

## KONFIGURASI BUSBAR ANDAL PADA PENYALURAN DAYA BERBASIS TROD DAN TROF DI TRANSMISI TENAGA LISTRIK

A.Sofwan<sup>1)</sup>, P.Adhyatmaja<sup>2)</sup> dan A.Muis<sup>1)</sup>

1) Prodi Teknik Elektro FTI ISTN Jl.M.Kahfi II Jakarta, [asofwan@istn.ac.id](mailto:asofwan@istn.ac.id) dan  
[irabdulmuismt@gmail.com](mailto:irabdulmuismt@gmail.com)

2) PT. PLN P3B Jawa-Bali, Email: [adhyatmaja11@gmail.com](mailto:adhyatmaja11@gmail.com)

### *Abstract*

*Busbar Configuration is the meeting point or a point of connection between SUTT / SKTT / SUTET, power transformer, IBT, capacitors and other electrical equipment needed in the completeness of a substation or to receive and distribute electric power. By comparing several busbar configurations, 1 1/2 breaker busbar configuration have the highest reliability and efficiency in electric power systems, both in normal conditions, the transfer system and disorders. Therefore, 1 1/2 breaker busbar configuration is widely used in the generation substation and Extra High Voltage substation. Busbar configuration also has a level of reliability in distributing electric power to consumers, because it has value TROD (Transformer Outage Duration) = 0 hours/units and value TROF (Transformer Outage Rate) = 0 time/units, so that power is distributed by busbar configuration in 2011 was 100%. This busbar configuration has a value TLOD (Transmission Lines Outage Duration) = 2,93 hours/100 KMCC, and value of TLOF (Transmission Lines Outage Frequency) = 0.84 time/100 KMCC, and still meet the standards of the PLN reliability.*

**Key Words:** Busbar, Configuration, Circuit Breaker, TROD, TROF

### *Abstrak*

*Sustu Konfigurasi Busbar merupakan titik pertemuan atau titik penghubung antara SUTT/ SKTT/ SUTET, transformator daya, IBT, kapasitor dan peralatan listrik lainnya yang diperlukan dalam kelengkapan suatu gardu induk atau untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik. Dengan membandingkan beberapa konfigurasi busbar, konfigurasi busbar breaker 1 1/2 memiliki keandalan dan efisiensi tertinggi dalam sistem tenaga listrik, baik dalam kondisi normal, sistem transfer maupun gangguan. Oleh karena itu, konfigurasi busbar breaker 1 1/2 banyak digunakan pada gardu induk pembangkit dan gardu induk Tegangan Ekstra Tinggi. Konfigurasi busbar juga memiliki tingkat kehandalan dalam menyalurkan tenaga listrik ke konsumen, karena memiliki nilai TROD (Transformer Outage Duration) = 0 jam/unit dan nilai TROF (Transformer Outage Rate) = 0 kali/unit, sehingga daya yang disalurkan oleh konfigurasi busbar pada tahun 2011 adalah 100%. Konfigurasi busbar ini memiliki nilai TLOD (Durasi Pemadaman Saluran Transmisi) = 2,93 jam/100 KMCC, dan nilai TLOF (Frekuensi Pemadaman Saluran Transmisi) = 0,84 kali/100 KMCC, dan masih memenuhi standar keandalan PLN.*

**Kata Kunci:** Busbar, Konfigurasi, Pemutus, TROD, TROF

## I. PENDAHULUAN

Kondisi kelistrikan wilayah Jawa-Bali merupakan daerah berbeban tertinggi di Indonesia, sehingga membutuhkan perhatian ekstra karena banyak dari kegiatan dan usaha dalam skala besar yang terjadi. Oleh karena itu, semua unit PLN di wilayah ini, baik dari pembangkitan, penyaluran, maupun distribusi dituntut untuk bekerja ekstra untuk mengurangi waktu padam, baik karena gangguan maupun pemeliharaan. Untuk itu, sangat diperlukan peralatan tenaga listrik dengan kemampuan menyalurkan daya yang besar namun tetap berdasarkan kaidah keamanan dan keselamatan.

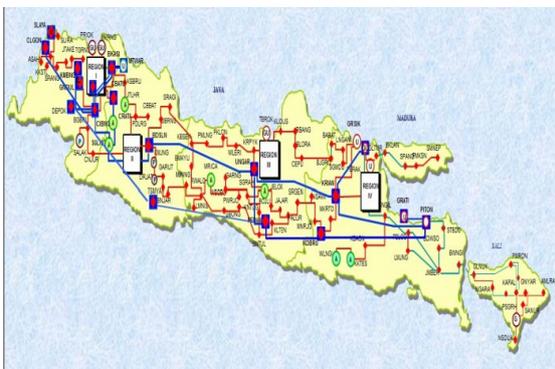
Oleh karena itu banyak peralatan tua yang diganti dengan peralatan baru dengan rating atau nominal yang lebih besar dari sebelumnya. Seiring dengan bertambahnya konsumen listrik, harus diiringi pula

dengan perkembangan peralatan listrik. Tak terkecuali dengan busbar atau rel TT/TET. Karena busbar adalah titik pertemuan atau titik penghubung antara SUTT/ SKTT /SUTET, trafo tenaga, IBT, kapasitor, dan peralatan listrik lain yang dibutuhkan dalam kelengkapan sebuah Gardu Induk. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dipikirkan konfigurasi busbar yang paling sesuai dengan kondisi penyaluran energi listrik saat ini. Tentu dengan pertimbangan yang matang berdasarkan prinsip ekonomi teknik. Namun di makalah ini akan dibahas adalah mengenai busbar dengan konfigurasi 11/2 breaker atau 1½ PMT. Yang dianggap paling andal dalam penyaluran daya listrik daripada konfigurasi busbar lainnya.

**II. Sistem Tenaga Listrik**

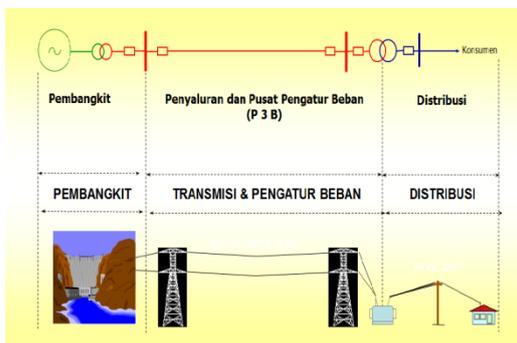
Tenaga listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital dan dalam kehidupan manusia sehari-hari baik untuk kepentingan pribadi maupun dalam kehidupan sosial bermasyarakat. Selain itu tenaga listrik juga sangat dibutuhkan untuk Industri-industri besar maupun industri kecil, perkantoran, pertokoan, peternakan dan usaha lain. Untuk itu tanpa adanya dukungan tenaga listrik yang handal, maka manusia akan lebih sulit untuk melakukan aktifitas tersebut.

Dengan bertambahnya pemakaian beban tenaga listrik, maka memerlukan pengembangan sistem tenaga listrik, baik di sisi pembangkit, penyaluran dan distribusi. Untuk memenuhi keandalan sistem dan mutu yang baik sangat dibutuhkan suatu sistem tenaga listrik yang terintegrasi.



**Gambar 2.1 Topologi Jaringan 150kV Interkoneksi Jawa-Bali<sup>[9]</sup>**

Dapat dilihat dari Gambar 2.1 diatas bahwa betapa beban listrik di Jawa-Bali sudah sangat besar dan kompleks. Dijelaskan pula dalam Gambar 2.2 dibawah ini mengenai proses penyaluran energi listrik mulai dari pembangkitan sampai dengan konsumen distribusi.<sup>[9]</sup>



**Gambar 2.2 Topologi Penyaluran Energi Listrik<sup>[7]</sup>**

Gambar 2.2 diatas menjelaskan tentang proses daya listrik dihasilkan mulai dari hulu, yaitu pembangkitan lalu disalurkan melalui transmisi, lalu akhirnya sampai ke konsumen listrik adalah melalui proses yang cukup panjang demi menerangi wilayah pembebanannya.<sup>[9]</sup>

**2.1 Gardu Induk**

Gardu Induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik tegangan tinggi yang berfungsi untuk mentransfer tenaga listrik dari tegangan yang berbeda, pengukuran, pengawasan, pengamanan sistem tenaga listrik serta pengaturan daya. Tegangan listrik yang dibangkitkan oleh suatu pusat listrik setelah dinaikkan tegangannya kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi, dan disampaikan ke konsumen melalui Gardu Induk. Gardu Induk adalah merupakan suatu pusat beban pada suatu daerah tertentu, karena dari Gardu Induk inilah disambungkannya suatu beban konsumen melalui jaringan Distribusi, dan besarnya beban ini akan berubah-ubah sepanjang waktu, sehingga perubahan ini harus diimbangi dengan kapasitas tenaga listrik yang dibangkitkan oleh pusat listrik yang tersambung pada sistem jaringan tegangan tinggi.

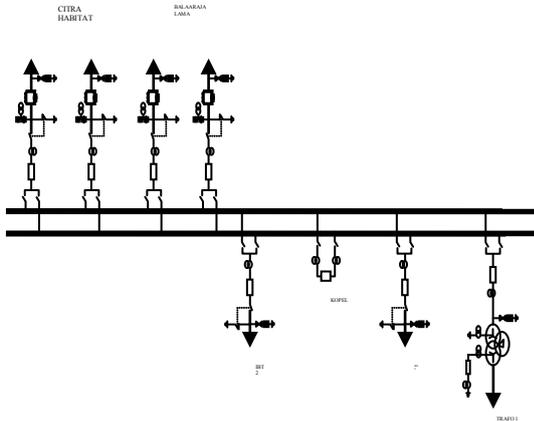
**2.2 Konfigurasi Busbar Rel Tunggal**

Konfigurasi busbar mutlak harus ditentukan saat perencanaan pembangunan sebuah Gardu Induk (GI) baru. Karena konfigurasi busbar bisa berpengaruh pada operasi sistem tenaga listrik. Manuver perpindahan sistem ataupun manuver pemindahan beban dalam rangka keandalan listrik di Indonesia umumnya dan di Jawa-Bali khususnya. Hal ini bisa dibayangkan apabila pemasangan konfigurasi busbar yang tidak tepat pada GI-GI yang baru, maka tujuan dari interkoneksi tidak akan pernah tercapai. Maksud dari interkoneksi sendiri adalah menggabungkan beberapa pusat listrik menjadi saling berhubungan dan saling memikul beban satu sama lain. Sehingga kekuatan sistem tenaga listrik di Jawa-Bali semakin tangguh. Oleh karena itu, betapa pentingnya penempatan busbar yang tepat pada sebuah Gardu Induk.

Sistem single busbar atau busbar tunggal adalah konfigurasi busbar yang paling sederhana. Karena hanya membutuhkan satu baris busbar atau rel yang terdiri dari 3 fasa. Busbar tunggal ini biasanya hanya menerima daya dari Gardu Induk pengirim, namun tidak menyalurkan daya ke Gardu Induk lainnya atau sebagai Gardu Induk ujung. Yang hanya menyalurkan daya ke konsumen Tegangan Menengah (TM) saja, yaitu dari transformator step down 150 kV/20 kV atau 70 kV/20 kV. Busbar jenis ini dipasang pada GI ujung yang mempunyai saluran transmisi yang radial. Biasanya pada daerah-daerah dengan beban listrik yang masih relatif kecil atau pada GI-GI lama yang masih eksisting. Seperti pada Gardu Induk Pelabuhan Ratu yang berada di wilayah kerja PT.PLN (Persero), P3B Jawa-Bali, Region Jakarta dan Banten, UPT Bogor.

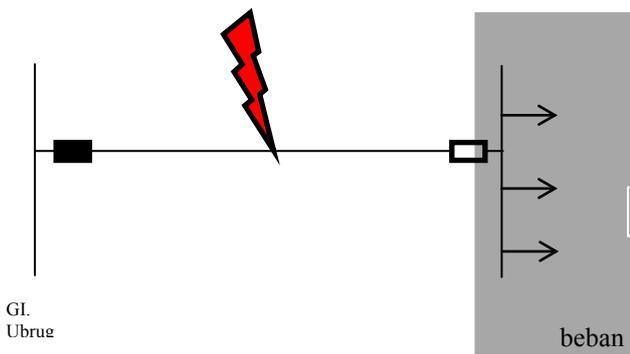
Dapat dilihat dari single line diagram GI. Pelabuhan Ratu seperti Gambar 2.4 dibawah, bahwa GI. Pelabuhan Ratu ini memiliki busbar tunggal dengan 1 bay penghantar, 2 bay transformator dan 1 bay

kapasitor. Dengan bay penghantar Ubrug sebagai sumber tegangan dan bay kapasitor serta trafo sebagai beban. GI ini tidak mengirim tegangan ke GI lainnya, inilah mengapa disebut Gardu Induk ujung dari sebuah saluran transmisi radial. Sedangkan Gambar 2.3 dibawah merupakan busbar 70 kV yang menggunakan konfigurasi single busbar yang ada di GI. Pelabuhan Ratu.



Gambar 2.3 Single Line Diagram GI. Pelabuhan Ratu.

Konfigurasi single busbar ini hanya mempunyai satu buah busbar/rel. Sehingga saat ada jadwal pemeliharaan busbar, maka busbar harus padam dan itu berarti otomatis pembebanan Trafo 1 dan 2 pun terhenti, sehingga listrik tidak bisa dinikmati pelanggan saat itu. Tidak beda halnya saat bay Ubrug sebagai Gardu Induk penyuplai itu sedang dipelihara ataupun dalam kondisi gangguan yang mengakibatkan PMT 70 kV trip, maka di GI. Pelabuhan Ratu ini akan terjadi blackout (hilang tegangan) sehingga tidak bisa menyalurkan daya ke bay Trafo 1 dan Trafo 2, seperti pada Gambar 2.4 dibawah.



Gambar 2.4 Skema Gangguan Penghantar Ubrug pada GI. Pelabuhan Ratu

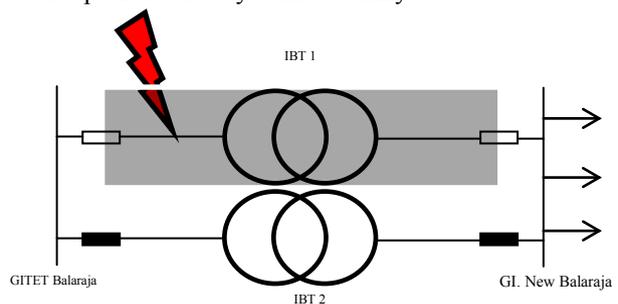
Keterangan :- = PMT close  
- = PMT open  
- = area yang padam

Maksudnya adalah apabila di PHT Ubrug sedang terjadi gangguan, maka rele proteksi akan bekerja dan mengetrikan PMT di GI. Pelabuhan Ratu. Sehingga tidak ada daya yang mengalir di busbar GI. Pelabuhan Ratu dan semua konsumen Trafo 1 dan Trafo 2 tidak dapat menikmati energi listrik.

**2.3 Konfigurasi Busbar Rel Ganda**

Sistem busbar ganda adalah busbar yang menggunakan dua baris busbar/rel dan masing-masing rel terdiri dari 3 fasa. Fungsi busbar jenis ini bisa lebih fleksibel daripada konfigurasi single busbar, karena tidak hanya berfungsi untuk menyuplai transformator step down 150 kV / 20 kV atau 70 kV / 20 kV saja, namun bisa untuk menerima dan mengirim daya ke Gardu Induk (GI) lainnya. Dengan konfigurasi double busbar pengaturan sistem tenaga listrik bisa menjadi lebih mudah dilakukan. Hal itu dikarenakan dalam konfigurasi double busbar ini memiliki sebuah *Couple Breaker* atau PMT Kopel. Tentu saja, ini akan memudahkan pengaturan sistem tenaga listrik karena dalam proses kirim-terima daya. Hal ini proses bisa melalui busbar A ataupun busbar B atau bisa disebut rel 1 dan rel 2, yang tentu saja dihubungkan oleh PMT kopel tadi. Konfigurasi jenis busbar ganda ini paling banyak dipakai dalam sistem tenaga listrik karena fleksibilitas perannya dalam pengaturan sistem tenaga listrik. Seperti yang pada Gardu Induk New Balaraja .P3B Jawa-Bali, Region Jakarta dan Banten, UPT Tangerang.

Konfigurasi busbar ganda ini lebih andal daripada konfigurasi single busbar. Karena apabila terjadi gangguan di salah satu bay sumber, maka konsumen listrik masih bisa menikmati energi listrik yang tetap mengalir di busbar 1 ataupun busbar 2 yang didapatkan dari bay sumber lainnya.



Gambar 2.5 Skema Gangguan bay IBT 1 pada GI. New Balaraja

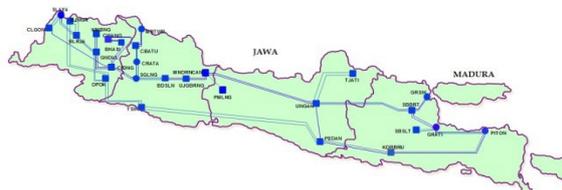
Gambar 2.5 menjelaskan kemungkinan terjadinya gangguan pada salah satu bay sumber, yaitu bay IBT 1 yang terjadi gangguan. Tapi busbar masih mendapat supply daya dari bay IBT 2, sehingga daya masih dapat tersalurkan.

**2.4 Konfigurasi Busbar 1 ½ Breaker**

Sistem konfigurasi 1 1/2 breaker merupakan konfigurasi busbar yang paling kompleks namun

sekaligus paling fleksibel diantara konfigurasi busbar jenis lainnya. Konfigurasi 1 1/2 breaker ini juga memiliki dua busbar, sama dengan konfigurasi double busbar, yaitu busbar A dan busbar B. Yang membedakan adalah penempatan 3 buah Circuit Breaker/PMT diantara busbar tadi, diantara PMT juga dipasang PMS pengapit. Didalam konfigurasi 1 1/2 breaker juga ada istilah diameter. Diameter sendiri adalah bagian yang menghubungkan antara busbar A dan busbar B, dan dalam diameter itulah ditempatkan PMT dan PMS pengapit.

Faktor utama kelistrikan di Jawa-Bali ditopang oleh sistem 500 kV. Mulai dari pembangkit Suralaya di ujung barat pulau jawa hingga pembangkit Paiton di ujung timur pulau jawa sudah saling berhubungan dan saling memikul beban satu sama lain, atau interkoneksi sistem tenaga listrik. Tegangan sistem yang dipakai untuk interkoneksi Jawa-Bali ini adalah tegangan 500 kV, karena untuk meminimalisir losses yang terjadi karena jarak transmisi yang jauh, sehingga tidak terlalu mempengaruhi tegangan yang sampai pada GI yang berada di ujung. Apabila yang digunakan pada interkoneksi jarak jauh ini adalah tegangan 150 kV atau bahkan tegangan 70 kV maka berdampak terhadap konsumen. Terutama pada konsumen distribusi yang lokasi tinggalnya jauh dari GI, tidak akan mendapatkan kualitas listrik yang diinginkan. Dengan semakin jauh saluran transmisi, maka semakin besar pula rugi-rugi tegangan yang terjadi. Dari Gambar 2.6 dapat dilihat kondisi interkoneksi 500 kV yang terbentang mulai ujung barat sampai ujung timur pulau Jawa. Memang kalau dibandingkan dengan Gambar 2.1 adalah sistem interkoneksi 150 kV, sistem 500 kV ini lebih sederhana dikarenakan jumlah GITET di Jawa-Bali masih sangat terbatas. Sehingga seakan-akan terlihat lebih mudah dalam pengoperasian, tidak serumit pengoperasian sistem interkoneksi 150 kV. Namun pada kenyataannya di sistem kelistrikan sendiri, yang memiliki peran terpenting dalam kelistrikan di Jawa-Bali adalah sistem interkoneksi 500 kV.



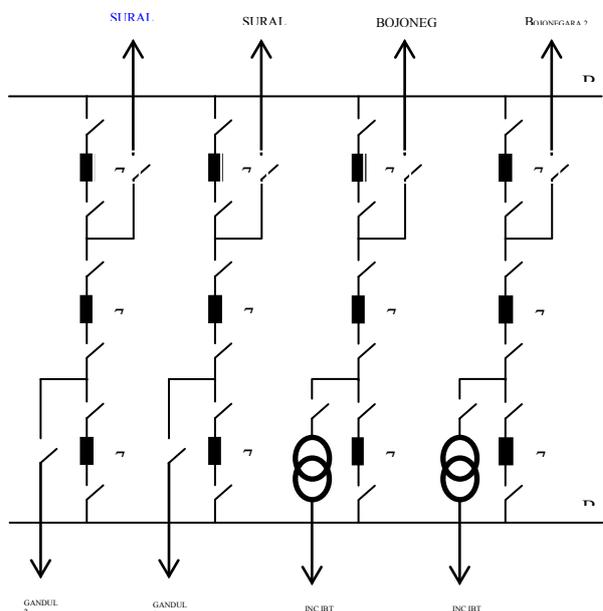
Keterangan:  
 ■ GITET Existing  
 — SUTET Existing

Gambar 2.6 Topologi sistem interkoneksi 500 kV di pulau Jawa<sup>[7]</sup>

Dengan konfigurasi busbar 1 1/2 breaker ini memungkinkan untuk proses kirim dan terima daya,

sama seperti konfigurasi double busbar. Kalau dalam konfigurasi double busbar mengenal istilah PMT kopel yang berfungsi untuk memisahkan antara busbar A dan busbar B, dalam konfigurasi 1 1/2 breaker juga mengenal istilah PMT 7A, 7AB, dan 7B yang fungsinya sama persis dengan PMT kopel. Namun untuk memisahkan antara busbar A dan busbar B harus mengeluarkan 2 PMT antara 7A, 7AB, atau 7B sebanyak diameter yang ada dalam konfigurasi 1 1/2 breaker ini. Memang terlihat lebih kompleks dari dua konfigurasi sebelumnya, namun didalam konfigurasi 1 1/2 breaker ini aliran daya menjadi semakin lancar mengalir dalam setiap busbar dan diameter, beda halnya dengan double busbar yang aliran dayanya akan berhenti di salah satu busbar saja apabila PMT kopel tadi trip/keluar, sehingga pasokan daya ke konsumen akan terganggu pula. Inilah mengapa konfigurasi busbar 1 1/2 breaker lebih banyak dipakai di Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) dan Gardu Induk Pembangkitan.

Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.7. GITET Balaraja memiliki 2 busbar, yaitu busbar A dan busbar B, memiliki 8 bay dan 4 diameter. Pada masing-masing diameter terpasang 3 buah PMT, dan diantara PMT terpasang PMS pengapit. Itulah yang menjadi acuan dinamakan konfigurasi busbar 1 1/2 PMT.



Gambar 2.7 Single Line diagram GITET Balaraja

Pembuatan skor kinerja tentang keandalan transmisi dan transformator di semua unit di P3B Jawa-Bali dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keandalan masing-masing unit. Untuk perhitungan keandalan saluran transmisi atau TL bay tentang lama padam dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.1.<sup>[5]</sup>

$$TLOD = \frac{\sum_{j=1}^n (CCOD)_j}{KMCC} \times 100 \quad (3.1)$$

Dengan :

TLOD=lama padam saluran transmisi (jam/100 KMCC).

$\sum_{j=1}^n (CCOD)_j$  = jumlah lama padam di saluran transmisi karena gangguan (jam).

KMCC =jumlah panjang seluruh saluran Transmission Line yang beroperasi (KMCC).

Dimana TLOD (*Transmission Lines Outage Duration*) adalah indikator kinerja untuk mengukur lamanya gangguan yang terjadi pada saluran transmisi setiap 100 KMCC, dan lama gangguan per sirkit adalah dihitung sejak gangguan terjadi sampai dengan sirkit siap dibebani (*energize*).

Untuk mengetahui intensitas padam saluran transmisi atau TL bay dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 dibawah.<sup>[5]</sup>

$$TLOF = \frac{n}{KMCC} \times 100 \quad (3.2)$$

TLOF=intensitas gangguan saluran transmisi (kali/100 KMCC).

n = jumlah gangguan dalam 1periode pelaporan (kali).

TLOF (*Transmission Lines Outage Frequency*) adalah indikator kinerja untuk mengukur intensitas gangguan yang terjadi pada saluran transmisi tiap 100 KMCC. Jumlah seringnya gangguan dihitung pada setiap akhir tahun. Sedangkan untuk menghitung kinerja keandalan dari transformator berdasarkan lama padam karena gangguan dapat menggunakan persamaan 3.3 dibawah di bawah ini.<sup>[5]</sup>

$$TROD = \frac{\sum_{i=1}^n (TROD)_i}{R} \quad (3.3)$$

Dengan :

TROD=lama trafo padam karena gangguan (jam/unit).

$\sum_{i=1}^n (TROD)_i$  = jumlah lama trafo padam karena gangguan (jam).

R = jumlah trafo yang beroperasi (unit)

Dimana TROD (*Transformer Outage Duration*) adalah indikator kinerja untuk mengukur lamanya gangguan yang terjadi pada unit transformator, dan lama gangguan per unit adalah dihitung sejak gangguan terjadi sampai dengan unit transformator siap dibebani (*energize*).

Untuk menghitung kinerja keandalan berdasarkan intensitas gangguan pada transformator sendiri bisa dengan menggunakan persamaan 3.4 dibawah.<sup>[5]</sup> yaitu dengan persamaan TROF (*Transformer Outage Frequency*).

$$TROF = \frac{n}{R} \quad (3.4)$$

TROF= intensitas trafo padam karena gangguan (kali/unit).

n = jumlah gangguan trafo dlm 1 periode pelaporan (kali).

R = jumlah seluruh trafo yang beroperasi (unit).

### 2.5 Keandalan Sistem

Keandalan Sistem Tenaga Listrik (STL) adalah hal yang wajib dipenuhi agar pelayanan daya listrik ke konsumen semakin maksimal. Sebuah sistem tenaga listrik dikatakan andal apabila memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Keandalan (*Reliability*), Ukuran kemampuan STL untuk mengirim energi listrik ke pusat-pusat beban sesuai dengan besaran yang diinginkan dan standar yang berlaku.
2. Kecukupan (*Adequacy*), Ukuran kemampuan STL memasok kebutuhan tenaga listrik dengan memperhitungkan keluarnya instalasi yang terjadwal maupun tidak terjadwal dan kendala operasi.
3. Keamanan (*Security*), Ukuran kemampuan STL untuk tetap bertahan terhadap gangguan seperti hubung singkat atau keluarnya instalasi tenaga listrik yang tidak diantisipasi sebelumnya.
4. Integritas (*Integrity*), Kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan operasi yang terinterkoneksi.
5. *Restorability*. Ukuran kemampuan sistem tenaga listrik untuk segera pulih dari keadaan *blackout* atau *shutdown*.

Tingkat keandalan sistem tenaga listrik akan semakin tinggi apabila tingkat jaminan ketersediaan (*availability*) dayanya mencukupi dan tidak ada konsumen yang mengalami pemadaman akibat gangguan.

## III. ANALISA HASIL PERHITUNGAN KONFIGURASI BUSBAR

### 3.1 Data Gangguan dan Teknis Konfigurasi Busbar

Busbar adalah suatu titik pertemuan antara TL bay atau bay transmisi, TR bay atau bay trafo, dan bay lain seperti bay kopel ataupun bay kapasitor. Oleh karena itu, untuk menentukan keandalan sebuah busbar dapat dihitung dengan cara menghitung lama padam dan intensitas padam per bay pada masing-masing konfigurasi busbar atau masing-masing Gardu Induk. Dapat dilihat di tabel 4.1 tentang rekapitulasi data gangguan pada masing-masing konfigurasi busbar / Gardu Induk.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Data Gangguan Berdasarkan Data Tahun 2011

No.	Nama Gardu Induk	Jumlah Gangguan (kali)		Lama Gangguan (jam)	
		TL Bay	TR Bay	TL Bay $\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j$	TR Bay $\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i$
1.	GITET Balaraja	2	0	6,95	0
2.	GI. New Balaraja	0	1	0	2,4
3	GI Pel. Ratu	2	1	6,32	1

Dari Tabel 4.1 adalah berdasarkan data kondisi nyata di masing-masing konfigurasi busbar di GITET Balaraja, GI.New Balaraja dan GI.Pelabuhan Ratu sepanjang tahun 2011. Sedangkan untuk mengetahui data bay dan panjang saluran transmisi pada tiap konfigurasi busbar / GI, terdapat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Bay dan Panjang Saluran Transmisi

No.	Gardu Induk	Jml TR Bay (bay)	Jml TL Bay (bay)	Pnjng Sirkuit Total (KMCC)
1.	GITET Balaraja	2	4	237,3
2.	GI. New Balaraja	1	4	62,4
3.	GI. Pelabuhan Ratu	2	1	25,421

Data dari Tabel 4.2 diatas adalah berdasarkan data peralatan terakhir yang didapat dari GITET Balaraja,

GI.New Balaraja dan GI. Pelabuhan Ratu. Untuk penjang sirkuit pada masing-masing Gardu Induk dapat dilihat pada setting di relay distance.

### 3.2 Perhitungan Keandalan Konfigurasi Single Busbar

Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dapat dihitung keandalan pada konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu dengan cara menentukan nilai TLOD, TLOF, TROD, TROF, *Availability* dan *Unavailability*-nya.

Diketahui :

$$\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j = 7,95 \text{ jam}$$

$$KMCC = 25,421 \text{ KMCC}$$

$$n \text{ untuk } \sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j = 5 \text{ kali}$$

$$\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = 6,32 \text{ jam}$$

$$n \text{ untuk } \sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = 2 \text{ kali}$$

$$R = 2 \text{ unit}$$

Dengan

$$\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j =$$

$$(CC_{OD})_1 + (CC_{OD})_2 + (CC_{OD})_3 + (CC_{OD})_4 + (CC_{OD})_5 = 1,8 + 1,383 + 2,166 + 1,416 + 1,813 = 7,95 \text{ jam}$$

Dan

$$\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = (TR_{OD})_1 + (TR_{OD})_2 = 3,066 \text{ jam} + 3,25 \text{ jam} = 6,32 \text{ jam}$$

Berdasarkan persamaan 3.1, maka dapat dihitung nilai TLOD (*Transmission Lines Outage Duration*) konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu adalah :

$$TLOD = \frac{\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j}{KMCC} \times 100$$

$$TLOD = \frac{7,95}{25,421} \times 100$$

$$TLOD = 31,273 \text{ jam}/100 \text{ KMCC}$$

Sehingga didapatkan lama padam TL bay karena gangguan pada konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu sepanjang tahun 2011 adalah 31,273 jam/100 KMCC.

Untuk menghitung TLOF (*Transmission Lines Outage Frequency*) berdasarkan persamaan 3.2, konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu adalah:

$$TLOF = \frac{n}{KMCC} \times 100$$

$$TLOF = \frac{5}{25,421} \times 100$$

$$TLOF = 19,7 \text{ kali/100 KMCC}$$

Sehingga didapatkan intensitas padam TL bay karena gangguan pada konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu sepanjang tahun 2011 adalah 19,7 kali/100 KMCC.

Untuk menghitung TROD (*Transformer Outage Duration*) berdasarkan persamaan 3.3, konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu adalah :

$$TROD = \frac{\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i}{R}$$

$$TROD = \frac{6,32}{2} = 2,16 \text{ Jam/Unit}$$

Sehingga didapatkan lama padam TR bay karena gangguan pada konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu sepanjang tahun 2011 adalah 3,16 jam/unit. Untuk menghitung TROF (*Transformer Outage Frequency*) berdasarkan persamaan 3.4, konfigurasi single busbar di GI. PR adalah:

$$TROF = \frac{n}{R}$$

$$TROF = \frac{2}{2} = 1 \text{ kali/unit}$$

Sehingga didapatkan lama padam TR bay karena gangguan pada konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu sepanjang tahun 2011 adalah 1 kali/unit.

### 3.3 Perhitungan Keandalan Konfigurasi Double Busbar

Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dapat dihitung keandalan pada konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja dengan cara menentukan nilai TLOD, TLOF, TROD, TROF, *Availability* dan *Unavailability*nya.

Diketahui :

$$\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j = 0 \text{ jam}$$

$$\text{KMCC} = 62,4 \text{ KMCC}$$

$$n \text{ untuk } \sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j = 0 \text{ kali}$$

$$\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = 2,4 \text{ jam}$$

$$n \text{ untuk } \sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = 1 \text{ kali}$$

$$R = 1 \text{ unit}$$

Dengan  $\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j = 0$  (karena tidak pernah terjadi gangguan TL bay sepanjang tahun 2011).

$$\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = (TR_{OD})_i = 2,4 \text{ jam}$$

Berdasarkan persamaan 3.1, maka dapat dihitung nilai TLOD (*Transmission Lines Outage Duration*) konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja adalah :

$$TLOD = \frac{\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j}{\text{KMCC}} \times 100$$

$$TLOD = \frac{0}{62,4} \times 100$$

$$TLOD = 0 \text{ jam/100 KMCC}$$

Sehingga didapatkan lama padam TL bay karena gangguan pada konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 0 jam/100 KMCC.

Untuk menghitung TLOF (*Transmission Lines Outage Frequency*) berdasarkan persamaan 3.2, konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja adalah :

$$TLOF = \frac{n}{\text{KMCC}} \times 100$$

$$TLOF = \frac{0}{62,4} \times 100$$

$$TLOF = 0 \text{ kali/100 KMCC}$$

Sehingga didapatkan intensitas padam TL bay karena gangguan pada konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 0 kali/100 KMCC.

Untuk menghitung TROD (*Transformer Outage Duration*) berdasarkan persamaan 3.3, konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja adalah :

$$TROD = \frac{\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i}{R}$$

$$TROD = \frac{2,4}{1}$$

$$TROD = 2,4 \text{ jam/unit}$$

Sehingga didapatkan lama padam TR bay karena gangguan pada konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 2,4 jam/unit.

Untuk menghitung TROF (*Transformer Outage Frequency*) berdasarkan persamaan 3.4, konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja adalah :

$$TROF = \frac{n}{R}$$

$$TROF = \frac{1}{1}$$

$$TROF = 1 \text{ kali/unit}$$

Sehingga didapatkan lama padam TR bay karena gangguan pada konfigurasi double busbar di GI. New Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 1 kali/unit.

### 3.4 Perhitungan Keandalan Konfigurasi 1 ½ Breaker

Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dapat dihitung keandalan pada konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja dengan cara menentukan nilai TLOD,

TLOF, TROD, TROF, *Availability* dan *Unavailability*nya.

Diketahui :

$$\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j = 6,95 \text{ jam}$$

$$KMCC = 237,3 \text{ KMCC}$$

$$n \sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j \text{ untuk } = 2 \text{ kali}$$

$$\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = 0 \text{ jam}$$

$$n \text{ untuk } \sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = 0 \text{ kali}$$

$$R = 2 \text{ unit}$$

Dengan

$$\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j = (CC_{OD})_1 + (CC_{OD})_2$$

$$= 5,733 + 1,2166 = 6,95 \text{ jam}$$

Dan  $\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i = 0$  (karena tidak pernah terjadi gangguan transformator sepanjang tahun 2011). Berdasarkan persamaan 3.1, maka dapat dihitung nilai TLOD (*Transmission Lines Outage Duration*) konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja adalah :

$$TLOD = \frac{\sum_{j=1}^n (CC_{OD})_j}{KMCC} \times 100$$

$$TLOD = \frac{6,95}{237,3} \times 100$$

$$TLOD = 2,93 \text{ jam/100 KMCC}$$

Sehingga didapatkan lama padam TL bay karena gangguan pada konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 2,93 jam/100 KMCC.

Untuk menghitung TLOF (*Transmission Lines Outage Frequency*) berdasarkan persamaan 3.2, konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja adalah :

$$TLOF = \frac{n}{KMCC} \times 100$$

$$TLOF = \frac{2}{237,3} \times 100$$

$$TLOF = 0,84 \text{ kali/100 KMCC}$$

Sehingga didapatkan intensitas padam TL bay karena gangguan pada konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 0,84 kali/100 KMCC.

Untuk menghitung TROD (*Transformer Outage Duration*) berdasarkan persamaan 3.3, konfigurasi single busbar di GI. Pelabuhan Ratu adalah :

$$TROD = \frac{\sum_{i=1}^n (TR_{OD})_i}{R}$$

$$TROD = \frac{0}{2}$$

$$TROD = 0 \text{ jam/unit}$$

Sehingga didapatkan lama padam TR bay karena gangguan pada konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 0 jam/unit.

Untuk menghitung TROF (*Transformer Outage Frequency*) berdasarkan persamaan 3.6, konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja adalah :

$$TROF = \frac{n}{R}$$

$$TROF = \frac{0}{2}$$

$$TROF = 0 \text{ kali/unit}$$

Sehingga didapatkan lama padam TR bay karena gangguan pada konfigurasi 1 1/2 breaker di GITET Balaraja sepanjang tahun 2011 adalah 0 kali/unit.

### 3.5 Perbandingan Konfigurasi Busbar

Berdasarkan perhitungan nilai keandalan dari masing-masing konfigurasi busbar. Didapatkan perbandingan antara single busbar, double busbar dan 1 1/2 breaker dalam sebuah Tabel 4.3 dibawah :

Tabel 4.3 Perbandingan parameter keandalan masing-masing konfigurasi busbar

Parameter Keandalan	Single Busbar	Double Busbar	1 1/2 Breaker
TLOD (jam/100 KMCC)	31,273	0	2,93
TLOF (kali/100 KMCC)	19,7	0	0,84
TROD (jam/unit)	3,16	2,4	0
TROF (kali/unit)	1	1	0

Pada Tabel 4.3 diatas, dapat diketahui bahwa konfigurasi busbar 1 1/2 breaker adalah konfigurasi busbar dengan tingkat keandalan paling tinggi dengan nilai TROD dan TROF = 0. Meskipun nilai TLOD dan TLOF nya lebih besar daripada konfigurasi double busbar, namun nilai tersebut masih dibawah standar keandalan dari PT. PLN (Persero).

Berdasarkan Surat Keputusan Direksi PT. PLN (persero) Nomor : 059.K/DIR/2009 yang berisi tentang sistem penilaian kinerja dan keandalan sistem tenaga listrik [4], terdapat beberapa standar untuk mengukur nilai keandalan suatu Gardu Induk. Standar-standar tersebut adalah :

1. Nilai maksimum dari TLOD (*Transmission Lines Outage Duration*) adalah tak lebih dari 7,5 jam/100 KMCC.
2. Nilai maksimum dari TLOF (*Transmission Lines Outage Frequency*) adalah tak lebih dari 5 kali/100 KMCC.

3. Nilai maksimum dari TROD (Transformer Outage Duration) adalah tak lebih dari 7,5 jam/unit.
4. Nilai maksimum dari TROF (Transformer Outage Frequency) adalah tak lebih dari 1 kali/unit.

#### IV. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisa keandalan berbagai konfigurasi busbar yang dilakukan di 3 tempat yang berbeda pula, yaitu di GITET Balaraja, GI.New Balaraja dan GI. Pelabuhan Ratu, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Konfigurasi busbar 1 1/2 breaker merupakan konfigurasi busbar yang paling andal dalam menyalurkan daya listrik ke konsumen, karena mempunyai nilai TROD (Transformer Outage Duration) = 0 jam/unit dan nilai TROF (Transformer Outage Frequency) = 0 kali/unit, sehingga daya yang disalurkan oleh konfigurasi busbar ini pada tahun 2011 adalah 100 %, karena tidak pernah ada gangguan yang menyebabkan daya di busbar tidak tersalurkan.
2. Konfigurasi busbar 1 1/2 breaker mempunyai nilai TLOD (Transmission Lines Outage Duration) = 2,93 jam/100 KMCC dan nilai TLOF (Transmission Lines Outage Frequency) = 0,84 kali/100 KMCC, dan proses terima/kirim daya ke GI lain masih memenuhi standar keandalan dari PT. PLN (persero), yaitutak lebih dari 7,5 jam/100 KMCC untuk TLOD, dan tak lebih dari 5 kali/100 KMCC untuk TLOF.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basri, Hasan. “*Sistem Distribusi Daya Listrik*”. ISTN. Jakarta. 1997.
- [2] Ridwan. “*Analisis Keandalan Sistem 150 Kv di Wilayah Jawa Timur*”. Institut Teknologi 10 November. 2010. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-12661-Paper.pdf>. Tanggal 7 Juli 2012.
- [3] A. Sofwan, Y. Kurniawati, R. Amoriza. “Analisis Penyebab Out Of Scanning pada SCADA Akibat Gangguan Pada RTU”. <http://journal.uui.ac.id/index.php/Snati/article/view/1333>. Tanggal 8 Juli 2012
- [4] Keputusan Direksi PT. PLN (persero). Nomor : 059.K/DIR/2009. Tentang *Sistem Penilaian Tingkat Kinerja PT. PLN (persero) Pembangkitan, Wilayah, Distribusi, Penyaluran Dan Pusat Pengatur Beban, dan Jasa Penunjang*. Jakarta. 2009.
- [5] Marsudi, Djiteng Ir. “*Operasi Sistem Tenaga Listrik*”. ISTN. Jakarta. 1990.
- [6] <http://www.scribd.com/doc/46016264/HT-Substation-150-500-kV>. Tanggal 7 Juli 2012.
- [7] <http://bops.pln-jawa-bali.co.id/>. Tanggal 7 Juli 2012.
- [8] Michael, J Bio. “*Air Insulated Substations Bus/Switching Configuration*”. E.P. Breaux Electrical.Inc.<http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9780203486498.ch3>. 2 August 2011.
- [9] Nack, Daniel. “*Reliability Of Substation Configurations*”. Iowa State University. 2005. <http://www.freeonlinebook.net/Others/851488/Reliability-of-Substation-Configurations>. Tanggal 26 Agustus 2011.