Jaringan pendek apabila panjang jaringannya kurang dari 80 Km,
2. Jaringan menengah apabila panjang jaringannya antara 80-250 Km,
3. Jaringan panjang apabila panjang jaringannya lebih besar dari 250 Km.

Klasifikasi ini didasarkan atas besarnya kapasitansi terhadap tanah. Jadi bila kapasitansi kecil, dengan sendirinya arus bocor ke tanah juga kecil bila dibandingkan terhadap arus beban. Dengan sendirinya untuk jaringan pendek ini kapasitansi terhadap tanah bisa diabaikan. Tapi bila kapasitansi agak besar tidak bisa diabaikan. Bila kapasitansi besar sekali sehingga tidak mungkin lagi dianggap kapasitansi terpusat, dan harus dianggap terbagi rata sepanjang saluran maka dalam hal ini dinamakan jaringan panjang.

Selain panjang jaringan dan tegangan yang sangat tinggi juga akan mempengaruhi rugi tegangan yang disebabkan kapasitansi, sebab tegangan yang tinggi akan memperbesar arus bocor dan korona. Menurut I.J. Nagrath (1980:37).

A. SALURAN TRANSMISI PENDEK

Untuk menganalisa jaringan transmisi pendek dapat dibuat diagram pengganti seperti gambar 7, pada jaringan ini kapasitansi yang terjadi pada saluran diabaikan.

Dari gambar 7 dapat kita lihat hubungan tegangan dan arus pada jaringan pendek:

$$V_S = V_R + Z \cdot I_R \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

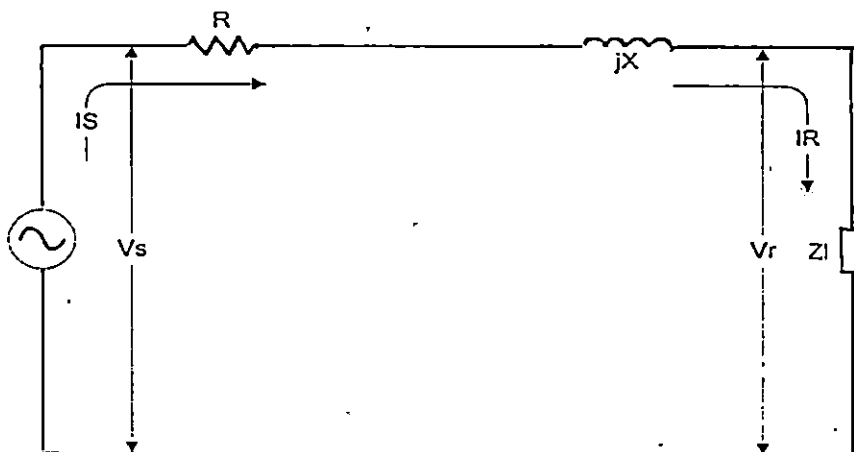
V_S = tegangan listrik pada ujung pengirim

I_S = arus pada ujung pengirim

V_R = tegangan pada ujung penerima atau ujung beban

I_R = arus pada ujung penerima atau ujung beban

$Z = R + jX =$ impedansi saluran.



Gambar 7. Diagram Pengganti Saluran Pendek (Turhan Gonen, 1988:76)

Untuk jaringan ini besarnya arus yang mengalir pada ujung pengirim dianggap sama dengan arus pada ujung penerima.

$$I_S = I_R$$

Suatu jaringan yang baik apabila perbandingan antara tegangan tanpa beban dengan tegangan pada beban penuh tidak begitu besar yang disebut dengan Voltage Regulasi. Menurut Hutauruk, T.S (1985.10) yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$VR(\%) = \frac{V_{R(NL)} - V_{R(FL)}}{V_{R(FL)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

$V_{R(NL)}$ = tegangan ujung penerima pada beban nol

$V_{R(FL)}$ = tegangan ujung penerima pada beban penuh

Untuk kawat pendek:

$V_{R(NL)} = V_S$ dan $V_{R(FL)} = V_R$

maka:

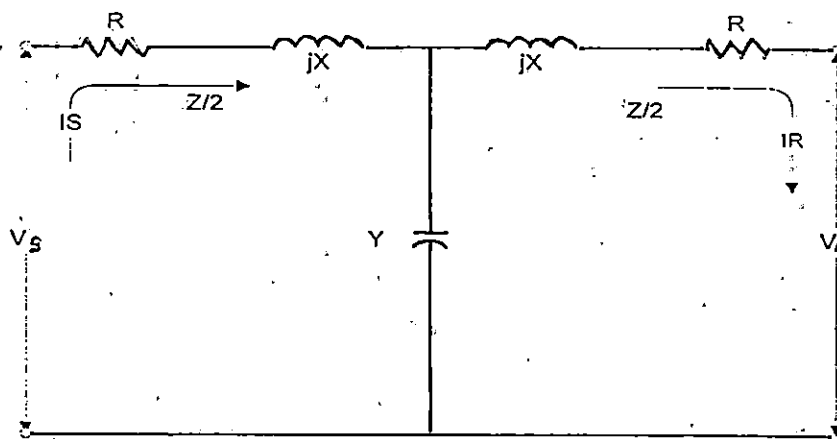
$$V_R(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\%$$

B. SALURAN MENENGAH

Untuk menganalisa jaringan transmisi menengah bisa dilakukan dengan dua cara yaitu dengan nominal T dan nominal PI.

1. Nominal T

Untuk menganalisa jaringan transmisi menggunakan T dapat dibuat diagram pengganti seperti gambar 8.



Gambar 8. Diagram Pengganti Saluran Menengah,
Nominal T (Nagrath, 1991:119)

Dari gambar 8 dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

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

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

Dimana:

V_S = tegangan listrik pada ujung pengirim

V_R = tegangan listrik pada ujung penerima

I_S = arus pada ujung pengirim

I_R = arus pada ujung penerima

V_P = tegangan pada titip P

Z = impedansi saluran

Y = admitansi

Dari persamaan di atas didapat:

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

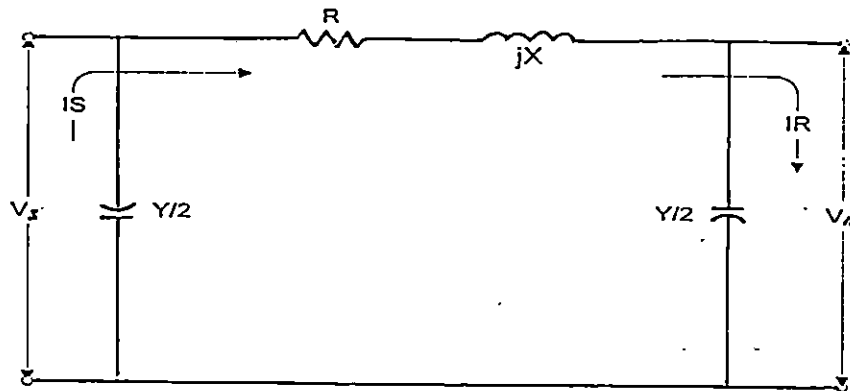
$$V_S = V_R + I_R \cdot \frac{Z}{2} + V_R \cdot \frac{Z}{2} + \frac{Z}{2} \cdot I_R + \frac{Z^2 \cdot Y}{4} \cdot I_R$$

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

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

2. Nominal "PI"

Untuk menganalisa jaringan transmisi menggunakan nominal "PI" dapat dibuat diagram pengganti seperti gambar 9.



Gambar 9. Diagram Pengganti Saluran Menengah, Nominal "PI" (Nagrath, 1991:120)

Dari gambar 9 dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$V_s = V_r + I_r \cdot Z$$

$$I_s = I_r + V_r \cdot \frac{Y}{2}$$

$$V_s = V_r + \left(I_r + V_r \frac{Y}{2} \right) \cdot Z$$

$$V_s = \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right) \cdot V_r + Z \cdot I_r$$

$$I_s = I_r + \frac{Y}{2} V_s$$

$$I_s = I_r + \frac{Y}{2} \cdot V_r + \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right) \cdot V_r + Z \cdot I_r \cdot \frac{Y}{2}$$

$$I_s = \left(Y + \frac{Z \cdot Y^2}{4} \right) V_r + \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right) \cdot I_r \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

$$V_s = \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right) \cdot V_r + Z \cdot I_r$$

Voltage regulasi untuk nominal "T" dan "PI" adalah:

$$VR(\%) = \frac{V_{R(NL)} - V_{R(FL)}}{V_{R(FL)}} \times 100\%$$

$$V_{R(NL)} = \frac{V_s}{1 + \frac{Z \cdot Y}{2}} \quad V_{R(FL)} = V_r$$

Jadi:

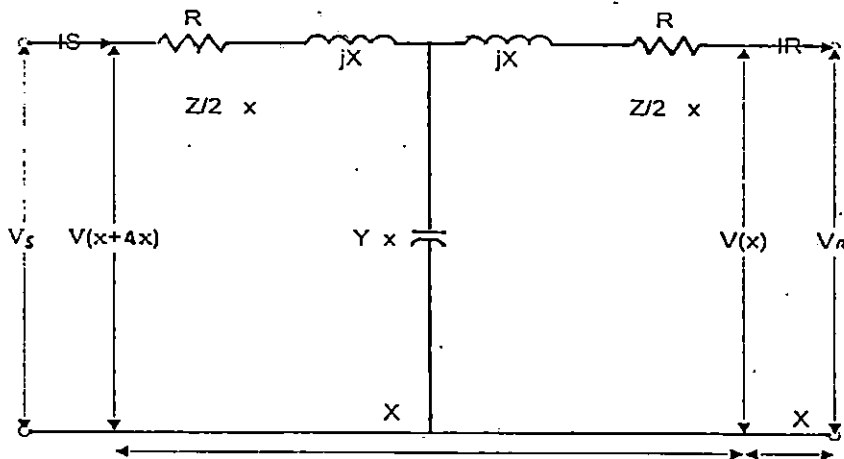
$$VR(\%) = \frac{\left(\frac{V_s}{1 + \frac{Z \cdot Y}{2}} \right) - V_R}{V_R} \dots \dots \dots (2.5)$$

VR = voltage regulasi

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

C. SALURAN PANJANG

Saluran panjang merupakan jenis saluran transmisi yang panjang salurannya melebihi 250 Km. Pada saluran panjang semua aspek diperhitungkan seperti kapasitansi, admitansi, panjang gelombang daya karakteristik dan lain-lain. Untuk menganalisa jaringan panjang dibuat diagram pengganti seperti gambar 10.



Gambar 10. Saluran Panjang (Turan Gonen, 1988:99)

Kalau dimisalkan:

Z = impedansi per satuan panjang

Y = admitansi shunt per satuan panjang

Δx = bagian kecil dari jaringan transmisi yang jaraknya x dari ujung penerima.

Maka:

$$V(x + \Delta x) = \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} (\Delta x)^2\right) \cdot V(x) + Z \Delta x \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4} (\Delta x)^2\right) \cdot I(x)$$

$$I(x + \Delta x) = Y \cdot \Delta x \cdot V(x) + \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} (\Delta x)^2\right) \cdot I(x)$$

$$\frac{\Delta V(x)}{\Delta x} = \frac{Z \cdot Y}{2} V(x) \Delta x + Z \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4} (\Delta x)^2\right) \cdot I(x)$$

$$\frac{\Delta I(x)}{\Delta x} = Y \cdot V(x) + \frac{Z \cdot Y}{2} I(x) \cdot \Delta x$$

$V(x)$ dan $I(x)$ adalah kenaikan tegangan dan arus bila bergerak dari titik x ke titik $(\Delta x + x)$ yaitu sejauh Δx .

Bila Δx dibiarkan menjadi kecil sekali, sehingga mendekati nol, maka:

$$\frac{\Delta V(x)}{\Delta x} \text{ mendekati } \frac{dV(x)}{dx}$$

$$\text{dan } \frac{dV}{dx} = ZI$$

$$dI/dx = Y \cdot V$$

Jika persamaan diatas dideferensialkan lagi teradap x

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = Z \cdot \frac{dI}{dx} \quad \frac{d^2 V}{dx^2} = Z \cdot Y \cdot V$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} = Y \cdot \frac{dV}{dx} \quad \frac{d^2 I}{dx^2} = Z \cdot Y \cdot I$$

Misalkan solusi dari persamaan diferensial tingkat dua adalah

$$V = A \cdot e^{mx}$$

maka

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = A \cdot m^2 \cdot e^{mx} = Z \cdot Y \cdot A \cdot e^{mx}$$

$$m^2 = Z \cdot Y$$

$$m_1 = \sqrt{Z \cdot Y} ; m_2 = \sqrt{Z \cdot Y}$$

Maka:

$$V = A_1 \cdot e^{\sqrt{ZY}x} + A_2 \cdot e^{-\sqrt{ZY}x} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan cara yang sama di dapat

$$I = B_1 \cdot e^{\sqrt{ZY}x} + B_2 \cdot e^{-\sqrt{ZY}x} \dots \dots \dots (2.7)$$

Pada $x=0$

$$V = V_R \text{ dan } I = I_R$$

$$\left. \frac{dV}{dx} \right|_{x=0} = Z \cdot I_R \quad \text{dan} \quad \left. \frac{dI}{dx} \right|_{x=0} = Y \cdot V_R$$

$$\frac{dV}{dx} = A_1 \cdot \sqrt{ZY} \cdot e^{\sqrt{ZY}x} + A_2 \cdot \sqrt{ZY} \cdot e^{-\sqrt{ZY}x}$$

$$\left. \frac{dV}{dx} \right|_{x=0} = A_1 \cdot \sqrt{ZY} + A_2 \cdot \sqrt{ZY} = Z \cdot I_R$$

$$\frac{dI}{dx} = B_1 \cdot \sqrt{ZY} + B_2 \cdot \sqrt{ZY} = Y \cdot V_R$$

Untuk $x = 0$

$$V_x = 0 = V_R = A_1 + A_2$$

$$I_x = 0 = I_R = B_1 + B_2$$

Dari persamaan di atas diperoleh

$$A_1 = \frac{1}{2} \left(V_R + \sqrt{\frac{Z}{Y}} \cdot I_R \right)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \left(V_R - \sqrt{\frac{Z}{Y}} \cdot I_R \right)$$

Maka:

$$V = \frac{1}{2} \left(V_R + \sqrt{\frac{Z}{Y}} \cdot I_R \right) \cdot e^{\sqrt{ZY}x} + \frac{1}{2} \left(V_R - \sqrt{\frac{Z}{Y}} \cdot I_R \right) \cdot e^{-\sqrt{ZY}x}$$

$$I = \frac{1}{2} \left(V_R + \sqrt{\frac{Y}{Z}} \cdot V_R \right) \cdot e^{\sqrt{ZY}x} + \frac{1}{2} \left(V_R - \sqrt{\frac{Y}{Z}} \cdot V_R \right) \cdot e^{-\sqrt{ZY}x}$$

Karena:

$$\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2} \quad \text{dan} \quad \sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

Maka:

$$V = V_R \cosh \sqrt{ZY} + \sqrt{\frac{Z}{Y}} I_R \sinh \sqrt{ZY} x$$

$$I = I_R \cosh \sqrt{ZY} + \sqrt{\frac{Z}{Y}} V_R \sinh \sqrt{ZY} x$$

$$\sqrt{\frac{Z}{Y}} = Z_k = \text{Impedansi karakteristik.}$$

Misalkan panjang kawat itu L, maka pada:

$$x = L$$

$$V = V_S$$

$$I = I_S$$

Maka:

$$V_S = V_R \cosh \sqrt{ZY} \cdot L + Z_k \cdot I_R \sinh \sqrt{ZY} \cdot L \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

$$I_S = I_R \cosh \sqrt{ZY} \cdot L + \frac{V_R}{Z_k} \sinh \sqrt{ZY} \cdot L \quad \dots \dots \dots (2.9)$$

$$V_R = V_S \cosh \sqrt{ZY} \cdot L - Z_k \cdot I_S \sinh \sqrt{ZY} \cdot L \quad \dots \dots \dots (2.10)$$

$$I_R = I_S \cosh \sqrt{ZY} \cdot L - \frac{V_S}{Z_k} \sinh \sqrt{ZY} \cdot L \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

Contoh soal:

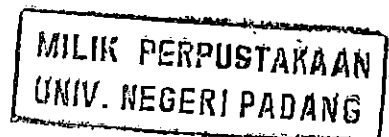
Suatu saluran transmisi 60 Hz rangkaian tunggal dengan panjang 225 mile, mempunyai beban 125.000 KW pada tegangan 200 KV dengan faktor daya =1. Hitunglah tegangan dan arus pada ujung pengirim dan juga hitunglah besarnya regulasi Tegangan apabila jaringan mempunyai parameter sebagai berikut:

$$R = 0,172 \text{ Ohm/mil}$$

$$L = 2,18 \text{ mH/mil}$$

$$C = 0,0136 \text{ F/mil}$$

$$G = 0$$



Penyelesaian:

$$Z = 0,172 + j2.3,14.60.2,18.10^{-3}$$

$$= 0,172 + j0,822 = 0,841 \angle 78,2^\circ \text{ Ohm/mil}$$

$$Y = 0 + j2.3,14.60.0,0136 \times 10^{-3}$$

$$= 0 + j5,12 \times 10^{-6}$$

$$= 5,12.10^{-3} \angle 90^\circ \text{ Ohm/mil}$$

$$\sqrt{ZY}.L = 225. \sqrt{0,841.5,12.10^{-6}} \angle \frac{78,2^\circ + 90^\circ}{2}$$

$$= 0,467 \angle 84,1^\circ = 0,481 + j0,465$$

$$Z_k = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{0,841}{5,12.10^{-6}}} \angle \frac{78,2^\circ - 99^\circ}{2}$$

$$= 405 \angle -5,9^\circ \text{ Ohm}$$

$$V_R = \frac{200.000}{1,73} = 115.200 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$I_R = \frac{125.000.000}{1,73 \times 200.000} = 361 \angle 0^\circ \text{ Amper}$$

V_R = Tegangan pada ujung penerima antara fase dengan netral

I_R = Arus pada ujung penerima

$$\cosh \sqrt{ZY}.L = \cosh 0,0481. \cosh 0,465 + j \sinh 0,0481. \sin 0,465$$

$$= 1,0012.0,894 + j0,0481.0,447$$

$$= 0,895 + j0,0215$$

$$= 0,8951361 \angle 84,5^\circ$$

$$\sinh \sqrt{ZY}.L = \sinh 0,0481. \cos 0,465 + j \cosh 0,0481. \sin 0,465$$

$$= 0,048 \times 0,894 + j1,0012 \times 0,448$$

$$= 0,0429 + j0,449$$

$$= 0,449 \angle 84,5^\circ$$

$$V_s = V_R \cosh \sqrt{ZY}.L + Z_k. I_R. \sinh \sqrt{ZY}.L$$

$$= 115,200.0,895 \angle 1,38^\circ + 361.405 \angle -5,9^\circ.0,449 \angle 84,5^\circ$$

$$= 103.000 + j2.480 + 13.000 + j64.400$$

$$= 116.000 + j66.880$$

$$= 133.800 \angle 30,0^\circ$$

$$I_s = I_R \cosh \sqrt{ZY} \cdot L + \frac{V_R}{Z_k} \cdot \sinh \sqrt{ZY} \cdot L$$

$$= 361.0895 \angle 1,38^\circ + \frac{115.200}{405 \angle -5,9^\circ} \cdot 0,449 \angle 84,5^\circ$$

$$I_s = 323 \angle 1,38^\circ + 128 \angle 90,4^\circ$$

$$= 323 + j7,8 - 0,9 + j128$$

$$= 322 + j136$$

$$= 350 \angle 22,9^\circ \text{ Amper}$$

Maka tegangan pada ujung pengiriman = $1,73 \cdot 133,8 = 232$ KV.

Arus pada ujung pengirim = 350 A.

Faktor daya = $\cos (30,0^\circ + 22,9^\circ) = \cos 1^\circ = 0,9923$

Daya = $1,73 \cdot 232 \cdot 350 \cdot 0,9923 = 140.000$ KW.

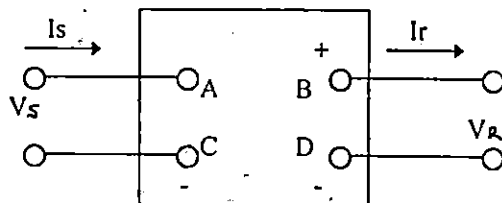
$$\text{Voltase regulasi} = \frac{(V_S \cdot A) - V_{R(FL)}}{V_{R(FL)}} \cdot 100\%$$

$$= \frac{\frac{133,8}{0,895} - 115,2}{115,2} \cdot 100\%$$

$$= 29,8\%$$

D. KONSTANTA-KONSTANT UMUM SALURAN TRANSMISI

Dalam banyak keperluan didalam teknik transmisi daya listrik diperlukan konstanta-konstanta umum saluran transmisi, karena saluran transmisi tersebut selalu dapat digambarkan sebagai kotak dengan dua jepitan masukan dan dua jepitan keluar maka suatu rangkaian transmisi bisa diganti dengan diagram seperti gambar 11.



Gambar 11. Rangkaian Kutub Empat
(Hutahuruk, 1995.90)

Dari gambar 11 dapat kita lihat bahwa A, B, C, D adalah konstanta-konstanta umum dari suatu rangkaian, besarnya tegangan dan arus suatu kutub empat adalah:

$$V_S = A.V_R + B.I_R \dots\dots\dots (2.12)$$

$$I_S = C.V_R + D.I_R \dots\dots\dots (2.13)$$

$$V_R = D.V_S - B.I_S$$

$$I_R = -C.V_S - A.I_S$$

1. Saluran Pendek

Konstanta-konstanta umum saluran transmisi untuk saluran pendek dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_S = V_R + Z.I_R \dots\dots\dots (2.14)$$

$$I_S = 0 + I_R$$

dari persamaan dasar di atas didapat:

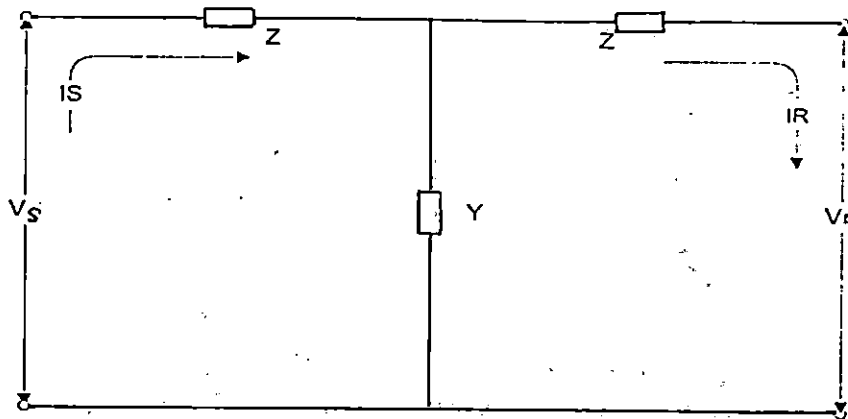
$$A = 1 \quad ; \quad B = Z \quad ; \quad C = 0 \quad ; \quad D = 1$$

2. Saluran Menengah

Konstanta-konstanta umum saluran menengah dapat dianalisa atas dua macam yaitu nominal T dan nominal PI.

a. Nominal T

Untuk nominal T dapat dianalisa dari gambar 12.



Gambar 12. Transmisi Menengah dengan "Nominal T"

(Turhan Gonen, 1988:90)

Dari gambar dapat kita lihat bahwa

$$V_S = (1 + Y \cdot Z_S) \cdot V_R + (Z_S + Z_R + Z_S \cdot Y \cdot Z_R) \cdot I_R$$

$$I_S = Y \cdot V_R + (1 + Y \cdot Z_R) \cdot I_R$$

Jadi:

$$A = 1 + Y \cdot Z_S$$

$$B = Z_S + Z_R + Z_S \cdot Y \cdot Z_R$$

$$C = Y$$

$$D = 1 + Y \cdot Z_S$$

dan bila $Z_S = Z_R = Z/2$

maka:

$$A = 1 + \frac{ZY}{2} \dots \dots \dots (2.15)$$

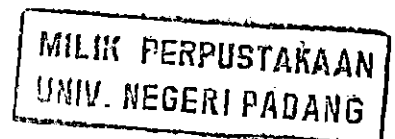
$$B = Z + \frac{Z^2 \cdot Y}{4}$$

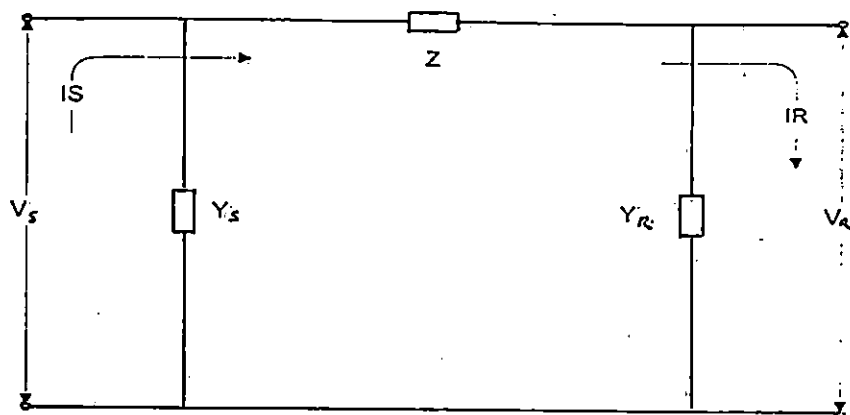
$$C = Y$$

$$D = A$$

b. Nominal PI

Untuk nominal PI dapat dilihat dari gambar 13





Gambar 13. Rangkaian Transmisi Menengah dengan
"Nominal PI" (Tran Gonen, 1988:91)

Dari gambar 13 dapat kita lihat:

$$V_s = (1 + Y_R \cdot Z) \cdot V_R + Z \cdot I_R$$

$$I_s = (Y_s + Y_R + Y_s \cdot Z \cdot Y_R) \cdot V_R + (1 + Y_s \cdot Z) \cdot I_R$$

Jadi:

$$A = 1 + Y_R \cdot Z$$

$$B = Z$$

$$C = Y_s + Y_R + Y_s \cdot Z \cdot Y_R$$

$$D = 1 + Y_s \cdot Z$$

dan bila $Y_s = Y_R = Y/2$

maka:

$$A = D = 1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$B = Z$$

$$C = Y + \frac{Y^2 \cdot Z}{4}$$

3. Saluran Panjang

Untuk saluran panjang sesuai dengan persamaan dasarnya.

$$V_s = V_R \cosh \sqrt{ZY} \cdot L + Z_k \cdot I_R \cdot \sinh \sqrt{ZY} \cdot L$$

$$I_s = I_R \cosh \sqrt{ZY} \cdot L + \frac{V_R}{Z_k} \cdot \sinh \sqrt{ZY} \cdot L$$

maka:

$$A = D = \cosh \sqrt{ZY} \cdot L$$

$$B = Z_k \cdot \sinh \sqrt{ZY} \cdot L$$

$$C = \frac{\sinh \sqrt{ZY} \cdot L}{Z_k} \dots \dots \dots (2.17)$$

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

BAB III

MERENCANAKAN SALURAN TRANSMISI

Dalam merancang saluran transmisi, selain aspek listrik maka aspek mekanis juga harus diperhitungkan. Aspek mekanis ini sangat penting, karena keandalan saluran transmisi sangat tergantung pada keandalan aspek mekanisnya.

Adapun aspek mekanis ini meliputi:

1. Perencanaan rute saluran transmisi. Tentu saja rute yang ideal adalah jalur lurus yang langsung dari lokasi sistem tenaga listrik yang akan dihubungkan. Tetapi biasanya hal ini sulit untuk dilakukan karena batasan alam dan kesulitan dalam mendapatkan hak lintas.
2. Perencanaan dan perhitungan tegangan tarik dan dorongan kawat konduktor antara menara.
3. Penentuan jenis, kekuatan dan tinggi menara yang diperlukan untuk titik-titik tumpu pada rute saluran transmisi.
4. Penentuan kekuatan isolator yang diperlukan bedasar pada kemungkinan beban mekanis yang akan dialami oleh isolator.

Dalam merancang dan memperhitungkan andongan dan penentuan menara yang diperlukan selama ini metoda yang digunakan adalah metoda grafis. Dalam metoda grafis ini, pertama yang dilakukan penentuan titik tumpu berdasar pada gambar penampang memanjang dari rute saluran transmisi. Setelah itu kemudian digambar kurva kawat antara titik-titik tumpu tersebut dengan menggunakan temp-plate. Sedang penentuan menara yang diperlukan didasarkan pada gambar

kurva yang didapat dari hasil penggambaran dengan template di atas.

Pada perancangan mekanis saluran transmisi dengan metoda numerik, hal-hal yang didasarkan pada hasil penggambaran diganti dengan hasil-hasil perhitungan. Sehingga diharapkan dengan metoda numerik ini penentuan komponen transmisi ditinjau dari aspek mekanis dapat lebih teliti.

Pada rancangan mekanis dengan metode numerik ini tetap diperlukan gambar penampang memanjang dari rute transmisi. Kemudian berdasarkan survey lokasi dan peta situasi dilakukan penentuan titik tumpu menara. Berdasarkan hal yang telah dilakukan di atas, dilakukan kompilasi data jarak span serta beda tinggi titik tumpu. Kemudian dilakukan perhitungan berdasar data-data yang telah didapat di atas.

Perhitungan yang digunakan dalam metoda ini adalah perhitungan yang didasarkan pada teori rentangan kawat lentur. Bila suatu kawat direntang antara dua titik A dan B karena beratnya sendiri, maka kawat tidak akan mengambil kurva garis lurus yang menghubungkan titik A dan B. Tetapi kawat tersebut akan melendut ke bawah, sehingga pada kawat yang direntang antara dua titik ikat akan terjadi andongan (*sag*). Besar andongan yang terjadi tergantung pada berat kawat dan tegangan tarik kawat.

Berdasarkan hukum Stokes, karena adanya tegangan tarik di atas, kawat akan berubah panjangnya. Perubahan panjang kawat ini tergantung pada E (modulus elastisitas) kawat dan panjang kawat.

Selain karena tegangan tarik perubahan panjang kawat juga disebabkan oleh perubahan suhu konduktor. Perubahan panjang kawat karena perubahan suhu konduktor ini besarnya

tergantung pada koefisien pemuaian linear kawat, perubahan temperatur dan panjang kawat itu sendiri.

Perubahan suhu konduktor selain mengakibatkan perubahan panjang kawat juga mengakibatkan perubahan tegangan tarik kawat. Bila kawat menyusut, maka tegangan tariknya akan membesar. Demikian pula sebaliknya bila kawat memuai maka tegangan tariknya akan mengecil.

Oleh karena itu perhitungan dalam metoda perancangan ini dilakukan untuk tiga macam kondisi suhu konduktor. Adapun ketiga kondisi suhu tersebut adalah:

- Suhu konduktor sehari-hari atau pada kondisi pemasangan
- Suhu konduktor pada kondisi yang paling dingin
- Suhu konduktor pada kondisi yang paling panas.

Seperti telah diuraikan di muka, menyusunya kawat akan mengakibatkan membesarnya tegangan tarik kawat. Padahal tegangan tarik kawat ini ada batasnya. Bila batas tegangan tarik maksimum ini dilewati akan mengakibatkan kawat rusak dan putus. Tegangan tarik kawat paling besar terjadi pada kondisi suhu konduktor yang paling dingin. Oleh karena itu pada kondisi suhu yang paling dingin diuji tegangan yang terjadi harus melebihi tegangan maksimum yang diizinkan terjadi pada kawat.

Selain pengujian di atas, perhitungan pada kondisi suhu yang paling dingin juga diperlukan untuk menentukan jenis menara yang diperlukan pada titik-titik tumpu saluran transmisi. Hal ini didasarkan bahwa tegangan tarik pada kondisi suhu konduktor yang paling dingin adalah paling besar. Sehingga beban pada menara yang disebabkan oleh kawat yang paling besar terjadi pada suhu yang paling dingin.

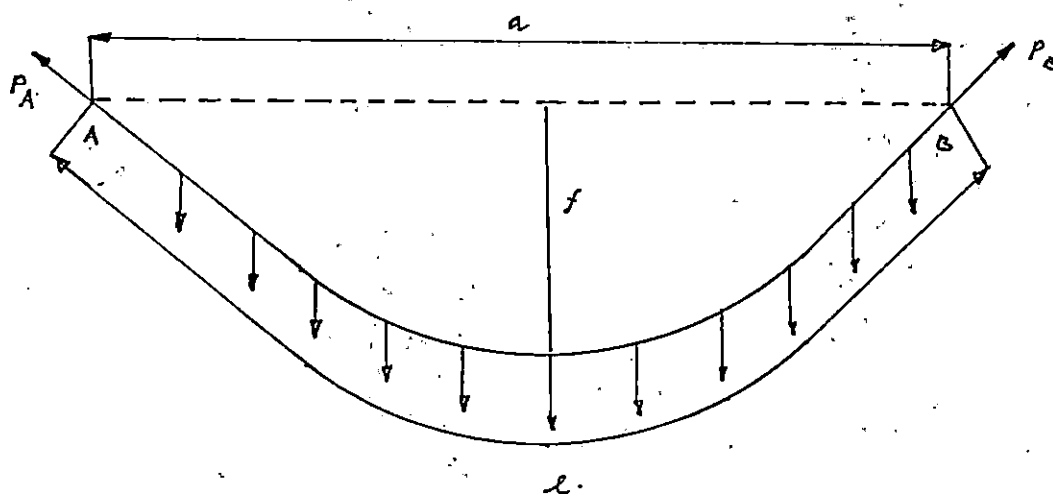
Pada kondisi suhu panas, maka panjang kawat adalah yang paling besar. Sehingga andongan yang terjadi juga

paling besar. Oleh karena itu ada kondisi ini , perhitungan ditujukan untuk menentukan tinggi menara yang diperlukan. Dalam penentuan tinggi menara berhubungan dengan jarak bebas tegak yang harus dipenuhi oleh transmisi tersebut sehingga aman bagi lingkungan sekitarnya.

Dalam perencanaan dan perhitungan tegangan tarik dan andongan kita harus memperhitungkan kurva kelengkungan kawat, pengaruh angin dan perubahan temperatur.

A. KURVA KAWAT BERBENTUK PARABOLA

Kawat konduktor adalah suatu benda tidak tegar. Sehingga bila suatu kawat konduktor direntang dengan memberi tegangan tarik pada ujung-ujungnya, maka kawat akan melengkung ke bawah. Lengkungan ini terjadi karena kawat itu sendiri yang terdistribusi berat kawat itu sendiri yang terdistribusi dengan merata sepanjang kawat. Pada gambar 14 ditunjukkan distribusi berat kawat yang menyebabkan kawat melendut bila kawat direntang antara dua titik ikat.

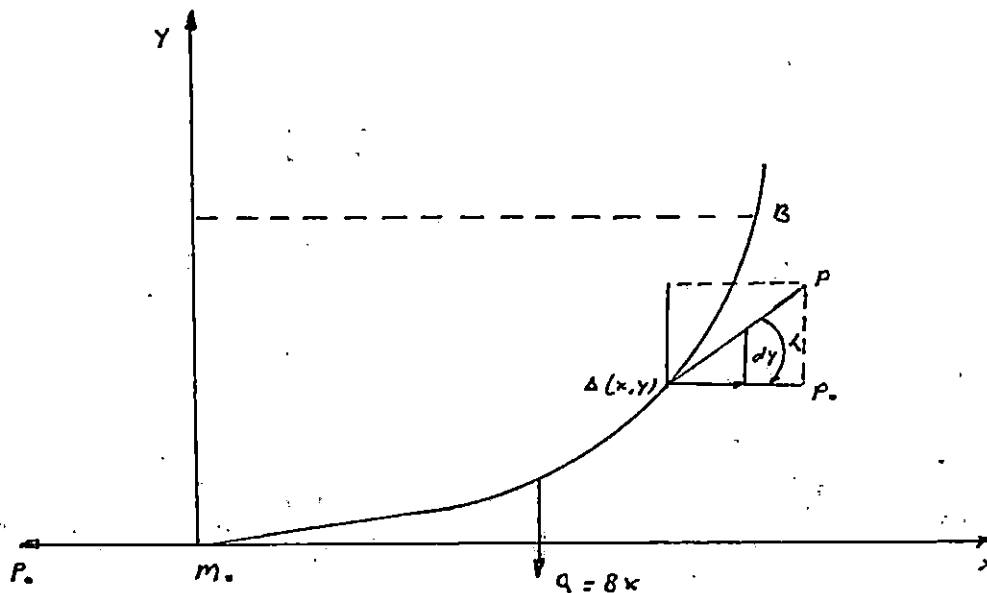


Gambar 14. Distribusi Berat Kawat (Deweese, 1990:70)

Pada ujung kurva di atas, keseimbangan gaya terjadi antara tegangan tarik kawat dengan tegangan dalam kawat yang berasal dari gaya berat kawat. Untuk selanjutnya titik tangkap keseimbangan gaya atau ujung kawat yang diberi tegangan tarik disebut titik ikat.

Bila titik ikat ini sama tingginya, maka kurva akan berbentuk simetris. Sehingga untuk menganalisa cukup dipandang setengah bagian kurva saja.

1. Persamaan Kurva Rentangan



Gambar 15. Potongan Kurva dan Gaya-gaya yang Bekerja Pada Suatu Titik pada Kurva (Deweese, 1970:71)

Pada gambar 15, Q adalah berat kawat, $H = P_0$ komponen mendatar dari tegangan kawat dan P adalah gaya tegangan pada kawat. Arah P adalah sejajar dengan garis singgung pada titik di kurva kawat yang dianalisa.

Pada suatu titik di kurva kawat berlaku hubungan:

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{Q}{P_0} \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan harga-harga

Q = panjang kawat x berat kawat/panjang

= l.g

g = berat kawat per satuan panjang

Bila diumpamakan lendutan cukup kecil, maka panjang kawat dapat dianggap sama dengan jarak absis dari titik yang diamati.

$$Q = l.g = x.g$$

Bila hubungan di atas dimasukkan dalam persamaan 3.1,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{g.x}{P_0}$$

Setelah kedua sisi persamaan di atas diintegrasikan didapat:

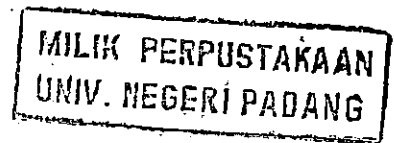
$$y = \frac{g.x^2}{2.P_0} + C \dots \dots \dots (3.2)$$

Bila titik asal C(0,0) pada titik terendah dari parabola, maka harga konstanta integrasi C adalah nol. Sehingga persamaan 3.2 menjadi:

$$y = \frac{g.x^2}{2.P_0} \dots \dots \dots (3.3)$$

Persamaan 3.3 adalah persamaan umum parabola. Persamaan parabola ini didapat dengan asumsi panjang kawat dianggap sama dengan jarak mendatar (absis) titik pada parabola. Untuk titik ikat B, besarnya lendutan disebut sag atau andongan (=f). Untuk titik ikat B berlaku:

$$x = a/2 \text{ dan } y = f$$



sehingga bila hubungan ini disubstitusikan dalam persamaan 3.3, didapat besarnya andongan:

$$f = y_H = \frac{g}{2.P_n} \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{g.a^2}{8.f} \dots\dots\dots (3.4)$$

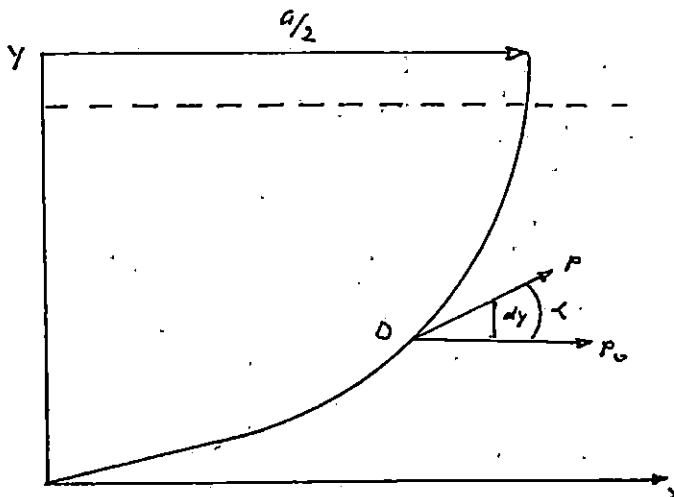
Bila persamaan 3.4 diubah, maka bisa didapatkan harga komponen mendatar ini sama dengan harga tegangan kawat pada titik terendah.

$$P_n = \frac{g.a^2}{8.f} \quad (3.5)$$

Dari persamaan 3.5 dapat disimpulkan bahwa harga komponen mendatar tegangan kawat berbanding terbalik dengan andongan dari kawat.

2. Tegangan Pada Titik Ikat

Untuk mencapai keseimbangan sehingga kawat diam maka komponen pada arah mendatar sepanjang kawat harus sama dengan komponen mendatar pada titik terendah dari kawat. Pada titik terendah komponen vertikal dari tegangan adalah nol. Sehingga harga tegangan pada titik terendah adalah sama dengan harga komponen mendatar tegangan sepanjang kawat.



Gambar 16. Hubungan gaya-gaya yang bekerja pada parabola (cotton 1989.117)

Pada gambar 16, untuk suatu titik D yang terletak pada parabola berlaku hubungan:

$$P = \frac{P_0}{\cos \alpha} \dots \dots \dots (3.6)$$

Berdasarkan hubungan-hubungan yang berlaku pada gambar 16 akan dicari hubungan trigonometri dari sudut-sudut yang dibentuk oleh garis singgung kurva dengan garis mendatar.

Persamaan umum dari parabola adalah:

$$y = k \cdot x^2$$

Untuk titik ikat pada kurva rentangan kawat berlaku:

$$y = f \text{ dan } x = a/2$$

Bila harga-harga di atas disubstitusikan dalam persamaan umum parabola, didapat hubungan:

$$y = k \cdot \frac{a^2}{4}$$

maka, didapat konstanta persamaan umum parabola:

$$k = \frac{4 \cdot f}{a^2}$$

Jadi untuk kurva rentangan kawat persamaan umumnya adalah:

$$y = \frac{4 \cdot f}{a^2} \cdot x^2 \dots \dots \dots (3.7)$$

Slope kurva untuk suatu titik pada parabola adalah:

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{8 \cdot f}{a^2} \cdot x$$

dari hubungan persamaan fungsi trigonometri:

$$\sec^2 \alpha = 1 + \tan^2 \alpha$$

$$\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha} = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}$$

Untuk titik ikat B, maka slopenya adalah:

$$\tan \alpha = \frac{8 \cdot f}{a^2} \cdot \frac{a}{2} = \frac{4 \cdot f}{a}$$

Bila harga di atas disubstitusikan dalam hubungan fungsi trigonometri di atas, didapat:

$$\frac{1}{\cos \alpha} = \sqrt{1 + \frac{16 \cdot f^2}{a^2}} \quad (3.8)$$

Seperti telah diketahui komponen tegangan mendatar di semua titik pada parabola besarnya sama.

Bila hubungan yang ada dalam persamaan 3.8 disubstitusikan dalam persamaan 3.6, maka akan didapat harga tegangan pada titik ikat:

$$P_H = \frac{P_u}{\cos \alpha} = P_u \sqrt{1 + 16 \cdot \left(\frac{f}{a}\right)^2}$$

3. Panjang Rentangan Kawat

Dari gambar 16 didapat hubungan:

$$dl = \sqrt{dy^2 + dx^2} = dx \cdot \sqrt{1 + \frac{dy^2}{dx^2}}$$

Bila hubungan dari persamaan 3.7, disubstitusikan dalam persamaan di atas, maka:

$$dl = dx \cdot \sqrt{1 + \frac{64 \cdot f^2}{a^4} \cdot x^2} = \frac{8 \cdot f}{a^2} \cdot \sqrt{x^2 + \left(\frac{a^2}{8 \cdot f}\right)^2} \cdot dx$$

Bila dimisalkan:

$$r = \frac{a^2}{8 \cdot f^2}$$

$$dl = \frac{1}{r} \sqrt{x^2 + r^2} \cdot dx$$

Bila kedua sisi persamaan di atas diintegrasikan, maka akan didapat panjang kawat parabola untuk setengah bagian kanan parabola.

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{r} \int_0^x \sqrt{x^2 + r^2} \cdot dx$$

$$(x^2 + r^2) \cdot dx = \frac{x}{2} \cdot x^2 + r^2 + \frac{r^2}{2} \cdot \ln(x + \sqrt{x^2 + r^2}) + c$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{r} \cdot \frac{a}{4} \cdot \frac{a^2}{4} + r^2 + \frac{r^2}{2} \cdot \ln \left(\frac{a}{4} + \frac{a^2}{4} + r^2 \right) - \ln r \dots \dots \dots (3.9)$$

Bila harga $r = a^2/8f$ disubstitusikan dalam persamaan 2.9, maka

$$\frac{1}{2} = \frac{2.f}{a} \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{a^4}{64.f^2}} + \frac{a^2}{16.f} \cdot \ln \frac{\left(\frac{a}{22} + \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{a^4}{64.f^2}} \right)}{\frac{a^2}{8.f}} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$\frac{1}{2} = \frac{a}{4} \left(1 + \frac{16.f^2}{a^2} \right) + \frac{a^2}{16.f} \ln \left(\frac{4.f}{a} + 1 + \frac{16.f^2}{a^2} \right)$$

f adalah andongan dan a adalah span, sehingga

$$\frac{16.f^2}{a^2} \ll 1$$

maka menurut dalil binomium Rpoche, bila didapat hubungan seperti di atas dapat diuraikan menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{a}{4} \left(1 + \frac{16.f^2}{a^2} \right) &= \frac{a}{4} \left(1 + \frac{1}{1!} \frac{16.f^2}{a^2} + \frac{1}{2!} \left(\frac{16.f^2}{a^2} \right)^2 + \dots \right) \\ &= \frac{a}{4} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{16.f^2}{a^2} - \frac{1}{8} \frac{256.f^4}{a^4} + \dots \right) \\ &= \frac{a}{4} + \frac{2.f^2}{a} - \frac{8.f^4}{a^3} + \dots \end{aligned}$$

Sedangkan suku kedua persamaan 3.10 adalah:

$$\begin{aligned} \frac{a^2}{16.f} \cdot \ln \left(\frac{4.f}{a} + \sqrt{1 + \frac{16.f^2}{a^2}} \right) &= \frac{a^2}{16.f} \left(\frac{4.f}{a} - \frac{1.1!}{3!} \frac{64.f^3}{a^3} + \frac{3.3!}{5!} \frac{1024.f^5}{a^5} + \dots \right) \\ &= \frac{a}{4} - \frac{2.f^2}{3a} + \frac{48.f^4}{5a^3} - \dots \end{aligned}$$

Dengan harga di atas maka persamaan 3.10 menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} &= \frac{a}{4} + \frac{2.f^2}{a} - \frac{8.f^4}{a^3} + \dots + \frac{a}{4} - \frac{2.f^2}{3a} + \frac{48.f^4}{5a^3} - \dots \\ \frac{1}{2} &= \frac{a}{4} + \frac{2.f^2}{3a} - \frac{8.f^4}{5a^3} + \dots \end{aligned}$$

Karena harga f/a relatif kecil, maka suku ketiga dan selanjutnya dari harga $\frac{1}{2}$ pada persamaan terakhir dapat diabaikan. Jadi panjang kawat persamaannya adalah:

$$\frac{l}{2} = \frac{a}{2} + \frac{4f^2}{3a}$$

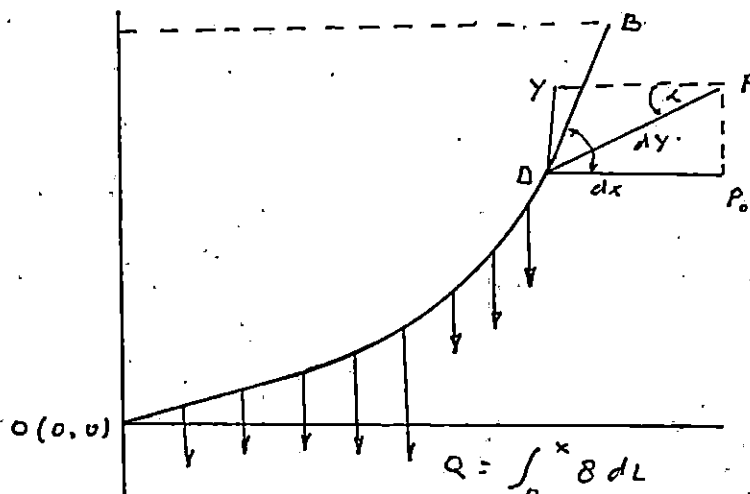
bila titik ikat parabola sama tingginya, maka panjang kawat seluruhnya untuk satu span adalah:

$$l = a + \frac{8f^2}{3a}$$

B. KURVA KAWAT BERBENTUK HYPERBOLA

Bila kawat direntang antara dua titik dan kawat tersebut dianggap suatu garis rantai, maka bentuk kurva yang didapat adalah kurva hyperbola. Pada analisa dengan menganggap kawat sebagai garis rantai, maka analisisnya lebih teliti bila dibandingkan dengan metoda pada bab sebelumnya.

1. Persamaan Kurva Rantangan



Gambar 17. Rentangan Garis Rantai (Cotton, 1989:119)

Pada gambar 17, titik asal (0,0), diambil pada titik terendah dari kurva. Untuk suatu titik D sembarang pada kurva, berlaku hubungan:

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{Q}{P_0} = \frac{g \cdot s}{P_0} \quad (3.12)$$

dengan

Q = berat kawat dari titik asal sampai titik D

P_0 = Komponen mendatar dari tegangan kawat

g = berat kawat persatuan panjang

s = panjang kawat dari titik asal sampai titik D.

Dari hubungan segitiga siku-siku pada titik D, maka berdasar dalil pythagoras berlaku:

$$ds = dy^2 + dx^2$$

$$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \dots\dots\dots (3.13)$$

Bila harga-harga dari persamaan 3.12 didistribusi-kan pada persamaan 3.13:

$$ds = \sqrt{1 + \left(\frac{g \cdot s}{P_0}\right)^2} \cdot dx = \frac{g}{P_0} \sqrt{\frac{P_0^2}{g^2} + s^2} \cdot dx$$

$$\frac{ds}{\sqrt{\left(\frac{P_0}{g}\right)^2 + s^2}} = \frac{g}{P_0} \cdot dx$$

Bila kedua sisi dari persamaan di atas diintegrasikan didapat:

$$\frac{H}{g} \cdot \sinh^{-1} \frac{gs}{H} = x + C_1 \dots\dots\dots (3.14)$$

Untuk titik asal (0,0), akan didapat harga $C_1 = 0$. Sehingga persamaan 3.14 dapat diubah menjadi:

$$\frac{H}{g} \cdot \sinh^{-1} \frac{gs}{H} = x$$

$$s = \frac{H}{g} \cdot \sinh^{-1} \frac{gs}{H} \dots \dots \dots (3.15)$$

Bila persamaan 3.15 disubstitusikan dalam persamaan 3.12, maka:

$$\frac{dy}{dx} = \sinh \frac{gs}{H}$$

$$dy = \sinh \frac{gs}{H} \cdot dx \dots \dots \dots (3.16)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan 3.16 akan didapat persamaan kurva kawat:

$$y = \frac{H}{g} \cdot \cosh \frac{gs}{H} + C_2 \dots \dots \dots (3.17)$$

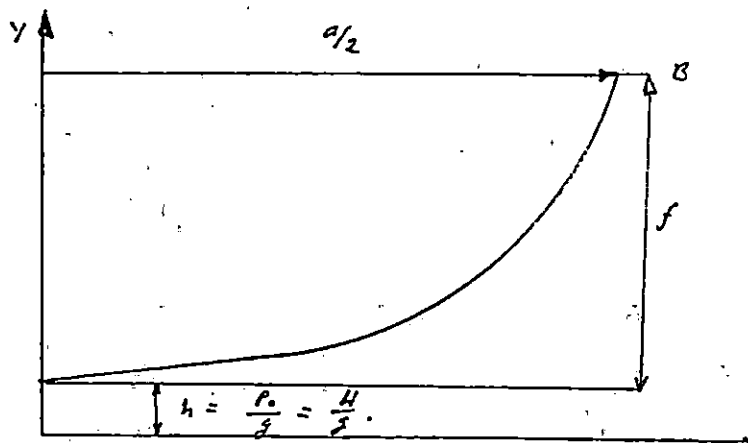
Bila persamaan 3.17 dimasukkan titik terendah C pada kurva akan didapat:

$$C_2 = -\frac{H}{g}$$

Maka persamaan 3.17 akan menjadi:

$$y = \frac{H}{g} \cdot (\cosh \frac{gs}{H} - 1) \dots \dots \dots (3.17a)$$

Bila diambil suatu salib sumbu dengan kedudukan titik terendah dari kurva seperti pada gambar 18 berikut.



Gambar 18. Pergeseran Salib Sumbu (cotton, 1989:124)

Dengan kedudukan kurva seperti yang terlihat pada gambar di atas, maka persamaan 3.17a dapat diubah menjadi persamaan 3.18a di bawah ini:

$$y = \frac{H}{g} \cdot \cosh \frac{g}{H} \cdot x \dots\dots\dots (3.18a)$$

Bila diambil suatu harga yang disebut konstanta konduktor h , dengan besar $h=H/g$ (dengan satuan panjang) maka persamaan 3.18a dapat diubah menjadi:

$$y = h \cdot \cosh \frac{x}{h} \dots\dots\dots (3.18)$$

Persamaan ini adalah persamaan umum dari sebuah hyperbola. Bentuk kurva ini adalah bentuk kurva yang selalu diambil oleh garis rantai bila direntang antara dua titik ikat. Lendutan diakibatkan oleh gaya vertikal yang disebabkan oleh berat konduktor saja.

2. Andongan

Andongan adalah besarnya lendutan kawat dilihat dari titik ikat. Untuk titik ikat B pada kurva yang tertera pada gambar 18.

$$x = a/2 \text{ dan } y = h + f$$

Bila harga ini disamakan pada persamaan 3.18

$$h + f = h \cdot \cosh \frac{a}{2h}$$

$$f = h \cdot \cosh \frac{a}{2h} - h = h \cdot \left(\cosh \frac{a}{2h} - 1 \right)$$

Dalam bentuk deret maka fungsi hyperbolik, berupa:

$$\cosh x = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \dots$$

Dalam pembahasan ini suku empat dan seterusnya diabaikan. Jadi harga andongan adalah:

$$f = h \cdot \left(1 + \frac{a^2}{21.4h^2} + \frac{a^4}{41.16h^4} \right) = h \cdot \left(\frac{a^2}{8h^2} + \frac{a^4}{384.4h^4} \right)$$

$$f = \frac{a^2}{8h^2} + \frac{a^4}{384h^4}$$

Seperti diketahui $h=H/g$ dan $h=P_0$. (komponen tegangan pada arah horizontal). Maka hubungan di atas bisa ditulis:

$$f = \frac{g \cdot a^2}{8P_0} + \frac{g^3 \cdot a^4}{384P_0^3} \dots \dots \dots (3.19)$$

Bila persamaan 3.19 dibandingkan dengan persamaan 3.4, maka suku kedua pada persamaan 3.19 merupakan faktor koreksi untuk persamaan 3.4. Nilai faktor koreksi sering diabaikan karena harganya yang relatif sangat kecil bila dibandingkan dengan harga andongan itu sendiri.

Faktor koreksi ini adalah faktor yang mengoreksi asumsi panjang kawat=absis titik yang diamati pada penurunan persamaan 3.4.

3. Tegangan Pada Titik Ikat

Persamaan kurva rentangan kawat adalah:

$$y = h \cdot \cosh \frac{x}{h}$$

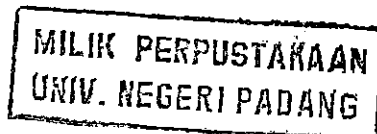
$$\sqrt{y^2 - h^2} = \sqrt{h^2 \cdot \cosh^2 \frac{x}{h} - h^2} = h \cdot \sqrt{h \cdot \cosh^2 \frac{x}{h} - 1}$$

$$\sqrt{y^2 - h^2} = h \cdot \sinh \frac{x}{h} \dots \dots \dots (3.20)$$

$$\sinh \frac{x}{h} = \sqrt{\frac{y^2}{h^2} - 1}$$

Dari gambar 3.5:

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} \quad (3.21)$$



Bila persamaan umum dari kurva dideferensiasikan satu kali, didapat:

$$\frac{dy}{dx} = \sinh \frac{x}{h} \dots \dots \dots (3.22)$$

Bila persamaan-persamaan 3.20, 3.21, 3.22 saling disubstitusikan didapat:

$$\tan \alpha = \sqrt{\frac{y^2}{h^2} - 1} \dots \dots \dots (3.23)$$

Dari persamaan trigonometri didapat:

$$\begin{aligned} \sec^2 \alpha &= 1 + \tan^2 \alpha \\ \cos \alpha &= \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \alpha}} \dots \dots \dots (3.24) \end{aligned}$$

Hubungan dari persamaan 3.23 disubstitusikan pada persamaan 3.24, didapat:

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{y^2}{h^2} - 1}} = \frac{h}{y}$$

Dari gambar 15 didapat hubungan:

$$P = \frac{P_0}{\cos \alpha} = \frac{P_0 \cdot y}{h}$$

Untuk titik ikat B, maka

$$y = h + f$$

Jadi:

$$\begin{aligned} P_B &= P_0 \frac{h+f}{h} = P_0 + \frac{P_0}{h} \cdot f \\ P_B &= P_0 + g \cdot f \dots \dots \dots (3.25) \end{aligned}$$

Dari persamaan 3.25 dapat disimpulkan bahwa beda tegangan antara dua titik pada kurva adalah = berat karat per satuan panjang kali beda tingginya.

4. Panjang Kurva Kawat

Panjang kurva kawat adalah l , dimana:

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{1 + \frac{dy^2}{dx^2}} \cdot dx$$

Bila harga-harga pada persamaan 3.22 disubstitusikan dalam persamaan di atas, maka didapat:

$$dl = \sqrt{1 + \sinh^2 \frac{x}{h}} \cdot dx = \cosh \frac{x}{h} \cdot dx$$

Untuk setengah panjang kawat:

$$\frac{l}{2} = \int_0^{\frac{a}{2}} dl = \int_0^{\frac{a}{2}} \cosh \frac{x}{h} \cdot dx = h \cdot \sinh \frac{a}{2h}$$

Untuk kawat yang ditumpu pada titik ikat yang sama tinggi, maka kurva akan simetris, sehingga panjangnya adalah:

$$l = 2 \cdot h \cdot \sinh \frac{a}{2h} \dots \dots \dots (3.26)$$

Dalam bentuk uraian persamaan 2.26 adalah:

$$l = 2 \cdot h \cdot \left\{ \frac{a}{2h} + \frac{1}{3!} \left(\frac{a}{2h} \right)^3 + \frac{1}{5!} \left(\frac{a}{2h} \right)^5 + \dots \right\}$$

Untuk perhitungan ini maka, suku ketiga dan seterusnya dari deret diabaikan. Sehingga panjang kawat adalah:

$$l = a + \frac{a^3}{24h^2} \dots \dots \dots (3.27)$$

Bila harga $h = P_0/g$ disubstitusikan didapat:

$$l = a + \frac{a^3 \cdot g^2}{24 \cdot P_0^2} = a + \frac{a^4 \cdot g^2}{(8 \cdot P_0)^2} \cdot \frac{8}{3a}$$

$$l = a + \frac{8}{3 \cdot a} \cdot f^2 [m] \dots \dots \dots (3.28)$$

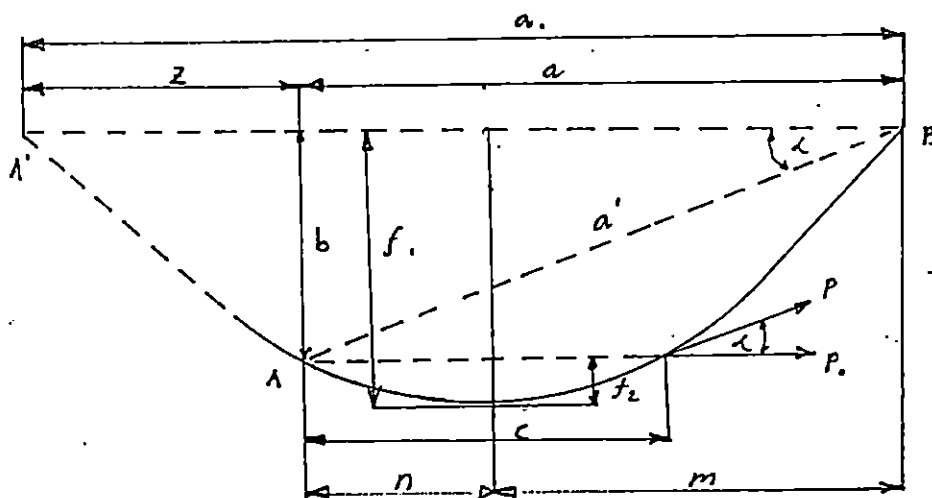
Persamaan 3.28 menunjukkan hubungan antara panjang kawat dengan span dan variasi dari andongan yang digunakan dalam span tersebut. Sedang andongan ditentukan besarnya oleh tegangan tarik pada titik

ikat. Untuk jarak span yang kecil dan andongannya cukup kecil, maka panjang kawat dapat dianggap sama dengan jarak spannya.

Bila span yang digunakan cukup besar maka andongannya juga kan besar. Dan untuk span yang besar diperlukan ketelitian dalam perhitungan. Maka span yang besar sebaiknya dalam menghitung panjang kawat digunakan persamaan 3.28.

C. KAWAT DITUMPU PADA TITIK IKA TIDAK SAMA TINGGI

1. Titik Ikat yang tidak Sama Tinggi Sebagai Bagian dari Span



Gambar 19. Kawat ditumpu pada titik ikat tidak sama tinggi (Turan Gonen, 1988:630).

Metoda perhitungan dengan menganggap titik ikat yang tidak sama tinggi sebagai bagian rata terutamadilakukan untuk medan span yang tak begitu terjal. Pada metoda ini kawat dianggap ditumpu pada dua titik ikat fiktif yang sama tinggi. Salah satu

titik ikat ini adalah titik ikat sebenarnya yang tinggi.

Pada gambar 19 kurva rentangan kawat dapat dianggap terdiri atas 3 bagian kurva yaitu:

- a. Bagian span panjang dengan titik tumpu yang sama tingginya. Bagian kurva tersebut adalah A'CB, dengan jarak span a_1 .
- b. Bagian span miring. Ini adalah merupakan kurva kawat yang sebenarnya bila direntang dengan titik tumpu yang tidak sama tingginya. Bagian kurvanya adalah ACD dengan jarak span a .
- c. Bagian span pendek dengan titik tumpu yang rata. Titik tumpu tersebut adalah titik tumpu yang rendah dan yang lain adalah titik pada kurva dengan ketinggian sama dengan titik tumpu yang rendah. Kurva pada bagian ini adalah ACB' dengan span a_2 .

Berdasarkan persamaan 3.3, harga andongan untuk masing-masing jarak span adalah:

$$f_1 = \frac{g \cdot a_1^2}{8 \cdot P_0} \quad \text{dan} \quad f_2 = \frac{g \cdot a_2^2}{8 \cdot P_0}$$

Pada gambar 19 berlaku hubungan:

$$Z = a_1 - a \quad \dots \dots \dots (3.29)$$

$$a_1 = 2m$$

$$a_2 = 2n$$

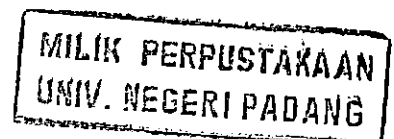
$$a = m + n$$

$$2a = a_1 + a_2$$

Maka:

$$a_2 = 2a - a_1$$

$$f_2 = b = f_1 - f_2$$



$$f_z = \frac{a_1^2 \cdot g}{8 \cdot P_u} - \frac{a_2^2 \cdot g}{8 \cdot P_u}$$

$$f_z = \frac{a_1^2 \cdot g}{8 \cdot P_u} - \frac{(2a - a_1)^2 \cdot g}{8 \cdot P_u} = \frac{a_1^2 \cdot g}{8 \cdot P_u} - \frac{(4a^2 - 4a_1 a + a_1^2) \cdot g}{8 P_u}$$

$$f_z = \frac{(4a^2 - 4a \cdot a_1) \cdot g}{8 \cdot P_u}$$

$$c = f_z = \frac{g \cdot a \cdot a_1}{2 \cdot P_u} - \frac{g \cdot a^2}{2 P_u} \dots \dots \dots (3.30)$$

$$\frac{2 \cdot P_u}{g \cdot a} \cdot b = a_1 - a \dots \dots \dots (3.31)$$

Bila hubungan pada persamaan 3.29 disubstitusikan dalam persamaan 3.31 didapat:

$$z = \frac{2 \cdot P_u}{g \cdot a} \cdot b \text{ Dari gambar 19 terdapat hubungan:}$$

$$m = \frac{a_1}{2}$$

Bila hubungan ini disubstitusikan pada persamaan 3.31 didapat:

$$m = \frac{a}{2} + \frac{P_u \cdot b}{g \cdot a}$$

$$a = m + n$$

$$n = a - m = a - \frac{a}{2} - \frac{P_u \cdot b}{g \cdot a}$$

$$n = \frac{a}{2} - \frac{P_u \cdot b}{g \cdot a}$$

Berdasarkan gambar 19

$$a_1 = 2n \quad \text{dan} \quad a_2 = 2m$$

Maka:

$$a_1 + a_2 = 2n + 2m$$

$$a_1 + a_2 = a + \frac{2 \cdot P_u \cdot b}{g \cdot a} + a - \frac{2 \cdot P_u \cdot b}{g \cdot a} = 2a$$

$$b = f_1 - f_2 = \frac{g}{8.P_o}(a_1^2 - a_2^2) = \frac{g}{8.P_o}(a_1 + a_2)(a_1 - a_2)$$

$$b = \frac{g}{8.P_o} . 2a . (a_1 - a_2)$$

$$b = \frac{g.a}{4.P_o} . (a_1 - a_2) \dots\dots\dots (3.32)$$

Dari gambar 19, pada suatu titik B' berlaku hubungan:

$$P_o = P . \cos \alpha$$

$$f' = f . \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{a}{a'}$$

maka:

$$f' = f . \frac{a}{a'} \dots\dots\dots (3.33)$$

2. Kurva Merupakan bagian Setengah Kurva Hyperbola

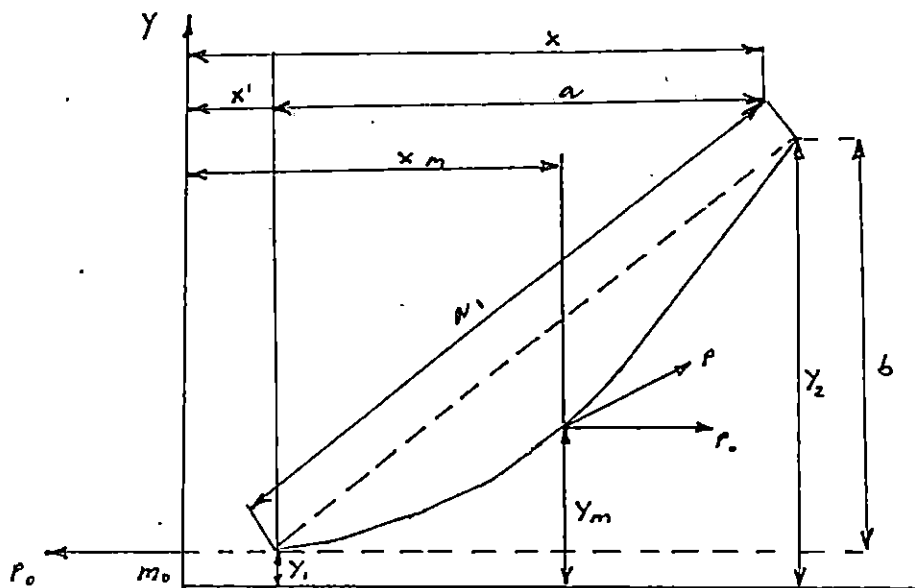
Metoda analisa ini biasanya digunakan untuk medan pemasangan yang terjal. Tegangan tarik yang dikenakan pada titik ikat dengan demikian juga menjadi besar pula. Pada medan pemasangan yang demikian titik terendah dari kurva adalah titik ikat yang rendah, bukan pada titik dimana andongan yang terjadi paling besar. Di sini andongan dilihat terhadap span yang miring.

Pada gambar 20 ditunjukkan bentuk kurva kawat bila dipasang pada medan yang terjal. Beda tinggi antara titik ikat adalah b. Kalau dianggap kurva merupakan bagian dari setengah hyperbola, maka berdasar persamaan 3.18 didapat hubungan-hubungan:

$$y_1 = h . \cosh \frac{x_1}{h}$$

$$y_2 = h \cdot \cosh \frac{x_2}{h}$$

$$y_m = h \cdot \cosh \frac{x_m}{h}$$



Gambar 20. Kurva kawat untuk sudut elevasi pemasangan yang besar (Turan Gonen, 1988: 639).

y_m adalah koordinat titik tengah dari kawat. Harga andongan pada titik tengah ini adalah:

$$f = \frac{y_2 + y_1}{2} - y_m = \frac{h}{2} \cdot \left(\cosh \frac{x_2}{h} - \cosh \frac{x_1}{h} \right) - y_m$$

$$f = h \cdot \left(\cosh \frac{x_2 + x_1}{2h} \cdot \cosh \frac{x_2 - x_1}{2h} \right) - y_m = h \cdot \cosh \frac{x_m}{h} \cdot \cosh \frac{a}{2h} - y_m$$

$$f = y_m \cdot \cosh \frac{a}{2h} - y_m$$

jadi

$$f = y_m \left(\cosh \frac{a}{2h} - 1 \right) \dots \dots \dots (3.34)$$

Dari persamaan 3.25 harga tegangan pada titik B diukur adalah:

$$P_B = P_o + g \cdot f$$

P_o = tegangan pada titik tengah hyperbola/titik terendah hyperbola

$$h = \frac{P_o}{g}$$

h = ordinat titik terendah

$$P_B = g \cdot h + g \cdot f$$

$$P_B = g \cdot (h+f) = g \cdot y \dots\dots\dots (3.35)$$

Dari persamaan 3.35 dapat disimpulkan bahwa tegangan pada suatu titik adalah ordinat dikalikan dengan berat kawat per satuan panjang.

Bila disimpulkan dari persamaan 3.35 digunakan untuk titik M yang terletak ditengah-tengah span, maka:

$$P_M = y_m \cdot g$$

sehingga:

$$y_m = \frac{P_M}{g}$$

Bila disubstitusikan pada persamaan 3.34, maka:

$$f = \frac{P_M}{g} \left(\cosh \frac{a}{2h} - 1 \right) \dots\dots\dots (3.36)$$

Dalam bentuk uraian Binomium persamaan di atas menjadi:

$$f = \frac{P_M}{g} \left(1 + \frac{a^2}{8h^2} + \frac{a^4}{384h^4} + \dots - 1 \right)$$

Dalam analisa ini suku ketiga dan berikutnya diabaikan karena harganya cukup kecil. Maka persamaan di atas menjadi:

$$f = \frac{P_M}{g} \left(\frac{a^2}{8h^2} + \frac{a^4}{384h^4} \right) \dots\dots\dots (3.37)$$

Dalam persamaan 3.37 terdapat dua variabel tegangan yaitu P_M dan $h=g/h$. Hal ini dalam pemakaian adalah

tidak praktis. Di bawah ini diusahakan untuk mengeliminir salah satu harga tegangan tersebut.

Beda tinggi tumpu adalah:

$$b = y_2 - y_1$$

$$b = h \left(\cosh \frac{x_2}{h} - \cosh \frac{x_1}{h} \right) = 2h \cdot \sinh \frac{x_2 + x_1}{2h} \cdot \sinh \frac{x_2 - x_1}{2h}$$

$$b = 2h \cdot \sinh \frac{x_m}{h} \cdot \sinh \frac{a}{2h}$$

Karena harga $a/(2h)$ kecil, maka $\sinh \frac{a}{2h} \cong \frac{a}{2h}$, sehingga:

$$b = 2h \cdot \sinh \frac{x_m}{h} \cdot \frac{a}{2h} = a \cdot \sinh \frac{x_m}{h}$$

jadi:

$$\sinh \frac{x_m}{h} = \frac{b}{a}$$

$$y_m = h \cdot \sinh \frac{x_m}{h} = h \cdot \sqrt{1 + \left(\sinh \frac{x_m}{h} \right)^2}$$

$$y_m = h \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{b}{a} \right)^2} = \frac{h}{a} \sqrt{a^2 + b^2}$$

Dari gambar 20 didapat hubungan:

$$a' = \sqrt{a^2 + b^2}$$

sehingga:

$$y_m = \frac{h}{a} \cdot a'$$

Dari gambar 20, juga didapat hubungan:

$$\cos \alpha = \frac{a}{a'}$$

sehingga:

$$y_m = \frac{h}{\cos \alpha}$$

$$h = y_m \cdot \cos \alpha = y_m \cdot \frac{a'}{a}$$

$$\frac{H}{g} = \frac{P_M}{g} \cdot \frac{a}{a'}$$

Bila hubungan di atas disubstitusikan pada persamaan 3.37:

$$f = \frac{P_M}{g} \cdot \left(\frac{a^2 \cdot g^2}{8 \cdot H^2} + \frac{a^4 \cdot g^4}{384 \cdot H^4} \right)$$

$$f = \frac{P_M}{g} \cdot \left(\frac{a^2 \cdot g^2}{8 \cdot P_M^2} \cdot \frac{a'}{a} + \frac{a^4 \cdot g^4}{384 \cdot P_M^4} \cdot \frac{a'^4}{a^4} \right)$$

$$f = \frac{a'^2 \cdot g^2}{8 \cdot P_M} + \frac{a'^4 \cdot g^3}{384 \cdot P_M} \dots \dots \dots (3.38a)$$

Persamaan 3.38a adalah analog dengan persamaan 3.19, yang sama-sama menyatakan andongan untuk suatu jarak span tertentu. Perbedaan persamaan-persamaan itu adalah bahwa yang satu untuk span rata sedang lainnya adalah untuk span miring. Tegangan yang dipergunakan adalah P_M dengan arah sejajar dengan span miring sedang untuk span datar adalah H yang arahnya sejajar dengan span datarnya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa perhitungan untuk sag selalu digunakan tegangan kawat yang sejajar dengan arah spannya.

Analog dengan persamaan 3.19, suku kedua dari persamaan 3.38 adalah faktor koreksi. Bila faktor koreksi ini diabaikan maka harga andongan untuk span miring adalah:

$$f = \frac{g \cdot a'^2}{8 \cdot P_M} = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_M} \cdot \frac{1}{(\cos \alpha)^2} \dots \dots \dots (3.38)$$

Dari persamaan 3.38 didapatkan bahwa andongan untuk span miring adalah $\frac{1}{\cos^2 \alpha}$ lebih besar dari

andongan untuk span rata. α adalah sudut kemiringan dari span.

3. Tegangan Pada Titik Ikat

Untuk mencari harga tegangan pada titik ikat didasarkan pada referensi tegangan pada titik tengah jarak span datar. Sesuai dengan persamaan 2.25, maka besarnya tegangan pada titik ikat adalah tegangan pada suatu titik ditambah beda tinggi kali berat kawat per satuan panjang.

Sehingga didapat:

$$P_B = P_M + g \cdot \left(f + \frac{b}{2} \right)$$

$$P_A = P_M - g \cdot \left(f - \frac{b}{2} \right)$$

Untuk medan yang sangat terjal harus diperhatikan agar tegangan untuk titik ikat yang tinggi tidak boleh melebihi harga tegangan maksimum kawat.

D. PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR

Bila kawat telah dipasang pada lokasi transmisi maka sesuai dengan kondisi lingkungan akan mengalami perubahan suhu. Penyebab kenaikan suhu ini selain suhu lingkungan adalah arus yang mengalir didalam konduktor.

Untuk menjaga keamanan baik terhadap lingkungan maupun untuk kawat itu sendiri maka akibat-akibat perubahan suhu harus diperhitungkan dalam merancang transmisi. Bila suhu kawat naik maka kawat akan bertambah panjang. Perubahan ini akan mengakibatkan

andongan membesar. Sehingga *ground clearance* nya mengecil. Yang harus dijaga adalah *ground clearance* nya pada saat suhu paling tinggi ini masih cukup aman bagi lingkungan transmisi. *Ground clearance* minimum ini telah ditentukan oleh PLN.

Sedang bila suhu pada saat yang paling dingin, maka kawat akan menyusut panjangnya. Perubahan yang ditimbulkan adalah tegangan kawat tersebut akan membesar. Pada saat tegangan yang paling besar ini harus dijaga agar tidak melebihi tegangan maksimum yang diijinkan terjadi pada kawat. Karena bila tegangan maksimum ini dilewati, maka kawat akan putus.

Pada analisa ini untuk harga awal digunakan subscript a sedang untuk keadaan yang dicari (akhir) digunakan subscript e.

Bila panjang kawat mula-mula adalah l_a dan koefisien muai kawat karena perubahan suhu secara keseluruhan adalah ϵ_t .

Dengan demikian akibat suatu perubahan suhu, perubahan panjang kawat adalah:

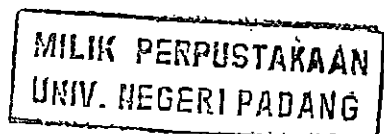
$$\Delta l = \epsilon_t (t_e - t_a) \cdot l_a \dots\dots\dots (3.39)$$

Perubahan panjang kawat akan mengubah besarnya andongan. Dengan berubahnya harga andongan akan mengakibatkan tegangan kawat berubah pula. Untuk andongan yang berubah dari f_a menjadi f_e , maka tegangannya akan menjadi.

$$P_e = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot f_e}$$

Untuk suhu yang membesar maka $f_a < f_e$, sehingga $P_a > P_e$.

Bila E adalah modulus elastisitas total dari konduktor, maka perubahan panjang karena perubahan tegangan kawat adalah:



$$\Delta l_p = -\frac{P_u - P_c}{E} \cdot l_u = \frac{P_c - P_u}{E} \cdot l_u$$

Jadi perubahan panjang kawat karena perubahan suhu maupun tegangan adalah:

$$l_c - l_u = \Delta l_p + \Delta l_t = \frac{P_c - P_u}{E} \cdot l_u + \varepsilon_t (t_c - t_u) \cdot l_u$$

Berdasar persamaan 3.28 perubahan panjang kawat karena perubahan andongan adalah:

$$l_c - l_u = \left(a_c + \frac{8f_c^2}{3a_c} \right) - \left(a_u + \frac{8f_u^2}{3a_u} \right)$$

$$a_c = a_u = a$$

$$l_c - l_u = \frac{8}{3a} \cdot (f_c^2 - f_u^2)$$

$$\frac{8}{3a} (f_c^2 - f_u^2) = \frac{P_c - P_u}{A \cdot E} \cdot l_u + \varepsilon_t (t_c - t_u) \cdot l_u \dots \dots \dots (3.40)$$

Karena panjang span yang besar dan tegangan tarik kawat juga besar, sehingga andongan relatif kecil. Maka panjang mula-mula kawat dapat dianggap sama dengan span (=a). Dengan demikian persamaan 3.40 dapat diubah menjadi:

$$\frac{8}{3a^2} (f_c^2 - f_u^2) = \frac{P_c - P_u}{A \cdot E} + \varepsilon_t (t_c - t_u) \dots \dots \dots (3.41)$$

Pada persamaan 3.41 terdapat tiga variabel, yaitu andongan (f), suhu (t), dan tegangan (P). Untuk perhitungan praktis hal ini sulit dilakukan. Karena harus dicari tiga variabel. Berdasarkan persamaan 3.4, maka f disubstitusikan, sehingga persamaan 3.41 menjadi:

$$\frac{8}{3a^2} \left(\frac{g_c^2 \cdot a^2}{8^2 \cdot P_c^2} - \frac{g_u^2 \cdot a^4}{A \cdot E} + \varepsilon_t (t_c - t_u) \cdot l_u \right)$$

Setelah dieliminir dan diselesaikan persamaan tersebut menjadi:

$$\frac{E}{24} \cdot \frac{g_c^2 \cdot a^2}{P_c^2} - P_c = \frac{E}{24} \cdot \frac{g_u^2 \cdot a^2}{P_u^2} - P_u + E \cdot \varepsilon_i (t_c - t_u) \dots \dots \dots (3.42)$$

Pada perancangan mekanis semua keadaan awal (keadaan waktu pemasangan) ditentukan lebih dahulu. Sehingga harga-harga awal dari persamaan 3.42 dapat diketahui. Bila harga kondisi awal ini dimasukkan kedalam persamaan 3.42, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{A}{P_c^2} - P_c = B \dots \dots \dots (3.43)$$

dimana:

$$A = \frac{E \cdot g_c^2 \cdot a^2}{24}$$

$$B = \frac{E \cdot g_u^2 \cdot a^2}{24 P_u^2} - P_u + E \cdot \varepsilon_i (t_c - t_u)$$

Untuk mencari harga P_c dari persamaan 3.43 diselesaikan dengan metoda iterasi.

E. PENGARUH ANGIN

Dalam analisa ini tekanan angin yang diperhitungkan pada kawat transmisi adalah hanya komponen yang tegak lurus span transmisi.

Diasumsikan pula bahwa suatu gugus angin tak mungkin melingkupi suatu jarak span. Sehingga yang diperhitungkan adalah pengaruh kecepatan angin bukan pengaruh gugus angin tersebut.

Berdasarkan pada percobaan yang dilakukan di Amerika Utara dan beberapa negara Eropa, yang dilaporkan pada CIGRE 1954, rumus yang digunakan untuk mengubah besaran kecepatan menjadi besaran tekanan adalah:

$$P = 0,0625 \cdot v^2 \cdot \mu$$

μ = faktor efektifitas kecepatan, yaitu frekuensi dicapainya harga rata-rata kecepatan dalam suatu perioda pengamat tertentu.

Untuk pemakaian yang umum μ diambil harganya sekitar 0,4.

Kemudian tekanan angin diubah menjadi berat persatuan panjang sebagai beban tambahan bagi konduktor. Pada suatu titik pada konduktor dibawah pengaruh angin maka pada titik tersebut bekerja dua gaya, yaitu:

- pada arah vertikal, adalah berat konduktor sendiri, g .
- pada arah transversal (tegak lurus span) adalah pengaruh angin, γ

Resultante dari kedua gaya ini adalah g_1 . Harga g_1 ini dipergunakan untuk perhitungan sebagai berat kawat per satuan panjang. Karena dengan menggunakan g_1 telah pula diperhitungkan beban angin yang ada.

Perhitungan harga γ dari tekanan yang diakibatkan oleh angin adalah sebagai berikut:

P adalah tekanan angin. Untuk satu satuan panjang kawat akan didapat beban spesifik angin untuk kawat. Adapun harganya adalah:

$$\gamma = \frac{P}{q} \quad (\text{kg/satuan panjang})$$

Dengan demikian didapat berat spesifik penghantar persatuan panjang di bawah pengaruh angin.

$$g_1 = \sqrt{g^2 + \gamma^2}$$

Kecepatan angin adalah sangat tergantung pada ketinggiannya. Semakin tinggi kecepatan angin semakin besar. Untuk Indonesia, PLN telah menetapkan kecepatan

angin yang digunakan adalah 40 m/detik. Sehingga harga tekanan yang didapat sekitar 40 kg/m².

BAB IV

METODA PERHITUNGAN RANCANGAN MEKANIS SALURAN TRANSMISI

Dalam bab ini akan diuraikan cara menghitung besaran-besaran mekanis kawat konduktor bila direntang pada titik ikat menara. Disamping besaran mekanis kawat juga akan dihitung besaran untuk menara transmisi. Untuk menara transmisi perhitungan besarannya dilakukan untuk keperluan penentuan jenis menara yang diperlukan pada suatu titik tumpu serta tinggi menara yang diperlukan titik tumpu tersebut. Penentuan jenis menara didasarkan pada resultante gaya tegangan tarik kawat yang diikat pada menara tersebut. Penentuan jenis menara didasarkan pada resultante gaya tegangan tarik kawat yang diikat pada menara tersebut. Sedangkan tinggi menara yang diperlukan untuk suatu titik tumpu didasarkan pada besar andongan yang terjadi serta kondisi topografi tanah disekitar titik terendah kurva rentangan kawat konduktor.

Di dalam perhitungan ini juga diperhitungkan kemungkinan perubahan keadaan suhu dan pengaruh akibat perubahan suhu tersebut. Dengan demikian perhitungan ini cukup aman untuk perubahan cuaca yang dimiliki konduktor pada lokasi pemasangan. Dalam perhitungan ini, diperhitungkan kemungkinan suhu konduktor dari kondisi yang paling dingin hingga kondisi suhu yang paling panas yang dialami oleh konduktor. Adapun [enyebab perubahan suhu konduktor selain fluktuasi suhu lingkungan, juga pemanasan yang disebabkan oleh mengalirnya arus di dalam kawat konduktor tersebut.

Adapun pengertian untuk suatu transmisi ialah transmisi tersebut aman bagi lingkungannya dan aman bagi transmisi tersebut sendiri. Yang dimaksud aman bagi lingkungan disini terutama menyangkut jarak bebas (*clearance*) dari konduktor. Masalah jarak bebas ini berhubungan erat dengan tinggi menara pada suatu titik tumpu.

Seperti telah diuraikan sebelumnya, bila suhu konduktor naik, maka konduktor akan memuai. Sehingga panjang konduktor tersebut akan bertambah. Dengan demikian andongan dari konduktor membesar, sehingga jarak bebasnya akan mengecil.

Adapun yang harus dijaga dari fenomena ini ialah pada saat kondisi suhu konduktor yang paling panas jarak bebas dari konduktor tetap memadai. Sehingga pada saat kondisi yang paling panas tersebut transmisi tidak mengganggu lingkungannya.

Sedang pengertian aman bagi transmisi itu sendiri ialah transmisi tersebut tidak akan mengalami kerusakan bila kondisi lingkungannya berubah. Hal ini terutama berhubungan erat dengan konduktor. Dimana tegangan tarik konduktor tidak boleh melewati harga tegangan maksimumnya. Dalam bab sebelumnya telah diuraikan suhu konduktor turun, maka konduktor akan menyusut. Dengan bertambah pendeknya konduktor, maka tegangan tarik akwat akan bertambah besar. Yang dijaga dari fenomena ini ialah bahwa tegangan tarik pada waktu suhu yang paling dingin yang mungkin terjadi, tegangan tarik kawat tidak melebihi harga tegangan maksimum dari kawat.

Besarnya tegangan tarik maksimum yang diizinkan telah ditentukan oleh PLN. Adapun besarnya tegangan

tarik tersebut adalah $\frac{1}{2,25}$ kali tegangan tarik rusak (*ultimate breaking strength*) dari data kawat yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya.

Setelah dilakukan survey rute transmisi, maka rute transmisi ditentukan. Kemudian digambar penampang memanjang kondisi topografi dan peta situasi dari rute transmisi tersebut. Berdasarkan ada peta topografi dan span dasar dari menara yang akan digunakan maka dilakukan penentuan titik tumpu menara. Jarak pengaturan titik tumpu berkisar diantara harga toleransi minimum dan maksimum dari basic span.

Untuk suatu jalur transmisi yang lurus, dimana pada bagian rute tersebut kawat tidak diputus, bagian transmisi yang demikian ini disebut sebagai satu seksi dari transmisi. Untuk suatu seksi maka komponen mendatar dari tegangan tarik kawat dibuat sama pada waktu kondisi pemasangan. Dengan demikian pada kondisi pemasangan resultante gaya mendatar pada titik ikat di menara relatif kecil. Sehingga pada menara tumpu dengan isolator gantung, isolator dapat tergantung luruh kebawah.

Akibat fluktuasi suhu konduktor yang disebabkan oleh fluktuasi suhu lingkungan dan arus yang mengalir dalam konduktor, maka tegangan tarik kawatnya juga berubah-ubah. Sehingga tegangan resultante pada titik ikat kawat juga berubah. Adapun penyebabnya ialah karena perubahan gaya pada kedua span dikedua sisi titik ikat besarnya tidak sama. Sehingga pada saat demikian isolator ada kemungkinan tidak tergantung, lurus lagi. Deviasi kemiringan ini masih diijinkan dengan batas,

jarak kawat yang terikat pada isolator tersebut dengan *cross arm* menara tidak melewati harga minimumnya.

Setelah pengaturan titik tumpu menara dilakukan, maka dapat diketahui besarnya masing-masing jarak span ($=a$) dan beda elevasi ($=b$) dari titik-titik tumpu. Dengan menentukan besar komponen mendatar tegangan tarik kawat konduktor, maka perhitungan besaran-besaran mekanis dari kawat konduktor dan menara transmisi dapat dilakukan.

Perhitungan rancangan mekanis saluran transmisi dibedakan atas 3 macam perhitungan berdasarkan kondisi kemiringan span dari transmisi. Adapun ketiga perhitungan tersebut adalah:

1. Perhitungan untuk span rata.
2. Perhitungan untuk span miring.
3. Perhitungan untuk span terjal.

A. PERHITUNGAN UNTUK SPAN RATA

Perhitungan ini dilakukan untuk suatu span dimana titik tumpu sama tinggi. Dengan demikian beda elevasi antara kedua titik tumpu tersebut adalah nol.

Setelah besarnya komponen mendatar dari tegangan tarik kawat ditentukan, maka perhitungan dapat mulai dilakukan. Perhitungan untuk span rata ini dilakukan untuk tiga kondisi suhu yang mungkin dialami oleh konduktor. Adapun ketiga macam kondisi tersebut adalah:

1. Kondisi suhu pemasangan atau sehari-hari (*every day temperature*).
2. Kondisi suhu paling dingin.
3. Kondisi suhu paling panas.

Perhitungan dimulai kondisi pemasangan, pada kondisi ini besaran-besaran awal dari kawat konduktor

ditentukan. Komponen mendatar tegangan tarik yang ditentukan juga dipakai pada kondisi ini.

Dengan demikian nantinya pada kondisi sehari-hari besaran mekanis dari kawat konduktor tidak banyak mengalami perubahan. Sehingga kondisi kesetimbangan komponen tegangan mendatar pada menara tumpu dapat dicapai.

1. Perhitungan pada Kondisi Suhu Pemasangan

Setelah diketahui besarnya komponen mendatar dari tegangan tarik kawat ($=P_0$), maka perhitungan dimulai dengan mencari besarnya andongan dari span tersebut.

Berdasarkan persamaan 3.4, besarnya andongan tersebut adalah:

$$f = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_0}$$

Dimana:

\bar{g} = berat kawat persatuan panjang tanpa pengaruh angin

P_0 = Komponen mendatar dari tegangan tarik kawat

a = Jarak span

Kemudian berdasar harga andongan ini dicari besarnya tegangan pada titik ikat. Berdasar persamaan 3.25, besar tegangan tarik pada titik ikat adalah:

$$P = P_0 + g \cdot f$$

Untuk kondisi span rata, maka besar tegangan tarik pada kedua titik ikat adalah sama. Besar tegangan di atas adalah tegangan yang harus diberikan pada waktu pemasangan kawat, pengukuran besarnya tegangan tarik kawat dilakukan dengan dinamo meter.

Setelah besaran-besaran diatas diketahui kemudian dicari panjang kawat yang diperlukan untuk span tersebut berdasarkan persamaan 3.28 panjang kurva kawat pada span tersebut adalah

$$l = a \left[1 - \frac{g^2 a^2}{24 p_0^2} \right]$$

Harga panjang kawat pada persamaan diatas adalah panjang kawat dalam keadaan direntang pada menara transmisi. Artinya panjang kawat diatas adalah panjang kawat setelah mengalami perpanjangan akibat tegangan tarik yang dikenakan pada kawat, pada umumnya kawat yang dipergunakan pada pemasangan saluran transmisi adalah kawat konduktor yang baru. Sehingga kawat kawat sebelumnya belum pernah mendapat tegangan tarik, maka harga tegangan awal dari kawat adalah nol, maka perubahan panjang panjang kawat adalah nol. jadi perubahan panjang kawat akibat tegangan pemasangan adalah

$$\Delta l = \frac{p_0}{E} l$$

Pada rumus diatas terjadi sedikit pengabaian dengan menganggap perubahan panjang berdasarkan pada panjang setelah diregang. sehingga berdasarkan kedua persamaan diatas, panjang kawat

sebelum dipasang adalah:

$$l_u = l - \Delta l$$

Harga panjang kawat pada persamaan di atas adalah panjang yang harus disediakan untuk span ini. Harga l_u ini perlu diketahui untuk menentukan panjang kawat yang harus disediakan juga diperlukan untuk menentukan biaya investasi transmisi.

2. Perhitungan pada Kondisi Suhu Paling Dingin

Untuk kondisi suhu ini yang dicari pertama adalah besarnya komponen mendatar dari tegangan tarik kawat pada kondisi ini. Untuk mencari harga komponen mendatar tegangan tarik kawat dilakukan dengan mengintegrasikan persamaan 3.43, yang diturunkan dari persamaan keadaan. Untuk kondisi awal dari persamaan tersebut digunakan besaran kondisi pada suhu pemasangan. Hal ini dikarenakan pada kondisi pemasangan besaran-besaran kawat konduktor telah ditentukan terlebih dahulu.

Untuk perhitungan pada suhu paling dingin ini, kawat yang digunakan adalah berat kawat persatuan panjang setelah pengaruh angin diperhitungkan.

Komponen tegangan mendatar pada kondisi suhu paling dingin adalah P_{ed} . Berdasar persamaan 3.43, hubungan P_{ed} adalah:

$$\frac{A}{P_{ed}^2} - P_{ed} = B$$

Dengan harga-harga A dan B adalah:

$$A = \frac{E \cdot g_e^2 \cdot a^2}{24}$$

$$B = \frac{E \cdot g_a^2 \cdot a^2}{24 \cdot P_u^2} - P_u + E \cdot \epsilon_t \cdot (t_e - t_a)$$

E adalah modulus elastisitas kawat dan ϵ_t adalah koefisien muai panjang dari kawat.

Seperti telah diuraikan pada bab sebelumnya berat kawat persatuan panjang pada kondisi pemasangan adalah berat kawat tanpa pengaruh angin. Karena kondisi awal yang digunakan adalah kondisi pemasangan, maka harga $g_a = g$.

Sedangkan pada kondisi suhu paling dingin, berat kawat yang digunakan adalah pada saat dipengaruhi angin. Sehingga $g_e = g_1$. Adapun besarnya g_1 adalah merupakan resultante dari berat kawat persatuan panjang dengan gaya akibat pengaruh angin persatuan panjang.

Dengan demikian besar g_1 adalah:

$$g_1 = \sqrt{g^2 + \gamma^2}$$

Dimana:

g_1 = berat kawat persatuan panjang dengan pengaruh angin.

g = berat kawat persatuan panjang, berdasar data yang dikeluarkan pabrik ditambah dengan berat bahan pelindung korosi.

γ = berat beban angin persatuan panjang setelah dikonversikan dari bentuk kecepatan angin menjadi besaran berat.

Berdasarkan persamaan 3.4, maka besar andongan pada saat kondisi tersebut adalah:

$$f = \frac{g_1 \cdot a^2}{2 \cdot P_{ed}}$$

Berdasarkan persamaan 3.25, besarnya tegangan pada titik ikat adalah:

$$P_i = P_{ed} + g_1 \cdot f$$

Besarnya P_{ed} didapat dari hasil iterasi persamaan 3.43, seperti telah dijelaskan dimuka.

Bila tegangan pada titik ikat yang didapat lebih besar dari harga tegangan maksimum yang diizinkan terjadi pada kawat, maka susunan span dari peletakan titik tumpu menara diubah. Atau tegangan kerja kawat besarnya diubah. Bila hal ini yang dilakukan, maka sebaiknya perhitungan dimulai dari kondisi suhu yang paling dingin.

Setelah diketahui besarnya tegangan ikat pada titik ikat dari masing-masing kawat pada suatu menara, dicari resultante gaya dari kawat-kawat tersebut. Resultante yang diperlukan terutama disini

adalah resultante gaya vertikalnya. Dimana besar beban vertikal ini diperlukan untuk menentukan jenis menara. Adapun besar gaya vertikal untuk satu sisi kawat:

$$P_v = \sqrt{P_i^2 - P_{cd}^2}$$

3. Perhitungan pada Kondisi Suhu Paling Panas

Perhitungan pada kondisi suhu paling panas terutama diperlukan untuk menentukan tinggi menara yang diperlukan pada suatu titik tumpu. Hal ini dikarenakan pada kondisi ini andongan kawat konduktor yang terjadi adalah paling besar. Sehingga bila jarak bebas pada suhu paling panas ini memenuhi jarak bebas minimum, maka pada kondisi lain jarak bebas ini juga akan terpenuhi.

Analog dengan perhitungan pada kondisi suhu paling dingin, yang pertama dilakukan adalah mencari besar komponen tegangan mendatar dari kawat konduktor. Besar tegangan pada kondisi ini adalah P_{ep} . Adapun P_{ep} , analog dengan kondisi suhu paling dingin didapat dari iterasi persamaan. Adapun persamaan tadi adalah:

$$\frac{A}{P_{ep}^2} - P_{ep} = B$$

Dimana harga A dan B:

$$A = \frac{E \cdot g^2 \cdot a^2}{24}$$

$$B = \frac{E \cdot g^2 \cdot a^2}{24 \cdot P_o^2} - P_o + E \cdot \epsilon_t \cdot (t_c - t_o)$$

Untuk kondisi awal analog dengan perhitungan pada suhu paling dingin digunakan kondisi pemasangan.

Setelah diketahui besarnya komponen tegangan mendatar ini maka dicari besarnya andongan untuk kondisi ini. Besar andongan tersebut adalah:

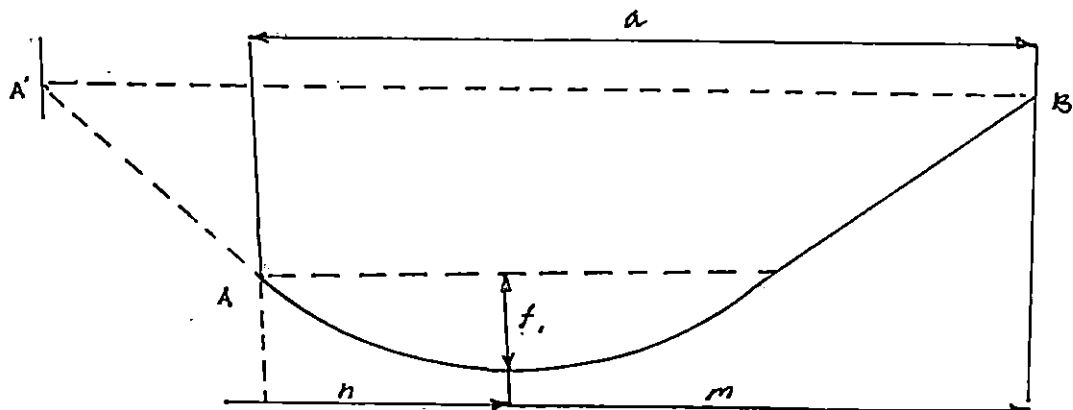
$$f = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_{cp}}$$

Dari harga andongan ini maka tinggi menara yang diperlukan untuk titik tumpu tersebut dapat dilihat pada Bab V.

B. PERHITUNGAN UNTUK SPAN MIRING

metoda perhitungan ini dilakukan untuk suatu span dengan elevasi kemiringan dari span ini masih memungkinkan kawat konduktor dengan tegangan tarik yang telah ditentukan membentuk suatu kurva lebih dari setengah bagian kurva hyperbola. Jadi span ini titik terendah dari kurva buka pada titik tumpu yang terendah, tetapi terletak pada kurva yang dibentuk oleh kawat konduktor.

Seperti pada untuk kondisi span rata, untuk suatu elevasi span miring perhitungan juga dilakukan untuk tiga kondisi suhu kawat konduktor. Untuk memudahkan dalam menanalisa, maka gambar 19 digambar kembali pada gambar 21.



Gambar 21. Kurva kawat untuk span miring (Deweese, 1990:118)

1. Perhitungan pada Kondisi Pemasangan

Setelah harga komponen mendatar dari tegangan tarik kawat ditentukan, maka langkah pertama adalah mencari jarak titik terendah dari titik tumpu yang rendah ($=n$). Adapun besarnya n tersebut adalah:

$$n = \frac{a}{2} - \frac{P_u \cdot b}{g \cdot a}$$

Maka besar andongan dilihat dari titik tumpu yang rendah adalah:

$$f_1 = \frac{g \cdot n^2}{2 \cdot P_u}$$

Sehingga berdasar persamaan 3.25 besar tegangan ikat pada titik ikat yang rendah adalah:

$$P_d = P_u + f_1 \cdot g$$

Untuk titik tumpu yang tinggi, jarak dari titik terendah kurva dengan titik tumpu yang tinggi adalah:

$$m = a - n \quad \text{dan} \quad f_2 = \frac{g \cdot m^2}{2 \cdot P_u}$$

Sehingga besar tegangan ikat pada titik ikat yang tinggi adalah:

$$l_1 = n \cdot \left(1 + \frac{g^2 \cdot n^2}{6 \cdot P_u^2} \right)$$

Sedang untuk bagian kurva dengan jarak span yang panjang adalah:

$$l_2 = m \cdot \left(1 + \frac{g^2 \cdot m^2}{6 \cdot P_u^2} \right)$$

Maka panjang kurva yang diperlukan untuk span tersebut adalah:

$$l = l_1 + l_2$$

Analog dengan span rata, panjang kurva kawat diatas adalah panjang kawat dalam keadaan terpasang.

Jadi panjang kawat diatas adalah panjang kawat setelah mendapat tegangan tarik. Disini diasumsikan pula kawat yang digunakan adalah kawat konduktor yang baru. Sehingga tegangan tarik kawat akibat tegangan pemasangan analog dengan untuk span rata, adalah:

$$\Delta l = \frac{P_u}{E} \cdot l$$

Jadi panjang kawat sebelum direntang adalah:

$$l_u = l - \Delta l$$

Harga panjang kawat diatas adalah panjang kawat yang harus disediakan untuk span ini. Perhitungan untuk kondisi suhu pemasangan berhubungan erat dengan perhitungan untuk biaya yang harus disediakan bagi konduktor yang diperlukan.

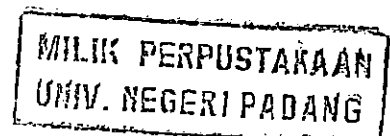
2. Perhitungan pada Kondisi Suhu Paling Dingin

Analog dengan span datar, maka untuk span miring perhitungan tegangan tarik pada kondisi suhu yang paling dingin didasarkan pada persamaan yang didapat dari penurunan persamaan keadaan. Demikian pula untuk berat kawat persatuan panjang yang digunakan untuk kondisi suhu yang paling dingin ini adalah berat kawat per satuan panjang yang dipengaruhi oleh kecepatan angin (g_1).

Harga komponen mendatar dari tegangan tarik kawat pada kondisi suhu paling dingin ($=P_{ed}$), didapat dari persamaan 3.43:

$$\frac{A}{P_{ed}^2} - P_{ed} = B$$

Dengan harga A dan B adalah sesuai dengan yang telah diuraikan.



Hanya harga a (=jarak span) adalah merupakan span fiktif yang panjang. Jadi disini harga

$$a = 2.m$$

Untuk mendapat harga P_{ed} adalah dengan jalan menintegrasi persamaan di atas. Dengan kondisi awal diambil pada kondisi pemasangan.

Setelah diketahui besarnya komponen tegangan mendatar, kemudian dicari besarnya tegangan tarik kawat pada titik ikatnya. Pada kondisi suhu paling dingin ini perhitungan terutama ditunjukkan untuk mencari besar tegangan pada titik ikat pada kondisi ini. Hal ini menyangkut dalam perhitungan untuk menentukan jenis menara yang diperlukan pada suatu titik tumpu.

Berdasarkan persamaan 3.32, jarak titik terendah dari kurva pada kondisi suhu paling dingin adalah:

$$n = \frac{a}{2} - \frac{P_{ed} \cdot b}{g_1 \cdot a}$$

Dengan demikian maka andongan untuk titik ikat yang rendah adalah:

$$f_1 = \frac{g_1 \cdot n^2}{2 \cdot P_{ed}}$$

Maka besar tegangan pada titik ikat yang rendah ini adalah:

$$P_i = P_{ed} + f_1 \cdot g_1$$

Untuk keperluan penentuan jenis menara, tegangan tarik ini diuraikan atas komponen mendatar dan vertikal. Untuk komponen mendatar besarnya tegangan tarik tersebut adalah P_{ed} . Maka besar tegangan vertikal tersebut adalah:

$$P_v = \sqrt{P_i^2 - P_{ed}^2}$$

Untuk titik ikat yang tinggi, maka jaraknya dari titik terendah adalah:

$$m = a - n$$

Maka andongan untuk titik ikat yang tinggi tersebut adalah:

$$f_2 = \frac{g_1 \cdot P_{ed}}{2 \cdot P_{ed}}$$

Sehingga tegangan tarik kawat pada titik ikatnya:

$$P_i' = P_{ed} + f_2 \cdot g_1$$

Analog dengan titik ikat yang rendah komponen vertikalnya adalah:

$$P_v' = \sqrt{P_i'^2 - P_{ed}^2}$$

Dengan mengkombinasikan hasil perhitungan tegangan pada span ini dengan span sebelumnya, maka akan dapat ditentukan jenis menara yang diperlukan pada titik tumpu ini.

3. Perhitungan pada Kondisi Suhu Paling Panas

Perhitungan pada kondisi ini seperti telah diuraikan pada perhitungan untuk kondisi span yang paling rata terutama ditunjukkan untuk menentukan tinggi menara yang diperlukan pada titik-titik tumpu diujung span.

Analog dengan perhitungan untuk kondisi suhu paling dingin yang pertama dilakukan adalah mencari komponen mendatar dari tegangan tarik kawat. Harga komponen tegangan mendatar tadi didapat dari iterasi persamaan 3.43.

$$\frac{A}{P_{ep}^2} - P_{sp} = B$$

P_{ep} adalah besar komponen tegangan mendatar yang dicari. Sedang harga A dan B besarnya sama dengan yang diuraikan sebelumnya.

Setelah didapat besarnya tegangan tersebut, dicari besar jarak titik terendah kurva dengan titik tumpu yang rendah.

$$n = \frac{a}{2} - \frac{P_{cp} \cdot b}{g \cdot a}$$

Maka besar andongan dilihat dari titik ikat yang rendah adalah:

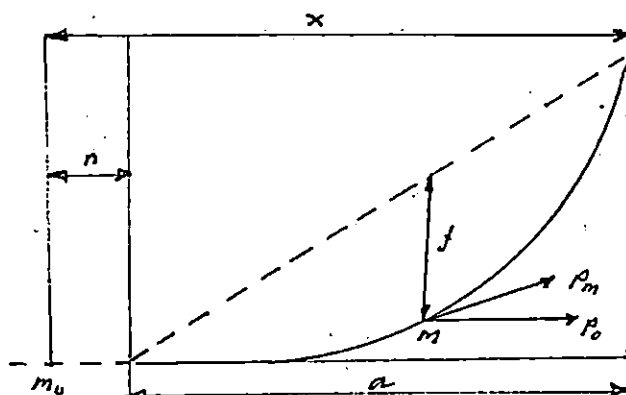
$$f = \frac{g \cdot n^2}{2 \cdot P_{cp}}$$

Dengan harga andongan ini maka dapat ditentukan tinggi menara yang diperlukan untuk titik tumpu span tersebut.

C. PERHITUNGAN UNTUK SPAN TERJAL

Ciri dari suatu span terjal ialah kurva kawat yang terjadi merupakan bagian dari setengah suatu kurva hyperbola. Dengan demikian titik terendah dari kurva terletak pada titik ikat yang terendah.

Untuk mempermudah dalam menganalisa kondisi span terjal, maka gambar 20 digambar kembali pada gambar 22 berikut.



Gambar 22. Kurva untuk span terjal

Pada gambar 22 titik A dan B adalah titik ikat kawat yang sebenarnya. Titik M_0 adalah titik terendah dari kurva bila kawat diteruskan hingga membentuk separuh kurva hyperbola.

M adalah titik tengah dari jarak span.

Berdasar persamaan 3.38, maka besar andongan pada titik tengah span adalah:

$$f = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_M} = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_M} \cdot \frac{1}{(\cos \alpha)^2}$$

P_M adalah tegangan kawat pada titik tengah span tersebut.

Berdasar perhitungan trigonometri pada segitiga siku-siku di titik tengah-tengah span, maka:

$$P_M = \frac{P_0}{\cos \alpha}$$

Sehingga besarnya andongan bila harga P_M disubstitusikan dengan hubungan di atas adalah:

$$f_2 = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_0} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

Jarak titik terendah dengan titik ikat rendah adalah:

$$n = \frac{P_0 \cdot b}{g \cdot a} - \frac{a}{2}$$

Maka jarak titik terendah dari kurva dengan titik ikat yang tinggi adalah:

$$X = n + a$$

Panjang kawat dari titik ikat yang tinggi hingga titik terendah dari kurva, berdasar persamaan 3.27 adalah:

$$l_1 = x + \frac{x^3 \cdot g^2}{3 \cdot P_0^2}$$

Sedang panjang kurva dari titik ikat yang rendah hingga titik terendah kurva adalah:

$$l_2 = n + \frac{n^3 \cdot g^2}{3 \cdot P_u^2}$$

Maka panjang kurva pada span titik adalah:

$$l = l_1 - l_2$$

Seperti pada kondisi span yang lain, panjang tersebut adalah panjang dalam keadaan terpasang. Dengan demikian panjang kawat tersebut adalah dalam keadaan mendapat tegangan tarik. Sedang yang diperlukan disini adalah panjang kawat yang harus disediakan untuk span tersebut.

Perubahan panjang kawat karena tegangan tarik adalah:

$$\Delta l = \frac{P_u}{E} \cdot l$$

Maka panjang kawat yang harus disediakan adalah:

$$\Delta l = l - \Delta l$$

Analog dengan kondisi span yang lain, untuk span terjal dilakukan juga untuk tiga macam kondisi suhu konduktor. Untuk hal ini perhitungan dimulai dari kondisi suhu pemasangan.

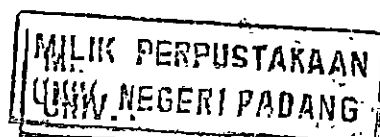
1. Perhitungan pada Kondisi Suhu Pemasangan

Seperti pada kondisi span yang lain, perhitungan pada kondisi ini ditunjukkan untuk mengetahui besar tegangan tarik pada pemasangan serta panjang kawat konduktor yang diperlukan untuk span tersebut. Setelah diketahui besarnya span dan beda tinggi elecasi dari titik tumpu, maka dicari cosinus sudut elevasi.

Berdasar hubungan yang ada gambar 22, maka:

$$a' = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{a}$$



Maka besar tegangan kawat pada tengah-tengah span adalah:

$$P_M = \frac{P_u}{\cos \alpha}$$

Sedang besar andongan adalah:

$$f = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_M} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

Berdasar hitungan yang diturunkan dari persamaan 3.25 tegangan tarik untuk titik ikat yang tinggi adalah:

$$P_H = P_B + g \cdot \left(f + \frac{b}{2} \right)$$

Sedang untuk titik ikat yang rendah besar tegangannya adalah:

$$P_A = P_H - g \cdot \left(f - \frac{b}{2} \right)$$

Adapun panjang kawat dalam keadaan terpasang, dari titik ikat yang rendah hingga titik terendah kurva adalah:

$$l_2 = n + \frac{n^3 \cdot g^2}{3 \cdot P_u^2}$$

Dengan harga n seperti yang telah diuraikan di atas. Sedang panjang kawat dari titik terendah dengan titik ikat yang tinggi dalam keadaan terpasang adalah:

$$l_1 = (a+n) + \frac{(a+n)^3 \cdot g^2}{3 \cdot P_u^2}$$

Maka panjang kawat dari span tersebut dalam keadaan terpasang adalah:

$$l = l_2 - l_1$$

Seperti telah diuraikan dimuka, panjang kawat tersebut adalah dalam keadaan setelah mendapat

tegangan tarik. Adapun besar perubahan tegangan tarik tersebut adalah:

$$\Delta l = \frac{P_a}{E} l$$

Maka panjang kawat yang harus disediakan untuk span tersebut adalah:

$$l_u = l + \Delta l$$

Untuk kondisi suhu pemasangan, berat kawat per satuan panjang yang digunakan adalah berat kawat ditambah bahan pelindung. Jadi disini berat kawat tersebut tidak dibawah pengaruh kecepatan angin.

2. Perhitungan pada Kondisi Suhu Paling Dingin

Tujuan perhitungan ini adalah untuk menguji apakah tegangan tarik kawat tidak melebihi tegangan tarik maksimum yang diizinkan pada kawat konduktor tersebut.

Selain hal diatas perhitungan pada kondisi ini juga diperlukan untuk mengetahui jenis menara yang dibutuhkan berdasarkan tegangan yang dikenakan pada menara-menara di ujung span tersebut.

Yang pertama dilakukan dalam melakukan perhitungan ini adalah mencari besar komponen mendatar dari tegangan tarik pada kondisi suhu ini (P_{ed}). Harga P_{ed} didapat dengan meninterasi persamaan keadaan:

$$\frac{A}{P_{ed}^2} - P_{ed} = B$$

Adapun harga-harga A dan B adalah sama dengan yang telah diuraikan. Sedang besarnya span yang digunakan adalah:

$$a_1 = 2.x = 2.(a + n)$$

Untuk kondisi awal digunakan pada kondisi pemasangan. Sedang berat kawat per satuan panjang digunakan pada kondisi ini adalah berat kawat di bawah pengaruh angin.

Berdasar harga P_{ed} yang telah didapat ini dicari besar tegangan untuk masing-masing titik ikat.

P_{ed} adalah identik P_0 untuk kondisi pemasangan. Oleh karena itu pada kondisi ini, besar tegangan pada titik tengah span adalah:

$$P_{md} = \frac{P_{ed}}{\cos \alpha}$$

Maka besar tegangan pada titik ikat adalah:

$$P_T = P_{md} + g \cdot \left(f + \frac{b}{2} \right) \quad ; \quad \text{untuk titik ikat yang tinggi}$$

$$P_R = P_{md} - g \cdot \left(f - \frac{b}{2} \right) \quad ; \quad \text{untuk titik ikat yang rendah}$$

Untuk titik ikat yang tinggi besar tegangan ini harus diuji apakah tidak melebihi harga tegangan maksimum yang diizinkan untuk kawat. Karena bila hal ini terjadi maka akan terjadi kerusakan pada kawat.

Bila harga ini dilewati, maka susunan span atau besar tegangan kerja yang digunakan diubah.

Sedang untuk keperluan penentuan jenis menara, maka besar tegangan yang diperlukan adalah komponen vertikalnya. Besar tegangan vertikal tersebut adalah:

$$P_{VT} = \sqrt{P_T^2 - P_0^2} \quad ; \quad \text{untuk titik ikat yang tinggi}$$

$$P_{VR} = \sqrt{P_R^2 - P_0^2} \quad ; \quad \text{untuk titik ikat yang rendah}$$

Untuk titik ikat yang rendah arah komponen tegangan vertikal adalah ke atas. Sehingga untuk kondisi ini

biasanya menara yang diperlukan untuk titik ikat yang rendah adalah menara terminal/ujung.

3. Perhitungan pada Suhu Paling Panas

Perhitungan ini ditujukan untuk mencari tinggi menara yang diperlukan untuk titik tumpu pada ujung menara tersebut.

Analog dengan kondisi span yang lain hal pertama yang dilakukan adalah mencari besar komponen tegangan mendatar pada kondisi ini.

Adapun metoda yang digunakan tetap sama, yaitu dengan mengiterasi persamaan:

$$\frac{A}{P_{ep}^2} - P_{ep} = B$$

Sedang kondisi awal yang digunakan adalah kondisi pemasangan.

Berdasar harga P_{ep} yang didapat, dicari besar andongannya. Besar andongan tersebut adalah:

$$f = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_{ep}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

Maka berdasar harga andongan di atas bisa dicari tinggi menara yang diperlukan untuk titik tumpu span ini.

BAB V

PERENCANAAN MENARA TRANSMISI

A. PEMBEBANAN MENARA TRANSMISI

Berdasar pada arah gaya pembebanan yang harus dipikul oleh menara transmisi, gaya pembebanan pada menara transmisi dapat dibedakan atas tiga komponen, yaitu:

- gaya pembebanan vertikal
- gaya pembebanan transversal
- gaya pembebanan longitudinal

1. Pembebanan Vertikal

Gaya ini bekerja pada menara dengan arah vertikal (ke atas atau ke bawah). Penyebab gaya pembebanan pada waktu transmisi sudah terpasang adalah: komponen vertikal tegangan tarik kawat, berat konstruksi menara dan peralatannya. Yang harus diperhatikan dalam merancang menara transmisi adalah selain penyebab gaya di atas, masih ada gaya yang harus dipikul menara. Gaya ini terjadi pada waktu pemasangan kawat. Gaya ini harus diperhatikan karena gaya ini merupakan pembebanan vertikal yang paling besar.

2. Pembebanan Transversal

Pembebanan transversal adalah pembebanan dengan arah gaya mendatar dan tidak sejajar dengan arah saluran transmisi. Beban ini terjadi paling besar

pada menara sudut. Adapun penyebab terjadinya gaya pembebanan transversal adalah:

- Tekanan angin pada menara dan kawat transmisi
- resultante komponen gaya mendatar tegangan tarik kawat pada menara tersebut, bila menara dipasang pada pembelokan arah transmisi.

3. Pembebanan Longitudinal

Arah dari gaya ini adalah sejajar dengan arah saluran transmisi. Gaya ini paling besar terjadi bila menara mengalami pembebanan yang tidak seimbang. Yang dimaksud tidak seimbang disini adalah pada menara tersebut pembebanan terjadi hanya dari satu sisi saja. Terjadinya gaya ini terutama pada menara ujung dan pada waktu kawat konduktor putus.

Adapun penyebab dari gaya pembebanan ini adalah:

- angin sejajar dengan arah saluran transmisi,
- penarikan kawat konduktor pada waktu instalasi,
- konduktor bervibrasi,
- komponen mendatar dari tegangan tarik kawat,
- putusnya konduktor.

Rancangan suatu menara transmisi adalah berdasarkan gaya yang akan dipikul oleh menara tersebut. Oleh karena itu suatu menara dipakai hanya untuk ditempatkan pada titik tumpu yang sesuai dengan rancangan menara.

Sesuai dengan rancangan dan lokasi pemasangannya, menara transmisi dapat dibagi menjadi tiga macam menara, yaitu:

a. Menara ujung (*terminal tower*)

Beban pada menara ini pada *cros-arm*-nya hanya didapat dari satu sisi saja. Sedang pada sisi yang lain besarnya gaya untuk gaya pembebanan vertikal adalah negatif (dengan referensi gaya pembebanan vertikal ke bawah adalah positif).

b. Menara sudut

Menara ini ditempatkan pada titik pembelokan arah transmisi. Sedang gaya transfersal pada menara ini cukup besar. Dikarenakan pada menara ini komponen mendatar dari tegangan tarik kawat tidak saling menghilangkan tetapi resultantanya menjadi suatu vektor gaya jumlah.

c. Menara tumpu

Menara ini diletakkan pada titik-titik tumpu di mana pada tutuk tumpu tersebut tidak memerlukan persyaratan-persyaratan yang telah disebut pada menara ujung dan menara sudut. Pada menara ini relatif gaya pembebanan pada arah mendatar oleh komponen mendatar tegangan kawat relatif kecil. Pembebanan menara ini oleh kawat konduktor hanya pada arah vertikal.

Yang diuraikan di atas adalah pembebanan menara oleh kawat transmisi. Menara selain dirancang untuk menahan gaya-gaya tadi juga disiapkan untuk menahan gaya yang ditimbulkan oleh kondisi alam yang mungkin timbul pada lokasi pemasangannya. Adapun untuk Indonesia beban tambahan oleh alam tersebut dikarenakan tekanan angin. Baik pengaruh tersebut langsung menekan pada menara, maupun dalam pembebanan

tambahan yang timbul pada kawat transmisi. Untuk hal yang terakhir beban ini telah diperhitungkan pada waktu pemilihan jenis menara.

Untuk mendapatkan keandalan yang baik, maka suatu menara juga harus dirancang untuk kondisi tidak normal. Adapun batas ketidaknormalan adalah putusnya dua konduktor pada menara tersebut. Pada keadaan tersebut suatu rancangan menara harus mampu menahan beban tersebut. Standard faktor keamanan yang digunakan PLN adalah 1,25. Yang dimaksud faktor keamanan disini adalah, menara tersebut harus dipersiapkan untuk menahan beban sebesar beban pada kondisi tidak normal dikalikan faktor keamanannya.

4. Metoda Penentuan Jenis Menara

Untuk menentukan jenis menara yang diperlukan pada suatu titik tumpu, perhitungan yang dilakukan adalah pada kondisi yang paling dingin. Hal ini dikarenakan pada kondisi yang paling dingin tersebut, gaya yang ditimbulkan oleh konduktor adalah yang paling besar. Sehingga dengan menggunakan perhitungan pada kondisi paling dingin tersebut, maka transmisi akan aman pada kondisi yang lain.

Adapun kriteria pemilihan tersebut adalah:

- a. Menara ujung dipergunakan bila pada titik tumpu tersebut pembebanan hanya dari satu sisi saja. Atau pembebanan pada arah vertikal negatif pada salah satu sisi menara tersebut.
- b. Menara tumpu dipilih untuk dipergunakan pada titik tumpu dalam rute transmisi di mana tak terjadi pembelokan rute transmisi. Dan pada titik tumpu tersebut gaya pembebanan vertikal ada yang negatif.

Pada beberapa rancangan menara tumpu, biasanya dibedakan atas dua macam menara tumpu yaitu:

- menara tumpu dengan beban vertikal yang ringan, biasanya menara ini dipergunakan untuk span dengan jarak span disekitar harga span dasar.
- menara tumpu dengan beban vertikal besar. Menara ini digunakan pada daerah transmisi dengan kondisi topografi yang memaksa jarak span melebihi toleransi yang diizinkan dari span dasarnya.

Namun kriteria penentuan pemakaian tetap gaya pembebanan vertikal. Dimana dengan batas tertentu gaya pembebanan vertikal menara yang digunakan menjadi menara tumpu dengan beban vertikal besar.

c. Menara sudut dipergunakan pada titik tumpu yang ada pembelokan arah transmisi. Menara ini dibagi lagi atas beberapa jenis bedasar pada besarnya sudut pembelokan.

B. METODA PENENTUAN TINGGI MENARA

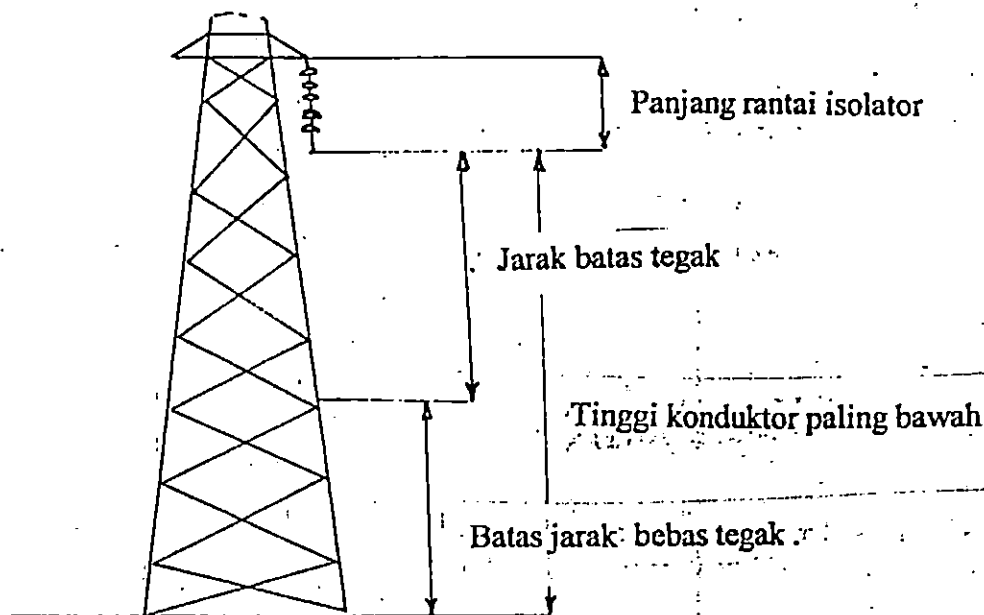
Dalam merancang saluran transmisi, tinggi menara minimum ditentukan oleh jarak bebas tegak (*ground clearance*) yang harus dipenuhi. Harga jarak bebas tegak ini ditentukan oleh tegangan kerja listrik dari saluran transmisi.

Untuk menentukan tinggi menara yang dibutuhkan maka perhitungan yang digunakan adalah pada saat kondisi suhu kawat konduktor paling panas. Karena pada saat paling panas ini konduktor memuai. Sehingga andongan yang terjadi adalah yang paling besar. Dengan demikian bila ada perubahan suhu konduktor tersebut masih mencukupi jarak bebas tegaknya.

Dalam menentukan tinggi menara yang dibutuhkan untuk titik tumpu-titik tumpu pada ujung span, perhitungan dilakukan untuk jarak bebas tegak dari menara. Untuk lebih jelasnya pada menara terdapat aturan tinggi seperti pada gambar 23.

Menara yang dibutuhkan pada titik tumpu ujung span perhitungan tinggi didasarkan pada batas jarak bebas tegak menara. Hal ini dikarenakan bila jarak bebas pada menara bisa penuh, maka pada sepanjang span tersebut jarak bebas tegaknya juga akan terpenuhi.

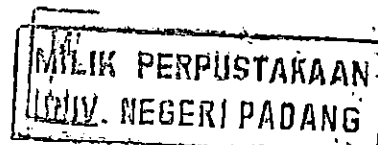
Aturan tinggi pada menara transmisi:



Gambar 23. Menara transmisi (Turan Gonen, 1988:59)

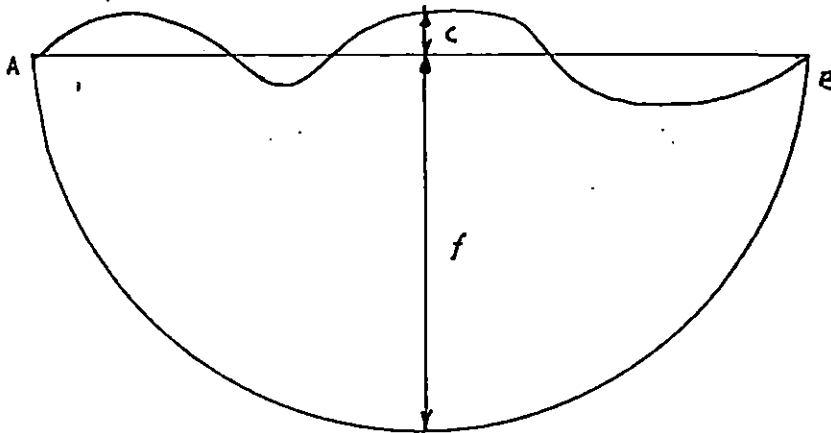
Untuk menentukan tinggi menara yang diperlukan, perhitungan dibagi menjadi tiga, berdasarkan kondisi kemiringan spannya. Adapun ketiga perhitungan tadi adalah:

1. Penentuan tinggi menara untuk span datar



REPERSTASIA
NEGERI PADANG

2. Penentuan tinggi menara untuk span miring
 3. Penentuan tinggi menara untuk span terjal
1. Penentuan Tinggi Menara untuk Span Datar



Gambar 24. Kondisi span datar (Deweese, 1990:112)

Seperti pada gambar 24 di atas, bila titik tumpu sama ketinggiannya, maka kurva yang akan terjadi adalah hyperbola simetris. Andongan yang terjadi adalah:

$$f = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_u}$$

Misalkan seperti telah ditunjukkan pada gambar sekitar titik terendah dari kurva terdapat benjolan tanah. Tinggi benjolan tanah ini diukur terhadap garis datar yang menghubungkan titik tumpu pada ujung-ujung span. Tinggi benjolan ini disebut c . Harga c ini dapat menjadi negatif bila pada sekitar titik terendah terdapat cekungan tanah. Dengan demikian garis jarak bebas tegak dipandang dari titik tumpu dapat lebih rendah. Jadi tinggi menara yang dibutuhkan pada kedua ujung span tersebut adalah:

$$h_{bt} \geq f + c$$

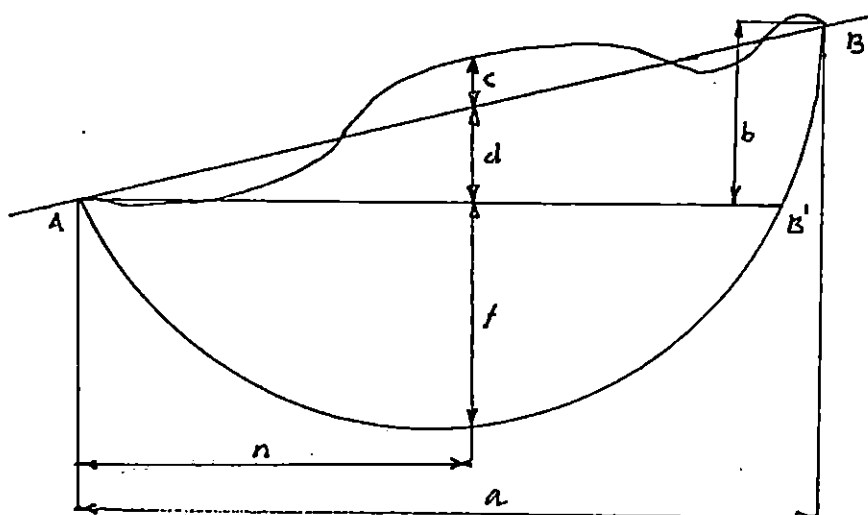
N
G.

Harga t_{men} yang digunakan di sini adalah batas jarak bebas tegak dari menara.

2. Penentuan Tinggi Menara untuk Span Miring

Untuk suatu span miring, maka jarak titik terendah kurva dengan titik tumpu yang rendah adalah n . Adapun besarnya n berdasar persamaan 3.32 adalah:

$$n = \frac{a}{2} - \frac{P_u \cdot b}{g \cdot a}$$



Gambar 25. Kondisi span miring (Cotton, 1989:160)

Dari persamaan di atas terlihat bahwa besarnya n adalah tergantung pada tegangan mendatar dari kawat. Dengan demikian maka letak titik terendah adalah berubah-ubah. Oleh karena itu untuk mencari harga c , harus dilihat keadaan tanah dikitar titik terendah tersebut. Tidak hanya pada titik terendah pada kondisi suhu konduktor yang tertentu. Namun untuk mencari tinggi menara yang dibutuhkan untuk titik tumpu pada ujung span, kondisi suhu yang digunakan ialah suhu yang paling panas.

Pada gambar tinggi garis yang menghubungkan titik tumpu pada titik terendah kurva adalah d .

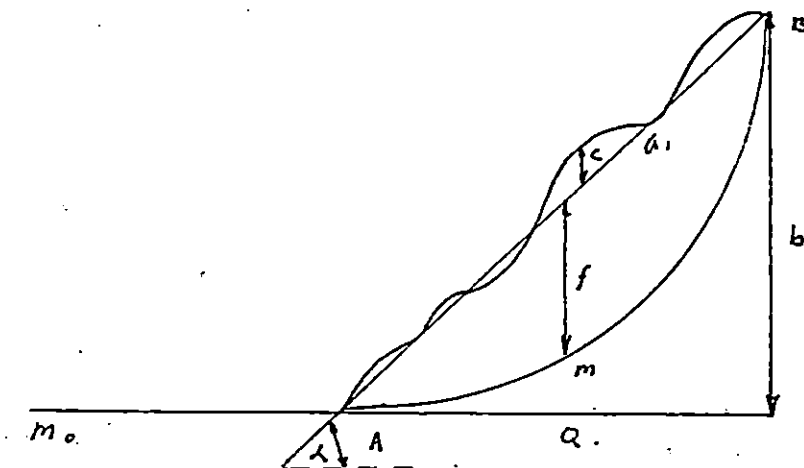
Adapun besarnya d berdasar pada hubungan yang ada pada segitiga $AB'B$ adalah:

$$d = \frac{n}{a} \cdot b$$

Bila andongan dipandang dari titik tumpu yang rendah adalah f , dan tinggi benjolan tanah adalah c , maka jarak bebas tegak menara yang dibutuhkan pada titik-titik tumpunya adalah:

$$bjbt \geq f + c + d$$

3. Penentuan Tinggi Menara untuk Span Terjal



Gambar 26. Kondisi span terjal (Deweese, 1990:124)

Untuk kondisi span terjal, besar andongan kawat yang terjadi berdasar persamaan 3.38 adalah:

$$f = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot P_0} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

dimana harga $\cos \alpha = \frac{a}{a'}$, sehingga harga andongan juga dapat ditulis sebagai berikut:

$$f = \frac{g \cdot a \cdot a'}{8 \cdot P_0}$$

Bila tinggi gundukan tanah yang paling tinggi diantara jarak span adalah c . Maka jarak bebas menara yang dibutuhkan untuk kedua titik tumpu span adalah:

$$bjbt \geq f + c$$

Pada menara dengan jenis pemakaian tertentu, tinggi jarak bebas ini juga telah ditentukan. Bila jarak bebas yang dibutuhkan ini lebih tinggi dari tinggi standard menara tersebut dapat dilakukan penambahan panjang menara.

Pemanjangan ini dilakukan pada kaki menara. Dengan fasilitas pemanjangan adalah kelipatan dari tiga meter. Adapun besar pemanjangan maksimum adalah 9 meter.

Bila setelah diberi pemanjangan tinggi menara yang diperlukan untuk suatu titik tumpu masih juga belum mencukupi, maka susunan span pada transmisi tersebut diubah. Atau tegangan tariknya diubah. Dengan catatan tegangan ini harus diuji tidak melewati harga maksimum pada segala kondisi.

Contoh perencanaan.

Suatu sistem pembangkit tenaga listrik tenaga air (PLTA) mensuplai pusat beban melalui saluran udara tegangan tinggi sepanjang 35 KM, Gardu induk mensuplai sistem beban tegangan menengah 20 KV. Dengan masing masing beban di titik gardu distribusi seperti tabel I

Tabel I .

NAMA GARDU	BEBAN MAX	BEBAN MIN	FAKTOR BEBAN
GD. A	5,2 MW PF = 0,85 LAG	2,4 MW PF = 0,6 LAG	0,74
GD. B	3,6 MW PF = 0,7 LAG	1,1 MW PF = 0,6 LAG	0,6
GD. C	2,5 MW PF = 0,75 LAG	0,5 MW PF = 0,65 LAG	0,7
GD. D	6 MW PF = 0,8 LAG	2,3 MW PF = 0,7 LAG	0,75
GD. E	4,5 MW PF = 0,67 LAG	3 MW PF = 0,5 LAG	0,67
GD. F	6,3 MW PF = 0,73 LAG	2 MW PF = 0,65 LAG	0,7

Pembangkit ini terdiri dari 3 Generator dengan kapasitas masing masing 100 MW, yang mensuplai Generator-transformator pembangkit A yang mensuplai gardu induk No 1 dengan jarak 35 Km, Generator ini mempunyai karakteristik masing – masing sebagai berikut

- X_D Generator .
- X_D (reaktansi peralihan generator)
- X_D (Reaktansi sub peralihan) Generator .

Persyaratan yang harus dipenuhi dalam proses perencanaan sistem transmisi tegangan tinggi ini didasarkan pada :

Susut tegangan maksimum saluran transmisi tegangan tinggi dari pembangkit A ke gardu induk No1 sebesar 7% dan susut daya maksimum antara pembangkit A ke gardu induk No1 sebesar 6 persen

Pilihlah tegangan yang cocok untuk saluran transmisi tersebut dan jangan sampai terjadi korona dengan syarat batas carona adalah 16 KV/cm

Luas penampang kawat yang digunakan untuk tegangan tinggi 300 mm²

Reaktansi saluran

- $X_b = 0,4$ ohm /Km untuk saluran tunggal
- $X_b = 0,2$ ohm /Km untuk saluran ganda
- Resistansi spesifik pada 20° C untuk aluminium (pt) = 0,028264 ohm mm² /m

Langkah perencanaan . Dari data yang diketahui dapat dicari data lain

- Gardu A

$$P_{\max} = 4 \times 5,2 \text{ MW} = 20,8 \text{ MW}$$

$$\cos \theta = 0,85 \quad \tan \theta = 0,62$$

$$\tan \theta = \frac{Q}{P_{\max}}$$

$$Q = P_{\max} \cdot \tan \theta$$

$$= 20,8 \times 62 = 12,896 \text{ MVAR}$$

sepereti hitungan diatas didapat hasil seperti tabel 2 .

Tabel 2

NAMA GARDU	DAYA AKTIF Max (MW)	FAKTOR DAYA	DAYA REAKTIF Q (MVAR)
GD. A	4 x 5,2 = 20,8	PF = 0,85 LAG	20,8 x 0,62 = 12,896
GD. B	4 x 3,6 = 14,4	PF = 0,7 LAG	14,4 x 1,02 = 14,668
GD. C	4 x 2,5 = 10	PF = 0,75 LAG	10 x 0,88 = 8,8
GD. D	4 x 6 = 24	PF = 0,8 LAG	24 x 0,75 = 18
GD. E	4 x 4,5 = 18	PF = 0,67 LAG	18 x 1,10 = 19,8
GD. F	4 x 6,3 = 25,2	PF = 0,73 LAG	25,2 x 0,93 = 23,436

Total daya aktif = 112,5 MW

Total daya Reaktif = 97,62 MVAR

$$\rho_2 = \frac{228 + \zeta}{228 + \zeta} \rho_1 = \frac{228 + 40^\circ}{228 + 20^\circ} \cdot 0,028264$$

$$= 0,030543 \text{ Ohm mm /m}$$

$$\bullet \quad L_x = L + 2\% L = 35 + (0,02 \cdot 35) = 35,7 \text{ KM}$$

$$\bullet \quad \tan \theta_1 = \frac{Q_{\text{total}}}{P_{\text{max, total}}} = \frac{97,62}{112,4} = 0,867$$

$$\cos \theta_1 = 0,755$$

$$\bullet \quad \zeta_p = P + jQ = 112,4 + j 97,62 = 148,87 \angle 40,958 \text{ MVA}$$

Susut daya maksimum saluran

$$P_v = 6\% \cdot S \cos \theta$$

$$= 0,06 \times 148,87 \times 0,775 = 6,7438 \text{ MW}$$

MILIK PERPUSTAKAAN
UNW. NEGERI PADANG

Saluran yang digunakan saluran ganda , sehingga arus yang mengalir pada setiap kawat 0,5 I Amper

$$P_v = 0,5 I^2 R$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}}$$

$$R = \frac{\rho_2 \cdot L}{A}$$

$$P_v = 0,5 \left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} \right)^2 \frac{\rho_2 \cdot L}{A}$$

$$A = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \rho_2 \cdot L}{3 \cdot V_{LL}^2 \cdot P_v}$$

Kalau dipilih tegangan yang digunakan 10 KV maka :

$$A = \frac{0,5 \cdot (148,87)^2 \cdot 0,030543 \cdot 35,7 \cdot 10^3}{3 \cdot (10)^2 \cdot 6,7438} = 5972 \text{ mm}^2$$

Apabila dihubungkan dengan kerapatan arus optimal yaitu $G_{\text{optimal}} = 0,9 \text{ A/mm}$ sehingga didapatkan :

$$A = \frac{S}{2\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot 0,9} \cdot 10^3$$

$$A = \frac{148,87}{2\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} \cdot 10^3 = 4775 \text{ mm}^2$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas , tetapi dengan merubah tegangan sesuai dengan tegangan pilihan, maka didapat hasil pada tabel 3.

Tabel 3

$V_{LL} (KV)$	$A = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \rho_2 \cdot Lx}{3 \cdot V_{LL}^2 \cdot FV} \cdot mm^2$	$A = \frac{S}{2\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot 0,9} \cdot 10^3 \cdot mm^2$
10	5972	4775
20	1493	2387
30	663	1591
60	165	796
70	121	682
110	49	434
150	26	318
220	12	217
380	4	126

Tegangan ekonomisnya adalah

$$V_{LL} = 10\sqrt{S} + 0,15 Lx$$

$$..... = 10\sqrt{148,87} + 0,15 \cdot 35,7 = 127,37 \cdot KV$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka tegangan yang diambil adalah 150 KV dan

luas penampang kawat yang digunakan adalah 318 mm^2

Rapat arus persaluran untuk tegangan dan luas penampang diatas adalah :

$$G = \frac{S}{2\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot A} \cdot 10^3 = \frac{148,87}{2\sqrt{3} \cdot 150 \cdot 318} \cdot 10^3 = 0,9 \cdot \text{Amperel } mm^2$$

Uji Korona .

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{318}{3,14}} = 10 \text{ mm}$$

Untuk $\frac{dL}{r}$ (300).

$$E_r = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \cdot r \ln 300} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot \ln 300} = 15,18 \text{ KV/cm}$$

Untuk $\frac{dL}{r}$ (800).

$$E_r = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \cdot r \ln 800} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot \ln 800} = 12,95 \text{ KV/cm}$$

Dari hasil perhitungan diatas $E_r < 16 \text{ KV/cm}$, maka uji korona memenuhi syarat

$$R_{DC} = \frac{\rho_2 \cdot Lx}{A} = \frac{0,030543 \cdot 35,7 \cdot 10^3}{318} = 3,43 \text{ ohm}$$

$$R_{AC} = 1,2 R_{DC} = 1,2 \cdot 3,43 = 4,12 \text{ ohm}$$

Reaktansi untuk saluran ganda : $X = 0,2 \text{ Ohm /km}$

$$\text{Maka : } X_L = X Lx = 0,2 \cdot 35,7 = 7,14 \text{ Ohm}$$

$$\Delta V = \frac{0,5 S}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} (R + jX) = \frac{0,5 \cdot 148,87}{\sqrt{3} \cdot 150} (4,12 + j7,14) = 2,36 \text{ ohm}$$

$$\text{Susut tegangan} = \frac{\Delta V}{V_{LL} / \sqrt{3}} \cdot 100\% = \frac{2,36}{150 / \sqrt{3}} \cdot 100\% = 2,725\%$$

Dari hasil perhitungan diatas , maka susut tegangan lebih kecil dari susut tegangan maksimum yang diizinkan yaitu 6 %

Susut daya :

$$\Delta S = \frac{3 \cdot P \cdot R}{2} \text{ (2. kawat)}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} = \frac{148,87 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 150} = 573 \text{ Amper}$$

$$\Delta S = \frac{3 \cdot (573)^2 \cdot 4,12}{2} = 2 \text{ MW}$$

$$\text{Jadi } \frac{\Delta S}{S} \cdot 100\% = \frac{2}{148,87} \cdot 100\% = 1,34\%$$

Dari perhitungan, maka susut daya lebih kecil dari susut daya maksimum yang diizinkan yaitu 6 %.

Energi yang harus disuplai oleh sisi saluran transmisi per-tahun.

$$\text{Lad. faktor} = \frac{\text{Energi rata-rata per-tahun}}{P_{\text{MAX}} \cdot 365 \cdot 24 \text{ Jam}}$$

Untuk gardu A. gardu-A (GD-A)

$$\text{Energi per-tahun} = 0,74 \cdot 20,8 \cdot 365 \cdot 24 = 134833,92 \text{ MWH}$$

Dengan perhitungan seperti diatas didapat hasil seperti tabel 4.

Tabel 4

GARDU	LOAD FAKTOR	P max (MW)	ENERGI/TAHUN (MWH).
GD-A	0,74	20,8	134833,92
GD-B	0,6	14,4	75686,4
GD-C	0,7	10	61320
GD-D	0,75	24	157680
GD-E	0,67	18	105645,6
GD-F	0,73	25,2	161148,96

Energi Total pada saluran tranmisi per-tahun = 696314,88.

Energi yang harus dibangkitkan oleh sistem pembangkit pertahun

Energi Pembangkit = Energi saluran + Energi Transmisi .

Energi saluran = $\Delta S \times 365 \times 24 = 2 \times 365 \times 24 = 17520$ MWH

Energi Pembangkit = $17520 + 696314,88 = 713834,878$ MWH.

Kapasitas transformator, bila sistem diharapkan handal adalah .

$$\frac{\Delta V}{V} = 6\% \quad E_r < 16 \text{KV/cm}, \quad \cos\theta = 0,775$$

$$\frac{\Delta V_{LL}}{V_{LL}} = 7\% \quad G = 0,9 \text{ A/mm}$$

$$S_T = S + 0,06 S = 148,87 + (0,06 \times 148,87)$$

$$= 157,8 \text{ MVA.}$$

$$V = V_{LL} + 0,07 V_{LL} = 150 + (0,07 \times 150) = 157,8$$

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{157,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 160,5} = 567,64 \text{ Ampere}$$

Tegangan di Gardu induk No 1 = 1,02 PU

$$V_{LL} = 150 \text{ KV}$$

$$V_{LL} \cdot GI \cdot Na = 1,02 \cdot 150 = 153 \text{ KV} = V_R$$

V_S = Tegangan pada sisi pengirim

$$V_S = V_R + I Z_L$$

$$Z_L = 4,12 + j 7,14 = 8,82 \angle 60^\circ$$

$$I = \frac{148,87 \cdot 10^3}{2 \sqrt{3} \cdot 153} = 280,88 \text{ Ampere}$$

$$V_S = 153 + (280,88 \times 8,82 \times 10^{-3}) = 155,48 \text{ KV}$$

$$V_s = V_s \frac{155,48}{150} = 1,0365 \text{ PU}$$

Karakteristik isolator yang digunakan untuk saluran transmisi yang direncanakan adalah :

Tegangan petir = 400 KV

Berat = 20 Kg

Panjang lintasan = 150 cm

Jumlah piringan = 14 buah

Dimensi $D_1 = 75 \text{ mm}$

$D_2 = 150 \text{ mm}$

$C = 46 \text{ mm}$

$H_1 = 860 \text{ mm}$

$H_2 = 690 \text{ mm}$

Berat spesifik kawat ;

$$\gamma = \gamma_K + \frac{5 \times 0,1 \times d^2}{A} = 35 + \frac{5 \times 0,1 \times 19,54}{300 \times 10^6} = 67,57 \text{ KN M}^3$$

Kuat tarik kawat :

$$\sigma = 1,1 \times 10^3 \text{ KN M}^2$$

Karena tegangan yang digunakan 150 KV maka tinggi terendah (H) kawat fasa melintasi bidang tertentu diambil 6 m

Jarak antar gawang (a)

$$a = \sqrt{\frac{8(h + L_s) \cdot \sigma}{\gamma}}$$

$$q = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,1 \cdot 10^5 \cdot (6+1,5)}{67,57}} = 312,53 \text{ m}$$

q diambil 300 m

$$W_{is} = C_f \cdot P_f \cdot A_{is} = 0,7 \cdot 0,7 \cdot L_K \cdot D$$

$$W_{is} = 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,5 \cdot 150 \cdot 10^3$$

$$= 0,11 \text{ KN}$$

$$\alpha = \text{Tg}^{-1} \left(\frac{W_K + W_{is}/2}{q_A + q_B/2} \right) = \text{Tg}^{-1} \left(\frac{2,69 + 0,11/2}{105,09 + 120/2} \right) = 0,95^\circ$$

$$\alpha' = 0,8 \cdot \alpha = 0,8 \cdot 0,95 = 0,76^\circ$$

Jarak kawat ke tanah (a_m)

$$(a_m) \geq s_{am} + L_K \sin \alpha' \geq 1,1 + 1,5 \cdot \sin(0,76) \geq 1,12 \text{ m}$$

$$a_m = \text{diambil } 1,5 \text{ m}$$

Jarak antar kawat (a_L)

$$a_L = K \sqrt{f + L_K} + s_{am} = 0,95 \sqrt{6,91 + 1,5} + 1,1$$

$$= 3,86 \text{ M}$$

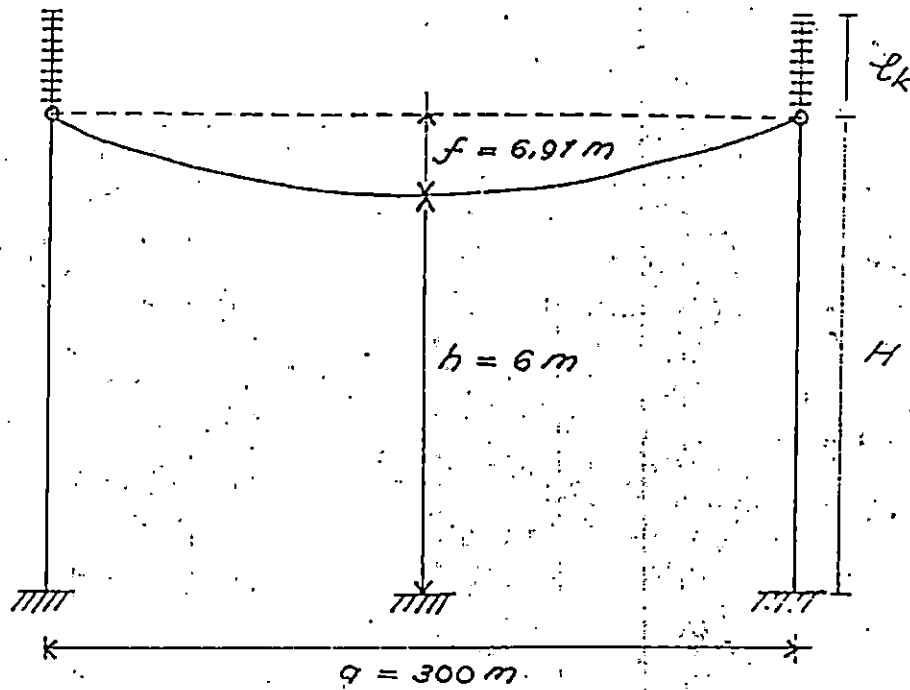
$$a_L = \text{Diambil } 4 \text{ m}$$

Andongan maksimum (F max)

$$f = \frac{q \cdot \gamma}{8\sigma} = \frac{(300)^2 \cdot 67,57}{8 \cdot 1,1 \cdot 10^5} = 6,91$$

$$F \text{ max} = 6,91 \text{ m}$$

Konstruksi andongan dapat dilihat pada gambar 27.



Gambar 27

Kuntruksi andongan

Gaya angin pada kawat dan isolator adalah :

$$W_K = C_{f_K} \cdot x P_K \cdot x A_K = 1 \cdot 0,53(80 + 0,6 a) d = 2,6 \text{ KN}$$

$$\Delta h = \cot \varphi \cdot d = \cot(33,7) d = 1,5 d$$

$$d = a_m + a_t = 1,5 + 4 = 5,5 \text{ m}$$

$$\Delta h = 1,5 \cdot 5,5 = 7,5 \text{ m}$$

$$H_e = h + f + \Delta h = 6 + 6,91 + 9,75 = 22,66 \text{ m}$$

$$H = 12,97 \text{ m}$$

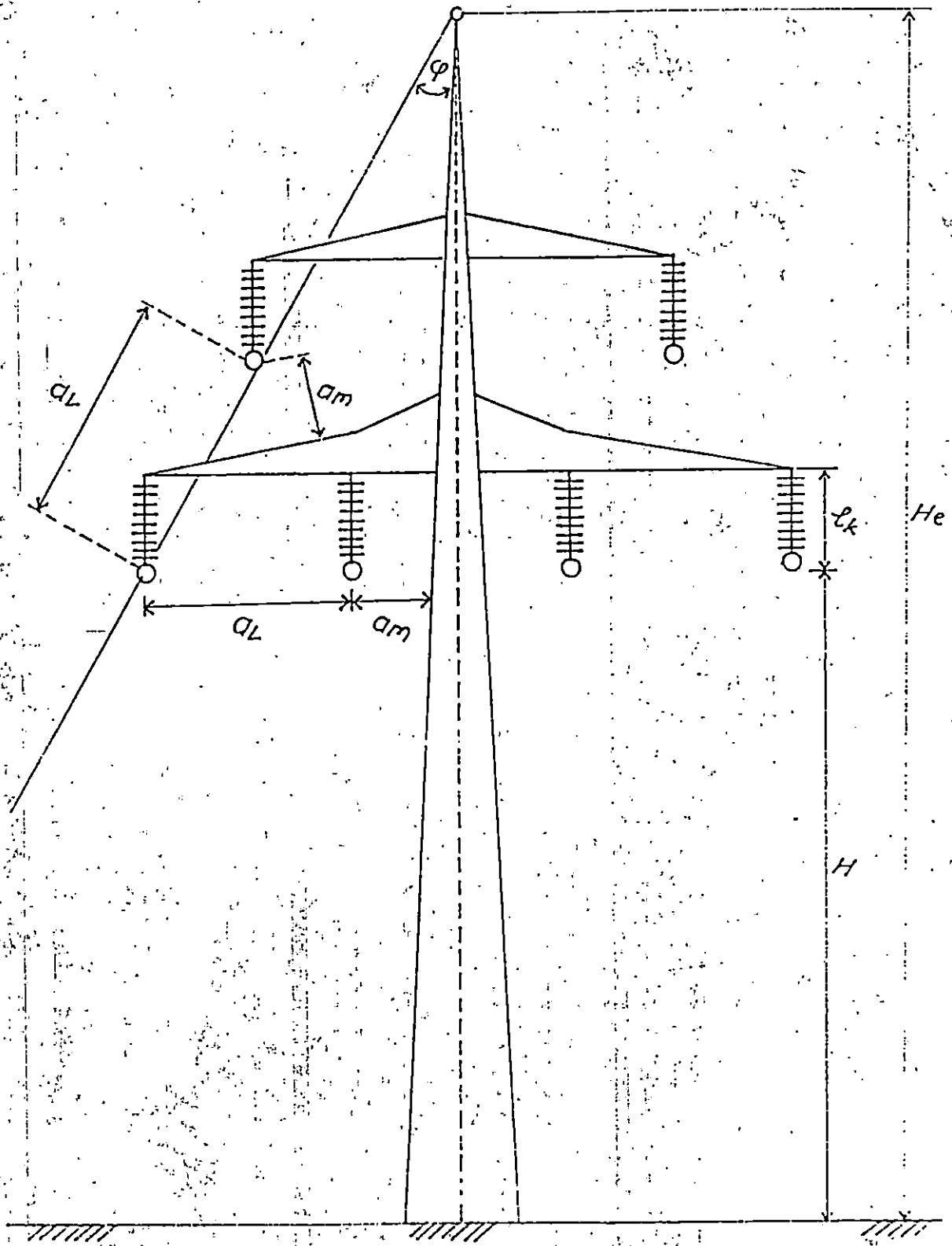
Dari perencanaan diatas didapat konfiguransi menara transmisi seperti gambar 28,

dengan data –data sebagai berikut .

Jenis isolator	: LP-75/14/860
Jarak antar gawang (a)	: 300 m
Andongan maksimum (F max)	: 6,91 m
Tinggi kawat terendah (h)	: 6 m

Panjang lintasan isolator (L_x)	:150 cm
Jarak antar kawat (s_m)	: 4 m
Tinggi kawat fasa ke kawat tanah untuk pelindung petir (Δh)	:7,5 m
Tinggi kawat tanah, (H_c)	: 22,66 m
Tinggi kawat fasa (H)	:12,97

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG



Gambar 28

Konfigurasi menara transmisi.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Arismunandar, A. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik. (Jakarta, Penerbit PT. Pradnya Paramita, 1975).
- Deweese, F.C. Transmission Lines Design Construction And Performance. (New York, Mc Graw Hill Book Company, 1978).
- Cotton. Transmission Lines Design. (New York, John Wiley and Sons, 1989).
- Hutauruk, T.S. M.Sc. Transmisi Daya Listrik. (Jakarta, Penerbit Erlangga, 1985).
- Lithall, R.T. Switchgear Book. (London Newnes-Butterwarths, 1980).
- Nagrath, I.J. Modern Power System Analysis. (New Delhi, Tata Mc Graw Hill Book Company Inc. 1991).
- Stevensoon, W.D. Elements Of Power System Analysis. (New York Mc Graw Hill Book Company Inc. 1978).
- Sudibyono, M.Sc. Transmisi Tenaga Listrik. (Bandung, Penerbit ITB, 1990).
- Turan Gonen. Electric Power Transmission System Engineering. (New York, John Wiley and Sons, 1988).

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG