

PERENCANAAN *DOUBLE BUSBAR* 70 kV PADA GARDU INDUK SENGKALING

Rifqi Hasyemi Taufiqurrahman¹, Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT.², Mahfudz Shidiq, Ir., MT.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email: hasyemirifqi@gmail.com

ABSTRAK

Dalam merencanakan sebuah busbar perlu dilakukan kajian tentang kelistrikan, mekanikal, lingkungan, dan lokasinya. Kajian kelistrikan menyangkut daya yang akan disalurkan, pemilihan tingkat tegangan, analisis hubung singkat, jarak aman, serta tata letak peralatan Gardu Induk. *Double busbar* pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling ditentukan menggunakan aluminium atau tembaga berbentuk kawat pilin, berdimensi 61 pilin diameter 29,1 mm untuk aluminium dan 26 mm untuk tembaga, jenis konfigurasi dua bus-satu pemutus daya. Ketinggian minimum di dalam instalasi 3,19 m dan di luar instalasi 5,25 m. Jarak aman antar peralatan di dalam instalasi 1,05 m dengan memasang rantai/tali dan di luar instalasi 2,25 m dengan memasang kawat jaring. Jarak aman minimum jalan masuk pemeliharaan untuk manusia 1,9 m dan untuk transportasi 5,85 m. Panjang busbar adalah 36,248 m. Ketinggian minimum pemasangan busbar 4,23 m untuk aluminium dan 4,58 m untuk tembaga. Gaya tarik busbar pada tiang ujung adalah 6149,15 N untuk aluminium dan 6114,7 N untuk tembaga. Jarak aman minimum pemasangan fasa ke fasa busbar 1,03 m untuk aluminium dan 0,93 m untuk tembaga.

Kata kunci : *double busbar*, latar hubung 70 kV, Gardu Induk Sengkaling

ABSTRACT

In planning a busbar necessary to study about the electrical, mechanical, environmental, and location. Electrical studies involving supplied electrical power, the selection of voltage levels, short circuit analysis, safe distance, as well as the layout of substation equipment. Double busbar on the 70 kV Substation in Sengkaling determined using aluminum or copper wires with twisted shape, the dimension is 61 gyre with a diameter 29,1 mm for aluminum and 26 mm for copper, using two bus-single power breaker type of busbar. The minimum height is 3,19 m in the installations and 5,25 m outside plant. A safe distance between equipment within installation is 1,05 m by installing chain / rope and 2,25 m beyond the installation by installing wire mesh. Minimum safe distance for human is 1,9 m and 5,85 m for transportation. Busbar length is 36,248 m. The minimum height is 4,23 m for the aluminium busbar mounting and 4,58 m for copper. Busbar tensile on the pole tip is 6149,15 N for aluminium and 6114,7 N for copper. Minimum safe distance in the phase to phase busbars is 1,03 m for aluminum and 0,93 m for copper.

Keywords : *double busbar, switchyard 70 kV, Sengkaling substation*

I. PENDAHULUAN

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Untuk menghubungkan pusat pembangkit listrik dan saluran transmisi dibutuhkan sebuah gardu induk atau latar hubung (switchyard).

Latar hubung merupakan kumpulan sakelar, pemutus daya, bus, dan peralatan bantu yang digunakan untuk mengumpulkan listrik dari generator listrik dan mendistribusikannya ke saluran transmisi. Salah satu komponen penting pada latar hubung (gardu induk) adalah busbar yang merupakan konduktor penghantar arus listrik yang dapat menyalurkan arus dan tegangan listrik kapasitas besar. Dalam merencanakan sebuah busbar perlu dilakukan kajian tentang kelistrikan, mekanikal, lingkungan, dan lokasinya. Kajian kelistrikan menyangkut daya yang

akan disalurkan, pemilihan tingkat tegangan, analisis hubung singkat, jarak aman, serta tata letak peralatan Gardu Induk. Atas dasar latar belakang tersebut, maka di dalam penelitian ini akan dibahas mengenai perencanaan *double busbar* pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling yang memenuhi standar keselamatan dan keamanan yang disesuaikan dengan kapasitas Gardu Induk.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Busbar pada Gardu Induk

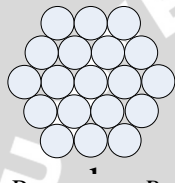
1. Jenis Material Busbar

Busbar merupakan komponen penghantar arus listrik berupa konduktor yang terbuat dari tembaga atau aluminium dan dapat menyalurkan arus dan tegangan listrik kapasitas besar. Karakteristik aluminium adalah ringan, dapat dengan mudah dikombinasikan dengan unsur lain untuk mengatur

karakteristiknya, baik dalam konduktivitas panas dan listrik. Karakteristik tembaga adalah konduktivitas listrik paling tinggi, baik dalam konduktivitas panas, ketahanan korosi, dan kelunakan .

2. Bentuk Penampang Busbar

Pada gardu luar ruangan busbar adalah kawat pilin yang terbuat dari baja dan aluminium dan digantung pada isolator. Konduktor padat merupakan konduktor tunggal yang hanya terdiri dari satu untai logam yang tangguh secara mekanis, biaya produksinya rendah, namun kurang fleksibel serta kurang tahan terhadap getaran dan gerakan. Kawat pilin terdiri dari beberapa pilin logam yang lebih kecil yang dikumpulkan dan dipelintir bersama pada sejumlah konfigurasi tertentu yang jauh lebih fleksibel, daya tahan lebih, namun biaya lebih mahal. Bentuk penampang kawat pilin seperti Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Bentuk Penampang Busbar Kawat Pilin

3. Dimensi Busbar

Dimensi busbar untuk material aluminium dan tembaga dilakukan sesuai Tabel 1 berdasarkan arus nominal yang mengalir pada busbar sesuai Persamaan 1 dan 2 (PUIL 2000) berikut.

$$KHA = 1,25 \times I_{n3\phi} \quad (1)$$

Tabel 2.1 Dimensi Busbar Kawat Pilin

N	d (mm)	d _{total} (mm)	A (mm ²)	I (A)	
				Al	Cu
7	2,50	7,5	34,36	180	200
7	3,00	9,0	49,48	225	250
19	1,80	9,0	48,35	270	310
19	2,10	10,5	65,81	455	510
37	2,25	15,8	147,11	855	960
61	2,89	26,0	400,14	960	1110
61	3,23	29,1	499,83	1340	-
91	3,35	36,9	802,09	-	-

4. Konfigurasi Busbar

Konfigurasi busbar ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing konfigurasi yaitu fleksibilitas operasi, kemudahan penyesuaian sambungan listrik, keandalan, kemudahan pemeliharaan, biaya, peran dan pentingnya gardu induk, serta pengembangan gardu induk. Beberapa konfigurasi busbar yaitu bus tunggal, satu setengah pemutus daya, bus utama dan transfer, bus cincin, dua bus-satu pemutus daya, dan dua bus-dua pemutus daya.

B. Tata Letak Busbar

1. Jarak Aman Minimum Bagian Aktif

Jara aman minimum antar bagian aktif dan antar bagian aktif ke bumi sesuai Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jarak Aman Busbar Kawat Pilin

Tegangan nominal U_n	Tegangan maksimum peralatan U_m	Jarak aman minimum fasa ke fasa a dan fasa ke bumi N
kV	kV	mm
70	83	750
110	123	1100
150	170	1500
220	245	2100
380	420	3400

Jarak aman minimum antara bagian aktif dengan manusia, antar peralatan, jalan masuk pemeliharaan, dan jalan masuk transportasi dihitung dengan Persamaan berikut.

$$H = N + 2440 \text{ mm} \quad (2)$$

$$H' = N + 4500 \text{ mm} \quad (3)$$

$$O_2 = N + 300 \text{ mm} \quad (4)$$

$$C = N + 1000 \text{ mm} \quad (5)$$

$$M_a = 1900 \text{ mm} \quad (6)$$

$$T = N + 100 \text{ mm} \quad (7)$$

2. Panjang Busbar

Busbar digantung pada jarak gawang l antara dua penyangga melalui isolator rantai dengan panjang l_i . Jarak gawang l ditentukan oleh jarak aman minimum antar fasa dan antar saluran (antar transformator). Panjang busbar l_c merupakan konduktor pembawa arus. Panjang uluran busbar l_u dengan adanya andongan konduktor. Hubungan l , l_i , l_c , l_u , a_k , dan b_c sesuai dengan Persamaan 8- 9 berikut.

$$l = l_c + 2l_i \quad (8)$$

$$l_u = l + \frac{8 \cdot (a_k)^2}{3 \cdot l} \quad (9)$$

C. Busbar saat Hubung Singkat

1. Gaya Tarik Busbar saat Hubung Singkat

Gaya tarik hubung singkat F_t dihitung dengan Persamaan 10 berikut.

$$F_t = F_{st} \cdot (1 + \phi \cdot \psi) \quad (10)$$

2. Gaya Jatuh Busbar saat Hubung Singkat

Gaya jatuh hubung singkat F_f dihitung dengan Persamaan 11 berikut.

$$F_f = 1,2F_{st} \sqrt{1 + 8\zeta \frac{\delta_m}{180^\circ}} \quad (11)$$

Gaya jatuh tidak perlu dihitung jika rasio gaya $r \leq 0,6$ atau sudut ayunan maksimum $\delta_m < 70^\circ$.

3. Gaya pada Penyangga saat Hubung Singkat

Gaya mekanis pada tiang ujung setengah dari gaya mekanis penghantar dengan panjang tertentu.

4. Andongan Maksimum Busbar saat Hubung Singkat

Andongan maksimum konduktor saat hubung singkat dihitung dengan Persamaan 12 berikut.

$$b_c = \frac{m' g_n l^2}{8 F_{st}} \quad (12)$$

Ketinggian minimum pemasangan busbar H_b untuk masing-masing material aluminium dan tembaga dengan mempertimbangkan andongan konduktor a_k dan andongan maksimum konduktor b_c saat hubung singkat dihitung dengan Persamaan 13 berikut.

$$H_b = H + a_k + b_c \quad (13)$$

5. Ayunan Maksimum Busbar saat Hubung Singkat

Ayunan maksimum konduktor saat hubung singkat dihitung dengan Persamaan 14 berikut.

$$b_h = \begin{cases} C_F C_D b_c \sin \delta_1 & \text{untuk } \delta_m \geq \delta_1 \\ C_F C_D b_c \sin \delta_m & \text{untuk } \delta_m < \delta_1 \end{cases} \quad (14)$$

Jarak aman minimum pemasangan fasa ke fasa busbar a_b untuk masing-masing material aluminium dan tembaga dengan mempertimbangkan ayunan maksimum busbar di tengah rentang b_h saat hubung singkat dihitung dengan Persamaan 15 berikut.

$$a_b = a + (2 \cdot b_h) \quad (15)$$

D. Analisis Hubung Singkat

Analisis arus hubung singkat diperlukan karena busbar juga dirancang untuk melawan arus hubung singkat maksimum. Arus hubung singkat tiga fasa dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positifnya saja karena sistemnya seimbang sesuai dengan Persamaan 16 berikut.

$$I_{f3 \text{ fasa}} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (16)$$

III. METODE PENELITIAN

A. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam penyelesaian penelitian. Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang meliputi:

1. Diagram satu garis Gardu Induk Sengkaling.
2. Data transformator pada Gardu Induk Sengkaling.

B. Perhitungan dan Analisis

1. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Langkah-langkah perhitungan dan analisis untuk memperoleh hasil akhir dari penelitian ini adalah pengukuran impedansi transformator, impedansi urutan, dan gangguan hubung singkat.

2. Penentuan Konfigurasi Busbar

Penentuan konfigurasi busbar dilakukan dengan mempertimbangkan keuntungan dan kerugian masing-masing konfigurasi busbar yang disesuaikan dengan keadaan Gardu Induk Sengkaling.

3. Penentuan Material Busbar

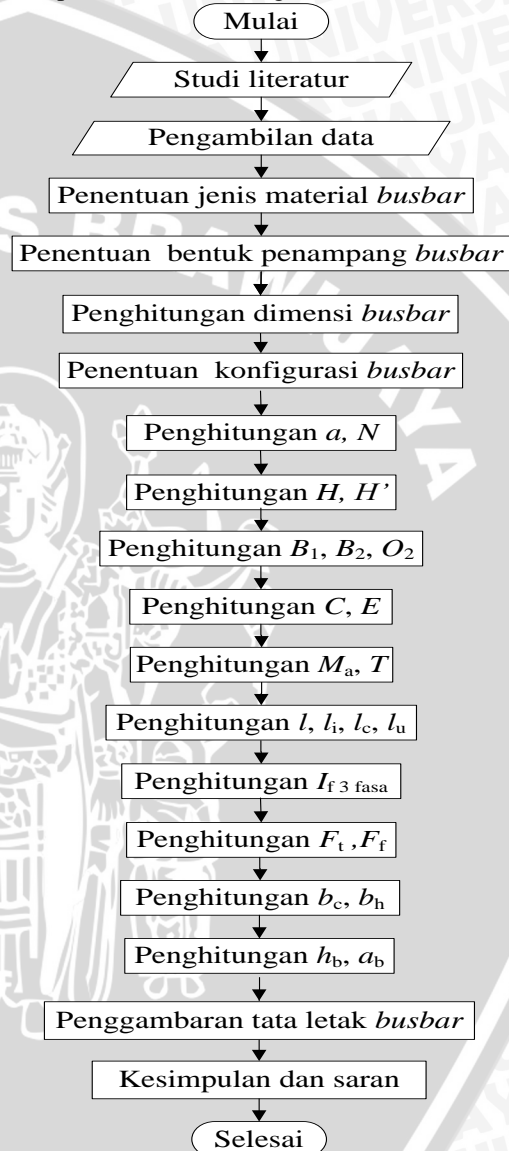
Penentuan material busbar dilakukan dengan mengacu pada karakteristik material dan mempertimbangkan aspek teknis dan mekanis masing-

masing material disesuaikan dengan keadaan Gardu Induk Sengkaling.

4. Perhitungan Dimensi Busbar

Perhitungan dimensi busbar disesuaikan dengan analisis hubung singkat, konfigurasi busbar yang dipilih, material busbar yang dipilih, dan aspek teknis dan mekanis berdasarkan acuan yang terdapat pada literatur.

Metode penelitian sesuai diagram alir Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gardu Induk Sengkaling

Gardu Induk Sengkaling merupakan salah satu gardu induk yang dikelola dibawah wewenang PT PLN APP Malang. Gardu Induk Sengkaling terletak di Jalan Dadap Tulis Utara No.109, Dadaprejo, Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur. Gardu Induk Sengkaling terletak pada ketinggian 622 mdpl (<1000 mdpl), memiliki 4 buah transformator, 2 buah transformator 150/70 kV serta 2 buah transformator 150/20 kV.

Spesifikasi transformator seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator Gardu Induk Sengkaling

Jumlah fasa	3
Daya	60 MVA
Tegangan	150/70 kV
Frekuensi	50 Hz
Hubungan	Δ/Y
Pentanahan	Netral ditanahkan langsung

Sumber: PT PLN APP Malang

B. Perencanaan Double Busbar pada Latar Hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling

1. Penentuan Jenis Material Busbar

Penentuan jenis material busbar dilakukan dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan aluminium dan tembaga yang merupakan material busbar yang umum digunakan pada gardu induk luar ruangan.

Berdasarkan uraian pada dasar teori, jenis material busbar pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling dapat ditentukan menggunakan aluminium atau tembaga karena kedua material ini sering digunakan sebagai busbar karena mempunyai sifat material yang baik dan memenuhi syarat sebagai material busbar.

2. Penentuan Bentuk Penampang Busbar

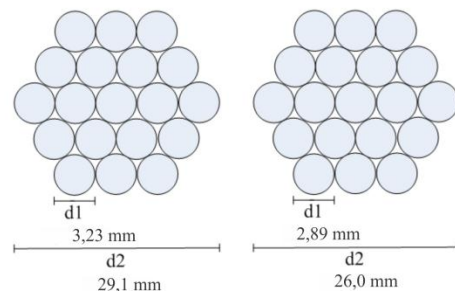
Penentuan bentuk penampang busbar dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan masing-masing bentuk penampang. Busbar pada gardu luar ruangan adalah kawat pilin yang terbuat dari baja dan aluminium. Berdasarkan uraian pada dasar teori, bentuk penampang busbar pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling ditentukan menggunakan kawat pilin karena lebih fleksibel, mampu menahan pembengkokan, mudah dalam instalasi dan penjaluran, mudah dalam distribusi, lebih tahan lama, dan mampu mengurangi efek kulit. Meskipun kawat pilin memerlukan biaya lebih banyak namun kelebihan kawat pilin secara mekanis jauh lebih baik daripada konduktor padat.

3. Penghitungan Dimensi Busbar Kawat Pilin

Arus nominal pada busbar dihitung dengan Persamaan 2 dan diperoleh hasil sebesar 240,5 A. Kemampuan hantar arus busbar dihitung dengan Persamaan 1 dan diperoleh hasil sebesar 927,884 A. Dimensi busbar ditentukan sesuai Tabel 1 seperti ditampilkan pada Tabel 5 dan Gambar 4.1 berikut.

Tabel 4 Dimensi Busbar pada Latar Hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling

Parameter	Material	
	Al	Cu
Jumlah pilin konduktor	61	61
Diameter pilin (mm)	3,23	2,89
Diameter total (mm)	29,1	26,0
Luas penampang (mm ²)	499,83	400,14
Arus kontinu (A)	960	960



Gambar 4.1 Dimensi busbar kawat pilin

4. Penentuan Konfigurasi Busbar

Berdasarkan uraian pada dasar teori, konfigurasi busbar pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling ditentukan menggunakan konfigurasi dua bus-satu pemutus daya, karena memungkinkan setiap sirkuit dipasang dari bus manapun atau transfer melalui sakelarnya dengan fleksibilitas pergantian masing-masing bus tinggi, memberikan kemudahan penyesuaian operasi dan transfer setiap sirkuit ke bus manapun, keandalannya sedang karena kegagalan pemutus daya bus menyebabkan pemadaman seluruh stasiun namun kegagalan satu bus tidak mempengaruhi bus lain, memberikan kemudahan pemeliharaan bus karena masing-masing bus dapat diisolasi namun pemeliharaan saluran pemutus daya masih memerlukan sakelar dan pemadaman, biayanya sedang karena tambahan peralatan dan kebutuhan lahan yang lebih luas, komponen tidak terlalu banyak dan kompleks.

Gardu Induk Sengkaling berperan penting karena memasok listrik ke daerah sekitar Kota Batu yang perkembangannya cukup pesat dan menyuplai Gardu Induk Blimbing serta Gardu Induk Mendalan.

C. Penghitungan Tata Letak Busbar

1. Penghitungan Jarak Aman Minimum Bagian Aktif

Sesuai Tabel 2.2 jarak aman minimum antar bagian aktif fasa ke fasa busbar a dan antar bagian aktif fasa ke bumi N pada latar hubung adalah 750 mm.

Ketinggian minimum di dalam instalasi dan di luar instalasi sebagai berikut.

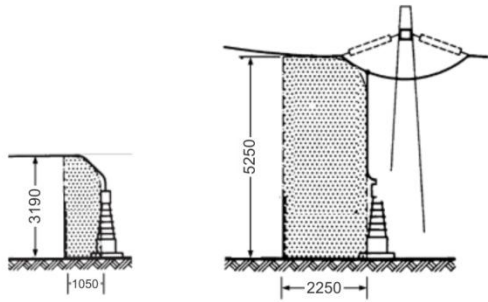
$$H = 3190 \text{ mm}$$

$$H' = 5250 \text{ mm}$$

Jarak aman minimum antar peralatan di dalam instalasi dengan memasang pembatas rantai/tali dan di luar instalasi ditentukan dengan memasang pembatas kawat jaringsbagai berikut.

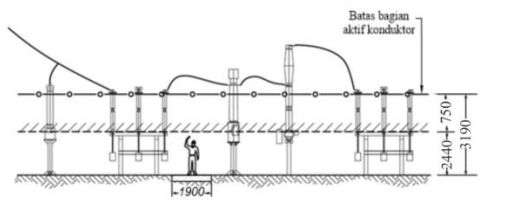
$$O_2 = 1050 \text{ mm}$$

$$E = 2250 \text{ mm}$$



Gambar 4.2 Pembatas dan Ketinggian pada Instalasi

Jarak aman minimum jalan masuk pemeliharaan M_a untuk manusia pada instalasi luar ruangan adalah trotoar dengan lebar 1900 mm.



Gambar 4.3 Ketinggian Peralatan-Peralatan Latar Hubung 70 kV Gardu Induk Sengkaling

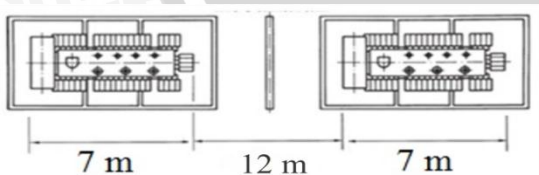
Dimensi dari unit transportasi dalam keadaan pintu terbuka ditentukan 2500 mm. dan dalam keadaan membawa muatan maksimum ditentukan 3000 mm. Jarak aman minimum jalan masuk transportasi T untuk kendaraan sebagai berikut.

$$T = 850 \text{ mm}$$

$$T' = 5850 \text{ mm}$$

2. Penghitungan Panjang Busbar

Jarak aman minimum fasa ke fasa a ditentukan sesuai Tabel 2.2 untuk sistem 70 kV adalah 0,75 m. Jarak aman minimum antar saluran terdapat jarak aman minimum antar transformator a_{T-T} sebesar 12 m untuk sistem 60 MVA yang dipasang dinding perlindungan kebakaran. Jarak yang disediakan untuk panjang transformator ditentukan 7 m.



Gambar 4.4 Jarak Aman Antar Transformator Latar Hubung 70 kV GI Sengkaling

Jarak masing-masing saluran l_s sebagai berikut.

$$l_s = 19 \text{ m}$$

Jarak gawang l terdiri dari dua saluran sebagai berikut.

$$l = 38 \text{ m}$$

Tinggi masing-masing rantai isolator ditentukan 146 mm sebanyak 6 rantai dengan total panjang sebagai berikut.

$$l_i = 0,876 \text{ m}$$

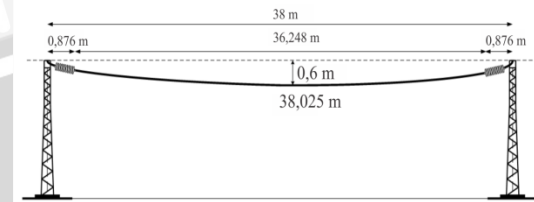
Panjang busbar l_c dihitung sebagai berikut.

$$l_c = 36,248 \text{ m}$$

Andongan busbar terbesar a_k ditentukan 0,6 m.

Panjang uluran busbar l_u sebagai berikut.

$$l_u = 38,025 \text{ m}$$



Gambar 4.5 Panjang Busbar dengan Andongan

D. Analisis Hubung Singkat Tiga Fasa

Tegangan dasar dan daya dasar ditentukan 150 kV dan 60 MVA. Impedansi urutan positif transformator adalah $j0,1263 \text{ pu}$ dan tidak diubah karena tegangan dan daya transformator sama dengan tegangan dasar dan daya dasar.

Impedansi positif ekuivalen jaringan diperoleh sebesar $j0,04698 \text{ pu}$. Arus hubung singkat tiga fasa dihitung dengan Persamaan 1 dan diperoleh hasil $-j21,286 \text{ pu}$ lalu dikonversikan ke satuan ampere dengan arus dasar dan diperoleh hasil $4915,79 \angle -90,0^\circ \text{ A}$.

E. Perhitungan Busbar Saat Hubung Singkat

1. Andongan Maksimum Busbar Saat Hubung Singkat

Nilai maksimum andongan busbar di tengah rentang b_c saat hubung singkat pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling untuk masing-masing material aluminium dan tembaga terletak pada suhu operasional maksimum $+60^\circ \text{ C}$ sebagai berikut.

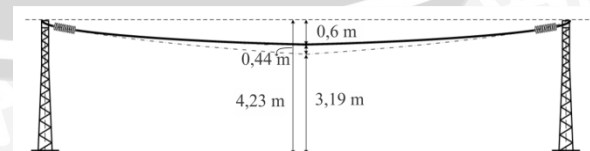
$$b_{c \text{ al}} = 0,44 \text{ m}$$

$$b_{c \text{ cu}} = 0,79 \text{ m}$$

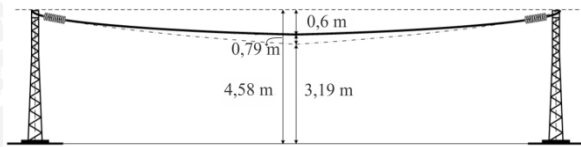
Ketinggian minimum pemasangan busbar H_b untuk masing-masing material aluminium dan tembaga dengan mempertimbangkan andongan maksimum busbar di tengah rentang b_c pada saat hubung singkat sebagai berikut.

$$H_{b \text{ al}} = 4,23 \text{ m}$$

$$H_{b \text{ cu}} = 4,58 \text{ m}$$



Gambar 4.6 Ketinggian Minimum Pemasangan Busbar untuk Material Aluminium



Gambar 4.7 Ketinggian Minimum Pemasangan Busbar untuk Material Tembaga

2. Penghitungan Gaya Tarik Busbar

Nilai maksimum gaya tarik hubung singkat F_t busbar pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling untuk masing-masing material aluminium dan tembaga terletak pada suhu operasional minimum -20°C sebagai berikut.

$$F_{t\text{ al}} = 12298,3 \text{ N}$$

$$F_{t\text{ cu}} = 12229,4 \text{ N}$$

3. Penghitungan Gaya Jatuh

Gaya jatuh tidak perlu dihitung jika rasio gaya $r \leq 0,6$ atau sudut ayunan maksimum $\delta_m < 70^\circ$.

4. Gaya pada Penyangga saat Hubung Singkat

Gaya tarik hubung singkat F_t busbar pada tiang ujung untuk masing-masing material aluminium dan tembaga sebagai berikut.

$$F_{t\text{ al tiang ujung}} = \frac{12298,3}{2} = 6149,15 \text{ N}$$

$$F_{t\text{ cu tiang ujung}} = \frac{12229,4}{2} = 6114,7 \text{ N}$$

Gaya mekanis pada tiang tengah dengan deviasi sudut lintasan 0° tidak menerima gaya mekanis akibat massa penghantar dengan panjang yang sama.

5. Ayunan Maksimum Busbar Saat Hubung Singkat

Nilai ayunan maksimum busbar di tengah rentang b_h saat hubung singkat pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling untuk masing-masing material aluminium dan tembaga terletak pada suhu operasional minimum $+60^\circ\text{C}$ sebagai berikut.

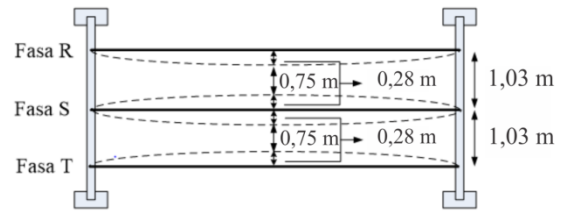
$$b_{h\text{ al}} = 0,14 \text{ m}$$

$$b_{h\text{ cu}} = 0,09 \text{ m}$$

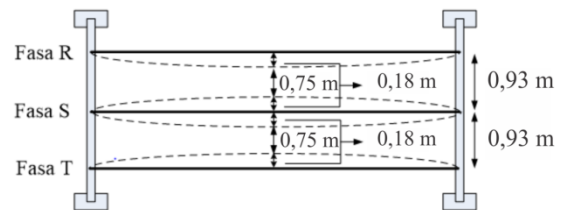
Jarak aman minimum pemasangan fasa ke fasa busbar a_b untuk masing-masing material aluminium dan tembaga dengan mempertimbangkan ayunan maksimum busbar di tengah rentang b_h saat hubung singkat dihitung dengan Persamaan 2-36 berikut.

$$a_{b\text{ al}} = a + (2 \cdot b_{h\text{ al}}) = 0,75 + (2 \cdot 0,14) = 0,75 + 0,28 = 1,03 \text{ m}$$

$$a_{b\text{ cu}} = a + (2 \cdot b_{h\text{ cu}}) = 0,75 + (2 \cdot 0,09) = 0,75 + 0,18 = 0,93 \text{ m}$$



Gambar 4.8 Jarak Aman Minimum Pemasangan Antar Fasa Busbar untuk Aluminium



Gambar 4.9 Jarak Aman Minimum Pemasangan Antar Fasa Busbar untuk Tembaga

F. Penggambaran Tata Letak Busbar

Penggambaran tata letak busbar dilakukan berdasarkan semua jarak aman minimum yang telah ditentukan.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

- Perencanaan busbar pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling sebagai berikut.
 - Busbar pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling ditentukan menggunakan jenis material aluminium atau tembaga dan bentuk penampang kawat pilin.
 - Dimensi busbar ditentukan 61 kawat pilin dengan diameter 29,1 mm untuk aluminium dan 26,0 mm untuk tembaga.
 - Jenis konfigurasi busbar ditentukan menggunakan dua bus-satu pemutus daya.
- Tata letak busbar pada latar hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling sebagai berikut.
 - Ketinggian minimum di dalam instalasi 3,19 m dan di luar instalasi 5,25 m.
 - Jarak aman antar peralatan di dalam instalasi 1,05 m dengan memasang rantai/tali, sedangkan di luar instalasi 2,25 m dengan memasang kawat jaring.
 - Jarak aman minimum jalan masuk pemeliharaan untuk manusia 1,9 m dan transportasi untuk kendaraan 5,85 m.
 - Panjang busbar adalah 36,248 m.
 - Ketinggian minimum pemasangan busbar 4,23 m untuk aluminium dan 4,58 m untuk tembaga.
 - Gaya tarik busbar pada tiang ujung adalah 6149,15 N untuk aluminium dan 6114,7 N untuk tembaga.
 - Jarak aman minimum pemasangan fasa ke fasa busbar 1,03 m untuk aluminium dan 0,93 m untuk tembaga.

B. Saran

1. Perencanaan *busbar* dilakukan dengan memperhitungkan faktor non teknis seperti biaya.
2. Perencanaan yang dilakukan tidak hanya sebatas perencanaan *busbar* saja, tapi dilakukan perencanaan gardu induk secara menyeluruh.
3. Perencanaan untuk gardu induk dengan area terbatas bisa menggunakan *Gas Insulation System (GIS)*

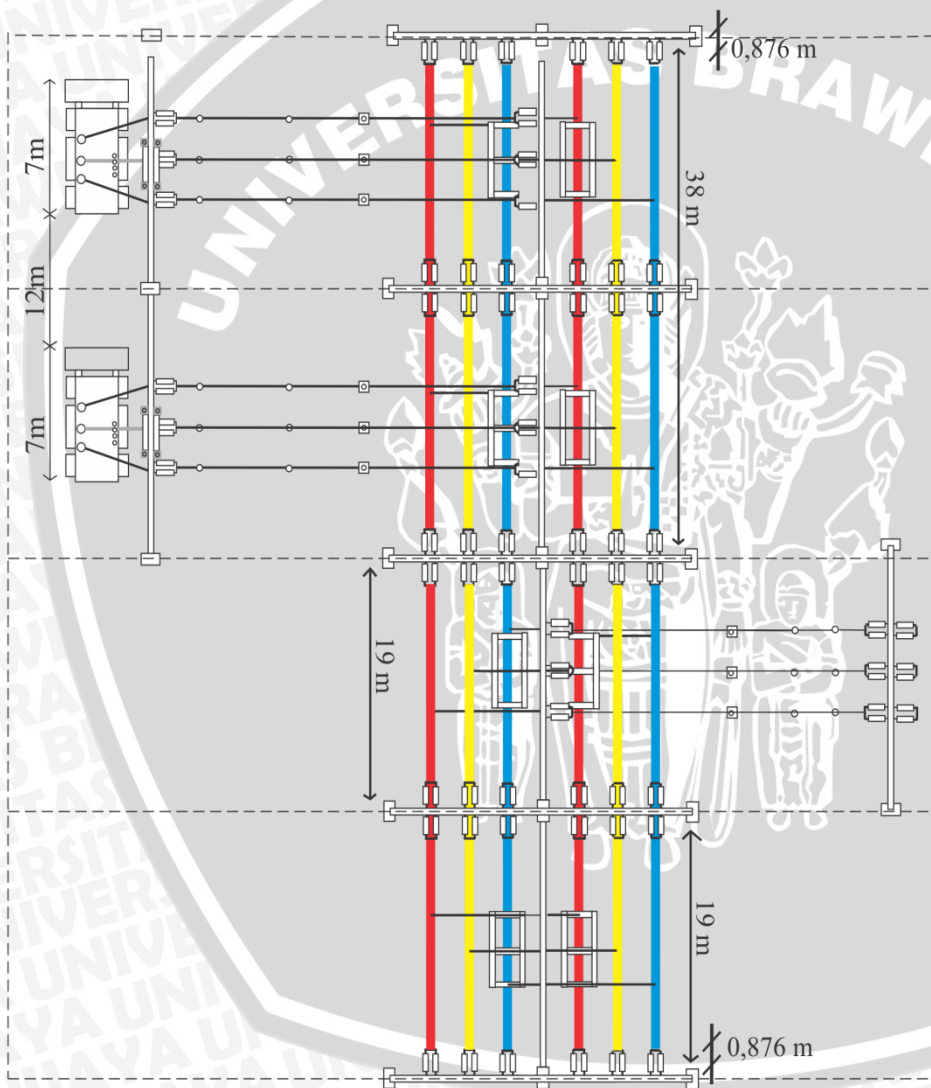
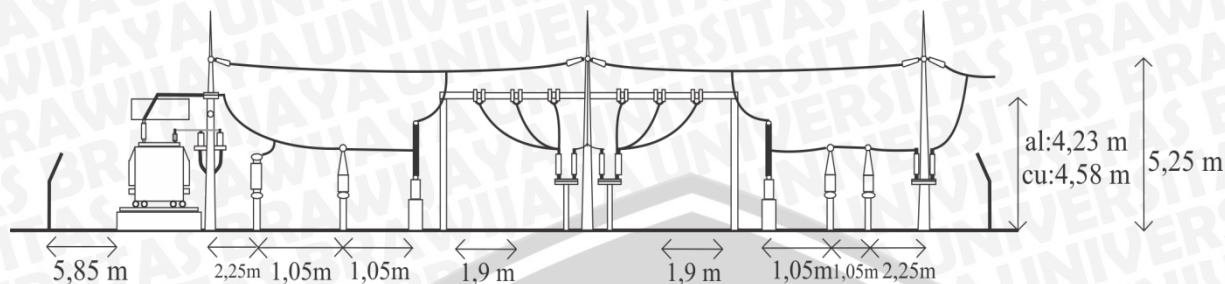
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stevenson, W. D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [2] ASCE Subcommittee. 2008. *Substation Structure Design Guide*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- [3] Sofyan, B. T. 2011. *Pengantar Material Teknik*. Salemba Teknika: Jakarta
- [4] Machowski, J., Bialek, J. W. & Bumby, J. R. 2008. *Power System Dynamics Stability and Control*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- [5] Asea Brown Boveri. 2001. *Swichgear Manual*. Berlin: Asea Brown Boveri.
- [6] Brand, K., Lohmann, V. & Wimmer, W. 2003. *Substation Automation Handbook*. Bremsgarten: Utility Automation Consulting Lohmann.
- [7] Transpower. 2009. *Clearances and Conductor Spacings*. New Zealand: Transpower.
- [8] PT PLN. 2010. *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: PT PLN.

UNIVERSITAS



Lampiran Tata Letak Busbar Latar Hubung 70 kV di Gardu Induk Sengkaling



\swarrow
 $al : 1,03 \text{ m}$
 $cu : 0,93 \text{ m}$