

Analisa Beban *Section* untuk Menentukan Alternatif Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang BRG-3 PT PLN (Persero) Unit Layanan Salatiga

Akhmad Jamaah

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang
E-mail : akhmadjamaah@yahoo.com

Abstrak

Keandalan suatu sistem tenaga listrik berkaitan dengan kualitas dan kontinuitas penyaluran dayanya. Kualitas listrik diukur berdasarkan dua hal, yaitu tegangan dan frekuensi. Sedangkan kontinuitas penyaluran daya listrik ditandai dengan pasokan daya yang terus menerus atau dengan kata lain meminimalisir pemadaman. Salah satu yang berpengaruh di dalam kontinuitas penyaluran daya listrik adalah pemilihan jenis konfigurasi jaringan. Konfigurasi Radial yang sederhana dianggap tidak dapat memenuhi keandalan suatu sistem distribusi oleh karena itu dibuat bentuk variasinya berupa Konfigurasi Loop (SPLN No.59 Tahun 1985). Konfigurasi Loop merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan di pasang sebuah saklar (switch) berupa ABSW atau LBS. Untuk meningkatkan keandalan suatu jaringan, sebuah penyulang dipisahkan ke dalam bagian-bagian tertentu yang disebut dengan section. Section merupakan suatu daerah yang dibatasi oleh peralatan pemisah seperti ABSW, LBS, maupun Recloser. Section berfungsi untuk meminimalisir daerah padam saat dilakukan manuver jaringan. Manuver jaringan merupakan serangkaian kegiatan modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan/pekerjaan jaringan sehingga tetap tercapainya kondisi penyaluran tenaga listrik yang maksimal. Di dalam melakukan manuver jaringan perlu diperhatikan kapasitas peralatan jaringan berkaitan dengan beban maksimal yang dapat dipikul, seperti PMT dan Recloser. Selain itu, di dalam melakukan manuver direkomendasikan untuk memilih penyulang dengan rugi-rugi saluran paling kecil sehingga daerah padam dapat diminimalisir namun kualitas listrik tetap dapat dipertahankan. Bagi penyulang BRG-3 terdapat alternatif yang berbeda untuk setiap kondisi section yang padam. Jika section-section yang berada pada zone 1 atau daerah sepanjang PMT hingga Recloser pertama padam, urutan alternatif manuvernya melalui penyulang BRG-7, BRG-1 dan BRG-2. Sedangkan jika zone 2 padam, urutan alternatif manuvernya melalui penyulang BRG-1, BRG-4 dan BRG-2.

Kata kunci: keandalan, konfigurasi jaringan, manuver

Abstract

An electricity power system reliability is related with quality and continuity of power distribution. Power quality has two parameter control, they are voltage and frequency. Continuity of electrical power distribution is showed with continuous power supply or minimum power outages. The continuity of electrical power distribution depend on network configuration. The simple Radial configuration is not suitable again to fulfill reliability of a distribution system, so it was created a variant form with Loop Configuration (SPLN 59 of 1985). Loop Configuration is a combination of two radial network structure, and it put the ends. To improve the reliability of a network, a feeder separated into specific parts called sections. Section is an area bounded by separating equipment such as ABSW, LBS, and Recloser. Section serves to minimized carried out when the maneuver area network. Maneuver network is a series of modifications to the normal operating activities of the network due to a disturbance / work network so that it remains the achievement of conditions that the maximum electrical power supply. The applying maneuver consider of network equipment setting with the maximum load that can be carried, such as PMT and Recloser. Moreover, in the maneuvering recommended to choose feeders with smallest losses so outages section can be minimized and get good quality power. BRG-3 feeder has different alternatives for each condition were outages section. If the outages section located at zone 1 or the area along the PMT to first Recloser, alternative sequences maneuver through feeder BRG-7, BRG-1 and BRG-2. Whereas if zone 2 is off, maneuvering through feeders alternative sequence BRG-1, BRG-4 and BRG-2.

Keywords : Reliability, Maneuver, Network Configurat

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manuver jaringan adalah kegiatan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan/pekerjaan jaringan sehingga tetap tercapainya kondisi penyaluran tenaga listrik yang maksimal. Untuk melakukan manuver jaringan diperlukan peralatan pemisah dan penghubung (*switching*) antar penyulang. Peralatan yang berfungsi sebagai saklar (*switching*) ini berupa ABSW (*Air Break Switch*) atau LBS (*Load Break Switch*). Dengan mengoperasikan ABSW NO (*Normaly Open*) atau LBS NO, konfigurasi penyulang yang semula *Radial* akan berubah menjadi *Loop*. Sedangkan ABSW NC (*Normaly Close*) atau LBS NC berfungsi untuk memisahkan beban ke dalam suatu jarak tertentu (*section*). Tujuannya untuk mempermudah melokalisir apabila terjadi gangguan, sehingga tidak meluas ke jaringan yang dibelakangnya.

Manuver jaringan merupakan langkah penting dalam pengoperasian sistem distribusi tenaga listrik. Mengingat pentingnya kegiatan ini maka operator distribusi harus dapat mengambil tindakan dengan cepat dan tepat dalam melakukan manuver jaringan. Pertimbangan operator saat manuver jaringan distribusi, adalah memperhatikan rugi-rugi yang akan timbul akibat dari manuver tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alternatif-alternatif manuver jaringan apa saja yang dapat dilakukan jika dikehendaki memanuver jaringan penyulang BRG-3. Perhitungan dilakukan secara manual maupun menggunakan *software* ETAP untuk memperoleh pertimbangan yang tepat saat dilakukan manuver jaringan BRG-3.

1.2 Tinjauan Pustaka

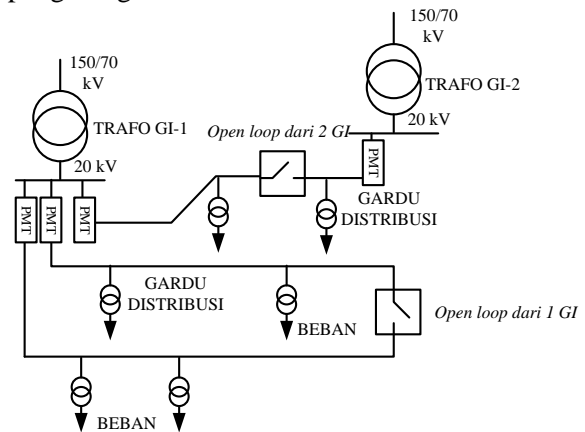
1.2.1 Konfigurasi Jaringan Loop

Konfigurasi jaringan *loop* merupakan jaringan dengan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan *Ring*. Konfigurasi *Loop* merupakan variasi dari konfigurasi radial. Susunan rangkaian saluran membentuk *ring*, yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena *drop* tegangan dan rugi daya saluran lebih kecil.

a. Open Loop

Konfigurasi Jaringan *Open Loop* (lihat Gambar 1) merupakan pengembangan dari sistem *Radial*, sebagai akibat diperlukannya keandalan

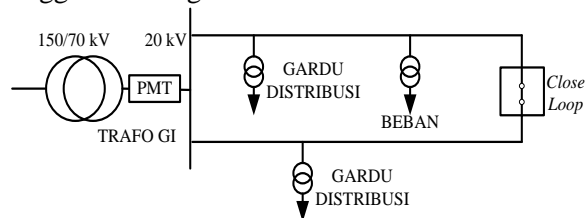
yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasang oleh satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu sistem di sisi tegangan tinggi karena hal ini diperlukan untuk memudahkan manuver beban pada saat terjadi gangguan atau kondisi-kondisi pengurangan beban.



Gambar 1 Konfigurasi Jaringan *Open Loop*

b. Close Loop

Konfigurasi Jaringan *Close Loop* (lihat Gambar 2) digunakan untuk jaringan yang dipasang dari satu gardu induk, memerlukan sistem proteksi yang cukup rumit biasanya menggunakan rele arah (*directional relay*). Sistem ini mempunyai kehandalan yang lebih tinggi dibandingkan sistem radial.



Gambar 2 Konfigurasi Jaringan *Close Loop*

1.2.2 Kualitas Daya Listrik

Ada 2 (dua) hal yang menjadi ukuran mutu listrik yaitu tegangan dan frekuensi.

Tegangan pelayanan ditentukan oleh [5]:

- Batasan toleransi tegangan, pada konsumen TM adalah $\pm 5\%$, sedangkan pada konsumen TR maksimum $+5\%$ dan minimum -10% .
- Keseimbangan tegangan pada setiap titik sambungan.
- Kedip akibat pembebanan sekecil mungkin.
- Hilang tegangan sejenak akibat manuver secepat mungkin.

Sedangkan untuk frekuensi batasan yang diijinkan adalah batas toleransi frekuensi adalah $\pm 1\%$ dari frekuensi standar 50 Hz.

1.2.3 Keandalan penyaluran tenaga listrik

Sebagai indikator penyaluran adalah angka lama dan atau seringnya pemadaman pada pelanggan yang disebut dengan angka SAIDI dan SAIFI. Angka lama padam SAIDI (*system Average Interruption Duration Index*) [1]

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah durasi gangguan pelanggan}}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

keterangan :

U_i = Lama waktu gangguan rata-rata unit (menit)

N_i = Jumlah pelanggan pada satu titik

Angka sering padam SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) [1]

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah gangguan pelanggan}}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N}$$

keterangan:

λ_i = Laju kegagalan unit (kali)

N_i = Banyak pelanggan pada satu titik

$\sum N$ = Jumlah pelanggan

Semua perusahaan penyedia listrik besar akan berusaha untuk menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI dari pelayanan penyaluran energi listriknya, sehingga dapat memenuhi standarisasi perusahaan dengan tingkat kelas dunia yaitu dengan angka SAIDI 100 menit/pelanggan/tahun dan SAIFI 3 kali/pelanggan/tahun.

1.2.4 Manuver Jaringan Distribusi

Manuver/manipulasi jaringan adalah serangkaian kegiatan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan/pekerjaan jaringan sehingga tetap tercapainya kondisi penyaluran tenaga listrik yang maksimal atau dengan kata lain yang lebih sederhana adalah mengurangi daerah pemadaman.

Kegiatan yang dilakukan dalam manuver :

- a. Memisahkan bagian-bagian jaringan yang semula terhubung dalam keadaan bertegangan/tidak bertegangan.
- b. Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya dalam keadaan bertegangan/ tidak bertegangan.

Optimalisasi atas keberhasilan manuver dari segi teknis ditentukan oleh konfigurasi jaringan dan peralatan manuver yang tersedia di sepanjang jaringan. Peralatan jaringan yang dimaksud adalah peralatan pemutus dan penghubung yang

terdiri dari berbagai macam seperti PMT, ABSW, *Recloser*, LBS, FCO, *Sectionalizer*. Masing-masing peralatan manuver ini memiliki spesifikasi dan fungsi kerja yang berbeda-beda.

1.2.5 Rugi-Rugi Jaringan Distribusi Primer

Rugi-rugi atau *losses* dapat diartikan sebagai selisih antara energi listrik yang disalurkan dengan energi yang diterima. Terjadinya rugi-rugi ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti jauhnya daerah penyaluran tenaga listrik dari sumber/suplai, ketidakseimbangan beban, umur peralatan, ukuran dan jenis penghantar, dan sebagainya.

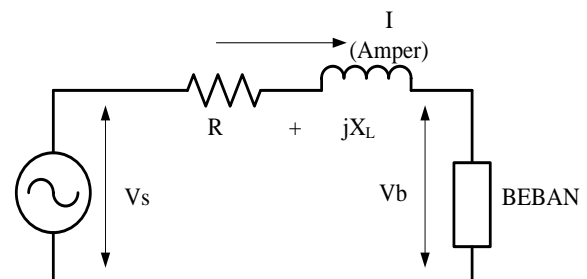
Rugi-rugi energi tersebut tidak dapat dihilangkan sepenuhnya namun bisa diminalkan (direduksi). Kerugian pada sistem tenaga listrik dari pembangkit hingga ke konsumen diperkirakan ± 14% dari total daya pembangkitan, kerugian tersebut terdiri dari 3% susut transmisi dan 11% susut distribusi. Pada tabel 1 disampaikan prosentase kerugian daya yang diijinkan pada saluran distribusi.

TABEL 1
KERUGIAN DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK [2]

Distribution System	Losses at Full Load
Cable	1% - 4%
Transformer	0,4% - 3%
Capasitors	0,5% - 2%
Low Voltage Switchgear	0,13% - 0,34%
Busbar	0,05% - 0,5%
Motor Control Centers	0,01%-0,4%
Medium Voltage Switchgear	0,006% - 0,02%
Load Break Switches	0,003%-0,025%
Outdoor Circuit Breaker	0,002%-0,015%

1.2.6 Perhitungan Jatuh Tegangan

Untuk mempermudah dalam menghitung jatuh tegangan digunakan diagram beban satu garis seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Rangkaian Beban

Nilai jatuh tegangan yang disebabkan oleh penghantar dipengaruhi oleh besarnya arus dan impedansi penghantar ($V=I.Z$), dimana $Z = R+jX = Z \angle \theta_C$ dan nilai arus (I) tertinggal terhadap tegangan (V_b) sebesar " θ_L " seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Besar sudut " θ_L " adalah sudut pada faktor beban = $\cos \theta_L$.

Sehingga diperoleh persamaan [3]:

$$V_D = I \angle -\theta_L \times Z \angle \theta_C$$

atau,

$$V_D = I (R \cos \theta_L + X \sin \theta_L)$$

Dengan demikian besarnya tegangan beban:

$$V_b = V_S - I (R \cos \theta_L + X \sin \theta_L)$$

keterangan :

V_S = Tegangan sumber (Volt)

V_b = Tegangan pada beban (Volt)

V_D = Tegangan Drop (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi penghantar (ohm)

X = Reaktansi penghantar (ohm)

1.2.7 Perhitungan Rugi Daya

Untuk menghitung rugi daya pada suatu saluran, secara sederhana dapat dijelaskan dengan rumus [3] :

Persamaan rugi daya 3 fasa :

$$P_{Losses(3ph)} = P_{Losses(R)} + P_{Losses(S)} + P_{Losses(T)}$$

$$Q_{Losses(3ph)} = P_{Losses(R)} + P_{Losses(S)} + P_{Losses(T)}$$

Untuk sistem 3 fasa 4 kawat dengan beban tidak seimbang, persamaan rugi daya adalah sebagai berikut :

$$P_{Losses(3ph)} = P_{Losses(R)} + P_{Losses(S)} + P_{Losses(T)} + P_{Losses(N)}$$

$$Q_{Losses(3ph)} = P_{Losses(R)} + P_{Losses(S)} + P_{Losses(T)} + P_{Losses(N)}$$

keterangan:

$P_{Losses(3ph)}$ = Rugi daya aktif (Watt)

$Q_{Losses(3ph)}$ = Rugi daya reaktif (VAR)

1.2.8 Pelimpahan Beban Penyulang

Pada saat melakukan manuver jaringan distribusi yang disebabkan karena pekerjaan pemeliharaan atau gangguan, untuk meminimalisir daerah padam pada suatu penyulang, maka beberapa beban yang tidak termasuk ke dalam seksi/daerah gangguan akan dimanuver ke penyulang lain agar tetap memperoleh pasokan energi listrik. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada saat melakukan pelimpahan beban antara lain :

- Urutan fasa antar penyulang harus sama
- Tegangan antar penyulang harus sama
- Setting peralatan penyulang seperti *Recloser* dan PMT
- KHA Penghantar

1.2.9 Software Simulasi Sistem Tenaga Listrik

Software simulasi sistem tenaga listrik digunakan untuk melihat bagaimana kinerja suatu sistem tenaga listrik pada kondisi sebenarnya yang dituangkan dalam sebuah program aplikasi. Pada software simulasi tenaga listrik ini, dapat dibuat duplikasi suatu sistem tenaga listrik dengan memasukkan parameter-parameter yang sama dengan kondisi sebenarnya. Software aplikasi beroperasi secara independen tanpa terhubung langsung dengan peralatan sistem tenaga listrik yang sebenarnya, sehingga bisa dilakukan perubahan-perubahan variabel tertentu tanpa mempengaruhi kinerja peralatan yang sebenarnya [4].

Manfaat dari penggunaan software simulasi sistem tenaga listrik adalah dapat digunakan sebagai salah satu alat bantu untuk mempercepat akurasi perhitungan parameter jaringan secara teknis. Jika sistem yang dianalisis merupakan sistem dalam skala besar, akan memerlukan waktu yang lebih lama jika harus dihitung secara manual, dibandingkan dengan menggunakan software simulasi. Dengan demikian hal tersebut dapat mempermudah di dalam analisa data jaringan.

II. METODE PENELITIAN

Metoda penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah dengan koparasi dan evaluasi antara data existing dengan data perhitungan ulang sehingga diperoleh alasan yang tepat ketika akan dilakukan kegiatan manuver jaringan pada penyulang BRG-3.

2.1 Alat Penelitian

Alat-alat penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Amp Stik merk Sensor Link

Alat ini dipergunakan untuk mengukur arus yang melalui suatu penghantar per-*section* pada saluran Tegangan Menengah.



Gambar 3 Amp Stik

2. Komputer/laptop dipergunakan untuk melakukan simulasi software ETAP.
3. Seluruh peralatan pada jaringan pada penyulang BRG-3, termasuk konduktornya.

2.2 Jalannya Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini langkah-langkah yang ditempuh adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan Data
 - a. Mengumpulkan data existing konduktor, peralatan proteksi, penyetelan proteksi pada penyulang BRG-3
 - b. Mengukur arus beban dan factor daya setiap section (lihat Gambar 4).



Gambar 4 Pengukuran Beban per-Section

2. Penyajian Data
 - a. Menampilkan data existing.
 - b. Menampilkan data pengukuran arus dan factor daya.
3. Analisis Data dan Perhitungan
 - a. Menentukan metoda perhitungan jaringan sistem tenaga listrik.
 - b. Menganalisa hasil perhitungan dengan kondisi existing.
 - c. Menentukan alternatif manuver jaringan yang paling tepat.
4. Membuat kesimpulan penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data Existing

Wilayah yang dilayani PT PLN (Persero) Unit Layanan Salatiga disuplai dari 4 Gardu Induk (GI), yaitu GI Bringin, GI Bawen, GI Ungaran, GI Pudak Payung. Gardu Induk Bringin memiliki 2 buah trafo daya dengan kapasitas masing-masing Trafo I sebesar 60 MVA dan Trafo II sebesar 30 MVA. Pada Trafo I terbagi menjadi 5 penyulang yaitu Bringin-1(BRG-1), Bringin-2 (BRG-2), Bringin-3 (BRG-3), Bringin-4 (BRG-4) dan Bringin-5 (BRG-5), sedangkan Trafo II

terbagi menjadi 3 penyulang yaitu Bringin-6 (BRG-6), Bringin-7 (BRG-7) dan Bringin-8 (BRG-8).

Penyulang BRG-3 beroperasi dengan konfigurasi radial pada saat kondisi normal dan beroperasi dengan konfigurasi *Loop* pada saat gangguan atau pemeliharaan. Untuk konfigurasi *Loop* BRG-3, dapat dimanuver dari penyulang BRG-1, BRG-2, BRG-4 dan BRG-7. Khusus untuk BRG-7 hanya digunakan pada saat pemeliharaan trafo daya GI, karena penyulang BRG-7 diprioritaskan untuk pelanggan besar yaitu PT Kievit Indonesia.

Dalam melakukan manuver jaringan penyulang BRG-3 ada beberapa hal yang dijadikan pertimbangan pada saat pelimpahan beban yaitu data setting PMT penyulang, beban tiap *zone* pada penyulang BRG-1, BRG-2, BRG-4, beban *section* BRG-3, serta memperhatikan rugi-rugi dari masing-masing penyulang yang dimanuver ke BRG-3.

a. Data Setting PMT dan Recloser

Agar saat melakukan manuver jaringan dapat berjalan dengan tepat maka, data berikut sangat diperlukan (lihat Tabel 2 s/d Tabel 10).

TABEL 2
SETTING RELAI PENYULANG BRG-1

Karakteristik OCR	Karakteristik GFR
$I > 480 \text{ A}$	$I_o > 180 \text{ A}$
$I \gg 4500 \text{ A}$	$I \gg 3900 \text{ A}$
Curve Standard Inverse	Curve Standard Inverse
Tms 0,18	Tms 0,25
$t \gg 0,10 \text{ s}$	$t_o \gg 0 \text{ s}$

TABEL 3
SETTING RECLOSER PENYULANG BRG-1

Penyulang BRG-1	No. Tiang		
	SA1-33/5Z	SA1-96	SA1-76/71
Merk	NOVA	SHINSUNG	ABB
OCR			
$I >$	350 A	200 A	150 A
$I \gg$	2100 A	1600 A	750 A
Kurva	S.I	S.I	S.I
Tms	0,12	0,10	0,05
GFR			
$I_o >$	125 A	100 A	100 A
$I_o \gg$	1000 A	800A	500 A
Kurva	S.I	S.I	S.I
Tms	0,10	0,10	0,05

TABEL 4
SETTING RELAI PENYULANG BRG-2

Karakteristik OCR	Karakteristik GFR
$I > 480 \text{ A}$	$I_o > 180 \text{ A}$
$I \gg 4500 \text{ A}$	$I_o \gg 3900 \text{ A}$
Curve Standard Inverse	Curve Standard Inverse
Tms 0,18	Tms 0,25
$t \gg 0,10 \text{ s}$	$t_o \gg 0 \text{ s}$

TABEL 5
SETTING RECLOSER PENYULANG BRG-2

Penyulang BRG-2	No. Tiang		
	SA2-64	SA2-175/7	SA2-224/7
Merk	ENTEC	ABB	SHINSUNG
OCR			
I>	400 A	150 A	200 A
I>>	2400 A	1200 A	1000 A
Kurva	S.I	V.I	S.I
Tms	0,15	0,03	0,05
GFR			
Io>	150 A	100 A	100 A
Io>>	1200 A	600A	500 A
Kurva	S.I	V.I	S.I
Tms	0,15	0,03	0,05

TABEL 9
DATA SETTING RECLOSER PENYULANG BRG-4

Penyulang BRG-4	No. Tiang		
	SA4-63/C	SA4-64	SA2-105/45
Merk	COOPER	NOVA	ENTEC
OCR			
I>	200 A	300 A	200 A
I>>	2000 A	2100 A	1400 A
Kurva	S.I	S.I	S.I
Tms	0,10	0,10	0,05
GFR			
Io>	100 A	150 A	100 A
Io>>	1000 A	10500A	500 A
Kurva	S.I	S.I	S.I
Tms	0,10	0,10	0,05

TABEL 6
SETTING RELAI PENYULANG BRG-3

Karakteristik OCR	Karakteristik GFR
I > 480 A	Io>180 A
I >> 4500 A	Io>>3900 A
Curve Standard Inverse	Curve Standard Inverse
Tms 0,18	Tms 0,25
t >> 0,10 s	to >> 0 s

TABEL 10
SETTING RELAI PENYULANG BRG-7

Karakteristik OCR	Karakteristik GFR
I > 480 A	Io> 180
I >> 2760	I>> 2040
Curve Standard Inverse	Curve Standard Inverse
Tms 0,23	Tms 0,26
t >> 0,10 s	to >> 0 s

TABEL 7
SETTING RECLOSER PENYULANG BRG-3

Penyulang BRG-3	No. Tiang			
	SA3-24/17	SA3-24/107	SA3-153/2	SA3-24/155
Merk	NOVA	ABB	NOVA	SHINSUNG
OCR				
I>	350 A	300 A	250 A	200 A
I>>	2450 A	2100 A	1750 A	1500 A
Kurva	S.I	S.I	S.I	S.I
Tms	0,15	0,12	0,05	0,05
GFR				
Io>	140 A	125 A	100 A	100 A
Io>>	1260 A	875A	600 A	750 A
Kurva	S.I	S.I	S.I	S.I
Tms	0,15	0,1	0,05	0,05

TABEL 8
SETTING RELAI PENYULANG BRG-4

Karakteristik OCR	Karakteristik GFR
I > 480 A	Io>180 A
I >> 4500 A	Io>> 3900 A
Curve Standard Inverse	Curve Standard Inverse
Tms 0,18	Tms 0,25
t >> 0,10 s	to >> 0 s

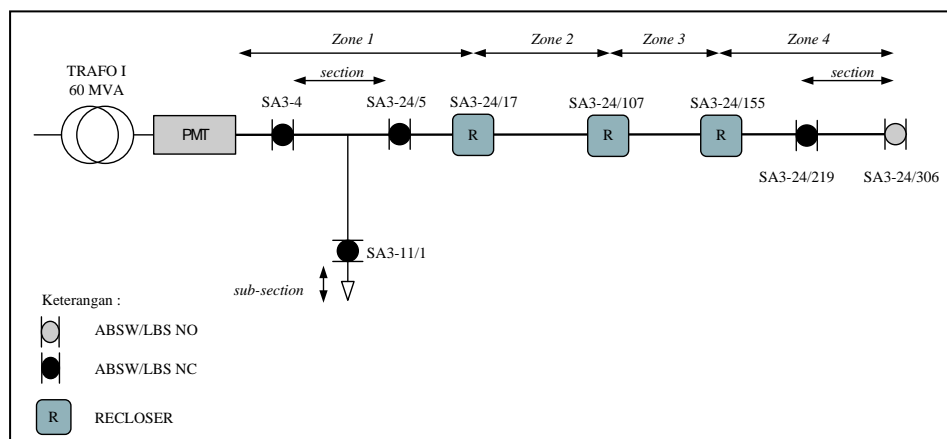
b. Panjang Jaringan Penyulang

Jaringan yang digunakan penelitian ini (lihat Gambar 5) merupakan jaringan utama 3 fasa (*main feeder*) distribusi primer, yaitu *zone*, *section*, *sub-section*. *Zone* adalah daerah yang dibatasi oleh PMT dengan *Recloser* atau *Recloser* dengan *Recloser*. *Section* adalah daerah yang dibatasi oleh peralatan *switching* seperti ABSW, LBS, *Recloser* yang berada pada *main feeder*. *Sub-section* adalah daerah percabangan pada sebuah *section*.

Data yang dibutuhkan untuk menghitung rugi saluran distribusi adalah panjang jaringan distribusi, arus dan factor daya, hasil pengukuran disajikan pada Tabel 11.

c. Data Pengukuran Beban Section Penyulang

Pengukuran beban penyulang dilakukan pada peralatan hubung seperti LBS, ABSW, dan *Recloser*. Beban yang terukur adalah beban dari titik pengukuran sampai ke ujung jaringan (lihat Tabel 12 dan Tabel 13).



Gambar 5 Klasifikasi Wilayah Jaringan Distribusi Primer

TABEL 11
PANJANG ZONE PENYULANG BRG-1

BRG-1				Panjang Jaringan [km]
Zone 1	PMT	s/d	SA1-96 dan SA1-33/5Z	8,64
Zone 2a	SA1-96	s/d	SA1-159	10,5
Zone 2b	SA1-33/5Z	s/d	SA1-76/71	15,3
Zone 3	SA1-76/71	s/d	SA1-11/78	4,86
BRG-2				Panjang Jaringan [km]
Zone 1	PMT	s/d	SA2-64	4,5
Zone 2	SA2-64	s/d	SA2-175/7 dan SA2-224/7	14,94
Zone 3a	SA2-175/7	s/d	SA2-33/134	9,6
Zone 3b	SA2-244/7	s/d	SA2-42/123	9,48
BRG-3				Panjang Jaringan [km]
Section 1	PMT	s.d.	SA3-4	0,24
Section 2	SA3-4	s.d.	SA3-24/5	1,56
Section 3	SA3-24/5	s.d.	SA3-24/17	0,72
Section 4	SA3-24/17	s.d.	SA3-24/51	2,7
Section 5	SA3-24/51	s.d.	SA3-24/69	1,38
Section 6	SA3-24/69	s.d.	SA3-24/107	2,46
Section 7	SA3-24/107	s.d.	SA3-24/155 dan SA3-153/2	3,36
Section 8	SA3-24/155	s.d.	SA3-24/219	3,84
Section 9	SA3-219	s.d.	SA3-24/306	5,52
Section 10	SA3-153/2	s.d.	SA2-163/48	0,3
Section 11	SA2-163/48	s.d.	SA2-163/1	2,82
Sub-section 1	SA3-11/1	s.d.	SA3-11/14	0,78
Sub-section2	SA2-73/30	s.d.	SA2-73/3	1,62
Sub-section3	SA3-84/3	s.d.	SA3-8/10A	0,96
Sub-section4	SA3-284A/4	s.d.	SA3-284A/56	3,12
BRG-4				Panjang Jaringan [km]
Zone 1	PMT	s/d	SA4-64 dan SA4-63/C	3,84
Zone 2a	SA4-64	s/d	SA2-105/45	9,36
Zone 2b	SA4-63/C	s/d	SA2-63Z/132A	9,96
Zone 3	SA2-105/45	s/d	SA2-105/297	15,12
BRG-7				Panjang Jaringan [km]
Section 1	PMT	s/d	SA7-2	0,12
Section 2	SA7-2	s/d	SA7-97	5,7
Section 3	SA7-97	s/d	SA7-99	0,12

TABEL 12
PENGUKURAN BEBAN SECTION

Penyulang	No. Tiang	Peralatan	I [A]		
			R	S	T
BRG-1	GI Bringin	PMT BRG-1	266	238	276
	SA1-5	LBS	265,7	237,6	275,5
	SA1-33/5Z	Recloser	70	45,7	76,7
	SA1-96	Recloser	69,7	67,8	26,9
	SA1-76/71	Recloser	37	19	50
BRG-2	GI Bringin	PMT BRG-1	239	257	245
	SA2-5	ABSW	238,5	256,7	244,7
	SA2-64	Recloser	207	230	221
	SA2-175/7	Recloser	39,5	56	48,8
BRG-3	SA2-224/7	Recloser	19	20	37
	GI Bringin	PMT BRG-3	256,4	274,5	265,45
	SA3-4	LBS	256	274	265
	SA3-11/1	ABSW	4,1	8,1	5,5
	SA3-24/5	LBS	248	259	254
	SA3-24/17	Recloser	246	253	251
	SA3-24/51	ABSW	221	242	231
	SA3-24/69	LBS	183	216	184
	SA3-84/3	ABSW	21,3	26,6	19,4
	SA3-24/107	Recloser	136	151	142
	SA3-24/219	ABSW	62	78	82
	SA3-153/2	Recloser	38,9	42,8	36,8
	SA3-24/155	Recloser	81	98	99
	SA3-285A/4	ABSW	5,1	33,2	5,7
	SA2-163/48	ABSW	32,8	32,9	32,1
SA3-120/1	ABSW	0	0	0	
SA2-73/30	LBS	26,4	24,1	36,4	
BRG-4	GI Bringin	PMT BRG-4	275	261	261
	SA4-5	LBS	274	260,4	259,3
	SA4-64	Recloser	197	184	175
	SA4-63C	Recloser	46,1	38,2	45,4
BRG-7	SA2-105/45	Recloser	60	67,2	64,9
	GI Bringin	PMT BRG-7	37,9	37,2	38,1
	SA7-2	ABSW	37,7	36,9	37,7
	SA7-97	ABSW	35,4	35,2	36,5

TABEL 13
FAKTOR DAYA ZONE PENYULANG BRG-1

BRG-1				cos θ_L
Zone 1	PMT	s/d	SA1-96 dan SA1-33/5Z	0,95
Zone 2a	SA1-96	s/d	SA1-159	0,95
Zone 2b	SA1-33/5Z	s/d	SA1-76/71	0,93
Zone 3	SA1-76/71	s/d	SA1-11/78	0,93
BRG-2				cos θ_L
Zone 1	PMT	s/d	SA2-64	0,93
Zone 2	SA2-64	s/d	SA2-175/7 dan SA2-224/7	0,92
Zone 3a	SA2-175/7	s/d	SA2-33/134	0,9
Zone 3b	SA2-244/7	s/d	SA2-42/123	0,9
BRG-3				cos θ_L
Section 1	PMT	s.d.	SA3-4	0,99
Section 2	SA3-4	s.d.	SA3-24/5	0,99
Section 3	SA3-24/5	s.d.	SA3-24/17	0,99
Section 4	SA3-24/17	s.d.	SA3-24/51	0,99
Section 5	SA3-24/51	s.d.	SA3-24/69	0,99
Section 6	SA3-24/69	s.d.	SA3-24/107	0,99
Section 7	SA3-24/107	s.d.	SA3-24/155 dan SA3-153/2	0,99
Section 8	SA3-24/155	s.d.	SA3-24/219	0,99
Section 9	SA3-219	s.d.	SA3-24/306	0,99
Section 10	SA3-153/2	s.d.	SA2-163/48	0,99
Section 11	SA2-163/48	s.d.	SA2-163/1	0,99
Sub-section 1	SA3-11/1	s.d.	SA3-11/14	0,99
Sub-section 2	SA2-73/30	s.d.	SA2-73/3	0,99
Sub-section 3	SA3-84/3	s.d.	SA3-8/10A	0,99
Sub-section 4	SA3-284A/4	s.d.	SA3-284A/56	0,99
BRG-4				cos θ_L
Zone 1	PMT	s/d	SA4-64 dan SA4-63/C	0,94
Zone 2a	SA4-64	s/d	SA2-105/45	0,94
Zone 2b	SA4-63/C	s/d	SA2-63Z/132A	0,94
Zone 3	SA2-105/45	s/d	SA2-105/297	0,94
BRG-7				cos θ_L
Section 1	PMT	s/d	SA7-2	0,91
Section 2	SA7-2	s/d	SA7-97	0,91
Section 3	SA7-97	s/d	SA7-99	0,91

d. Perhitungan Beban Section dan Zone

Perhitungan beban *section* dan *zone* penyulang BRG-3 dipergunakan teori *Kirrchoff Current Law* (KCL). Penghitungan beban *section* pada penyulang BRG-3 disesuaikan dengan gambar *Single Line Diagram* Penyulang BRG-3 (lihat Gambar 6) dan dihitung berdasarkan data pengukuran beban per-*section* pada Tabel 12. Pada penyulang BRG-3 terdapat 11 *section* dan 4 *sub-section*.

Perhitungan beban *section* berikut adalah beban pada fasa R. Untuk kedua fasa yang lain yaitu fasa S dan T dihitung dengan cara yang sama berdasarkan data pada Tabel 12.

Perhitungan beban *section* penyulang BRG-03 :

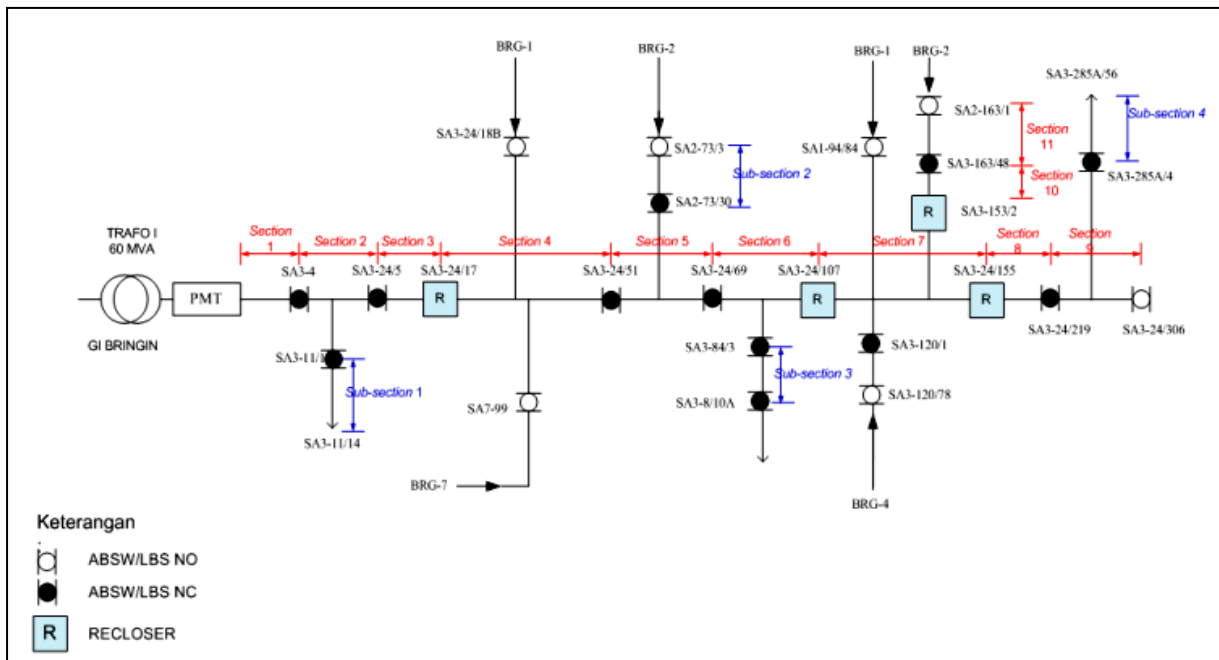
Section 1 : PMT s/d SA3/4

$$I_{Section 1} = I_{PMT} - I_{SA34} = 256,4 - 256 = 0,4 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan beban *section* lainnya penyulang BRG-3 ditunjukkan pada Tabel 14.

TABEL 14
HASIL PERHITUNGAN BEBAN SECTION PENYULANG BRG-3

BRG-3				Beban [A]		
				R	S	T
Section 1	PMT	s/d	SA3-4	0,4	0,5	0,45
Section 2	SA3-4	s/d	SA3-24/5	3,9	6,9	5,5
Section 3	SA3-24/5	s/d	SA3-24/17	2	6	3
Section 4	SA3-24/17	s/d	SA3-24/51	25	11	20
Section 5	SA3-24/51	s/d	SA3-24/69	11,6	1,9	10,6
Section 6	SA3-24/69	s/d	SA3-24/107	25,7	38,4	22,6
Section 7	SA3-24/107	s/d	SA3-24/155 dan SA3-153/2	16,1	10,2	6,2
Section 8	SA3-24/155	s/d	SA3-24/219	19	20	17
Section 9	SA3-219	s/d	SA3-24/306	56,9	44,8	76,3
Section 10	SA3-153/2	s/d	SA2-163/48	6,1	9,9	4,7
Section 11	SA2-163/48	s/d	SA2-163/1	32,8	32,9	32,1
Sub-Section 1	SA3-11	s/d	SA3-11/14	4,1	8,1	5,5
Sub-Section 2	SA2-73/3	s/d	SA3-73/30	26,4	24,1	36,4
Sub-Section 3	SA3-84/3	s/d	SA3-10/A	21,3	26,6	19,4
Sub-Section 4	SA3-285A/4	s/d	SA3-285A/56	5,1	33,2	5,7



Gambar 6 Diagram Segaris Penyulang BRG-3

Untuk menghitung beban *section* maupun *zone* pada semua penyulang dapat dilakukan dengan cara yang sama. Perhitungan beban dilakukan dengan memperhatikan *single line diagram* masing-masing penyulang. Penyulang BRG-1 (lihat Gambar 7), BRG-2 (lihat Gambar 8) dan BRG-4 (lihat Gambar 9) beban dihitung pada tiap *zone*, hal ini berkaitan dengan kapasitas PMT dan *Recloser* yang berpengaruh pada saat manuver dan pelimpahan beban. Penyulang BRG-7 (lihat Gambar 10) beban dihitung pada tiap *section*-nya, karena tidak terdapat *Recloser* sepanjang penyulang ini.

Pada penyulang BRG-1 terdapat 4 *Zone*, yaitu *Zone 1* yang merupakan daerah sepanjang PMT hingga *Recloser* SA1-96 dan *Recloser* SA1-33/5Z. Sedangkan untuk *Zone 2*, terbagi menjadi 2 yaitu *Zone 2a* sepanjang daerah *Recloser* SA1-96 hingga ABSW NO SA1-159 sedangkan *Zone 2b* adalah sepanjang daerah *Recloser* SA1-33/5Z hingga *Recloser* SA1-76/71.

Perhitungan beban/arus (I) *zone* penyulang BRG-1 pada fasa R :

$$\begin{aligned}
 I_{Zone\ 1} &= I_{PMT} - (I_{SA1-96} + I_{SA1-33/5Z}) \\
 &= 266 - (70 + 69,7) = 126,3\ A \\
 I_{Zone2a} &= I_{SA1-96} \\
 &= 69,7\ A \\
 I_{Zone2b} &= I_{SA1-33/5Z} - I_{SA1-76/71} \\
 &= 70 - 37 = 33\ A \\
 I_{Zone3} &= I_{SA1-76/71} \\
 &= 37\ A
 \end{aligned}$$

Beban pada *Zone 2a* sama dengan arus yang terukur pada *Recloser* SA1-96 karena dibelakang *Recloser* SA1-96 sudah tidak terdapat *Recloser* selanjutnya sehingga beban *Zone 2a* merupakan beban SA1-96 hingga jaringan ujung di ABSW NO SA1-159. Sama halnya dengan beban pada *Zone 3*, bebannya merupakan beban pengukuran di *Recloser* terakhir atau paling ujung yaitu *Recloser* SA1-76/71. Untuk menghitung beban *zone* pada kedua fasa yang lain yaitu fasa S dan T dilakukan dengan cara yang sama dengan perhitungan beban *zone* fasa R. Hasil perhitungan beban *zone* penyulang BRG-1 ditunjukkan oleh Tabel 15.

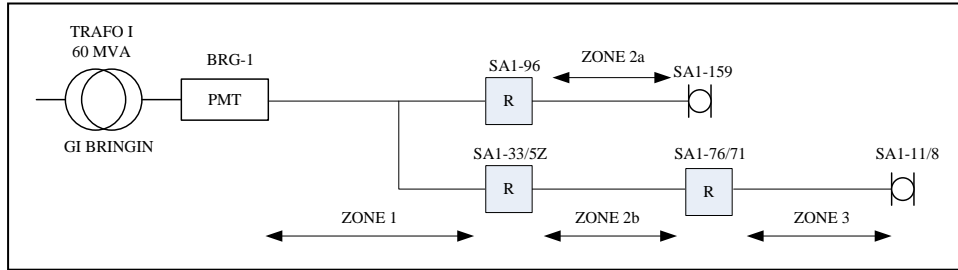
TABEL 15
HASIL PERHITUNGAN BEBAN *ZONE* PENYULANG BRG-1

BRG-1				Arus/Beban [A]		
				R	S	T
Zone 1	PMT	s/d	SA1-96 dan SA1-33/5Z	126,3	130,2	182,1
Zone 2a	SA1-96	s/d	SA1-159	69,7	67,8	26,9
Zone 2b	SA1-33/5Z	s/d	SA1-76/71	33	21	17
Zone 3	SA1-76/71	s/d	SA1-11/78	37	19	50

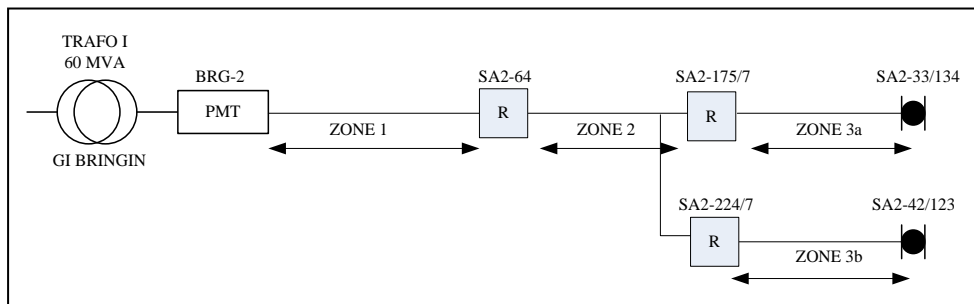
Seperti perhitungan beban *zone* pada penyulang BRG-1, untuk menghitung beban *zone* penyulang BRG-2, hal yang perlu diperhatikan adalah diagram segaris penyulang BRG-2 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.

Dari Gambar 8 diketahui bahwa penyulang BRG-2 terbagi menjadi 4 Zone. Zone 1 merupakan daerah sepanjang saluran distribusi dari PMT hingga *Recloser* SA2-64. Zone 2 merupakan daerah sepanjang saluran distribusi dari *Recloser* SA2-64 hingga *Recloser* SA2-

175/7 dan *Recloser* SA2-224/7. Sedangkan ada 2 daerah untuk zone 3, yaitu daerah sepanjang *Recloser* SA2-175/7 hingga ABSW SA2-33/134 dan daerah sepanjang *Recloser* SA2-224/7 hingga ABSW SA2-42/123.



Gambar 7 Diagram Segaris Penyulang BRG-1



Gambar 8 Diagram Segaris Penyulang BRG-2

Perhitungan beban/arus (*I*) zone penyulang BRG-2 pada fasa R :

$$\begin{aligned}
 I_{Zone\ 1} &= I_{PMT} - I_{SA2-64} \\
 &= 239 - 207 = 32\ A \\
 I_{Zone\ 2} &= I_{SA2-64} - (I_{SA2-175/7} + I_{SA2-224/7}) \\
 &= 207 - (39,5 + 19) = 148,5\ A \\
 I_{Zone\ 3a} &= I_{SA2-175/7} \\
 &= 39,5\ A \\
 I_{Zone\ 3} &= I_{SA2-224/7} \\
 &= 19\ A
 \end{aligned}$$

Beban atau arus pada Zone 3a dan Zone 3b adalah sama dengan beban yang terukur pada *Recloser* SA2-175/7 untuk Zone 3a dan beban pada *Recloser* SA2-224/7 untuk Zone 3b. Sehingga beban Zone 3a dan Zone 3b merupakan beban dari *Recloser* SA2-175/7 dan SA2-224/7 hingga ke ujung jaringan pada SA2-33/134 dan SA2-42/123. Hasil perhitungan beban zone penyulang BRG-2 ditunjukkan oleh Tabel 16.

Perhitungan beban/arus (*I*) zone penyulang BRG-4 pada fasa R :

$$\begin{aligned}
 I_{Zone\ 1} &= I_{PMT} - (I_{SA4-64} + I_{SA4-63/C}) \\
 &= 275 - (197 + 46,1) = 31,9\ A \\
 I_{Zone\ 2a} &= I_{SA4-64} - I_{SA2-105/45} \\
 &= 197 - 60\ A = 137\ A \\
 I_{Zone\ 2b} &= I_{SA4-63/C} = 46,1\ A \\
 I_{Zone\ 3} &= I_{SA4-105/45} = 60\ A
 \end{aligned}$$

Beban pada Zone 2b sama dengan arus yang terukur pada *Recloser* SA4-63/C karena di belakang *Recloser* SA4-63/C sudah tidak terdapat *Recloser* selanjutnya sehingga beban Zone 2b merupakan beban SA4-63/C hingga jaringan ujung di ABSW NO SA2-126/8. Sama halnya dengan beban pada Zone 3, bebannya merupakan beban pengukuran di *Recloser* terakhir atau paling ujung yaitu *Recloser* SA2-105/45. Hasil perhitungan beban zone penyulang BRG-4 ditunjukkan oleh Tabel 17.

TABEL 16

HASIL PERHITUNGAN BEBAN ZONE PENYULANG BRG-2

BRG-2				Arus/Beban [A]		
				R	S	T
Zone 1	PMT	s/d	SA2-64	32	27	24
Zone 2	SA2-64	s/d	SA2-175/7 dan SA2-224/7	148,5	154	135,2
Zone 3a	SA2-175/7	s/d	SA2-33/134	39,5	56	48,8
Zone 3b	SA2-244/7	s/d	SA2-42/123	34,4	15,8	33,4

TABEL 17
HASIL PERHITUNGAN BEBAN ZONE PENYULANG BRG-4

BRG-4				Arus/Beban [A]		
				R	S	T
Zone 1	PMT	s/d	SA4-64 dan SA4-63/C	31,9	38,8	40,6
Zone 2a	SA4-64	s/d	SA2-105/45	137	116,8	110,1
Zone 2b	SA4-63/C	s/d	SA2-63Z/132A	46,1	38,2	45,4
Zone 3	SA2-105/45	s/d	SA2-105/297	60	67,2	64,9

Perhitungan beban *section* penyulang BRG-7 pada fasa R:

$$I_{Section 1} = I_{PMT} - I_{SA7-2} = 37,9 - 37,7 = 0,2 \text{ A}$$

$$I_{Section 2} = I_{SA7-2} - I_{SA7-97} = 37,7 - 35,4 = 2,3 \text{ A}$$

$$I_{Section 3} = I_{SA7-97} = 35,4 \text{ A}$$

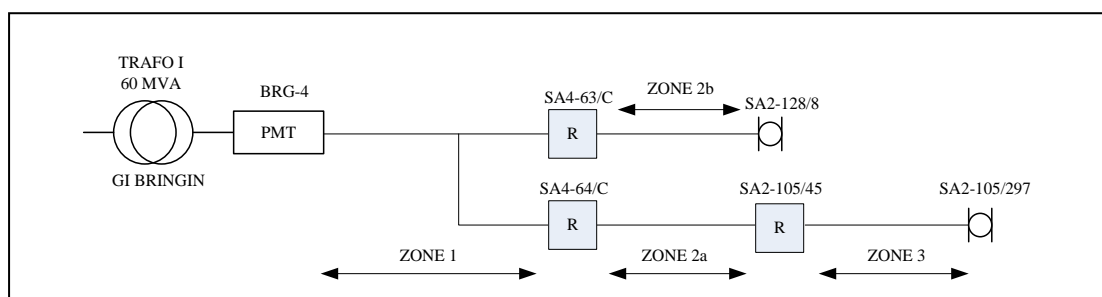
Hasil dari perhitungan beban *section* penyulang BRG-7 secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 18.

TABEL 18
HASIL PERHITUNGAN BEBAN *SECTION* PENYULANG BRG-7

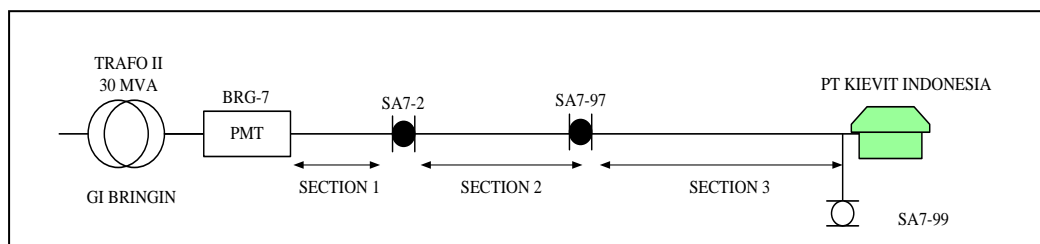
BRG-7				Arus [A]		
				R	S	T
Section 1	PMT	s/d	SA7-2	0,2	0,3	0,4
Section 2	SA7-2	s/d	SA7-97	2,3	1,7	2,2
Section 3	SA7-97	s/d	SA7-99	35,4	35,2	35,5

e. *Perhitungan Jatuh Tegangan (Voltage Drop)*
Hasil perhitungan manual dan simulasi ditampilkan pada Tabel 19.

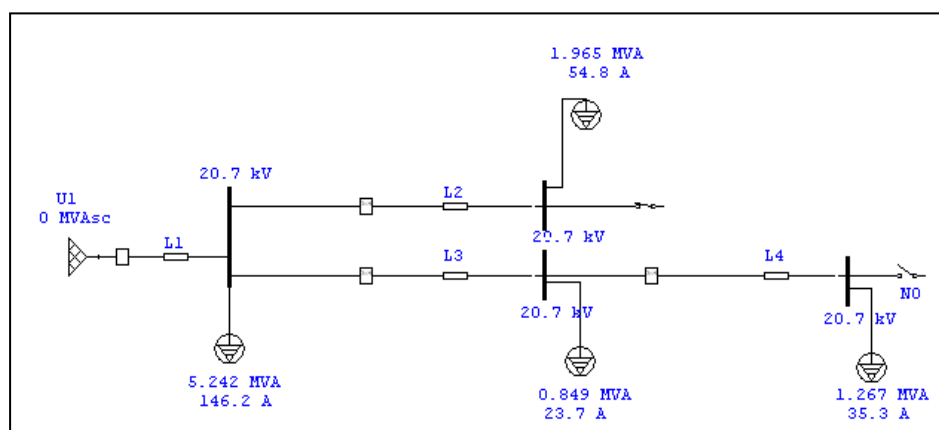
f. *Pehitungan Rugi Daya (Power Losses)*
Perhitungan rugi daya dilakukan dengan bantuan *software* seperti ditunjukkan Gambar 11 s/d Gambar 14 dan Tabel 20 s/d Tabel 23.



Gambar 9 Diagram Segaris Penyulang BRG-4



Gambar 10 Diagram Segaris Penyulang BRG-7



Gambar 11 Diagram Segaris Penyulang BRG-1 di *Software* Simulasi

TABEL 19
PERBANDINGAN JATUH TEGANGAN SECARA HITUNG MANUAL DAN SIMULASI

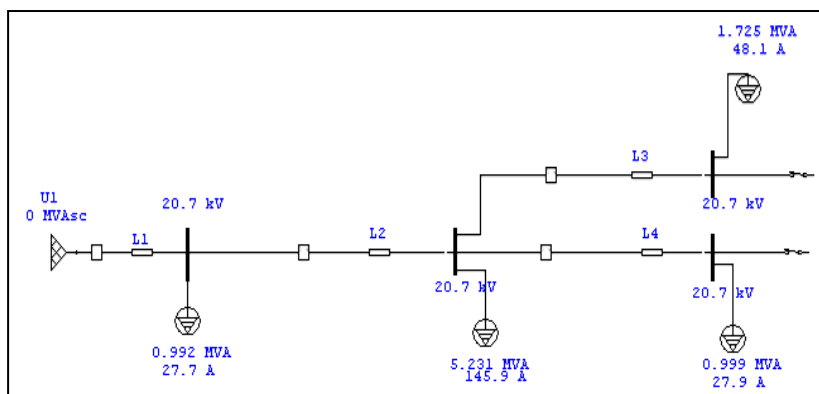
BRG-1				V _b [Volt]		ΔV [Volt]	
				Manual	Simulasi	Manual	Simulasi
Zone 1	PMT	s/d	SA1-33/5Z dan SA1-96	891,86992	964	19808,13	19736
Zone 2a	SA1-96	s/d	SA1-159	224,54982	236	19583,58	19500
Zone 2b	SA1-33/5Z	s/d	SA1-76/71	376,46781	399	19431,662	19337
Zone 3	SA1-76/71	s/d	SA1-11/78	71,615212	75	19360,047	19262
BRG-2							
Zone 1	PMT	s/d	SA2-64	485,88942	565	20214,111	20135
Zone 2	SA2-64	s/d	SA2-175/7 dan 224/7	1440,7709	1639	18773,34	18496
Zone 3a	SA2-175/7	s/d	SA2-33/134	206,59247	225	18566,747	18271
Zone 3b	SA2-244/7	s/d	SA2-42/123	118,19294	159	18655,147	18337
BRG-4							
Zone 1	PMT	s/d	SA4-64 dan SA4-63/C	413,01388	454	20286,986	20246
Zone 2a	SA4-64	s/d	SA2-105/45	702,4861	755	19584,5	19491
Zone 2b	SA4-63/C	s/d	SA2-63Z/132A	174,09959	179	20112,887	20067
Zone 3	SA2-105/45	s/d	SA2-105/297	392,07238	418	19192,428	19073
BRG-7							
Section 1	PMT	s/d	SA7-2	2,0014762	11	20997,999	20989
Section 2	SA7-2	s/d	SA7-97	94,321536	94	20903,677	20895
Section 3	SA7-97	s/d	SA7-99	1,8648925	2	20901,812	20893

TABEL 20
HASIL PERHITUNGAN RUGI DAYA PENYULANG BRG-1 DI SOFTWARE SIMULASI

Filename: TA-BRG-1

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses	
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar
L1	8.907	3.767	-8.654	-3.053	253.5	714.7
L2	1.835	0.631	-1.821	-0.599	13.8	32.4
L3	1.938	0.818	-1.915	-0.762	23.6	55.4
L4	-1.145	-0.452	1.147	0.459	2.7	6.3
					293.5	808.8

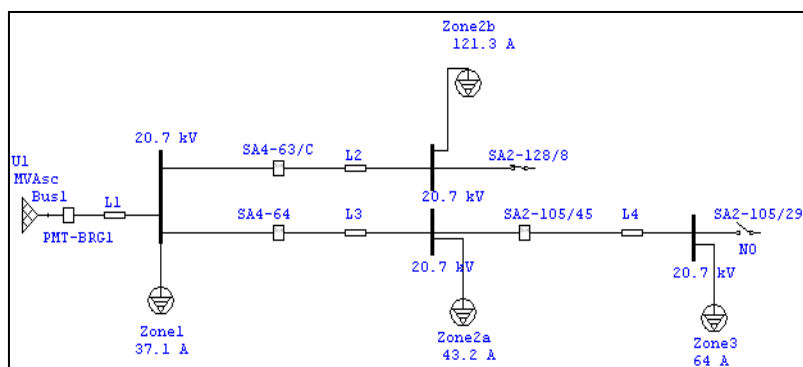


Gambar 12 Diagram Segaris Penyulang BRG-2 di *Software* Simulasi

TABEL 21
HASIL PERHITUNGAN RUGI DAYA PENYULANG BRG-2 DI *SOFTWARE* SIMULASI
Filename: TA-BRG-2

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		
	ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar
L1		8.359	4.668	-8.229	-4.303	129.4	364.8
L2		7.318	3.943	-6.973	-3.134	344.1	808.6
L4		-0.861	-0.417	0.864	0.425	3.5	8.1
L3		1.493	0.743	-1.483	-0.718	10.5	24.7
						487.5	1206.2

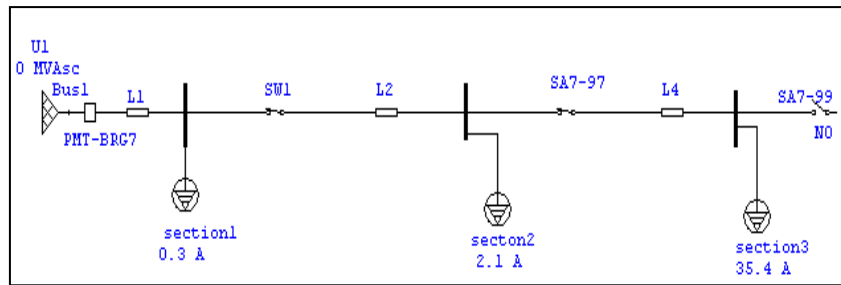


Gambar 13 Diagram Segaris Penyulang BRG-4 di *Software* Simulasi

TABEL 22
HASIL PERHITUNGAN RUGI DAYA PENYULANG BRG-4 DI *SOFTWARE* SIMULASI
Filename: TA-BRG-4

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		
	ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar
L1		9.055	3.925	-8.937	-3.594	117.3	330.8
L2		1.446	0.539	-1.439	-0.522	7.3	17.2
L3		6.253	2.606	-6.111	-2.273	141.4	332.2
L4		-2.091	-0.759	2.119	0.824	27.8	65.3
						293.8	745.5



Gambar 14 Diagram Segaris Penyulang BRG-7 di Software Simulasi

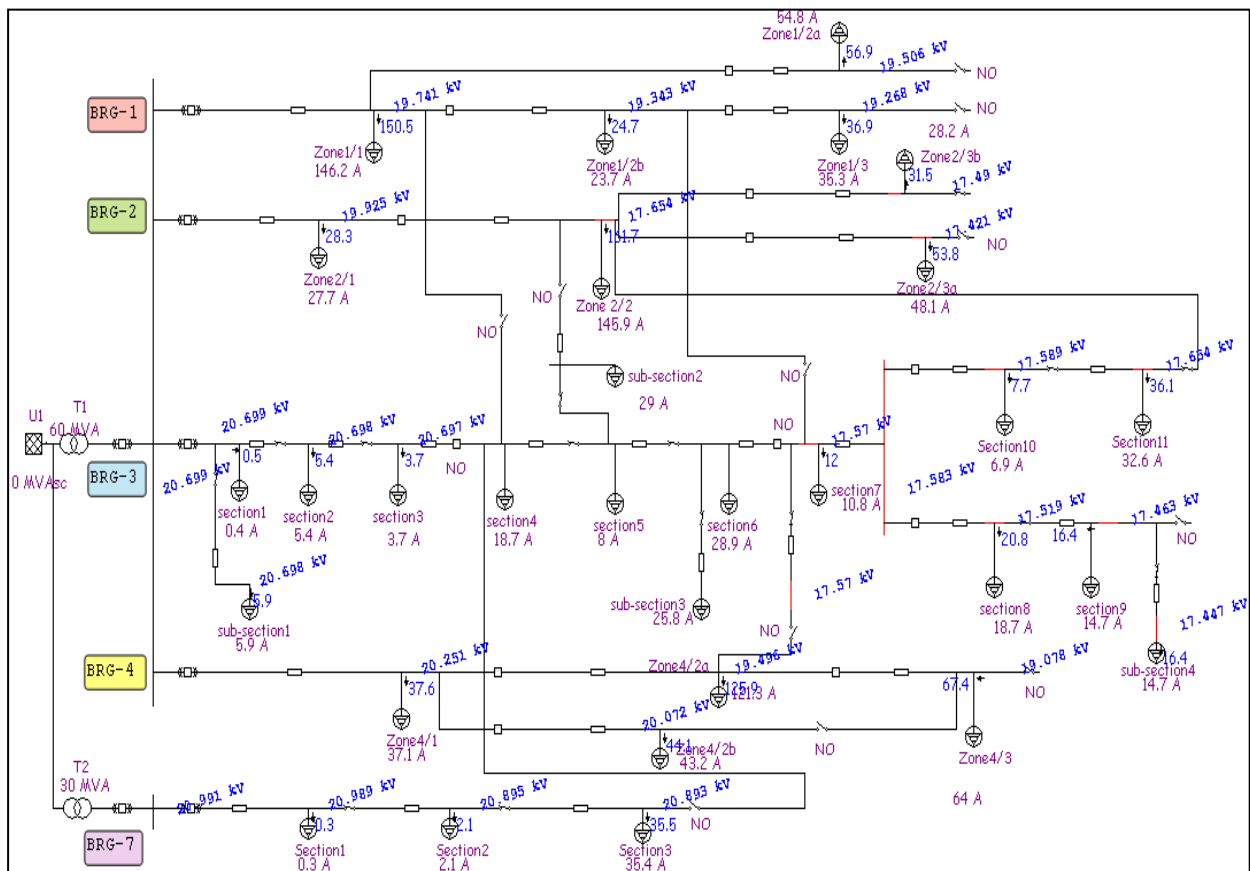
TABEL 23

HASIL PERHITUNGAN RUGI DAYA PENYULANG BRG-7 DI SOFTWARE SIMULASI

Filename: TA-BRG-7

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		
	ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar
L1		1.239	0.571	-1.239	-0.571	0.1	0.2
L2		1.229	0.566	-1.226	-0.559	3.2	7.5
L4		-1.158	-0.528	1.158	0.528	0.1	0.1
						3.3	7.8



Gambar 15 Konfigurasi Loop BRG-3 dengan BRG-2 Melalui SA2-163/1

g. *Manuver Penyulang BRG-3 Jika PMT Hingga Recloser SA3-24/17(Zone1) Padam*

Daerah PMT - Recloser SA3-24/17 penyulang BRG-3 terletak pada jaringan. Jika terdapat gangguan atau pekerjaan pemeliharaan jaringan pada titik tersebut, maka daerah PMT – Recloser SA3-24/17 dalam kondisi padam dan berarti kondisi kontak PMT dan Recloser SA3-24/17 dalam keadaan terbuka/*open*. Beban dari PMT hingga Recloser SA3-24/17 sebesar 21 A. Beban tersebut diperoleh dari penjumlahan beban *section 1, section 2, section 3* dan *sub-section1*, karena letak *section* tersebut berada di daerah PMT hingga Recloser SA3-24/17. Sehingga beban maksimal yang harus dilimpahkan sebesar $274 - 21 = 253$ A. Titik manuver terdekat adalah melalui LBS NO SA3-24/18B yang membentuk *Loop* dengan BRG-1, ABSW NO SA2-73/3 yang membentuk *Loop* dengan BRG-2 dan SA7-99 yang membentuk *Loop* dengan BRG-7.

Alternatif manuver yang pertama adalah dengan melimpahkan beban penyulang BRG-3 ke penyulang BRG-7. Manuver ini merupakan alternatif pertama karena losses penyulang BRG-7 paling kecil dibandingkan dengan penyulang BRG-1 dan BRG-2. Hal yang perlu diperhatikan adalah kapasitas PMT dari penyulang yang dilimpahi dalam hal ini adalah penyulang BRG-7. Sesuai data pada tabel 23, kapasitas maksimum PMT BRG-7 sebesar 480 A, sedangkan beban maksimal penyulang 37,7 A. Beban penyulang BRG-7 ini memang tergolong kecil, karena penyulang ini digunakan untuk menyuplai pelanggan besar PT KIEVIT Indonesia.

Setelah melakukan perhitungan rugi saluran distribusi untuk penyulang BRG-1, BRG-2, BRG-4 dan BRG-7, diperoleh alternatif manuver untuk kondisi zone 1 dan zone 2 ditunjukkan pada Tabel 24.

Besar beban maksimal yang dilimpahkan ke penyulang BRG-1, BRG-2, BRG-4, dan BRG-7 dengan melihat tegangan ujung penyulang setelah dilimpahi beban minimal 19 kV.

IV. KESIMPULAN

1. Alternatif penyulang yang akan dilimpahi beban BRG-3 diutamakan penyulang yang memiliki nilai tegangan ujung yang paling tinggi dan rugi-rugi saluran terkecil.
2. Jika *Zone 1* penyulang BRG-3 padam maka alternatif manuver yang pertama adalah penyulang BRG-7 sedangkan jika *Zone 2* penyulang BRG-3 padam maka alternatif manuver yang pertama adalah penyulang BRG-1.
3. Manuver melalui penyulang BRG-2 dijadikan alternatif terakhir dan hanya digunakan pada saat kondisi darurat, mengingat nilai tegangan ujung penyulang BRG-2 sudah di bawah nilai standar minimal tegangan JTM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Billinton, R, Ronald N.A. *Reliability Evaluation of Power System*, Springer US Publishing : UK. 1984.
- [2] Kamaraju, V. *Electrical Power Distribution Systems*. Tata McGraw Hill Education Privated Limited : New Delhi, 2009.
- [3] Sarimun, Wahyudi. *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua*, Garamond : Bekasi, 2011.
- [4] ETAP 7.0 Licence Udiklat Semarang PT PLN (Persero) .
- [5] SPLN No. 1 Tahun 1978 tentang Tegangan-Tegangan Standar.

TABEL 24
SKENARIO MANUVER PENYULANG BRG-3

Wil. Padam	Alternatif Manuver	LBS/A BSW Joint	Beban yang Dapat Dilimpah kan [A]	Teg. Ujung [kV]
Zone 1	Penyulang BRG-7	SA7-99	253	20,271
	Penyulang BRG-1	SA3-24/18B	73	19,161
	Penyulang BRG-2	SA2-73/3	162,9	17,178
Zone 2	Penyulang BRG-1	SA1-94/84	46	19,018
	Penyulang BRG-4	SA3-120/78	36,2	19,011
	Penyulang BRG-2	SA2-163/1	151	17,421