

## ANALISIS PEMILIHAN PENGHANTAR TENAGA LISTRIK PALING EFFISIEN PADA GEDUNG BERTINGKAT

Andrianna Eka Puji Lestari, Poedji Oetomo  
Andriannaep192@gmail.com, p\_oetomo@yahoo.com  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jl. Moh. Kahfi II Jagakarsa, Jakarta Selatan

**ABSTRACT :** *In the distribution of electric power, it is necessary to take into account the voltage drop and power loss in the electrical conducting medium. This paper will review the use of electrical conducting media from copper cables, copper busducts and aluminum busducts in an electrical installation of a high-rise building consisting of 27 floors. At the basement floor there are 2 x 3000 kVA distribution transformers whose electric power is supplied from a medium voltage PLN 20 kV with an output voltage of 400 V and In 4330 A respectively. Furthermore, the electricity is distributed to the Low Voltage Main Panel (PUTR), namely PUTR-1 for the area Low Zone (Floor 01 ~ 13) and PUTR-2 for High Zone (Floor 14 ~ 25). In the low zone area, a maximum allocated current each floor is 153 A while for high zone is 166 A. Based on the conditions in the field and the maximum current allocation, from the Transformer to PUTR, a cable size of 10 x 300 mm<sup>2</sup> or busduct size of 5000 A was chosen, while from PUTR to each floor a cable of 70 mm<sup>2</sup> or a busduct of 2000A was selected. Based on the calculation, the power loss on the copper busduct is the lowest so it provides the greatest efficiency value. The efficiency value of copper busduct is 99.49% (Power loss is 25,819.50 watts), aluminum busduct is 99.44% (Power loss is 28.695.49 watt) and copper cable is 99.10% (Power loss is of 46,002.49 watts) from the total active power of 2 transformers (5,099,850,3978 watts). This difference in efficiency values will be very useful if the busduct is applied to electrical energy lines with large power capacities.*

**Keywords:** *Electrical Conductor, Cable, Busduct, Voltage Drop, Power Loss, Efficiency*

**ABSTRAK :** Pada penyaluran tenaga listrik perlu memperhitungkan jatuh tegangan dan rugi daya di media penghantar listrik. Makalah ini akan meninjau penggunaan media penghantar listrik dari kabel tembaga, busduct tembaga dan busduct aluminium pada instalasi listrik gedung bertingkat yang terdiri dari 27 lantai. Dilantai basement terdapat trafo distribusi 2 x 3000 kVA yang tenaga listriknya dipasok dari tegangan menengah PLN 20 kV dengan tegangan output masing-masing trafo 400 V dan In 4330 A. Selanjutnya tenaga listrik disalurkan ke Panel Utama Tegangan Rendah (PUTR) yaitu PUTR 1 untuk area Low Zone (Lantai 01 ~ 13) dan PUTR 2 untuk High Zone (Lantai 14 ~ 25). Pada area low zone dialokasikan arus maksimum sebesar 153 A sedangkan high zone 166 A per lantai. Berdasarkan kondisi lapangan dan besar alokasi arus maksimum tersebut maka dari trafo – PUTR dipilih kabel ukuran 10 x 300 mm<sup>2</sup> atau busduct ukuran 5000 A sedangkan PUTR – setiap lantai dipilih kabel 70 mm<sup>2</sup> atau busduct 2000A. Berdasarkan perhitungan didapatkan rugi daya pada busduct tembaga paling rendah sehingga memberikan nilai efisiensi paling besar. Didapatkan nilai efisiensi busduct tembaga 99,49% ( Rugi-rugi daya sebesar 25.819,50 watt ) , busduct aluminium 99,44% ( Rugi-rugi daya sebesar 28.695,49 watt ) dan kabel tembaga 99,10% ( Rugi-rugi daya sebesar 46.002,49 watt ) dari total daya aktif 2 buah trafo sebesar 5.099.850,3978 watt. Selisih nilai efisiensi ini akan berguna sekali bila busduct diaplikasikan pada saluran energi listrik dengan kapasitas daya besar.

**Kata Kunci :** Penghantar Listrik, Kabel, Busduct, Jatuh Tegangan, Rugi-rugi daya, Efisiensi

### 1 PENDAHULUAN

Untuk menghubungkan komponen listrik satu dengan komponen listrik lainnya digunakan Media penghantar listrik. Media penghantar listrik yang sering digunakan pada instalasi tenaga listrik adalah kabel listrik. Kabel listrik terdiri dari bahan isolasi dan konduktor. Konduktor yang umum digunakan adalah tembaga dan aluminium. Seiring dengan perkembangan teknologi ditemukan sebuah alternatif penghantar listrik yaitu busduct. Busduct terdiri dari 3 bagian utama, yaitu konduktor, isolator, dan housing.

Konduktor pada busduct terdiri dari beberapa lempengan busbar aluminium atau tembaga yang tersusun rapat. Sedangkan isolatornya membungkus setiap lempengan busbar sehingga menjadi penyekat antara lempengan busbar satu dengan lempengan busbar lainnya. Semuanya itu dibungkus lagi dengan sebuah housing/cover sebagai pelindung luar.

Bagaimana perbedaan dari masing-masing media penghantar tersebut ditinjau dari besar jatuh tegangan dan efisiensi. Untuk mengetahuinya perlu dilakukan analisis dari keduanya bila diaplikasikan pada suatu

gedung yang sama yaitu gedung bertingkat yang terdiri dari 27 lantai dengan elevasi antar lantai 4000 mm.

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

Material penghantar listrik yang biasa digunakan mendistribusikan energi listrik biasanya adalah logam yang terbuat dari aluminium atau tembaga yang mempunyai suatu hambatan yang besarnya dipengaruhi oleh hambatan jenis bahan konduktor dan panjang penghantar .Di era modern saat ini, kabel listrik masih menjadi pilhan utama sebagai media penghantar arus listrik. Setiap kabel listrik mempunyai kode yang menunjukkan tipe kabel tersebut, mulai dari jenis bahan konduktor, jumlah inti kabel, bahan isolasi, aplikasi untuk dalam ruangan atau luar ruangan, fleksibilitas, dan sebagainya. Beberapa kode kabel yang sering kita jumpai diantaranya seperti NYA, NYAF, NGA, NYM, NYMHY, NYY, NYYHY dan lain-lain. Untuk sistem distribusi listrik pada Gedung bertingkat umumnya menggunakan jenis kabel NYM dan NYY.

**2.1 Kabel NYM**

Kabel NYM merupakan kabel yang memiliki konduktor tembaga lebih dari satu dengan isolator terselubung dengan berbahan PVC ( 300 – 500 V ). Kabel NYM sering digunakan pada instalasi tetap bangunan, dimana penempatannya biasanya di luar/di dalam tembok. Ukuran kabel NYM sangat tergantung dari berapa jumlah inti kabel tembaga, bisa terdiri dari 2, 3, sampai 4 jika diperlukan untuk tambahan grounding. Warna lapisan isolator PVC pada kabel NYM biasanya putih atau abu-abu.

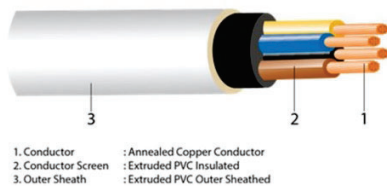
- Kelebihan : memiliki Isolasi sebanyak 2 lapis, sehingga tingkat keamanan lebih baik dari kabel NYA. Kabel ini dapat digunakan pada area yang kering maupun basah,.
- Kekurangan : penggunaan kabel ini tidak dapat ditanam langsung ke tanah dan untuk harganya lumayan mahal.

Kepanjangan dari kabel NYM, yaitu :

N = Kabel inti tembaga

Y = Isolasi PVC

M = Inti kabel lebih dari satu



Gambar 1: Kabel NYM

**2.2. Kabel NYY**

Kabel NYY merupakan kabel yang memiliki inti tembaga dengan isolasi PVC dan selubung luar berbahan PVC. Kabel NYY bisa dibilang penyempurnaan dari kabel NYA dan NYM. Kabel ini cocok digunakan untuk instalasi listrik tetap seperti di bawah tanah ataupun tempat outdorr lain namun tetap harus diberikan perlindungan khusus seperti pipa. Kabel NYY memiliki jumlah inti tembaga 1, 2 , 3 atau 4 dengan lapisan isolasi PVC berwarna hitam. Bahan isolator untuk jenis kabel ini memiliki konstruksi yang lebih kuat dan kaku karena terdapat selubung tambahan dan berbahan anti gigitan tikus.

- Kelebihan : kabel ini memiliki ketahanan yang sangat tinggi dan lebih aman, serta kabel bisa ditanam dibawah tanah.
- Kelemahan : Harganya yang lebih mahal.

Kepanjangan dari kabel NYY, yaitu :

N = Kabel inti tembaga

Y = Isolasi PVC

Y = Selubung luar Isolasi PVC



Gambar 2 : Kabel NYY

**2.3. Kemampuan Hantar Arus ( KHA )**

Kabel listrik mempunyai ukuran luas penampang inti kabel yang berhubungan dengan kapasitas penghantaran arus listriknya. Dalam istilah PUIL, besarnya kapasitas hantaran kabel dinamakan dengan Kuat Hantar Arus (KHA). KHA dan ukuran kabel akan menentukan pemilihan kabel yang sesuai dengan kebutuhan pemakaian pada instalasi tenaga listrik. PUIL 2000 memberikan ketentuan mengenai besarnya diameter dari penghantar kabel dan maksimum KHA terus-menerus yang diperbolehkan pada kabel tipe NYA, NYM dan NYY. Hal yang perlu diperhatikan adalah faktor temperatur lingkungan diluar kabel, KHA yang dinyatakan tersebut berlaku untuk maksimum temperatur di sekitar kabel sampai 30°C

Untuk menentukan ukuran kabel maka perlu diketahui besar arus listrik yang akan mengalir pada

media penghantar tersebut. Jika telah diketahui daya semu ( VA ) maka :

Untuk instalasi listrik 1 fasa :

$$I = \frac{S_{1\phi}}{V_f} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk instalasi listrik 3 fasa :

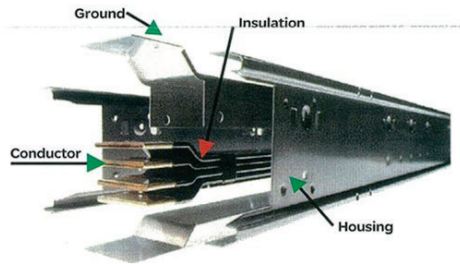
$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot V_L} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- I = Arus Listrik ( Ampere )
- S = Daya terpasang ( VA )
- V<sub>f</sub> = Tegangan fasa ( V )
- V<sub>L</sub> = Tegangan Saluran ( V )

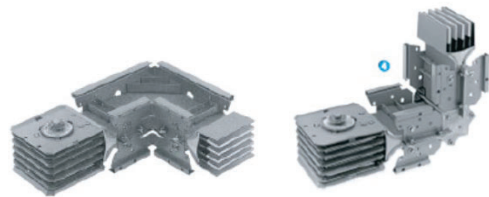
**2.4. Busduct**

Busduct adalah sebuah sistem penghantar listrik yang mempunyai bagian-bagian saling bersinergi membentuk satu jalur dari suatu titik ke titik tertentu yaitu sebagai penghantar antara trafo ke panel distribusi, genset ke panel distribusi, maupun dari panel distribusi ke panel distribusi. Busduct merupakan sistem penghantar listrik yang saat ini dapat menjadi alternatif pengganti kabel dengan tidak ada minimum radius sehingga busduct bisa dipasang dengan sudut 90°. Secara umum busduct tersusun dari lempengan-lempengan busbar yang berfungsi sebagai konduktor, dimana lempengan-lempengan tersebut terbuat dari bahan alumunium atau tembaga.



Gambar 3 : Konstruksi Busduct ( Bagian-bagian Busduct )

Lempengan-lempengan busbar yang membentuk tumpukan tersebut dibungkus menjadi satu oleh pelindung luar berbahan logam seperti alumunium atau besi galvanis. Jumlah lempengan busbar dalam suatu busduct berbeda-beda, tergantung dari spesifikasi yang dibutuhkan misalkan 3 busbar ( R, S, T ), 4 busbar ( R,S,T, N ) dan 5 busbar ( R, S, T, N, E ).



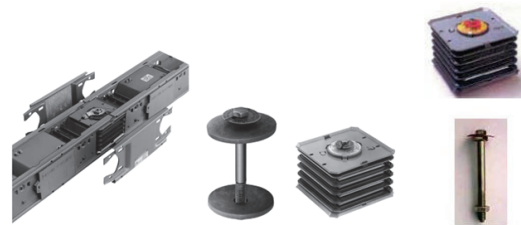
Gambar 4 : Elbow

Elbow berfungsi untuk membelokkan busduct sesuai dengan jalur yang sudah direncanakan. Elbow standar yang digunakan pada system busduct adalah elbow flatwise dan edgewise dengan ukuran tertentu, tergantung dari posisi pemasangan feeder busduct



Gambar 5 : Cable Tap Box

Cable tap box adalah bagian busduct yang berfungsi sebagai adaptor antara kabel dengan busduct. Bagian busduct ini biasa digunakan sebagai terminasi pada jalur riser bagian bawah, dengan kabel yang terhubung dengan trafo, genset, atau panel distribusi listrik



Gambar 6: Joint Pack dan Joint Bolt

Jointing merupakan bagian Busduct yang berfungsi untuk menghubungkan bagian busduct satu dengan bagian busduct lainnya. Pada jointing ini terdapat 2 lempengan yang akan menjepit lempengan busbar pada tiap fasenya

**2.5. Jatuh tegangan dan Rugi daya listrik**

Dampak dari adanya hambatan pada penghantar adalah adanya timbul tegangan pada penghantar atau disebut dengan jatuh tegangan. Besar jatuh tegangan pada penghantar berbanding lurus dengan impedansi dan besar arus yang mengalir pada penghantar tersebut.

$$u = \sqrt{3} ( R \cos \phi + X \sin \phi ) .I \dots\dots\dots (3)$$

Pada busduct, besar jatuh tegangan juga dipengaruhi oleh konfigurasi distribusi tenaga listrik yaitu sumber tenaga listrik dan beban-beban yang ada pada jalur busduct tersebut yaitu faktor k

$$u = k .\sqrt{3} ( R \cos \phi + X \sin \phi ) .I \dots\dots\dots (4)$$

Rugi-rugi daya pada penghantar yang hilang berupa panas pada konduktor adalah :

$$P_{\text{rugi}} = \sqrt{3} .I^2 .R .\cos \phi \dots\dots\dots (5)$$

Dan pada rugi daya pada busduct

$$P_{\text{rugi}} = k .\sqrt{3} .I^2 . R .\cos \phi \dots\dots\dots (6)$$

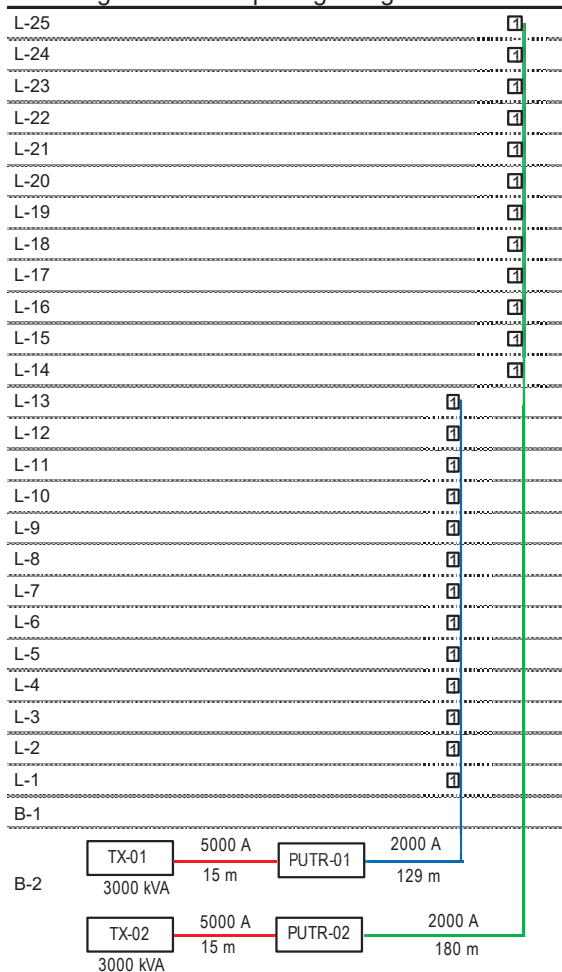
dengan :

- u = jatuh tegangan (volt)
- P<sub>rugi</sub> = rugi-rugi daya (watt)
- k = faktor beban
- R = resistansi (Ω)
- X = reaktansi (Ω)
- cos φ = faktor daya aktif
- sin φ = faktor daya reaktif
- I = arus ( ampere )

### 3. TINJAUAN KASUS

Dalam penelitian disini akan meninjau penggunaan busduct dan kabel pada instalasi tenaga listrik suatu gedung bertingkat. Gedung bertingkat ini terdiri dari 27 lantai dengan elevasi antar lantai adalah 4 m, sehingga tinggi total bangunan adalah 180 m. Suplai tenaga listrik bersumber dari PLN dengan tegangan menengah 20 kV ke trafo distribusi. Trafo yang digunakan 2 buah masing-masing berkapasitas 3000 kVA yang berada di basement. Selanjutnya tenaga listrik disalurkan dengan system 3 fasa ke Panel Utama Tegangan Rendah (PUTR) yaitu PUTR 1 dan PUTR 2 untuk jelasnya dapat dilihat ilustrasi pada gambar (7). Panjang kabel maupun busduct dimulai dari trafo distribusi ke PUTR hingga sampai riser di lantai tertinggi pada gedung. Semua saluran utama tenaga listrik menggunakan system 3 fasa. Penghantar yang menggunakan kabel percabangannya ada di PUTR. Di PUTR-01 terdiri 13 cabang untuk masing-masing lantai 1 sampai lantai 13. Dan di PUTR-02 terdiri 12 cabang masing-masing untuk lantai 14 sampai lantai 25. Sedangkan penghantar menggunakan busduct dengan metode end to end. Maka dari PUTR-01 kelantai 1 dilanjutkan ke lantai atas berikutnya dengan percabangan breaker (TOB) untuk beban dilantai tersebut ada di setiap lantai menggunakan komponen Plug In Unit.

Blok diagram busduct pada gedung



Gambar 7 : Block Diagram Distribusi Listrik gedung bertingkat

#### 3.1 Arus maksimum transformator

Besar arus In trafo 1 dan trafo 2 yang masing-masing berkapasitas 3000 kVA dapat ditentukan dengan persamaan (2)

$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} .V_L}$$

$$= \frac{3000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} .400 \text{ V}}$$

$$= 4330 \text{ A}$$

#### 3.2. Spesifikasi kabel Trafo ke PUTR

Untuk pemasangan kabel pada dari Trafo ke PUTR sulit didapatkan kabel dengan ukuran besar dan mudah untuk dilakukan penekukan ketika dipasang menyesuaikan bentuk kontur bangunan yang pada umumnya siku pada sudut-sudut ruangan. Sehingga dibutuhkan 10 kabel NYY 1 core dengan luas

penampang  $300 \text{ mm}^2$  mempunyai kapasitas arus 580 A yang diparalel sehingga dapat mengakomodasi arus dari trafo ke PUTR yaitu 4330 Ampere per fasa.

### 3.3. Spesifikasi kabel PUTR ke setiap lantai

Jika arus maksimum per fasa (Full Load) yang dialokasikan pada jalur 1 adalah 153 A maka :  
 $I_n = 153A * 1,25 = 191,25A$ . Dari spesifikasi kabel dipilih NYY 1 core  $70\text{mm}^2$  dengan kapasitas 218 A dapat memenuhi kebutuhan alokasi arus tersebut. Demikian pula jalur 2 yaitu dari PUTR-02 kesetiap lantai yang dialokasikan arus maksimum 166 A.  
 $I_n = 166A * 1,25 = 207,5 A$

### 3.4. Panjang kabel dari PUTR ke setiap lantai

Berdasarkan gambar (7) dengan memperhitungkan elevasi antara lantai satu dengan lantai berikutnya sebesar 4 meter dan diketahui panjang kabel terpanjang pada jalur 1 adalah lantai 13 yaitu 129 meter maka dapat diketahui panjang kabel dari PUTR-01 ke setiap lantainya. Demikian pula pada jalur 2 dari PUTR-02 kesetiap lantainya

Tabel 1 : Spesifikasi dan panjang kabel per fasa setiap lantai pada jalur 1 dan jalur 2

	Dari	Ke	Rating arus	Ukuran Kabel	Rating Kabel in Air	Panjang
Jalur 1	TX-01	PUTR-01	4330A	$300\text{mm}^2$	$10 \times 580A$	$10 \times 15\text{m}$
	PUTR-01	Lantai 1	153A	$70\text{mm}^2$	218A	81m
		Lantai 2	153A	$70\text{mm}^2$	218A	85m
		Lantai 3	153A	$70\text{mm}^2$	218A	89m
		Lantai 4	153A	$70\text{mm}^2$	218A	93m
		Lantai 5	153A	$70\text{mm}^2$	218A	97m
		Lantai 6	153A	$70\text{mm}^2$	218A	101m
		Lantai 7	153A	$70\text{mm}^2$	218A	105m
		Lantai 8	153A	$70\text{mm}^2$	218A	109m
		Lantai 9	153A	$70\text{mm}^2$	218A	113m
		Lantai 10	153A	$70\text{mm}^2$	218A	117m
		Lantai 11	153A	$70\text{mm}^2$	218A	121m
		Lantai 12	153A	$70\text{mm}^2$	218A	125m
Lantai 13	153A	$70\text{mm}^2$	218A	129m		
Jalur 2	TX-02	PUTR-02	4330A	$300\text{mm}^2$	$10 \times 580A$	$10 \times 15\text{m}$
	PUTR-02	Lantai 14	166A	$70\text{mm}^2$	218A	136m
		Lantai 15	166A	$70\text{mm}^2$	218A	140m
		Lantai 16	166A	$70\text{mm}^2$	218A	144m
		Lantai 17	166A	$70\text{mm}^2$	218A	148m
		Lantai 18	166A	$70\text{mm}^2$	218A	152m
		Lantai 19	166A	$70\text{mm}^2$	218A	156m
		Lantai 20	166A	$70\text{mm}^2$	218A	160m
		Lantai 21	166A	$70\text{mm}^2$	218A	164m
		Lantai 22	166A	$70\text{mm}^2$	218A	168m
		Lantai 23	166A	$70\text{mm}^2$	218A	172m
		Lantai 24	166A	$70\text{mm}^2$	218A	176m
		Lantai 25	166A	$70\text{mm}^2$	218A	180m

### 3.5. Spesifikasi busduct Trafo ke PUTR

Untuk spesifikasi busduct yang digunakan juga menggunakan acuan dasar yang sama yaitu besar arus Trafo ke PUTR adalah  $I_n 4330A$ . Spesifikasi busduct yang dapat mengakomodasi besar arus tersebut yaitu ukuran 5000 A.

### 3.6. Spesifikasi busduct antara PUTR dan setiap lantai

Konfigurasi saluran distribusi dengan busduct adalah berjenjang yaitu pada jalur 1 dari PUTR ke lantai 1 dilanjutkan kelantai 2 dan seterusnya hingga lantai 13. Demikian pula jalur 2 dari PUTR 2 ke lantai 14 dilanjutkan ke lantai 15 dan seterusnya. Dengan demikian besar arus setiap antara lantai berbeda. Karena hanya ada 1 sumber pasokan tenaga listrik yaitu dari PUTR maka arus yang mengalir pada busduct di bagian PUTR ke lantai terbawah adalah yang terbesar. Untuk jalur 1 dengan alokasi arus per lantai adalah 153 A maka PUTR-01 ke lantai 1 adalah  $13 \times 153 A = 1989 A$ . Sedangkan pada jalur 2 masing-masing lantai dialokasikan 166 A sehingga PUTR-02 ke lantai 14 adalah  $12 \times 166 = 1992 A$ . Maka dipilih busduct dengan ukuran 2000 A yang dapat memenuhi kriteria kedua arus maksimum tersebut.

Tabel 2 : Spesifikasi dan panjang busduct pada jalur 1 maupun jalur 2

	Dari	Ke	Rating	Volume
Jalur ke-1	TX-01	PUTR-01	5000A	15 m
	PUTR-01	Riser-01	2000A	129 m
Jalur ke-2	TX-02	PUTR-02	5000A	15 m
	PUTR-02	Riser-02	2000A	180 m

## 4. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

### 4.1. Jatuh tegangan

#### a. Kabel tembaga TX-01 – PUTR-01

Dengan mengasumsikan  $\text{Cos } \phi$  adalah 0,85 dan arus pada penghantar 100% yaitu  $I_n = 4330 A$ , besar jatuh tegangan pada kabel sesuai persamaan (3) :

$$u = \sqrt{3} \cdot (R \cdot \text{Cos } \phi + X \cdot \text{Sin } \phi) \cdot I$$

$$= \sqrt{3} \cdot (0,0001125 \cdot 0,85 + 0,0001216 \cdot 0,53) \cdot 4330$$

$$= 1,197691 \text{ Volt}$$

Dalam persentase,

$$u\% = (1,197691/400) \cdot 100 \%$$

$$= 0,3 \%$$

#### b. Kabel tembaga PUTR-01 ke lantai 1

$$u = \sqrt{3} \cdot (R \cdot \text{Cos } \phi + X \cdot \text{Sin } \phi) \cdot I$$

$$= \sqrt{3} \cdot (0,026001 \cdot 0,85 + j \cdot 0,007128 \cdot 0,53) \cdot 153$$

$$= 6,851873173 \text{ V}$$

Maka jatuh tegangan dilantai 1 adalah  
 $u = (1,1976911 + 6,851873173) \text{ Volt}$   
 $= 8,049564 \text{ Volt}$

$$u\% = (8,049564 / 400) \cdot 100 \%$$

$$= 2,01 \%$$

**c. Busduct tembaga TX-01 – PUTR-01**

Dengan persamaan (4) dan  $k = 0,5$

$$u = k \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \cdot I$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot (0,00018 \cdot 0,85 + 0,00009 \cdot 0,53) \cdot 4330$$

$$= 0,7515171 \text{ V}$$

$$u\% = (0,7515171 / 400) \cdot 100 \%$$

$$= 0,19 \%$$

**d. Busduct tembaga PUTR-01 ke lantai 1 dengan arus 1989 A**

$$u = k \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \cdot I$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot (0,002349 \cdot 0,85 + 0,001215 \cdot 0,53) \cdot 1989$$

$$= 4,5417649 \text{ V}$$

Maka jatuh tegangan di lantai 1 adalah  
 $= (0,7515171 + 4,5417649) \text{ V}$   
 $= 5,293282 \text{ V}$

$$u\% = (5,293282 / 400) \cdot 100 \%$$

$$= 1,32 \%$$

Untuk jatuh tegangan di lantai 2 adalah jumlah jatuh tegangan dilantai 1 ditambah dengan jatuh tegangan antara lantai 1 dan lantai 2 yang panjangnya 4 m besar arusnya adalah 1836 A

**4.2. Perbandingan besar jatuh tegangan**

Dengan cara perhitungan yang sama maka akan diperoleh besar jatuh tegangan per lantai untuk kabel tembaga, busduct tembaga dan busduct aluminium seperti pada tabel (3) dan tabel (4)

Tabel 3: Perbandingan Jatuh Tegangan pada Jalur TX 01- PUTR 01

Lt	Jatuh tegangan					
	Kabel tembaga		Busduct tembaga		Busduct aluminium	
	(V)	(%)	(V)	(%)	(V)	(%)
PUTR 1	1.19769	0.30%	0.75152	0.19%	0.78115	0.20%
1	8.04956	2.01%	5.29328	1.32%	5.5033	1.38%
2	8.38793	2.10%	5.50031	1.38%	5.71855	1.43%
3	8.72629	2.18%	5.69009	1.42%	5.91587	1.48%
4	9.06466	2.27%	5.86262	1.47%	6.09525	1.52%
5	9.40302	2.35%	6.01789	1.50%	6.25669	1.56%
6	9.74138	2.44%	6.15592	1.54%	6.40019	1.60%
7	10.0797	2.52%	6.27668	1.57%	6.52576	1.63%
8	10.4181	2.60%	6.3802	1.60%	6.63339	1.66%
9	10.7565	2.69%	6.46646	1.62%	6.72308	1.68%
10	11.0948	2.77%	6.53547	1.63%	6.79483	1.70%
11	11.4332	2.86%	6.58723	1.65%	6.84864	1.71%
12	11.7716	2.94%	6.62174	1.66%	6.88452	1.72%
13	12.1099	3.03%	6.63899	1.66%	6.90246	1.73%

Tabel 4: Perbandingan Jatuh Tegangan pada Jalur TX 02 – PUTR 02

	Jatuh tegangan					
	Kabel tembaga		Busduct tembaga		Busduct aluminium	
	(V)	(%)	(V)	(%)	(V)	(%)
PUTR 2	1.19769	0.30%	0.75152	0.19%	0.78115	0.20%
14	13.6796	3.42%	8.3887	2.10%	8.72166	2.18%
15	14.0467	3.51%	8.5946	2.15%	8.93574	2.23%
16	14.4138	3.60%	8.78179	2.20%	9.13036	2.28%
17	14.7809	3.70%	8.95026	2.24%	9.30552	2.33%
18	15.148	3.79%	9.1	2.28%	9.46121	2.37%
19	15.5151	3.88%	9.23103	2.31%	9.59745	2.40%
20	15.8823	3.97%	9.34335	2.34%	9.71422	2.43%
21	16.2494	4.06%	9.43694	2.36%	9.81153	2.45%
22	16.6165	4.15%	9.51181	2.38%	9.88938	2.47%
23	16.9836	4.25%	9.56797	2.39%	9.94777	2.49%
24	17.3507	4.34%	9.60541	2.40%	9.98669	2.50%
25	17.7178	4.43%	9.62412	2.41%	10.0062	2.50%

Jatuh tegangan terbesar berada di lantai tertinggi yaitu dilantai 25 yaitu kabel tembaga 4,43 % , busduct tembaga 2,41 % dan busduct aluminium 2,5 % . Besar tegangan sebenarnya di lantai 25 dengan kabel tembaga adalah

$$V_j = V_j - (4,43\% \cdot V_j)$$

$$= 400 - (4,43\% \cdot 400)$$

$$= 382,28 \text{ Volt}$$

**4.3. Rugi-rugi daya**

**a. Kabel tembaga TX-01 – PUTR-01**

Dengan resistansi parallel 10 kabel yaitu  $R = 0,0001125 \Omega$  maka sesuai persamaan (5)

$$P_{\text{rugi}} = \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \cdot \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 4330^2 \cdot 0,0001125 \cdot 0,85$$

$$= 3105,331 \text{ watt}$$

**b. Kabel tembaga PUTR-01 – lantai 1**

Dengan resistansi  $R = 0,026001 \Omega$

$$P_{\text{rugi}} = \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \cdot \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 153^2 \cdot 0,026001 \cdot 0,85$$

$$= 896,092 \text{ watt}$$

**c. Busduct tembaga TX-01 – PUTR-01**

Dengan resistansi busduct tembaga ukuran 5000 A panjang 15 m yaitu  $R = 0,00018 \Omega$  dan  $I = 4330 \text{ A}$  dan  $k = 0,5$  maka sesuai persamaan (6)

$$P_{\text{rugi}} = k \cdot \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \cdot \cos \phi$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 4330^2 \cdot 0,00018 \cdot 0,85$$

$$= 2484,26 \text{ watt}$$

**d. Busduct tembaga PUTR-01 ke lantai 1**

Dengan resistansi busduct tembaga ukuran 2000 A panjang 4 m yaitu  $R = 0,00235 \Omega$  dan  $I = 1989 \text{ A}$

$$P_{\text{rugi}} = k \cdot \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \cdot \cos \phi$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 1989^2 \cdot 0,00235 \cdot 0,85$$

$$= 6840,725 \text{ watt}$$

**e. Busduct aluminium TX-01 – PUTR-01**

Dengan resistansi busduct aluminium ukuran 5000 A panjang 15 m yaitu R = 0,00018 Ω dan I = 4330 A dan k = 0,5 maka sesuai persamaan (6)

$$P_{\text{rugi}} = k \cdot \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \cdot \text{Cos } \phi$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 4330^2 \cdot 0,00018 \cdot 0,85$$

$$= 2484,26 \text{ watt}$$

**f. Busduct aluminium PUTR-01 ke lantai 1**

Dengan resistansi busduct aluminium ukuran 2000 A panjang 4 m yaitu R = 0,00267 Ω dan I = 1989 A

$$P_{\text{rugi}} = k \cdot \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \cdot \text{Cos } \phi$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 1989^2 \cdot 0,00267 \cdot 0,85$$

$$= 7784,27 \text{ watt}$$

**4.4. Perbandingan Rugi-rugi daya**

Dengan cara perhitungan yang sama maka akan diperoleh besar rugi-rugi daya per lantai untuk kabel tembaga, busduct tembaga dan busduct aluminium seperti pada tabel (5) dan tabel (6)

Tabel 5 : Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada jalur 1

Lt	Kabel tembaga			Busduct tembaga			Busduct aluminium		
	Arus (A)	R (Ω)	Rugi Daya (Watt)	Arus (A)	R (Ω)	Rugi Daya (Watt)	Arus (A)	R (Ω)	Rugi Daya (Watt)
PUTR 1	4330	0.00011	3105.33	4330	0.00018	2484.26	4330	0.00018	2484.26
1	153	0.02600	896.09	1989	0.00235	6840.73	1989	0.00267	7784.27
2	153	0.02729	940.34	1836	0.00012	287.84	1836	0.00013	327.54
3	153	0.02857	984.59	1683	0.00012	241.87	1683	0.00013	275.23
4	153	0.02985	1028.85	1530	0.00012	199.89	1530	0.00013	227.46
5	153	0.03114	1073.10	1377	0.00012	161.91	1377	0.00013	184.24
6	153	0.03242	1117.35	1224	0.00012	127.93	1224	0.00013	145.57
7	153	0.03371	1161.60	1071	0.00012	97.95	1071	0.00013	111.46
8	153	0.03499	1205.85	918	0.00012	71.96	918	0.00013	81.89
9	153	0.03627	1250.10	765	0.00012	49.97	765	0.00013	56.87
10	153	0.03756	1294.35	612	0.00012	31.98	612	0.00013	36.39
11	153	0.03884	1338.61	459	0.00012	17.99	459	0.00013	20.47
12	153	0.04013	1382.86	306	0.00012	8.00	306	0.00013	9.10
13	153	0.04141	1427.11	153	0.00012	2.00	153	0.00013	2.27
Jumlah			18206.14			10624.27			11747.03

Tabel 6 : Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada jalur 2

Lt	Kabel tembaga			Busduct tembaga			Busduct aluminium		
	Arus (A)	R (Ω)	Rugi Daya (Watt)	Arus (A)	R (Ω)	Rugi Daya (Watt)	Arus (A)	R (Ω)	Rugi Daya (Watt)
PUTR 2	4330	0.00011	3105.33	4330	0.00018	2484.26	4330	0.00018	2484.26
14	166	0.04366	1771.09	1992	0.00394	11520.34	1992	0.00449	13109.35
15	166	0.04494	1823.18	1826	0.00012	284.71	1826	0.00013	323.99
16	166	0.04622	1875.27	1660	0.00012	235.30	1660	0.00013	267.76
17	166	0.04751	1927.36	1494	0.00012	190.59	1494	0.00013	216.88
18	166	0.04879	1979.45	1328	0.00012	150.59	1328	0.00013	171.36
19	166	0.05008	2031.54	1162	0.00012	115.30	1162	0.00013	131.20
20	166	0.05136	2083.63	996	0.00012	84.71	996	0.00013	96.39
21	166	0.05264	2135.72	830	0.00012	58.83	830	0.00013	66.94
22	166	0.05393	2187.81	664	0.00012	37.65	664	0.00013	42.84
23	166	0.05521	2239.90	498	0.00012	21.18	498	0.00013	24.10
24	166	0.05650	2291.99	332	0.00012	9.41	332	0.00013	10.71
25	166	0.05778	2344.08	166	0.00012	2.35	166	0.00013	2.68
Jumlah			27796.35			15195.22			16948.46

Dari tabel (5) dan tabel (6) total rugi daya menggunakan kabel tembaga

$$P_{\text{rugi}} = (18.206,1357 + 27.796,35438)$$

$$= 46.002,49012 \text{ Watt}$$

Total besar daya aktif dari 2 buah trafo adalah

$$P_{3\phi} = 2 \cdot (\sqrt{3} \cdot V_j \cdot I \cdot \text{cos } \phi)$$

$$= 2 \cdot (\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 4330 \cdot 0,85)$$

$$= 5.099.850,3978 \text{ watt}$$

Maka persentase efisiensi bila menggunakan kabel tembaga

$$\eta = \frac{P_{3\phi} - P_{\text{rugi-rugi}}}{P_{3\phi}} 100 \%$$

$$= \frac{5.099.850,3978 - 46.002,49012}{5.099.850,3978} 100 \%$$

$$= 99,10 \%$$

Maka berdasarkan hasil perhitungan tabel (5) dan tabel (6) didapatkan perbandingan jumlah rugi-rugi daya dan efisiensi antara pemakaian kabel tembaga, busduct tembaga dan busduct aluminium seperti tercantum dalam tabel (7) berikut :

Tabel 7 : Perbandingan rugi-rugi daya dan efisiensi

Pemakaian	Rugi Daya			Efisiensi (%)
	Jalur 1 (Watt)	Jalur 2 (Watt)	Jumlah (Watt)	
Kabel tembaga	18206.14	27796.35	46002.49	99.10%
Busduct tembaga	10624.27	15195.22	25819.5	99.49%
Busduct aluminium	11747.03	16948.46	28695.49	99.44%

Dari tabel (7). terlihat bahwa busduct tembaga mempunyai efisiensi paling besar yaitu 99,49%, busduct aluminium 99,44% dan kabel tembaga 99,10% dari total daya aktif 2 buah trafo 5.099.850,3978 watt. Sekilas selisih persentasenya kecil namun bila dalam nilai sebenarnya besar. Yaitu selisih rugi daya atau penghematan busduct tembaga dibandingkan kabel tembaga adalah 20.182,99 watt. Sedangkan penghematan busduct tembaga dibandingkan busduct aluminium adalah 2.875,99 watt.

**5. SIMPULAN**

Bedasarkan analisa dan hasil perhitungan dari pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan , bahwa :

1. Jatuh tegangan yang didapatkan dari pemakaian kabel tembaga , busduct tembaga ataupun busduct aluminium masih memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh PUIL yaitu besarnya dibawah 5 % . Jatuh tegangan terbesar berada pada ujung saluran atau dilantai teratas. Pada contoh tinjauan kasus ini didapatkan besar jatuh tegangan dengan busduct tembaga paling rendah yaitu 2,41 % sedangkan busduct aluminium 2,50 % dan kabel tembaga didapatkan 4,43 % , dengan total panjang saluran 180 m.

2. Berdasarkan perhitungan rugi daya didapatkan rugi daya pada busduct tembaga paling rendah sehingga memberikan nilai efisiensi paling besar. Didapatkan nilai efisiensi busduct tembaga 99,49% (Rugi-rugi daya sebesar 25.819,50 watt) , busduct aluminium 99,44% (Rugi-rugi daya sebesar 28.695,49 watt) dan kabel tembaga 99,10% ( Rugi-rugi daya sebesar 46.002,49 watt ) dari total daya aktif 2 buah trafo sebesar 5.099.850,3978 watt Selisih nilai efisiensi ini akan berguna sekali bila diaplikasikan pada saluran energi listrik dengan kapasitas daya besar.

Busduct of Rating 2000A. Journal of Diagnostics Cables and Capacitors Division Central Power Research Institute, Bangalore. India

## 6. Daftar pustaka

- [1] Y.N,Burali.2014. Paper on Basbar Trunking System for Electrical Supply to Industrial and commercial Instalallation. Journal of Engineering.Vol 4 Pg 1-12
- [2] Faiz, H. Ehya, A.A. Shayegani Akmal, S. Shojae, M. Hamidian, A. Gorbani, 2014, “ Optimal Design of Low Voltage Busduct for Unbalanced and Harmonic Load”, Research Gate.
- [3] F.Delgado.Dkk.2016.Numerical Model of a Three-Phase Busbar Trunking, System. Journal of IEEE.Pg 1-4
- [4] Rjaraman.R.A new Optimised Design Integrated Theree Phase Gas Insulated Bus Duct,Journal of Electrical Insulation Convergence (EIC). India. Pg 1-4
- [5] Metalindo Kabel, 2021, “ Catalog Product NYY Cable”
- [6] Siemens AG 2014 “ Alumunium versus Cooper Conductors”.
- [7] Electric.Nissin.2014.Original Technology Half a century experience and Reliability.engineer catalog
- [8] Catalog Schneider Electric 2021, I-Line II Busduct.
- [9] Rao.M Venu Gopala.2008.Effect ofVarious Design Parameters on the Movement ofMetallic Particles in a Three Phase Common Enclosure Gas Insulated Busduct. Journal of College of Engineering India
- [10] Persyaratan Umum Instalasi Listrik ( PUIL ) 2011.
- [11] Viswanatha.C,K.G.Rakesh.2006. Investigation of Epoxy Coated Busbar System Enclosed in L T