

**STUDI KEANDALAN PENGGUNAAN CUBICLE 20 kV *DOUBLE INCOMING* DENGAN PERENCANAAN *SETTING* ATS UNTUK OPTIMALISASI PEMBEBANAN PELANGGAN DIATAS 1 MVA PADA PLN APJ SURAKARTA**



**PUBLIKASI ILMIAH**

**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**DHARU RENDRO ANOM PRABOWO**

**D 400 122 001**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2016**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**STUDI KEANDALAN PENGGUNAAN CUBICLE 20 kV *DOUBLE INCOMING* DENGAN PERENCANAAN *SETTING* ATS UNTUK OPTIMALISASI PEMBEBANAN PELANGGAN DIATAS 1 MVA PADA PLN APJ SURAKARTA**

**PUBLIKASI ILMIAH**

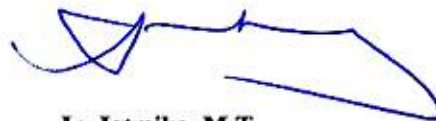
oleh:

**DHARU RENDRO ANOM PRABOWO**

**D 400 122 001**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Ir. Jatmiko, M.T.**

**NIK. 622**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI KEANDALAN PENGGUNAAN CUBICLE 20 kV *DOUBLE INCOMING* DENGAN PERENCANAAN *SETTING* ATS UNTUK OPTIMALISASI PEMBEBANAN PELANGGAN DIATAS 1 MVA PADA PLN APJ SURAKARTA**

**OLEH**

**DHARU RENDRO ANOM PRABOWO**

**D 400 122 001**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Rabu, 4 Mei 2016  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

1. Ir. Jatmiko, M.T.  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Agus Supardi, S.T, M.T.  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Aris Budiman, S.T, M.T  
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)   
(.....)   
(.....) 

**Dekan,**

  
**Ir. Sri Sunariono, M.T., Ph.D.**  
NIK. 


## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 4 Mei 2016

Penulis



**DHARU RENDRO ANOM PRABOWO**

D 400 122 001

# KEANDALAN PENGGUNAAN CUBICLE 20 kV *DOUBLE INCOMING* DENGAN PERENCANAAN *SETTING* ATS UNTUK OPTIMALISASI PEMBEBANAN PELANGGAN DIATAS 1 MVA PADA PLN APJ SURAKARTA

Dharu Rendro Anom Prabowo

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Rendro16@gmail.com

Ir. Jatmiko, M.T.

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jatmiko@ums.ac.id

## Abstrak

Kota Surakarta merupakan salah satu pusat perdagangan, perindustrian dan pariwisata yang sedang berkembang. Dalam perkembangannya diperlukan faktor - faktor pendukung, salah satunya merupakan suplai daya listrik yang stabil dan baik, dimana semakin lama kebutuhannya akan terus meningkat. Dengan tingkat pertumbuhan ekonomi rata-rata sebesar 6 %, Kota Surakarta memerlukan pertumbuhan listrik sebesar  $2 \times 6 \% = 12 \%$ . Dengan semakin meningkatnya kawasan perhotelan dan hiburan yang ada di wilayah kota Surakarta maka mutlak diperlukan suatu keandalan didalam kebutuhan akan listrik terutama pada sisi pelanggan. Salah satu cara meningkatkan keandalan tersebut adalah dengan menggunakan *Cubicle Double Incoming*. Perencanaan untuk mengubah setting pada masing – masing penyulang diperlukan guna mencapai keandalan yang lebih baik, dengan menerapkan setting ATS yang sesuai pada penyulang maka pelanggan hanya akan mengalami padam dalam waktu yang sangat singkat untuk satu kali gangguan. Perhitungan *Load Factor* diperlukan untuk perencanaan pada masing-masing penyulang, sehingga saat terjadi gangguan tidak ada masalah apabila sewaktu-waktu pindah di penyulang kedua. Load Faktor Penyulang JJR 11 adalah 0.45 sedangkan Penyulang JJR 08 adalah 0.36. Dengan penerapan setting Penyulang normal dan standby diperoleh bahwa optimalisasi kehandalan Penyulang JJR 11 menjadi lebih tinggi, yaitu dari hasil rata-rata tahun 2013-2015 SAIDI 3,5 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 6,33 kali/pelanggan/tahun menjadi SAIDI 0,0003 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 0,0016 kali/pelanggan/tahun. Sedangkan untuk Penyulang JJR 08 yaitu dari SAIDI 4,48 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 5,7 kali/pelanggan/tahun menjadi SAIDI 0,0014 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 0,0022 kali/pelanggan/tahun.

**Kata Kunci:** Kehandalan, ATS, PLN Surakarta, SAIDI & SAIFI.

## Abstract

Surakarta City is one of the center of trading, industry, and tourism which is still growing. In process of growing, it needs several proponents factor such as stabil and good electricity resource, where the longer the need will always increase. with the economy's growth about 6 %, Surakarta City needs electric growth for about  $2 \times 6 \% = 12 \%$ . With the increasing hospitality and entertainment district in the region Surakarta it is absolutely necessary a reliability in electricity requirement will be mainly on the customer side, for that rise, we need *Cubicle Double Incoming*. The planning to change the setting on each feeder are needed for reach out more better reliability, by applying the appropriate ATS setting on the feeder so the customer will happen only goes out in a very short time for one disorder. Load factor calculation is required for planning of each feeder so when there is fault, it will not give more affect if it's will change to second feeder. Load factor JJR 11 is 0.45 and JJR 08 is 0.36. The application of feeder normal and standby setting, we can get that makes optimization of reliability in JJR 11 feeder to become more higher, that from average 2013-2015 SAIDI 3,5 hours/costumers/year and SAIFI 6,33 time/costumers/year to become SAIDI 0,0003 hour/costumers/year and SAIFI 0,0016 time/costumers/year. While for JJR 08 feeder is from SAIDI 4,48 hour/costumers/years and SAIFI 5,7 time/costumers/year become SAIDI 0,0014 hour/costumers/years and SAIFI 0,0022 time/costumers/year.

**Keywords:** Reliability, ATS, PLN Surakarta, SAIDI & SAIFI.

## 1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi dalam menyalurkan energi listrik kepada beban-beban yang ada, yang dalam hal ini adalah pelanggan tenaga listrik. Peran vital yang langsung berhubungan kepada

pelanggan tersebutlah yang membuat sistem distribusi tenaga listrik harus memiliki keandalan yang baik dan juga terminimalisir dari berbagai macam gangguan.

PT. PLN (Persero) APJ Surakarta yang melayani jaringan distribusi listrik secara menyeluruh di empat kabupaten dan satu kota yakni diantaranya Kab. Sukoharjo, Kab. Karanganyar, Kab. Sragen, Kab. Wonogiri, dan Kotamadya Solo dimana merupakan daerah vital sentra perdagangan, perindustrian, pariwisata, dan lain sebagainya yang sedang berkembang. Dalam pengembangannya diperlukan beberapa faktor pendukung, salah satunya adalah suplai daya listrik yang kebutuhannya semakin lama semakin meningkat seiring dengan meningkatnya sektor pariwisata dan industri. Kebutuhan suplai daya listrik dapat dilihat dari besarnya pertumbuhan ekonomi, dimana pertumbuhan akan energi listrik berbanding dua kali dengan pertumbuhan ekonomi.

Seat ini, permintaan akan penambahan daya listrik terus bertambah. Maka dari itu, tidak hanya peningkatan dalam hal suplai daya listrik yang perlu diperhatikan, namun keandalan dari sistem juga perlu. Disyon (2008) dalam penelitiannya menyatakan kehandalan (*reliability*) distribusi didefinisikan sebagai probabilitas dari sistem distribusi untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Tingkat keandalan dari sistem distribusi diukur dari sejauh mana penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinyu kepada pelanggan tanpa perlu terjadi pemadaman.

Dalam pendistribusian agar penggunaan daya listrik untuk beban pelanggan PLN dapat baik dan efisien, maka perlu diperoyeksikan dalam perencanaan yang akan datang. Agar penggunaan karakteristik beban pelanggan tersebut dapat efisien, perlu dipahami pengertian dan pemakaian praktis dari karakteristik beban pelanggan tersebut (Basri. A.,1997).

Dalam sektor industri, terutama industri skala besar dengan tegangan menengah, diperlukan suatu keandalan yang baik. Untuk menunjang hal itu maka dapat direncanakan untuk menerapkan *cubicle* 20 kV *double incoming*. Jenis *cubicle* tersebut dicatu oleh dua penyulang. Penyulang 1 sebagai penyulang normal dan penyulang 2 sebagai penyulang standby. Dimana penyulang normal akan bekerja terlebih dahulu dan penyulang standby akan bekerja jika penyulang normal ada gangguan pada salah satu phasa atau penyulang normal terjadi trip.

*Cubicle double incoming* terdiri dari tiga unit *cubicle*, yaitu satu buah *incoming* tipe NSM untuk dua *incoming* yang masing-masing *incoming* dicatu oleh satu penyulang, *metering* dan *outgoing* (Moelyono et al., 2003). Pindahannya suplai daya yang bekerja dari penyulang normal ke penyulang standby melalui suatu perangkat ATS (*Automatic Transfer Switch*).. Sehingga penggunaan *cubicle double incoming* diharapkan lebih handal daripada *cubicle single incoming* karena adanya cadangan suplai daya dari penyulang *standby*. Saat terjadi gangguan pada penyulang normal maka secara otomatis penyulang akan pindah ke penyulang *standby* melalui media ATS.

*Cubicle double incoming* dengan *setting* ATS mampu memberikan adanya kesinambungan suplai daya listrik kepada pelanggan potensial PLN, sehingga jika ada gangguan pada sistem distribusi maka tidak akan langsung padam tetapi hanya akan padam selama 0.1 detik untuk proses pindah dari penyulang 1 ke penyulang 2.

Hendy (2004) menyatakan dalam penelitiannya bahwa dengan penerapan *setting* penyulang *cubicle double incoming* diperoleh bahwa optimalisasi kehandalan penyulang 1 menjadi lebih tinggi, yaitu dari SAIDI 6.7364 jam / tahun dan SAIFI 1.026 kali / tahun menjadi SAIDI 6.2605 jam / tahun dan SAIFI 0.954 kali / tahun. Sedangkan untuk penyulang 2 yaitu dari SAIDI 3.7402 dan SAIFI 1.026 menjadi SAIDI 2.808 dan SAIFI 0.954.

Indeks SAIDI dan SAIFI digunakan sebagai parameter keandalan sistem distribusi, adanya parameter tambahan ini membawa pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai keandalan suatu sistem. Peningkatan nilai ini tentunya akan semakin besar apabila konfigurasi jaringan sistem yang diteliti memiliki panjang saluran yang lebih panjang dibandingkan penyulang (Gusti .P. Budi et al 2015).

### 1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kinerja *cubicle* 20 kV *double incoming* apabila diterapkan pada penyulang sistem distribusi di GI Jajar?
2. Bagaimana analisis penggunaan *cubicle double incoming* dengan membuat perencanaan *setting* ATS (*Automatic Transfer Switch*) untuk penyulang pada jaringan distribusi pelanggan tegangan menengah diatas 1 MVA PLN APJ Surakarta yang disuplai oleh GI Jajar?
3. Bagaimanakah perbandingan standar umum dengan indeks keandalan konfigurasi sistem penyulang yang ada pada GI Jajar dalam 3 tahun terakhir?
4. Bagaimanakah perbandingan SAIDI dan SAIFI penyulang pada GI Jajar 3 tahun terakhir dengan perencanaan penggunaan *cubicle double incoming*?

## 1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dikaji maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui sejauh mana kinerja dan efektifitas penggunaan *cubicle 20kV double incoming* apabila diterapkan pada penyulang sistem distribusi di GI Jajar.
2. Memberikan analisis penggunaan *cubicle double incoming* dengan perencanaan *setting ATS (Automatic Transfer Switch)* pada penyulang jaringan distribusi pelanggan tegangan menengah diatas 1 MVA PLN APJ Surakarta yang disuplai oleh GI Jajar ditinjau dari aspek fungsi dan keandalan.
3. Mengetahui besar perbandingan standar umum dengan indeks indeks keandalan konfigurasi sistem penyulang yang ada pada GI Jajar dalam 3 tahun terakhir
4. Mengetahui perbandingan SAIDI dan SAIFI penyulang pada GI Jajar 3 tahun terakhir dengan perencanaan penggunaan *cubicle double incoming*

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penulisan penelitian ini antara lain adalah :

1. Menambah khasanah keilmuan di bidang transmisi dan distribusi jaringan listrik khususnya studi kasus di wilayah PLN Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Surakarta.
2. Menambah informasi yang berkaitan dengan studi kasus penggunaan *Cubicle 20 kV Double Incoming* dengan ATS pada pelanggan PLN.

## 2. METODE

Pada penelitian ini diselesaikan dalam jangka waktu pengerjaan 3 bulan, dengan tahapan konsultasi dengan dosen pembimbing, studi literatur, pembuatan proposal, pengambilan data, analisa data dan pembuatan laporan.

### 2.1 Studi Literatur

Data didapatkan dari berbagai refrensi serta informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Sumber informasi diperoleh diantaranya dari buku, artikel publikasi, skripsi, dan karya-karya ilmiah lainnya.

### 2.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian kali ini perhitungan *load factor* menggunakan perhitungan secara manual dengan berdasar data PLN APJ Surakarta 3 tahun terakhir serta data dari Gardu Induk 150 kV Jajar, sedangkan penentuan *setting ATS* pada penyulang dilakukan dengan memperhitungkan efisiensi waktu padam pelanggan. Data-data tersebut nantinya dipergunakan dalam perencanaan penggunaan *cubicle double incoming* secara lebih lanjut.

### 2.3 Pengolahan Data

Dalam penelitian ini persiapan segala sesuatu yang bersangkutan dengan proses perencanaan dan analisa data, dengan tahapan sebagai berikut :

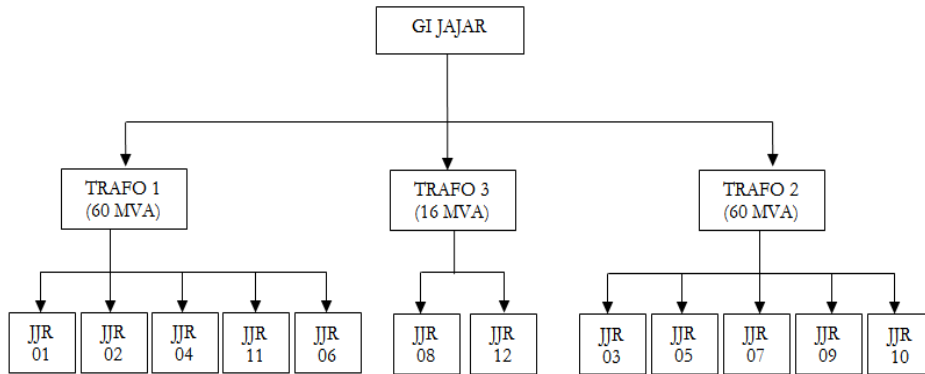
1. Menghitung *Load Factor* penyulang berdasar LWBP dan WBP. Langkah ini di tunjukan untuk menentukan beberapa besar faktor beban penyulang berdasarkan perhitungan beban puncak rata – rata dan beban puncak tertinggi.
2. Merencanakan Penggunaan Jenis *Cubicle Double Incoming*. Perencanaan dalam memilih cubicle yang digunakan didasarkan dengan melihat karakteristik beban pelanggan PLN serta faktor beban yang telah dihitung pada masing – masing penyulang.
3. Menganalisa kinerja ATS dengan *setting* penyulang normal dan standby. Dalam pemilihan *setting ATS* akan dilakukan dengan menganalisa efisiensi lama waktu padam yang terjadi pada penyulang yang akan dipergunakan.
4. Membandingkan perbandingan standar murni, perhitungan indeks keandalan dengan data 3 tahun terakhir dari 2 penyulang GI Jajar Data dari perhitungan dibandingkan dengan data keadaan pada penyulang yang dianalisis, guna melihat sejauh apa tingkat efektifitasnya.
5. Membandingkan kehandalan antara penggunaan Jenis *Cubicle Double Incoming* dengan jenis *Cubicle Single Incoming*. Dari hasil perbandingan berupa perhitungan data SAIDI & SAIFI maka di dapatkan data sebagai acuan *setting* yang efektif dan handal untuk diterapkan.

### 2.4 Alat Dan Bahan

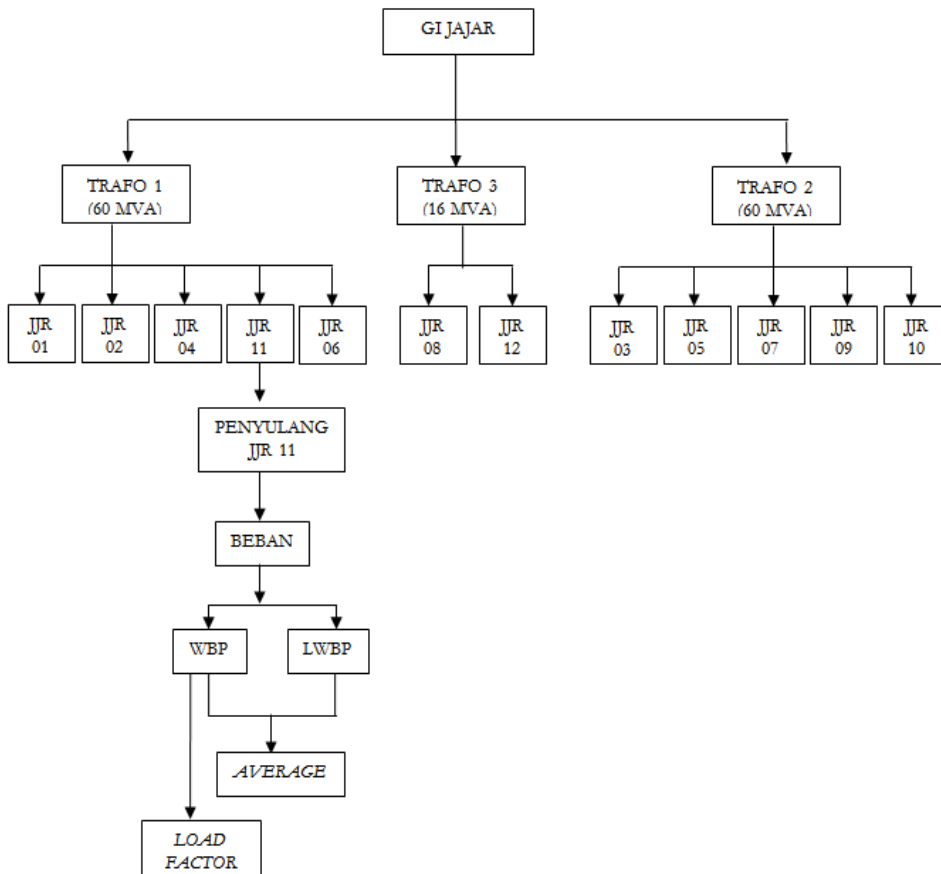
Perlengkapan pendukung yang dipakai dalam penelitian ini adalah perangkat keras berupa laptop dengan software Microsoft Office Word, Excel. Data yang penelitian berdasar data milik PLN (Persero) APJ Surakarta 3 tahun terakhir serta data dari Gardu Induk 150 kV Jajar.

## 2.5 Gambaran Blok Diagram Distribusi dari Daya Gardu Induk 150 kV Jajar Surakarta.

Penelitian yang dilakukan mengambil data distribusi pelanggan di PT. PLN (Persero) APJ Surakarta yang di suplai oleh Gardu Induk 150 kV Jajar seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.



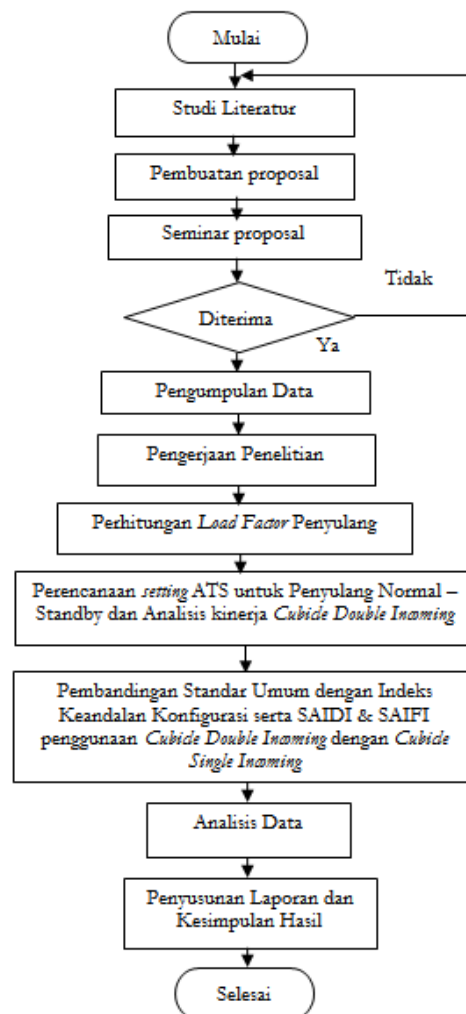
Gambar 1. Diagram Blok Distribusi pada GI 150 kV Jajar ke Penyulang.



Gambar 2. Diagram Blok Distribusi pada GI 150 kV Jajar dengan Perhitungan *Load Factor* Penyulang.



## 2.6 Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Perhitungan *Load Factor* pada Penyulang Pelanggan Potensial PLN APJ Surakarta.

Perhitungan *Load Factor* pada penyulang dilakukan untuk mengetahui beberapa besar faktor beban pada tiap penyulang di GI Jajar, dengan acuan ini maka dapat ditentukan penyulang yang akan dipergunakan dalam *cubicle double incoming*. Data yang diambil berdasarkan perhitungan beban puncak rata – rata dan beban puncak tertinggi yang diambil pada bulan April 2016.

Berikut contoh perhitungan untuk penyulang JJR 11 :

LWBP (Luar Waktu Beban Puncak). LWBP rata-rata terjadi pada pukul 10.00 dengan pengambilan data dilakukan selama 7 hari di Gardu Induk 150 kV Jajar, Surakarta.

$$\begin{aligned} \text{LWBP} &= 21,87 + 24,93 + 66,61 + 78,73 + 61,97 + 60,14 + 61,25 \\ &= 375,5 \end{aligned}$$

$$\text{Average LWBP} = \frac{375,5}{7} = 53,64$$

WBP (Waktu Beban Puncak). WBP rata-rata terjadi pada pukul 19.00 dengan pengukuran dilakukan selama 7 hari.

$$\begin{aligned} \text{WBP} &= 108,49 + 100,9 + 295,4 + 334,1 + 278,96 + 299,03 + 296,48 \\ &= 1.713,36 \end{aligned}$$

$$\text{Average WBP} = \frac{1.713,36}{7} = 244,76$$

$$\begin{aligned} \text{Average Demand (kebutuhan rata-rata)} &= \frac{1}{2} (\text{Average LWBP} + \text{Average WBP}) \\ &= \frac{1}{2} (53,64 + 244,76) = 149,20 \end{aligned}$$

*Peak Demand* (puncak kebutuhan) beban diambil dari beban puncak tertinggi yang diambil dari data 7 hari.

$$\text{Peak Demand} = 334,1$$

*Load Factor* (faktor beban) adalah perbandingan beban rata-rata terhitung dengan puncak beban terhitung.

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{Average Demand}}{\text{Peak Demand}} = \frac{149,20}{334,10} = 0,45$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Load Factor* pada Seluruh Penyulang GI Jajar.

No.	Penyulang	Area Layanan	LWBP	Av. LWBP	WBP	Av. WBP	<i>Average Demand</i>	<i>Peak Demand</i>	<i>Load Factor</i>
1.	JJR 01	Manahan	335,02	47,86	1.567,20	223,89	135,87	289,8	0,47
2.	JJR 02	Manahan, Kota	962,20	137,45	1.311,76	187,39	162,42	321,77	0,50
3.	JJR 04	Kota, Manahan	995,30	142,18	1.411,5	201,62	171,90	362,81	0,47
4.	JJR 11	Manahan, Kartasura	375,50	53,64	1.713,36	244,76	149,20	334,10	0,45
5.	JJR 06	Kota	735,80	105,11	1.302,40	186,05	145,58	264,06	0,55
6.	JJR 08	Manahan	295,30	42,18	664,55	94,93	68,55	188,78	0,36
7.	JJR 12	Manahan	366,70	52,38	992,77	141,82	97,10	197,50	0,49
8.	JJR 03	Manahan, Kartasura	743,60	106,22	1.678,76	239,82	173,02	315,70	0,54
9.	JJR 05	Kota, Manahan	927,70	132,52	2.197,83	313,97	223,24	407,55	0,54
10.	JJR07	Manahan	1279,35	182,76	1.724,04	246,29	214,52	354,88	0,60
11.	JJR 09	Kota, Manahan	988,33	141,19	2.466,06	352,29	246,74	454,33	0,54
12.	JJR 10	Manahan	638,37	91,19	1.896,20	270,88	181,03	316,78	0,57
Rata- Rata Total			720,26	102,89	1.577,20	226,14	164,51	317,30	0,50

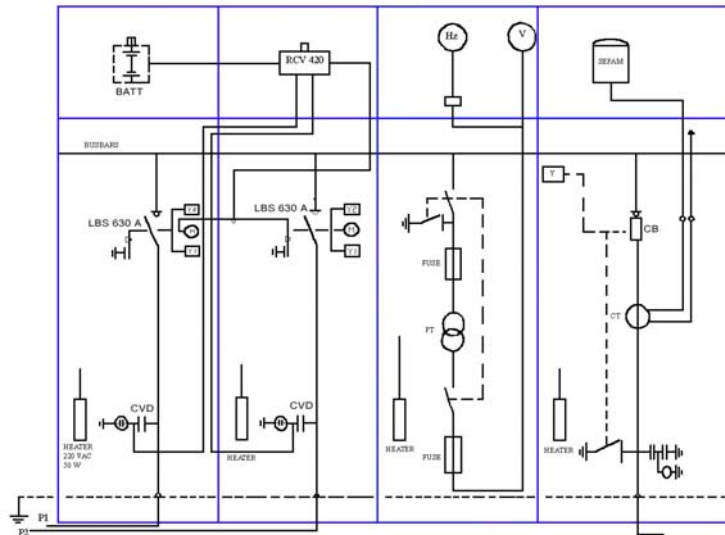
*Load Factor* tersebut adalah persentase faktor beban terhadap penyulang dari beban rata-rata dibagi dengan beban puncak, dalam *cubicle double incoming* akan terjadi perpindahan LBS penyulang normal ke LBS penyulang standby jika terjadi gangguan atau pemadaman. Pengaruh besar *load faktor* pada *cubicle* berhubungan dengan beban 2 penyulang yang dipasang di kedua *incoming*, jika *load faktor* pada penyulang 1 dan penyulang 2 sudah mencapai 0,8 atau lebih, maka pemakaian ATS di penyulang 1 dan penyulang 2 sudah tidak optimal lagi. Berikut adalah data pelanggan dengan daya kontrak diatas 1 MVA pada PLN APJ Surakarta yang di suplai dari Gardu Induk 150 kV Jajar.

Tabel 2. Data pelanggan PLN APJ Surakarta dengan daya kontrak diatas 1 MVA bulan Maret 2016.

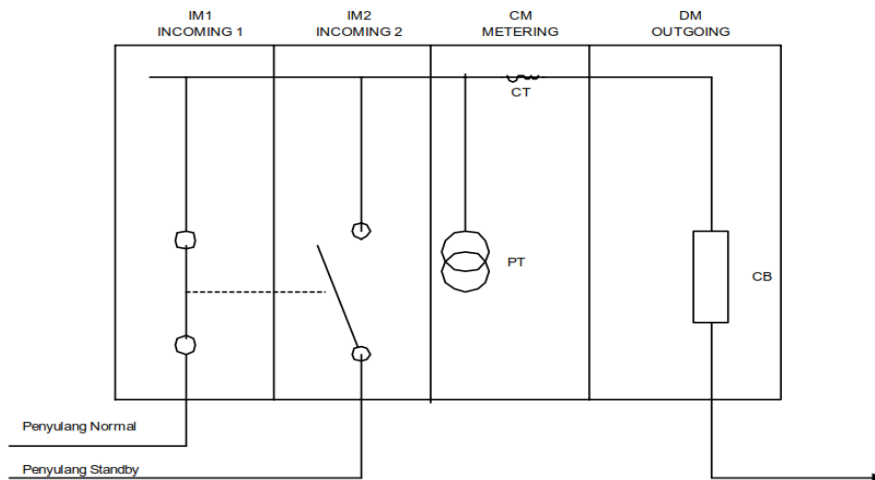
No.	Nama Pelanggan	Tarif	Daya (kVA)	Faktor Kali	Rayon
1.	Bandara Adi Soemarmo	B3	1730	2000	Kartasura
2.	PT. Assalam NU / Goro Assalam	B3	1110	1600	Kartasura
3.	PT. Duta Propertindo / Center Point	B3	2180	4000	Kota
4.	PT. Jakarta Intiland	B3	1385	1600	Kota
5.	PT. Solo Indah Dinamika / Solo Square Mall	B3	5540	8000	Kota
6.	Solo Grand Mall	B3	4330	6000	Kota
7.	Hotel Alana	B3	1730	2000	Manahan
8.	Hotel Alila	B3	3465	4000	Manahan
9.	Hotel Anom Sarana	B3	1385	2000	Manahan
10.	Hotel Anom Sarana II	B3	1110	2000	Manahan
11.	Hotel Sunan	B3	1110	1600	Manahan

Untuk pelanggan dengan daya kontrak diatas 201 KVA dikategorikan sebagai pelanggan Tegangan Menengah ( TM ). Pelanggan dengan daya kontrak kurang dari 1 MVA didefinisikan adalah pelanggan yang menggunakan *Cubicle Single Incoming* sedangkan untuk pelanggan dengan daya kontrak diatas 1 MVA menggunakan *cubicle double incoming*, hal ini dikarenakan pada pelanggan 1 MVA keatas membutuhkan keandalan suplai daya yang tinggi.

### 3.2 Penggunaan *Cubicle 20 kV Double Incoming* untuk penyulang 20 kV Gardu Induk 150 kV Jajar.



Gambar 4. Konstruksi *Single Line Cubicle 20 kV Double Incoming*.



Gambar 5. Skema Listrik ATS untuk Penyulang 1 dan Penyulang 2 *Cubicle 20 kV Double Incoming*.

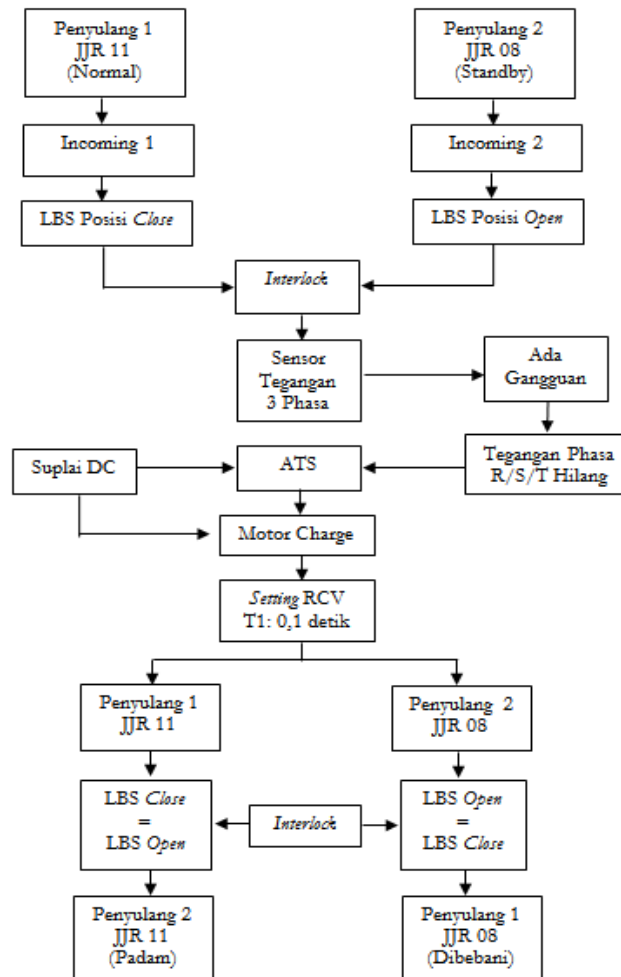
Dilihat dari segi konstruksi, *cubicle double incoming* terdiri dari tiga unit *cubicle* yaitu *cubicle incoming* tipe NSM, *cubicle metering*, dan *cubicle outgoing* yang masing-masing terhubung dengan bus 20 kV. Dimana jika terjadi gangguan dari penyulang utama, maka ATS akan bekerja dengan pindah dari *incoming 1* (penyulang normal) ke *incoming 2* (penyulang *standby*). Terdapat perangkat pengaman berupa relay sebagai pengatur pembatas untuk arus lebih dan sebagai proteksi terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah. Kecepatan ATS untuk pindah dari *incoming 1* ke *incoming 2* dapat diatur dengan waktu 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,5; 2 detik menggunakan RCV yang berupa *change over relay*. Dalam perencanaan kali ini ATS untuk pindah dari *incoming 1* ke *incoming 2* akan disetting 0,1 detik. Dengan setting 0,1 detik, diharapkan saat terjadi perpindahan suplai dari *incoming 1* ke *incoming 2* tidak akan menimbulkan kedipan listrik (*voltage sag*) yang besar terhadap beban penerangan, tetapi untuk mesin-mesin industri yang memerlukan tingkat presisi yang tinggi dalam waktu 0,1 detik.

*Cubicle Incoming* tipe NSM terdapat ATS yang dilengkapi dengan sistem *interlock* yang dimana kedua *incoming* akan saling mengunci dan tidak akan terparalel. *Cubicle double incoming* memerlukan dua penyulang sebagai suplai daya. Sensor

Tegangan pada ATS menggunakan *Capasitor Voltage Divider* (CVD) yang dipasangkan sebelum LBS disamping Trafo Tegangan. Untuk pengukuran digunakan *Cubicle Metering* (CM). Didalam cubicle metering terdapat *breaker* dan Trafo Tegangan (PT). Sensor yang digunakan adalah sensor 3 fasa di fasa R,S,T *Cubicle Outgoing* (DM) terdapat Trafo Arus (CT) dan *Air Circuit Breaker* (ACB) yang digunakan sebagai pengaman. Apabila ditinjau dari segi pelanggan yang berdaya kontrak diatas 1 MVA adalah adanya rasa aman kepada pelanggan. Pelanggan dapat merasa nyaman karena tersedianya suplai daya dari dua penyulang bila ada gangguan pada penyulang normal.

### 3.3 Perencanaan *setting* ATS kondisi normal dan gangguan pada penyulang 20 kV GI Jajar.

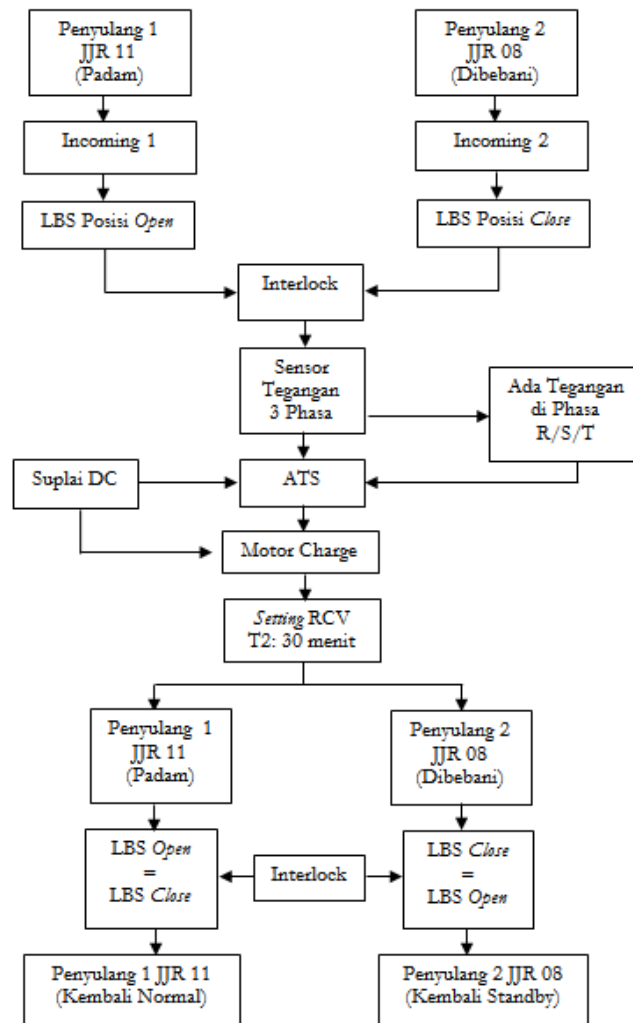
Perencanaan *setting* ATS yang akan diterapkan pada penyulang JJR 11 dan JJR 08 terlebih dahulu mempertimbangkan data besar beban pelanggan dan *load factor* pada seluruh penyulang di GI Jajar. Pelanggan PLN yang akan diterapkan dalam studi ini adalah pelanggan PT. Solo Indah Dinamika / Solo Square Mall yang daya konraknya sebesar 5540 kVA. Penyulang JJR 11 dan JJR 08 masih memungkinkan untuk diterapkan pada *cubicle double incoming* pada pelanggan tersebut. Dengan *load factor* pada penyulang JJR 11 sebesar 0,45 dan penyulang JJR 08 sebesar 0,36 yang berarti bahwa penyulang baru dibebani sebesar 45% dan 36%, persentase tersebut masih memungkinkan untuk saling mensuplai kebutuhan beban ketika terjadi gangguan di salah satu penyulang. Apabila penyulang yang mensuplai ke pelanggan ada gangguan maka tidak akan langsung padam tetapi hanya padam selama 0.1 detik untuk proses pindah dari penyulang JJR 11 ke penyulang JJR 08.



Gambar 5. Blok Diagram *Setting* ATS Saat Penyulang Normal Mengalami Gangguan.

Pada saat kondisi awal tidak terjadi gangguan, catu daya dari penyulang JJR 11 masuk ke *incoming* 1 dan penyulang JJR 08 masuk ke *incoming* 2. Posisi awal ATS adalah LBS *close* pada *incoming* 1. Karena penyulang JJR 11 mencatu daya ke *incoming* 1 dengan *setting* normal dan penyulang JJR 08 mencatu daya ke *incoming* 2 sebagai penyulang *standby*, maka penyulang JJR 11 akan bekerja terlebih dahulu, sedangkan penyulang JJR 08 akan bekerja apabila penyulang JJR 11 terjadi

gangguan. Apabila penyulang JJR 11 ada gangguan, maka penyulang JJR 08 sebagai penyulang *standby* akan bekerja untuk mensuplai daya ke pelanggan Solo Square Mall. Pelanggan Solo Square Mall disuplai tidak hanya dari penyulang JJR 11 saja, tetapi juga disuplai dari penyulang JJR 08 yang juga berasal dari GI Jajar.



Gambar 6. Blok Diagram *Setting* ATS Saat Salah Satu Penyulang Terganggu Kembali Normal.

Jika Penyulang JJR 11 ada gangguan pada fasa R atau S atau T maka sensor tegangan pada *incoming 1* akan mendeteksi adanya gangguan dengan tidak terdeteksinya tegangan pada fasa tersebut. Sensor tegangan dipasang pada fasa R,S,T (sensor tiga fasa), dimana sensor ini akan bekerja pada saat awal pengoperasian, saat penyulang JJR 11 ada gangguan pada salah satu fasa hingga trip penyulang JJR 08 yang sebagai penyulang *standby* akan mensuplai daya yang dibutuhkan pelanggan penyulang JJR 11, jika penyulang JJR 11 sudah tidak ada gangguan lagi selama minimal 30 menit., maka sensor tegangan bekerja berdasarkan pendeteksian tegangan pada *Capasitor Voltage Devider* (CVD) di fasa yang terdapat gangguan tersebut.

ATS akan disetting  $T1 = 0,1$  detik dan  $T2 = 30$  menit, pada saat pegas akan melepas LBS *incoming 1*, LBS pada *incoming 2* akan *close* karena adanya *interlock* antar LBS pada *incoming 1* dan *incoming 2*. Apabila sensor tegangan mendeteksi ada tegangan, kemudian motor charge untuk *incoming 2* yang dicatu oleh *battery* akan berputar untuk mengencangkan pegas. Pegas tersebut berfungsi untuk melepas LBS yang *close* pada *incoming 2*. ATS siap untuk melepas LBS yang *close* pada *incoming 2*. Jika penyulang JJR 11 sudah kembali normal selama 30 menit maka penyulang akan bekerja kembali dan penyulang JJR 08 pada posisi *standby*. Motor yang digunakan untuk menggerakkan LBS adalah jenis motor DC shunt sebab motor DC shunt mempunyai kecepatan yang konstan walaupun terjadi perubahan beban. Input tegangan untuk motor berasal dari *battery charger* sebesar 24 VDC.

### 3.4 Perhitungan Indeks Keandalan Konfigurasi Sitem pada Penyulang 20 kV GI Jajar.

Keandalan sistem dapat diklasifikasikan menurut konfigurasi sistem, khususnya konfigurasi jaringan. Konfigurasi tersebut lalu dihitung untuk memperoleh indeks frekuensi pemadaman rata-rata (f) dan indeks lama pemadaman rata-rata (d).

Tabel 3. Data Rekapitulasi Gangguan Penyulang Trip GI Jajar tahun 2013 – 2015 PLN APJ Surakarta.

No.	PENYULANG	JANUARI s.d DESEMBER 2013		JANUARI s.d DESEMBER 2014		JANUARI s.d DESEMBER 2015		Rata – Rata	
		kali (f)	lama (d)	kali (f)	lama (d)	kali (f)	lama (d)	kali (f)	lama (d)
1.	JJR 01	9	7,9	10	9,3	8	7,2	9,0	8,13
2.	JJR 02	11	10,7	4	2,5	14	11,8	9,7	8,33
3.	JJR 04	7	15,7	6	6,1	10	9,7	7,7	10,50
4.	JJR 11	6	5,7	10	8,1	3	3,6	6,3	5,80
5.	JJR 06	2	10,4	5	9,4	12	14,9	6,3	11,57
6.	JJR 08	3	19,1	10	5,1	4,1	13,0	5,7	12,40
7.	JJR 12	2	3,3	6	5,0	11	11,5	6,3	6,60
8.	JJR 03	8	8,5	6	9,3	15	20,9	9,7	12,90
9.	JJR 05	11	6,3	4	1,1	6	4,7	7,0	4,03
10.	JJR07	4	12,8	9	8,1	7	6,7	6,7	9,20
11.	JJR 09	6	17,3	7	8,5	13	16,5	8,7	14,10
12.	JJR 10	7	12,31	7	10,3	6	14,4	6,7	12,34

Standar indeks keandalan konfigurasi sistem yang dipakai dalam menentukan lama (d) dan kali (f) gangguan untuk penyulang sesuai dengan SPLN 68 – 2 : 1986 yaitu :

1. SUTM Radial : f = 3,2 kali / tahun, d = 21 jam / tahun.
2. SUTM Open Loop : f = 2,4 kali / tahun , d = 12,8 jam / tahun.
3. SKTM tanpa PPJD ( Pusat Pengaturan Jaringan Distribusi) : f = 1,2 kali / tahun, d = 4,36 jam / tahun.

Faktor Penyesuaian untuk Jawa – Bali, diperoleh bahwa untuk :

1. SUTM Radial : f = 3,2 kali / tahun, d = 21 jam / tahun. Dengan panjang standar yang dipakai 16 km.
2. SUTM Open Loop : f = 2,4 kali / tahun, d = 12,8 jam / tahun. Dengan panjang standar yang dipakai 16 km
3. SKTM tanpa PPJD (Pusat Pengaturan Jaringan Distribusi) : f = 1,2 kali / tahun, d = 4,36 jam / tahun. Dengan panjang standar yang dipakai 8 km.

Nilai yang diambil dalam penyesuaian perhitungan diambil dari indeks kepustakaan PLN dengan ratio gangguan tahunan standar ( $\lambda$  standar ) untuk SUTM dan SKTM masing – masing 0,2 dan 0,007 kali per kilometer.

Tabel 4. Perhitungan Ratio Gangguan ( $\lambda$ ) pada GI Jajar tahun 2013 – 2015 PLN APJ Surakarta

No	Ratio Gangguan ( $\lambda$ ) pada Penyulang GI Jajar (kali/km/tahun)		
	Tahun	Penyulang JJR 11	Penyulang JJR 08
1.	2013	0,321	0,168
2.	2014	0,305	0,211
3.	2015	0,315	0,219
Rata – Rata		0,313	0,199

Dari data perhitungan ratio gangguan rata-rata tahunan yang terjadi sepanjang tahun 2013 – 2015 diperoleh hasil untuk penyulang JJR 11 sebesar 0,313 dan JJR 08 sebesar 0,199. Nilai tersebut digunakan untuk perbandingan terhadap nilai standar PLN untuk menghitung indeks keandalan konfigurasi jaringan penyulang JJR 11 dan JJR 08. Perhitungan indeks keandalan konfigurasi untuk jaringan SUTM Radial untuk lama ( d ) dan kali ( f ) gangguan dipenyulang JJR 11 berdasarkan SPLN 68 – 2 : 1986, diperoleh :

$$f \text{ Penyulang JJR 11} = \frac{\text{km kenyataan}}{\text{km standart}} \times \frac{\lambda \text{ kenyataan}}{\lambda \text{ standart}} \times f \text{ standart}$$

$$= \frac{37 \text{ km}}{16 \text{ km}} \times \frac{0,31}{0,2} \times 3,2$$

$$= 11,47 \text{ kali/tahun}$$

$$d \text{ Penyulang JJR 11} = \frac{\text{km kenyataan}}{\text{km standart}} \times \frac{\lambda \text{ kenyataan}}{\lambda \text{ standart}} \times d \text{ standart}$$

$$= \frac{37 \text{ km}}{16 \text{ km}} \times \frac{0,31}{0,2} \times 21$$

$$= 75,27 \text{ jam / tahun}$$

Perhitungan indeks keandalan konfigurasi konfigurasi untuk jaringan SUTM Radial untuk lama ( d ) dan kali ( f ) gangguan dipenyulang JJR 08 berdasarkan SPLN 68 – 2 : 1986 , diperoleh :

$$f \text{ Penyulang JJR 08} = \frac{\text{km kenyataan}}{\text{km standart}} \times \frac{\lambda \text{ kenyataan}}{\lambda \text{ standart}} \times f \text{ standart}$$

$$= \frac{28 \text{ km}}{16 \text{ km}} \times \frac{0,19}{0,2} \times 3,2$$

$$= 5,32 \text{ kali/tahun}$$

$$d \text{ Penyulang JJR 08} = \frac{\text{km kenyataan}}{\text{km standart}} \times \frac{\lambda \text{ kenyataan}}{\lambda \text{ standart}} \times d \text{ standart}$$

$$= \frac{28 \text{ km}}{32 \text{ km}} \times \frac{0,19}{0,2} \times 21$$

$$= 34,91 \text{ jam / tahun}$$

Tabel 5. Perbandingan Standar Murni, Perhitungan Indeks Keandalan dan Data tahun 2013 – 2015.

No	Penyulang	Standar Murni		Perhitungan Indeks Keandalan		Data tahun 2013 – 2015	
		f (kali)	d (lama)	f (kali)	d (lama)	f (kali)	d (lama)
1.	JJR 11	3,2	21	11,47	75,27	6,3	5,8
2.	JJR 08	3,2	21	5,32	34,91	9,0	12,4

### 3.4 Perbandingan Keandalan Penggunaan *Cubicle Double Incoming* dengan *Cubicle Single Incoming*.

Untuk mengetahui banyak dan lamanya suatu gangguan pada suatu daerah dalam periode tertentu digunakan persamaan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System average Interruption Frequency Index*). Persamaan SAIDI digunakan untuk menghitung lamanya (*duration*) gangguan yang terjadi dan persamaan SAIFI digunakan untuk menghitung banyaknya gangguan yang terjadi. Perhitungan tersebut dapat dipakai untuk melihat indeks perbulan atau pertahun. Persamaan untuk SAIDI dan SAIFI adalah sebagai berikut dengan melihat data perbandingan antara *cubicle double incoming* setting normal dan *standby* dengan *cubicle single incoming* GI Jajar 3 tahun terakhir.

Berikut perhitungan SAIDI, SAIFI Penyulang JJR 11 untuk penggunaan *Cubicle Double Incoming* :

$$\text{SAIDI Penyulang JJR 11 dengan data tahun 2015} = \left( \frac{\sum \text{Durasi Jam} \times \text{Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan Area}} \right)$$

$$= \left( \frac{\sum 3,6 \times (0,1/3600 \times 15.561)}{5.187} \right)$$

$$= 0,0003 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$\text{SAIFI Penyulang JJR 11 dengan data tahun 2015} = \left( \frac{\text{Jumlah Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan Area}} \right)$$

$$= \left( \frac{2 \times (0,1/3600) \times 15.561}{5.187} \right)$$

$$= 0,0016 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

Berikut perhitungan SAIDI, SAIFI penyulang JJR 08 untuk penggunaan *Cubicle Double Incoming* :

$$\text{SAIDI Penyulang JJR 08 dengan data tahun 2015} = \left( \frac{\sum \text{Durasi Jam} \times \text{Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan Area}} \right)$$

$$= \left( \frac{\sum 13 \times (0,1/3600 \times 23.698)}{5.780} \right)$$

$$= 0,00148 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{SAIFI Penyulang JJR 08 dengan data tahun 2015} &= \left( \frac{\text{Jumlah Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan Area}} \right) \\ &= \left( \frac{2 \times (0,1/3600) \times 23.698}{5.780} \right) \\ &= 0,0022 \text{ kali/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

*Cubicle double incoming* dengan *setting* penyulang normal – *standby* membutuhkan waktu 0,1 detik untuk berpindah ke LBS penyulang *standby* agar tetap normal bila ada gangguan. Perencanaan dengan *setting* normal - *standby* juga memerlukan waktu jeda selama 30 menit untuk kembali ke penyulang normal apabila sudah tidak terdapat gangguan. Pelanggan akan mengalami padam singkat sebanyak 2 kali untuk satu kali gangguan dengan durasi 0,1 detik.

Tabel 6. Perbandingan Perhitungan SAIDI dan SAIFI *Cubicle Single Incoming* dengan Penerapan *Cubicle Double Incoming*.

No	Penyulang	<i>Cubicle Single Incoming.</i>								<i>Cubicle Double Incoming.</i>	
		Tahun 2013		Tahun 2014		Tahun 2015		Rata – Rata Tahun 2013-2015		Dengan Data Tahun 2015	
		SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
1.	JJR 11	2,85	6,0	6,75	10,0	0,90	3,0	3,5	6,33	0,00030	0,0016
2.	JJR 08	4,78	3,0	4,25	10,0	15,17	14,0	4,48	5,70	0,00148	0,0022

#### 4. PENUTUP

Berdasarkan analisis studi keandalan penggunaan *cubicle double incoming* di Gardu Induk 150 kV Jajar, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan *load factor* pada penyulang JJR 11 sebesar 0,45 dan pada penyulang JJR 08 sebesar 0,36 sehingga kedua penyulang masih layak untuk diterapkan sebagai penyulang normal dan penyulang *standby* pada *cubicle double incoming*.
2. Penggunaan *cubicle double incoming* difungsikan untuk peningkatan kualitas pelayanan distribusi listrik kepada pelanggan potensial diatas 1 MVA di area pelayanan PLN APJ Surakarta sehingga meminimalisir pemadaman daya listrik akibat faktor gangguan alam maupun pemeliharaan dari PLN.
3. Penggunaan *cubicle double incoming* dapat meningkatkan efektivitas pendistribusian energi listrik dari PT. PLN. Hal itu dapat dilihat dari frekuensi pemadaman yang akan berkurang kepada pelanggan dengan adanya penyulang *standby*.
4. Hasil Perhitungan indeks keandalan konfigurasi jaringan SUTM Radial untuk indeks lama rata-rata (d) dan indeks frekuensi pemadaman rata-rata (f) gangguan dipenyulang JJR 11 JJR 08 berdasarkan SPLN1986 diperoleh untuk (f) maksimal adalah 11,41 dan 5,32 dan untuk (d) maksimal adalah 75,27 dan 34,91 sedangkan pada data rata-rata 3 tahun terakhir (f) untuk JJR 11 dan JJR 08 6,3 dan 9,0, serta untuk (d) JJR 11 dan JJR 08 adalah 5,8 dan 12,4 sehingga indeks tersebut masih dikategorikan baik dan memenuhi standar.
5. Penerapan *cubicle double incoming* pada penyulang GI Jajar dapat menaikkan efektifitas SAIDI pada penyulang 20 kV JJR 11 dan JJR 08 milik GI Jajar dari data rata-rata tahun 2013-2015 dimana SAIDI JJR 11 yang semula 3,5 jam/pelanggan/tahun menjadi 0,0003 jam/pelanggan/tahun dan JJR 08 dari 4,48 jam/pelanggan/tahun menjadi 0,0014 jam/pelanggan/tahun, sedangkan untuk SAIFI pada penyulang JJR 11 dari semula 6,33 kali/pelanggan/tahun menjadi 0,0016 kali/pelanggan/tahun dan JJR 08 dari 5,70 kali/pelanggan/tahun menjadi 0,0022 kali/pelanggan/tahun.



## PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan ridho-Nya dan juga Rasulullah SAW sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terimakasih yang pertama penulis berikan kepada kedua Almarhum Ibuk dan Bapak atas cinta dan kasih sayangnya yang tulus hingga akhir hayatnya, serta adikku Genis Dwi Gustati amanah dari Ibuk yang akan selalu aku jaga selamanya. Kedua, penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Ir. Jatmiko, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan dalam penelitian tugas akhir ini. Yang terakhir, penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Winarso, Bapak Rudi Wahono, Mas Lingga dan Mbak Putri dan seluruh jajaran staff GI 150 kV Jajar Surakarta, PT. PLN (Persero) baik di APJ maupun di APP yang telah membantu dalam pengambilan data dan penelitian yang dilakukan oleh penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basri., Ahmad. 1997. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Bhoumick, N.P., Hubert, Charles. 2013. *Prepventive Maintenance of Substation and Equipment*. Journal of Power Electronics and Drive System, 4, 15-18.
- Disyon. 2008. *Analisa Keandalan Sistem Distribusi Dengan Metode RLA (Reliability Index Assesment)*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro. Universitas Kristen Petra.
- Gusti Putu.A., Nithya, Rukmi, Sari., 2015. *Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus Dengan Menggunakan Penggabungan Metode Section Tecknique dan RLA*. Directory of Open Access Journal, 2, 1-5.
- Hendy, A. Susanto, 2004. *Studi Perencanaan Setting ATS Penyulang 1 Penyulang 2 terhadap Optimalisasi Pembebanan Pelanggan Potensial di PLN Distribusi Jawa Timur*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro. Universitas Kristen Petra.
- Moelyono, Nono. 2003. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1,153-155.