

Penentuan Luas Penampang Rel Daya Ditinjau dari Naiknya Temperatur Saat Terjadinya Hubung Singkat

Ramayulis Nasution

Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara

Abstrak

Sistem tenaga listrik terdiri dari pembangkit, transmisi dan distribusi serta pusat beban. Sistem ini tidak terlepas dari setiap gangguan eksternal maupun internal yang mengakibatkan tidak berjalannya sistem dengan semestinya. Gangguan hubung singkat misalnya dapat menimbulkan temperatur rel daya naik secara mendadak dan berlebihan sehingga mengakibatkan berkurangnya kekuatan mekanis rel daya menyebabkan teputusnya rel daya (Bus bar) tersebut. Dalam menentukan luas minimum penampang rel daya perlu diperhitungkan temperatur gangguan hubung singkat guna mencegah kerusakan mekanis rel daya. Untuk itulah maka penulis mengadakan Penelitian di Gardu Induk Tanjung Morawa untuk mengetahui Penentuan Luas Penampang Rel Daya ditinjau dari naiknya Temperatur saat terjadinya hubung singkat.

Kata Kunci : Luas, Rel Daya, Temperatur, Hubung Singkat.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan ekonomi di Indonesia memerlukan listrik yang sangat besar. Untuk itu dibangun pusat-pusat pembangkit tenaga listrik berskala besar untuk menyalurkan tenaga listrik yang dibangkitkan ke pusat beban.

Pembangunan ketenaga listrikian ditujukan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat baik diperkotaan maupun di pedesaan, dan untuk mendorong kegiatan ekonomi dengan berbagai sektor yang memerlukan tenaga listrik. Pembangunan ketenagalistrikan yang dilaksanakan berupa pembangunan sarana penyediaan tenaga listrik, yaitu pembangkit tenaga listrik beserta jaringan transmisi dan distribusi. Pembangunan ini selain meningkatkan kemampuan penyediaan listrik, juga meningkatkan keandalannya.

Dalam perencanaan teknik tenaga listrik meliputi sumber pembangkitannya, saluran transmisi dan distribusinya. Saluran transmisi / distribusi merupakan rantai penghubung antara pembangkit tenaga listrik dengan konsumen, dimana terdiri dari beberapa alat penghubung yakni gardu hubung atau yang lebih dikenal dengan switchgear.

B. Tujuan Penulisan

Dalam hal ini tujuan dari penulisan Penelitian ini adalah membahas mengenai masalah yang timbul pada saat terjadi hubung singkat, yang mana efek dari hubung singkat ini diantaranya menyebabkan kenaikan temperatur pada rel daya. Oleh sebab itu penulis mencoba menganalisa efek kenaikan temperatur terhadap rel daya, sehingga dapat mengetahui luas penampang minimum rel daya yang digunakan pada sistem.

C. Batasan Masalah

Dalam penulisan Penelitian ini hanya dibatasi dalam perhitungan luas penampang rel daya pada saat terjadi Gangguan Hubung Singkat, yang terdapat pada PT. PLN Kitlur Sumbagut Gardu Induk Tanjung Morawa, pada sistem jaringan distribusi 20 KV, serta Gangguan Hubung Singkat tiga fasa simetris dengan sistem pengamanan.

II. REL DAYA

A. Umum

Secara garis besar bahwa sistem tenaga listrik adalah sekelompok peralatan sebagai berikut :

- Sistem Pembangkitan
- Sistem Transmisi dan Distribusi
- Sistem Pusat Beban

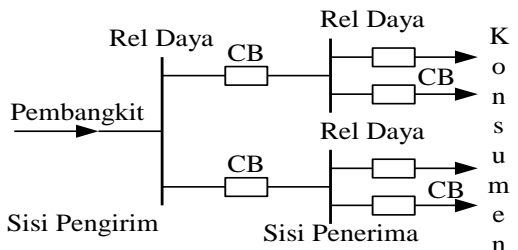
Salah satu cara yang mudah dan praktis dalam penyaluran daya listrik adalah dengan cara sistem transmisi dan distribusi. Disini tiap saluran terlebih dahulu dihubungkan dengan switchgear dan diinterkoneksi pada feder-feder distribusi. Disini tempat dihubungkannya rel daya. Dengan pengertian lain rel daya merupakan sekelompok komponen gardu induk maupun komponen gardu hubung yang memiliki fungsi sebagai tempat pembagian daya listrik terhadap feeder untuk disalurkan kepada konsumen.

Sesuai dengan PUIL tahun 1987 pasal 630.D.1 bahwa rel daya adalah penghantar arus listrik yang baik dalam mengalirkan arus listrik, yang terbuat dari tembaga dan aluminium. Jika ditinjau dari penempatan rel daya tersebut selalu ditempatkan pada sisi pengirim maupun pada sisi penerima maupun pada sisi penerima, seperti pada Gambar 1

Dalam penginstalan rel daya, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

- Tingkat fleksibilitas yang tinggi dalam pengoperasiannya
- Tingkat keandalan yang tinggi
- Sederhana

- Terjamin keselamatannya bagi operator
 - Bersifat melindungi
 - Disesuaikan dengan kondisi tempat
- Biaya operasional dan pemeliharaan yang rendah.



Gambar 1. Penempatan rel daya pada sistem distribusi

B. Sistem Rel Daya.

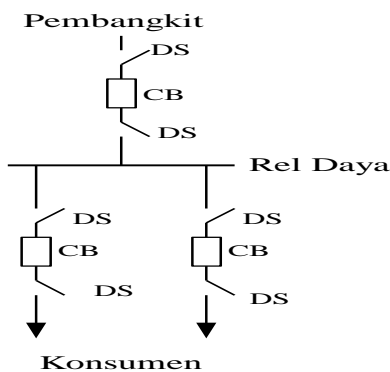
Semua peralatan gardu hubung, dimana hubungannya ditentukan dari sistem pemasangan rel daya yang dipergunakan, yaitu :

1. Sistem Rel Tunggal
2. Sistem Rel Ganda
3. Sistem Rel Satu Setengah CB
4. Sistem Rel Mesh
5. Sistem Rel Cin – cin

Sistem rel daya digunakan untuk mendistribusikan daya listrik dari pusat pembangkitan maupun dari sub pembangkit. Sehingga dalam penyaluran daya benar – benar dipertimbangkan sistem yang sesuai untuk mempertahankan kontinuitas pelayanannya.

a. Sistem Rel Tunggal

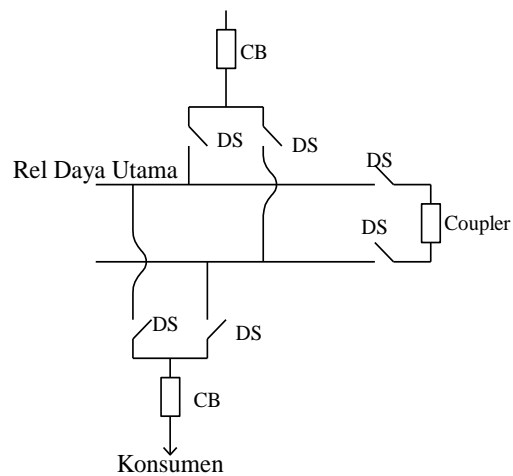
Sistem ini adalah yang paling sederhana karena rel daya yang diperlukan hanya satu unit dan beberapa unit feeder. Sistem rel daya seperti ini lebih menguntungkan karena tidak banyak menggunakan peralatan serta perlengkapannya. Tetapi dari segi teknik kurang baik karena tingkat fleksibilitasnya rendah. Jika terjadi gangguan maupun pemeliharaan dan perbaikan maka semua feeder harus shutdown (daya listrik terputus). Sistem ini digambarkan dengan Gambar 2 seperti di bawah :



Gambar 2. Sistem rel daya tunggal

b. Sistem Rel Ganda

Sistem rel ganda mempunyai dua buah rel daya sebagai penumpuan daya listrik, dengan beberapa unit feeder yang terinterkoneksi beberapa saluran dengan beberapa pembangkit maupun sub pembangkit daya listrik. Kedua rel daya ini dikenal dengan rel dayaa utama (main busbar) dan rel day cadangan (reserve busbar). Jika terjadi gangguan maupun perbaikan pada salah satu rel daya maka rel daya yang satu lagi dapat dipergunakan untuk mensuplai daya melalui alat penghubung coupler sehingga kontinuitas pelayanan tetap berlangsung. Dari segi teknik sistem ini menguntungkan dan fleksibilitasnya tinggi, sedangkan dari segi ekonomis membutuhkan yang sangat besar. Sistem ini ditunjukkan seperti Gambar 3.

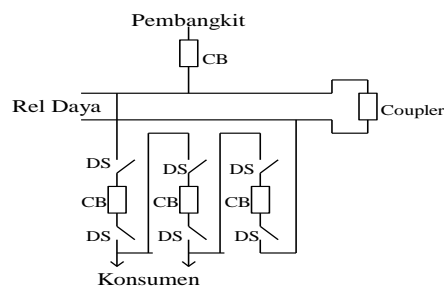


Gambar 3. Sistem rel daya ganda.

c. Sistem Rel Daya Satu Setengah CB

Sistem ini digambarkan pada gambar 4 dimana rel daya yang dipergunakan merupakan gabungan dari dua sistem yakni sistem mesh dan sistem rel daya ganda yang terdiri dari dua unit daya dengan tiga buah CB. Keuntungan dari penggunaan sistem ini adalah lebih murah dari sistem rel ganda pada pengoperasian yang sama.

Jika terjadi gangguan pada rel daya atau perbaikan sistem akan tetap beroperasi pada rel yang satu lagi dan rel daya ini harus mampu menahan beban untuk kedua saluran tersebut.



Gambar 4. Sistem rel daya satu setengah CB

C. Kontruksi Rel Daya

Jika ditinjau dari segi pemasangan rel daya maka kontruksinya dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu :

1. Rel daya terbuka

Dimana kontruksinya dalam keadaan tanpa osilasi atau pemasangan secara terbuka.

2. Rel daya tertutup sederhana

Dimana rel dya tersebut mempunyai isolasi yang terbuat dari nikel, sedangkan konstruksinya terdiri dari beberapa jenis yaitu :

- a) Rel daya tertentu sederhana, yaitu rel daya yang ditutup secar bersama-sama dengan bahan yang terbuat dari besi atau baja.
- b) Rel daya untuk masing-masing fasa tertutup kemudian dihubungkan secar terpisah.
- c) Rel daya dilapisi dengan isolasi padat atau isolasi cair.
- d) Rel daya yang ditutup dengan penutup gas atau udara bertekanan tinggi.

Keuntungan dengan kontruksi tersebut adalah :

- Jarak antara rel daya lebih dekat
- Keselamatan oerator lebih terjamin

Pada Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 1987 pasal 601.J.1 bagian ketiga dijelaskan jarak antara rel daya yang bertegangan yang sama adalah :

$$5\text{Cm} + \frac{2}{3} \text{Cm tiap 1 Kv (cm)}$$

D. Material Rel Daya

Pada PUIL tahun 1987 pasal 630.D.1 dinyatakan bahwa material rel daya yang baik dipergunakan adalah :

- a. Tembaga
- b. Aluminium

a. Tembaga

Tembaga merupakan pengahantar (konduktor) yang baik dan banyak dipergunakan dalam sistem kelistrikan karena mempunyai kelebihan daripada material yang lain seperti sifat mekaniknya, sifat fisisnya maupun sifat listriknya. Tembaga ini pada sifat listriknya mempunyai tahanan jenis (resistif listrik) yang kecil yaitu 0.00175 ohm per meter.

Akan tetapi material ini akan terjadi pelembekan (memuai) pada temperatur 200⁰ C dan pada temperatur 85⁰C akan teroksidasi.

b. Aluminium

Selain material tembaga, juga aluminium banyak dipergunakan sebagai rel daya karena harganya lebih murah dibandingkan dengan tembaga. Jika ditinjau dari sifat fisisnya bahwa material ini kurang sedngkan sifat listriknya seperti resistansi (tahanan jenisnya) tinggi 0.07828 ohm/m.

Pada material aluminium akan terjadi pelembekan pada temperatur 180⁰ C dan akan terjadi pencairan 657⁰ C . Dari kedua material diatas dapat kita lihat sifat kemurniannya pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat–sifat kemurnian material rel daya

Uraian	Material	
	Tembaga	Aluminium
Resistif listrik pada temperatur 20 ⁰ C(ohm/m)	0, 00175	0, 07828
Koefisien Resistif temp (⁰ C ⁻¹)	0, 00411	0, 00403
Temperatur melembek (⁰ C)	200	180
Temperatur mencair (⁰ C)	1083	657
Konduktivitas termal (kCal/det.cm)	0, 923	0, 503
Kepekatan (g/m ²)	8, 94	2, 703

E. Data Spesifikasi Rel Daya

Dalam Operasi rel daya pada pendistribusian daya listrik perlu diperhatikan beberapa kwantitas yang spesipik untuk meningkatkan maupun menjaga kontiunitas pelayanan seperti :

- 1. Rated arus, yakni besar arus nominal yang dapat dialiri secara terus-menerus
- 2. Rated tegangan, yakni besar tegangan normal yang dapat ditahan rel daya secara terus-menerus
- 3. Rated frekuensi, yakni besar frekuensi maksimum pada daya
- 4. Rated waktu hubung singkat, yakni merupakan waktu maksimum yang dapat bertahan jika terjadi gangguan hubung singkat.
- 5. Rated temperatur, yakni besar temperatur yang diizinkan pada kondisi normal maupun ubnormal.

III. GANGGUAN HUBUNG SINGKAT

A. Umum

Perencanaan, desain dan pengoperasian dari sistem distribusi daya listrik membutuhkan analisa yang terus menerus dan komprehensif untuk menilai keberhasilan sistim daya untuk menentukan keefektipan dari sistem tersebut.studi ini tentu mempunyai peranan penting membuat sistem daya dengan kehandalan yang tinggi,aman dan bermutu.

Analisa–analisa ini biasanya memasukkan perhitungan tegangan arus pada kondisi tertentu misalnya pada kondisi hubung singkat.Analisa dalam keadaan mantap dimana oprasi yang tidak seimbang diabaikan.Sering permasalahan yang tidak seimbang diselesaikan secara seimbang fasa per fasa, dengan metode komponen simetris.

Dalam penentuan kapasitas suatu peralatan daya listrik menggunakan gangguan hubung singkat simetris yaitu gangguan fase – fase sebagai dasar karena gangguan ini menghasilkan arus gangguan lebih besar.

B. Metode Penyelesaian Hubung Singkat

Dalam penyelesaian permasalahan gangguan hubung singkat, dimana kuantitas tegangan, arus dan impedansi dinyatakan dengan perubahan kuantitasnya sehingga memudahkan perhitungan. Metode ini dikenal dengan dua metode, yaitu :

Metode Per Unit (PU)

Didefinisikan sebagai perbandingan besaran yang sebenarnya dengan dasar yang dinyatakan dalam desimal. secara matematisnya adalah :

$$PU = \frac{\text{nilaisebenarnya}}{\text{nilaidasar}} \dots\dots\dots (1)$$

Sehingga untuk tegangan :

$$V_{pu} = \frac{V_{Sebenarnya}}{V_{Dasar}}$$

Untuk Arus :

$$I_{pu} = \frac{I_{Sebenarnya}}{I_{Dasar}}$$

Untuk Impedansi :

$$Z_{pu} = \frac{Z_{Sebenarnya}}{Z_{Dasar}}$$

Dalam penentuan besaran tersebut dipilih besar tegangan yang normal, maka :

$$KVA_{dasar} = \sqrt{3} \times KV_{dasar} \times I_{dasar}$$

Sahingga :

$$I_{Dasar} = \frac{KVA_{dasar}}{\sqrt{3} KV_{dasar}} \dots\dots\dots (2)$$

Impedansi dasar :

$$Z_{Dasar} = \frac{KVA_{dasar}}{\sqrt{3} KV_{dasar}}$$

Atau : $Z_{dasar} = \frac{(KV_{dasar})^2}{KVA_{dasar}} \dots\dots\dots (3)$

Dengan mendistribusikan persamaan (3) terhadap persamaan (1), maka diperoleh :

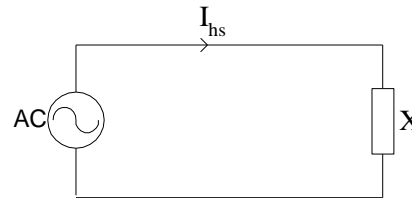
$$Z_{Sebenarnya} = \frac{KVA_{dasar}}{(KVA_{dasar})^2} \dots\dots\dots (4)$$

C. Analisa Gangguan Hubung Singkat

Jika terjadi gangguan hubung singkat simetris pada jaringan distribusi, maka arus mengalir pada jaringan tersebut akan ditentukan oleh tegangan GGL dalam generator yang membangkitkan daya listrik, dan arus hubung singkat adalah

perbandingan antara tegangan GGI dengan Impedansi.

Gangguan hubung singkat simetris tiga fase dapat dihitung besar arusnya dengan menyelesaikan cukup satu fase, karena kuantitasnya mempunyai nilai yang sama. Disini dapat dibuat rangkaian ekivalennya pada Gambar 5



Gambar 5. Rangkaian ekivalen gangguan tiga phasaantara phasa-phasa-phasa

Pada kondisi ini bahwa arus hubung singkat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$I_{hs} = \frac{E}{X} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- I_{hs} = arus hubung singkat (kA)
- E = tegangan GGL generator (kV)
- X = reaktansi (ohm)

Dalam kondisi hubung singkat, generator tidak terlepas dari beberapa reaktansi yang terdapat, seperti :

- Reaktansi sinkron (Xd)
- Reaktansi transient (X'd)
- Reaktansi subtransient (X''d)

Ketiga reaktansi tersebut mempunyai besaran berbeda – beda yaitu reaktansi sinkron lebih besar dari reaktansi transient dan lebih besar dari reaktansi sub transient atau

$X_d > X'd > X''d$. Sedangkan penggunaannya tergantung pada keadaan seperti :

- Keadaan steady state
- Keadaan transient
- Keadaan subtransient

D. Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

Dengan menggunakan Gambar 6. sebagai acuan, maka dapat ditentukan sebagai berikut :

$$V_a = V_b = V_c = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$I_a + I_b + I_c = 0 \dots\dots\dots (7)$$

Jika kita uraikan secara komponen urutan maka akan diperoleh tegangan urutan seperti :

1. Urutan nol :
 $V_{a0} = 1/3 (V_a + V_b + V_c)$
 $V_{a0} = 0$
2. Urutan Positif :
 $V_{a1} = 1/3 (V_a + aV_b + a^2V_c)$
3. Urutan negatif :
 $V_{a2} = 1/3 (V_a + a^2V_b + aV_c)$
 $= 0$

Berdasarkan hal yang sama dapat ditentukan besar arus urutan dengan mengambil I_a sebagai referensinya, maka :

$$I_b = a^2 I_a \dots\dots\dots (8)$$

$$I_c = a I_a \dots\dots\dots (9)$$

Sehingga :

1. Arus urutan Positif :

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + a I_b + a^2 I_c) \dots\dots\dots (10)$$

Persamaan (8) dan (9) kita substitusikan terhadap persamaan (10) sehingga diperoleh :

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + a^3 I_a + a^5 I_c)$$

2. Arus urutan Negatif :

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c) \dots\dots\dots (11)$$

Persamaan (8) dan (9) kita substitusikan terhadap pers (10), sehingga diperoleh :

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + a^4 I_a + a^2 I_c) \dots\dots\dots (12)$$

$$= 0$$

3. Arus urutan Nol :

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c) \dots\dots\dots (13)$$

$$= 0$$

Sehingga berdasarkan pers (9), (12) dan (13) pada gangguan hubung singkat tiga fasa antara fasa-fasa-fasa arus urutan yang terdapat adalah arus urutan positif (I_{a1}).

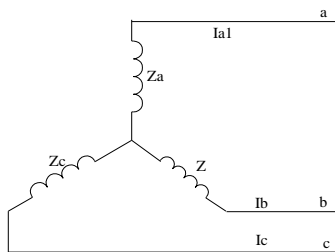
Untuk mencari arus urutan positif adalah sebagai berikut :

$$V_{a1} = E_{a1} - I_{a1} \cdot Z_1$$

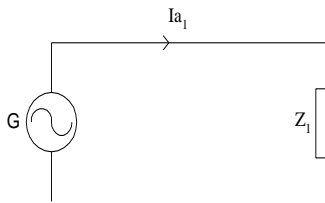
Maka besar I_{a1} adalah :

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1} \dots\dots\dots (14)$$

dengan persamaan (14) dapat dibuat rangkaian ekuivalen seperti gambar dibawah ini :



Gambar 6. Rangkaian generator hubung singkat tiga fasa



Gambar 7. Rangkaian ekuivalen gangguan tiga fasa

Maka besar arus positif untuk tiap – tiap fasa adalah :

Fasa a :

$$I_a = (I_a + I_{a2} + I_{a0}) = I_{a1}$$

Fasa b :

$$I_b = (I_{b1} + I_{b2} + I_{c0}) = I_{b1}$$

Fasa c :

$$I_c = (I_{c1} + I_{c2} + I_{c0}) = I_{c1} = a I_{a1}$$

IV. TEMPERATUR HUBUNG SINGKAT

A. Umum

Temperatur atau suhu yang terjadi pada pengantar merupakan proses terjadinya perubahan energi listrik menjadi energi panas akibat adanya rugi-rugi daya pada rel daya. Tentu kondisi ini menjadi salah satu faktor yang diperhitungkan dalam setiap perencanaan luas penampang penghantar untuk menghindari kerusakan mekanisnya terutama akibat hubung singkat.

B. Efek Temperatur Pada Penghantar

Efek yang terjadi pada penghantar akibat perubahan temperatur adalah :

- a. Perubahan Resistansi.
- b. Perubahan Konduktivitas Termal.

a. Perubahan resistansi

Dengan adanya perubahan temperatur akan menimbulkan nilai tambah pada resistansi penghantar tersebut. Secara matematis ditunjukkan hubungan linier resistansi sebagai fungsi temperatur dengan persamaan dibawah ini :

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha_T) \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

R_1 = Resistansi Awal (Ohm)

T_1 = Temperatur Awal ($^{\circ}C$)

R_2 = Resistansi Akhir (Ohm)

T_2 = Temperatur Akhir ($^{\circ}C$)

$$T = T_2 - T_1$$

α = Koefisien Resistansi

b. Perubahan Konduktivitas Termal

Penghantar yang sifatnya sebagai media perantara arus listrik yang baik adalah dimana penghantar tersebut mempunyai konduktivitas termal yang besar. Dengan pertambahan temperatur menimbulkan perubahan konduktivitas menjadi kecil.

Tetapi secara praktek konduktivitas termal dapat dianggap konstant, jika pertambahan temperatur tidak terlalu besar, seperti yang terdapat pada Tabel 2 .

Tabel 2. Konduktivitas termal penghantar

Material	Konduktivitas Termal (Kcl / det. M)
Perak	$9,9 \times 10^{-2}$
Tembaga	$9,2 \times 10^{-2}$
Aluminium	$4,9 \times 10^{-2}$
Timbal	$8,3 \times 10^{-2}$
Baja	$1,1 \times 10^{-2}$

C. Ekspansi Linear

Jika temperatur tersebut bertambah, maka terjadi pengaruh secara langsung pada konduktor terutama pada rel daya yaitu terjadinya perubahan keadaan meliputi perubahan luas, perubahan panjang dan perubahan volume. Perubahan dimensi yang demikian dikenal dengan istilah ekspansi linear. Jika panjang dimensi linear adalah L maka perubahan panjang adalah ΔL, akibat adanya perubahan temperatur menjadi (ΔT), begitu juga dengan volume dan luasnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan temperatur adalah sebanding dengan panjang semula. Dari ketiga keadaan tersebut diatas dapat ditunjukkan dengan persamaan – persamaan seperti berikut.

a. Dimensi Panjang

Dalam hal ini bahwa dimensi panjang mula – mula L, akibat terjadinya pertambahan temperatur sebesar ΔT, maka perubahan dimensi panjang adalah :

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

L = Dimensi Panjang Linear (mm)
 ΔT = Pertambahan Temperatur (°C)

ΔL = Perubahan Dimensi Panjang (mm)
 α = Koefisien Ekspansi linear (Per °C)

b. Dimensi Luas

Pada konduktor yang sisinya rata, maka ekspansi perubahan linear adalah :

$$\Delta A = 2\alpha \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (17)$$

Dimana :

ΔA = Perubahan Dimensi Luas (mm²)
 ΔT = Pertambahan Temperatur (°C)
 A = Luas Dimensi Linear (mm²)
 α = Koefisien Ekspansi Liner (per °C).

c. Dimensi Volume

Untuk perubahan volume sebuah pengantar untuk setiap perubahan temperatur dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta V = 3\alpha \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (18)$$

Dimana :

ΔV = Perubahan Volume
 ΔT = Pertambahan Temperatur (°C)
 V = Dimensi Volume
 α = Koefisien Ekspansi Linear (per °C)

Dari ketiga perubahan dimensi diatas bahwa koefisien ekspansi linear tergantung pada temperatur yang sesungguhnya. Namun dianggap sangat merumitkan perhitungan sehingga dapat

diambil konstanta pada suatu bahan yang ditentukan, seperti yang terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien ekspansi linear

Material	Koefisien Ekspansi Linear (mm / °C)
Aluminium	27 x 10 ⁻⁶
Tembaga	17 x 10 ⁻⁶
Kuningan	19 x 10 ⁻⁶
Baja	11 x 10 ⁻⁶
Timbal	29 x 10 ⁻⁶

Contoh :

Dua buah penghantar listrik yang masing – masing terbust dari tembaga dan aluminium dengan luas penampang 1000 mm², denga suhu awal 75°C dan suhu akhir 100°C, dimana koefisien mulai linear untuk tembaga = 17 .10⁻⁶ (mm / °C) dan koefisien mulai linear untuk aluminium = 23 . 10⁻⁶ (mm/°C). Maka besarnya pertambahan muai luas dari penghantar tersebut adalah :

➤ Untuk Tembaga.

$$\begin{aligned} \Delta A &= 2\alpha \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 2 \cdot 17 \times 10^{-6} \cdot 1000 (100 - 75) \\ &= 0,034 \times 25 = 0,85 \text{ mm}^2 / \text{°C} \end{aligned}$$

➤ Untuk Aluminium.

$$\begin{aligned} \Delta A &= 2\alpha \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 2 \cdot 23 \times 10^{-6} \cdot 1000 (100 - 75) \\ &= 0,046 \times 25 = 1,15 \text{ mm}^2 / \text{°C} \end{aligned}$$

Dari contoh tersebut nilai pemuai dari tembaga lebih kecil dibandingkan dengan aluminium.

D. Persamaan Dasar Terjadinya Temperatur Pada Rel Daya

Seperti yang telah dijelaskan, dimana rel daya merupakan wujud penghantar yang disusun sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai pusat pembagi beban tiap-tiap feeder distribusi. Material rel daya memiliki besar resitansi (R) . Jika dialiri arus listrik maka timbul rugi-rugi daya listrik, yang merupakan perkalian kwadrat arus listrik dengan resistansi, secara matematis :

$$Pr = I^2 \cdot R \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (19)$$

Dimana :

Pr = Rugi – rugi Daya Listrik (Watt)
 I = Arus Hubung Singkat (KA)
 R = Resistansi Rel Daya (Ohm)

Berdasarkan persamaan tersebut akan menimbulkan kenaikan temperatur secara mendadak pada saat terjadinya gangguan hubung singkat, dimana nilai resistansi rel daya : $R = \rho \frac{L}{A}$

Dimana :

L = Panjang Penampang Rel Daya
 A = Luas Penampang Rel Daya
 ρ = Tahanan Jenis Penampang,
 Tembaga : 26 .10⁻⁹ (Ω.m)
 Aluminium : 16 . 10⁻⁹ (Ω.m)

E. Besar Temperatur Yang Terjadi Pada Hubung Singkat

Seperti yang telah dijelaskan bahwa arus hubung singkat simetris yang terjadi pada rel daya sangat besar, walaupun hanya berlangsung beberapa detik. Dalam pengoperasian sistem peralatan daya listrik baik dalam keadaan normal dan abnormal ditentukan batas temperatur maksimum guna menjaga keterandalan sistem pada keadaan tertentu.

Dengan mempertimbangkan sifat-sifat kemurnian dari rel daya (Tabel 1), maka batas temperatur maksimum pada rel daya yang berkerja pada keadaan normal maksimum adalah 75 °C.

Sedangkan pada keadaan abnormal (Hubung singkat) temperatur maksimum adalah 175 °C. Temperatur ini adalah penjumlahan temperatur yang terjadi secara mendadak (100 °C batas maksimum yang di izinkan pada keadaan abnormal).

Jika rel daya mengalami gangguan hubung singkat maka temperatur yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$T = K \left(\frac{1}{A} \right)^2 (1 + \alpha \theta) \times 10^{-2} \dots \dots \dots (20)$$

Dimana :

T = Temperatur pada saat terjadinya hubung singkat perdetik (°C)

A = Luas penampang rel daya (mm²)

I = Arus hubung singkat simetris (KA)

Θ = Temperatur sebelum terjadinya gangguan hubung singkat (°C)

α = Koefisien temperatur 20 °C

= 0,00393 Pada tembaga

= 0,00386 Pada aluminium

= 0,0036 Pada aluminium campuran

K = Konstanta = 0,54 Pada tembaga

= 1,17 Pada aluminium

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penulisan Penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari perhitungan yang dilakukan secara teoritis, terbukti bahwasanya luas penampang rel daya 20kV pada gardu induk Tanjung Morawa berada diatas luas penampang minimum rel daya pada perhitungan.
2. Bahwa penentuan kapasitas rel daya dan peralatan daya listrik ditinjau dari besar arus gangguan hubung singkat simetris.
3. Penentuan luas penampang minimum rel daya ditinjau dari keadaan temperatur guna mengurangi terjadinya ekspansi linear.

4. Pertambahan temperatur pada penghantar akan menimbulkan konduktivitas termal menjadi kecil.
5. Resistansi suatu rel daya berbanding lurus terhadap panjang penghantar dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya.
6. Material yang baik digunakan sebagai rel daya adalah material tembaga.
7. Suhu merupakan sumber energi yang dapat menghasilkan kalor yang dapat merubah luas penampang suatu penghantar dimana koefisien linear tembaga lebih kecil dibandingkan dengan koefisien linear aluminium.

B. Saran

1. Dari hasil penelitian yang dilakukan di-Gardu induk Tanjung Morawa, maka penulis menyarankan agar sistem pemeliharaan yang dilakukan pada ruang kubikel 20kV ditingkatkan dari pemeliharaan yang bersifat tahunan menjadi pemeliharaan yang bersifat setengah tahunan (Persemester).
2. Dalam hal perencanaan pembuatan dan penempatan rel daya harus benar – benar disesuaikan dengan besarnya perhitungan hubung singkat, besarnya temperatur, efek dari ekspansi linear dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.S. Pabla/Ir Abdul Hadi, 1991, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Penerbit Erlangga, Cetakan Kedua, Jakarta.
- [2] DR. A. Arismunandar dan DR. S. Kuwuhara, 1991, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III. Gadu induk*, PT. Pradnya Paramita Jakarta, Cetakan Kelima.
- [3] Davit Halliday / Pantur Silaban. Ph. D., 1984, *Fisika Unifersitas Jilid I*, Penerbit Erlagga, Jakarta Pusat, Edisi Ketiga.
- [4] *Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia (PUIL) 2000*.
- [5] Tobing L. Bonggas, 2003, *Peralatan Tegangan Tinggi*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- [6] Sudeshi Uppal B.A., *Electrical Power*, Khanna Publisher New Delhi.
- [7] Sunil S. Rao. M.E. (Electical). M.I.E., 1973, *Swicthgear And Protection*, Khanna Publisher 2 – B. Nath Market Nai Sarak – New Delhi.
- [8] William Stevenson, 1990, *Analisa Sistem Tenaga Listrik (Terjemahan)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.