

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Ketenagalistrikan

Sepuluh tahun terakhir ini, masalah listrik menjadi polemik yang berkepanjangan dan telah memunculkan multi implikasi yang sangat kompleks di berbagai aspek kehidupan, antara lain : keuangan, ekonomi, sosial, budaya, politik, dan lain-lain. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa listrik telah menjadi bagian yang sangat penting bagi umat manusia. Oleh karenanya tak berlebihan bahwa listrik bisa dikatakan sebagai salah satu kebutuhan utama bagi penunjang dan pemenuhan kebutuhan hidup umat manusia. Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah kesatuan yang terinterkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu : pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran transmisi. Hal ini terjadi pada gardu-gardu induk (substation) di mana juga dilakukan transformasi tegangan dan fungsi-fungsi pemutusan (*breaker*) dan penghubung beban (*switching*) (Soeroso, Bambang., Yaulie D.Y.Rindengan., Lily S. Patras., 2016).



Gambar 2.1 Ruang lingkup sistem tenaga listrik

Sumber : (Soeroso, Bambang., Yaulie D.Y.Rindengan., Lily S. Patras., 2016).

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik terdiri atas sistem pembangkit, transmisi dan distribusi. Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada konsumen (Erhaneli, 2015).

Klasifikasi jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

- Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah).
- Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah).

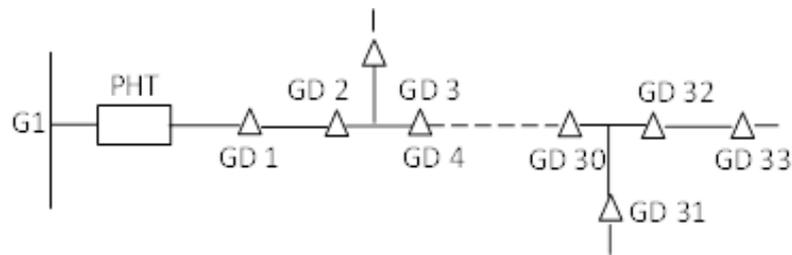
Jaringan Distribusi Primer (JDTM) merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV). Hantaran dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer trafo distribusi) (Syahputra, 2017).

Jaringan Distribusi Sekunder (JDTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Hantaran berupa kabel tanah atau kawat udara yang menghubungkan dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke tempat konsumen atau pemakai (misalnya industri atau rumah-rumah) (Syahputra, 2017).

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel (Syahputra, 2017).

2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani.



Gambar 2.2 Jaringan distribusi Radial

Sumber : (Syahputra, 2017)

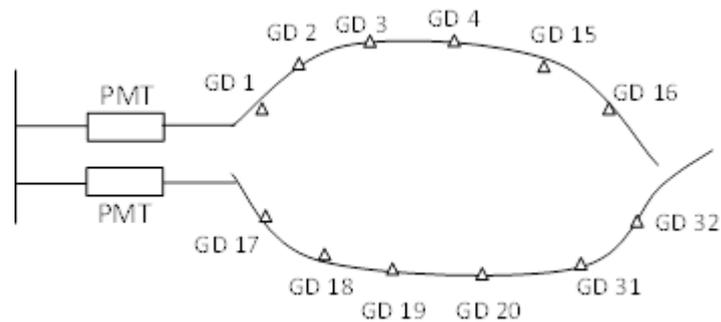
Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah (Syahputra, 2017) :

- Bentuknya sederhana.
- Biaya investasinya murah.
- Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi (Syahputra, 2017).

2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. 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 menjadi lebih kecil.



Gambar 2.3 Jaringan distribusi Loop

Sumber : (Syahputra, 2017).

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

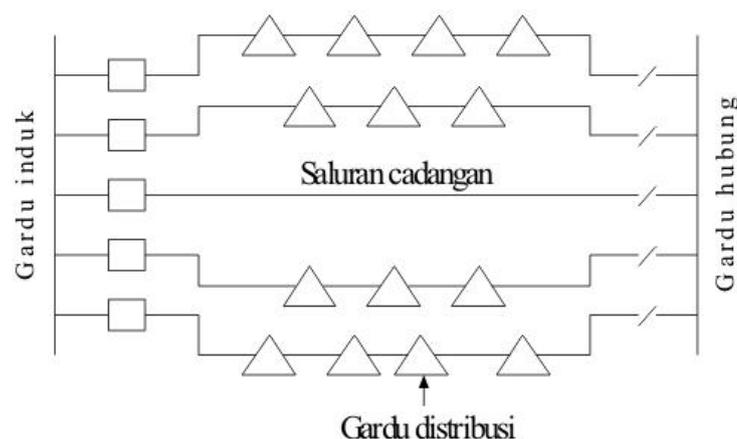
1. Bentuk open loop, bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
2. Bentuk close loop, bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah Pemutus Tenaga (PMT). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial (Syahputra, 2017).

Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi (Syahputra, 2017).

2.2.3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel merupakan Saluran Kabel tanah Tegangan Menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota-kota besar.



Gambar 2.4 Jaringan distribusi Spindel

Sumber : (Syahputra, 2017)

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

- Dalam keadaan normal semua saluran digardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.
- Dalam keadaan normal saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
- Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian seksi seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran ekspres.

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan antara lain :

- Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- Menurunkan atau menekan rugi-rugi akibat gangguan.
- Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
- Perluasan jaringan mudah dilakukan.

2.3. Jaringan Distribusi Bawah Tanah (*Underground Cable*)

Kabel bawah tanah merupakan satu atau beberapa kawat yang diisolasikan sehingga tahan terhadap tegangan tertentu dan terpisah antara satu penghantar dengan penghantar lainnya, maupun antara penghantar dengan tanah sehingga dapat terhindar dari pengaruh-pengaruh garam serta bahan kimia yang berada dalam tanah (F. A. Y. Walangare, 2013).

Penggunaan kabel bawah tanah memakan biaya cukup besar dalam pemasangan, pemeliharaan dan ketika terjadi gangguan. Walaupun begitu, kabel bawah tanah tetap saja sangat diminati oleh pengguna di daerah perkotaan karena memberikan beberapa keuntungan yaitu memberi keindahan untuk daerah sekitar karena tidak nampak di permukaan tanah, tidak mudah terjadi gangguan oleh cuaca dan memberikan keamanan untuk orang-orang sekitar (F. A. Y. Walangare, 2013).

Dalam pemasangan kabel bawah tanah, ada beberapa hal yang sangat menentukan umur dari instalasi kabel bawah tanah antara lain cara pemasangan kabel, bahan material penyusun, kapasitas arus maksimum kabel pada saat sistem beroperasi, panas yang akan timbul ketika kabel dialiri arus, tahanan isolasi dan besar tahanan termal dari tanah (F. A. Y. Walangare, 2013).

2.3.1. Konstruksi dan Material Kabel Bawah Tanah

Bagian utama kabel tanah terdiri atas konduktor (*conductor*) atau penghantar dengan bahan aluminium dan tembaga, isolasi (*insulation*) yang digunakan untuk mencegah kontak langsung antara konduktor ke tanah atau antara dua konduktor yang saling berdekatan. Setelah itu lapisan pelindung berupa selubung logam atau perisai, biasanya berbahan aluminium, timbal, tembaga, baja dan juga berupa selubung karet. Bagian terluar kabel tanah disebut juga selubung luar berbahan PE (*polyethylene*) dan PVC (*polyvinylchloride*) (F. A. Y. Walangare, 2013).

2.3.2. Pemasangan Kabel Tanah

Metode yang banyak digunakan dalam pemasangan kabel tanah yaitu meletakkan kabel tanah langsung dalam tanah dengan ukuran kedalaman penanaman kira-kira 1 m (3-4 kaki). Bentuk pemasangan dilakukan untuk rangkaian tiga fasa yang terdiri atas kabel satu inti diletakan langsung dalam tanah (F. A. Y. Walangare, 2013).

2.3.3. Sumber Panas Pada Kabel Tanah

Berdasarkan konstruksi kabel tanah dan kondisi pemasangan kabel, ada beberapa sumber penghasil panas di dalam kabel. Panas yang dihasilkan diartikan sebagai rugi panas kabel (*cable heat losses*). Secara umum ada dua tipe rugi (*losses*), yaitu (F. A. Y. Walangare, 2013):

- Rugi-rugi Karena Arus (*Current-dependent Losses*) Rugi-rugi karena arus merupakan panas yang dihasilkan di dalam komponen berbahan logam pada kabel. Rugi-rugi
- Karena Tegangan (*Voltage-dependent Losses*) Ada dua tipe yang berbeda untuk rugi-rugi yang disebabkan oleh tegangan, yaitu rugi-rugi dielektrik dan rugi-rugi yang disebabkan oleh arus pengisian (*charging current*). Kedua rugi-rugi ini selalu muncul ketika kabel dialiri arus.

2.4. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran, gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan (Yusmartato, 2016)

Gardu Induk biasanya disingkat dengan GI adalah suatu instalasi yang terdiri dari rel daya, peralatan hubung bagi, transformator daya bersama perlengkapan-

perlengkapannya (misal peralatan ukur, pengaman dll.), yang merupakan bagian dari suatu sistem tenaga listrik (Yusmartato, 2016).



Gambar 2.5 Gardu Induk 150KV

Sumber : (Yusmartato, 2016).

Tegangan menengah yang mesuplai gardu dapat dihitung dengan :

$$V_{TM} = \frac{V_{TR}}{V_{uTR}} \times 20.000 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

V_{TM} : Tegangan Menengah Perhitungan

V_{TR} : Tegangan Rendah Terukur

V_{uTR} : Tegangan Rendah Fasa-fasa

Sebagai satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi), Gardu Induk berfungsi diantaranya adalah sebagai berikut (Yusmartato, 2016) :

- Sebagai pusat penerimaan dan penyaluran tenaga/daya listrik sesuai dengan kebutuhan pada tegangan yang berbeda (menurunkan atau menaikkan tegangan sistem). Daya listrik dapat berasal dari pembangkit atau dari gardu induk lain.
- Sebagai pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik (memutus atau menyambungkan jaringan listrik).

- Sebagai pengaturan daya ke gardu-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu distribusi melalui feeder-feeder tegangan menengah (melayani beban listrik disekitar Gardu Induk).

2.5. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu listrik yang dipasok dengan tegangan menengah 20 kV dari saluran kabel tegangan menengah atau saluran udara tegangan menengah. Berisi atau terdiri dari Instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan baik dengan tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/330V) (Soeroso, Bambang., Yaulie D.Y.Rindengan., Lily S. Patras., 2016).

2.5.1. Gardu Portal

Gardu Portal adalah gardu distribusi tipe pasangan terbuka (out-door) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Pada gardu portal, transformator distribusi dipasang pada bagian atas dan papan hubung bagi tegangan rendah atau PHB-TR diletakkan pada bagian bawah (Soeroso, Bambang., Yaulie D.Y.Rindengan., Lily S. Patras., 2016).

Umumnya Gardu portal, dipergunakan dengan penghantar saluran udara tegangan menengah. Kapasitas trafo = 100, 250, 315 dan 400 kVA ke daya air. Pada Gardu Distribusi tipe cantol, trafo tenaga yang terpasang adalah transformator dengan daya <100 kVA (3 fasa atau 1 fasa) (Soeroso, Bambang., Yaulie D.Y.Rindengan., Lily S. Patras., 2016).



Gambar 2.6 Gardu Portal

Sumber : (Soeroso, Bambang., Yaulie D.Y.Rindengan., Lily S. Patras., 2016).

2.6. Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch (LBS) merupakan suatu alat pemutus atau penyambung sirkuit pada sistem distribusi listrik dalam keadaan berbeban. LBS mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) dan biasanya dipasang dalam saluran distribusi listrik (Hendrik Kenedy Tupan, Rini Nur Nurhasanah, Wijono, 2017).

LBS digunakan untuk pemutusan lokal apabila terjadi gangguan atau ingin dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga daerah yang tidak mengalami gangguan atau perawatan tidak mengalami pemadaman listrik. Pada saat terjadi bencana atau gangguan listrik, seperti gempa, angin ribut, pohon tumbang, dan lain-lain sering terjadi gangguan pada jaringan distribusi seperti kabel tumbang. Pada kasus seperti itu diperlukan tindakan yang cepat dalam memutuskan

saluran listrik untuk menghindari bahaya yang dapat ditimbulkan (Hendrik Kenedy Tupan, Rini Nur Nurhasanah, Wijono, 2017).

Prinsip kerja LBS :

Sistem pengendalian elektroniknya ditempatkan pada sebuah kotak pengendali yang terbuat dari baja anti karat sehingga dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Panel pengendali (user-friendly) dan tahan segala kondisi cuaca. Sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh juga dapat ditambahkan tanpa perlu menambahkan Remote Terminal Unit (RTU) (Wigati, 2014).



Gambar 2.7 Load Break Switch (LBS)

Sumber : (PT. PLN (Persero) Area Palembang, 2018)

LBS yang biasa dipakai PT.PLN (Persero) yaitu LBS tipe SF6 yaitu Tegangan Line Maksimum pada Switcgear Ratings antara 12kV atau 24kV dengan arus kontinyu 630 A RMS. Media Isolasi Gas SF6 dengan tekanan operasional gas SF6 pada suhu 20 C adalah 200kPa Gauge. Pengoperasian secara manual dapat dilakukan secara independent oleh operator. Tekanan untuk mengoperasikan tuas Max 20 kg. Switch pemutus beban dilengkapi dengan bushing boots elastomeric untuk ruang terbuka. Boots tersebut dapat menampung kabel berisolasi dengan ukuran diameter antara 16 -32 mm dan akan menghasilkan sistem yang terisolir penuh. Kabel pre-cut yang telah diberi terminal dapat digunakan langsung untuk bushing switch Pemutus Beban dan telah memenuhi persyaratan yang sesuai dengan peralatan tersebut.

Tabel 2.1 Standar PLN kabel yang digunakan pada LBS SF6

Lug Size	Stranding	Material	Rating
240	19/4.01	Aluminium	630
185	19/3.5	Aluminium	400
80	7/3.75	Aluminium	250

Sumber : (PT. PLN (Persero) Area Palembang, 2018)

Prinsip Kerja LBS dengan Gas SF6 :

Load Break Swicth menggunakan *puffer interrupter* di dalam sebuah tangki baja anti karat yang dilas penuh yang diisi dengan gas SF6. *Interrupter* tersebut diletakkan secara berkelompok dan digerakkan oleh mekanisme pegas. Ini dioperasikan baik secara manual maupun dengan sebuah motor DC dalam kompartemen motor di bawah tangki. Listrik motor berasal dari baterai-baterai 24V dalam ruang kontrol. Transformer-transformer arus dipasang di dalam tangki dan dihubungkan ke elemen-elemen elektronik untuk memberikan indikasi gangguan dan *line measurement*. Terdapat *bushing-bushing* epoksi dengan transformer tegangan kapasitif, ini terhubung ke elemen-elemen elektronik untuk memberikan *line sensing* dan pengukuran. Elemen-elemen elektronik kontrol terletak dalam ruang kontrol memiliki standar yang sama yang digunakan untuk mengoperasikan *swicthgear inteligent* yang dihubungkan ke *swicthgear* dengan kabel kontrol yang dimasukkan ke *Swicth Cable Entry Module* (SCEM) yang terletak di dalam kompartemen motor (Wigati, 2014).

**Gambar 2.8 LBS dengan Gas SF6**

Sumber : (PT. PLN (Persero) Area Palembang, 2018).

2.7. Penyulang

Penyulang merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik. Penyulang berfungsi mengalirkan energi listrik dari Gardu Induk ke gardu distribusi (Sutikno, 2010).

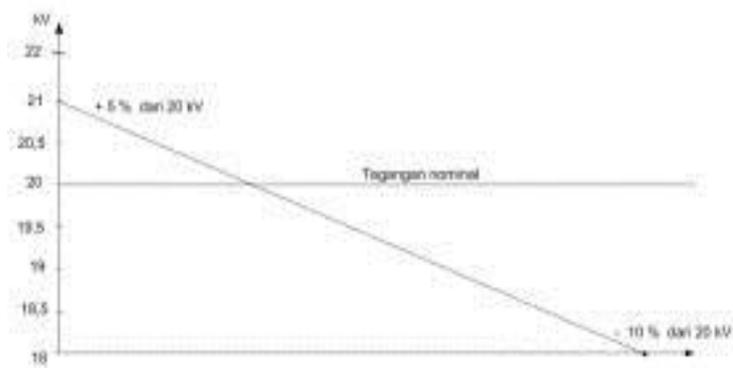
Penyulang tegangan menengah adalah sarana untuk pendistribusian tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen. Di mana kontinuitas pendistribusian tenaga listrik tersebut harus selalu dijaga. Namun pada kenyataannya, penyulang tersebut sering mengalami gangguan yang dapat disebabkan adanya kejadian secara acak dalam sistem yang dapat berupa terganggunya fungsi peralatan, peningkatan beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem. Selain itu, biasanya gangguan tersebut juga disebabkan oleh jaringan dengan konduktor telanjang yang banyak terdapat di Indonesia yang digelar di udara bebas yang akan beresiko menyebabkan terjadinya gangguan seperti gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasake tanah yang sifatnya temporer dan permanen. Oleh karena itu untuk melokalisasi gangguan tersebut diperlukan sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sensitifitas, andal, selektifitas, serta kecepatan, dimana keseluruhan persyaratan tersebut bergantung pada ketepatan penyetelan peralatan proteksinya (Sutikno, 2010).

2.8. Drop Tegangan

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar (Modal Holong, 2012). *Drop* tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya *drop* tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan (Modal Holong, 2012). PT PLN (Persero) mengatur standar *drop* tegangan dalam SPLN No.72 Tahun 1987 yaitu turun tegangan yang diperbolehkan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR) adalah 2 % dari tegangan kerja untuk sistem *Spindle*/Gugus dan 5 % dari tegangan kerja untuk sistem Radial diatas tanah dan sistem Simpul tergantung kepadatan beban. Perhitungan *drop* tegangan

praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti (Isla, 2013).

Drop tegangan secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. *Drop* tegangan ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. *Drop* tegangan V pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar R_l semakin besar pula. *Drop* tegangan merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka *drop* tegangan yang diizinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya (Modal Holong, 2012).



Gambar 2.9 Toleransi tegangan pelayanan yang diizinkan

Sumber : (Modal Holong, 2012).

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 10%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan phasor (V_d) pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus (Modal Holong, 2012) :

$$V_d = I \cdot Z \dots \dots \dots (2.2)$$

Dalam pembahasan ini yang dimaksudkan dengan *drop* tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_T), maka *drop* tegangan dapat didefinisikan adalah (Modal Holong, 2012) :

$$\Delta V = (V_k) - (V_T) \dots \dots \dots (2.3)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga *drop* tegangan (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. *Drop* tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan V_R (*voltage regulation*) dan dinyatakan oleh rumus (Modal Holong, 2012) :

$$V_R = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

- V_s : tegangan pada pangkal pengiriman
- V_r : tegangan pada ujung penerimaan

Untuk menghitung *drop* tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu, maka berikut ini akan diuraikan cara perhitungannya. Dalam penyederhanaan perhitungan, diasumsikan beban-bebannya merupakan beban fasa tiga yang seimbang dan faktor dayanya ($\cos \phi$) antara 0,6 s/d 0,85. Tegangan dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan hubungan sebagai berikut (Modal Holong, 2012) :

$$\Delta V = \sqrt{3} \times L \times I (R \cos \phi + X \sin \phi) \dots \dots \dots (2.5)$$

Besar persentase *drop* tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan (Isla, 2013) :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_u} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana :

- R : Resistansi saluran (Ω)
- X : Reaktansi saluran (Ω)
- I : Arus beban (A)
- V_u : Tegangan fasa - fasa (Volt)

ϕ	: Faktor daya beban
ΔV	: Drop tegangan (Volt)
$\% \Delta V$: Persentase <i>drop</i> tegangan (%)
L	: Panjang saluran (km)

Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran distribusi, persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan (Isla, 2013).

2.8.1. Penyebab Terjadinya *Drop* Tegangan

Besar kecilnya *drop* tegangan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

1. Tahanan saluran
2. Arus saluran
3. Faktor daya ($\cos \phi$)
4. Panjang saluran

Akibat adanya impedansi saluran dan beban maka antara tegangan sumber (V_s) dan tegangan penerima (V_p) ada perbedaan. Dimana tegangan penerima akan selalu lebih kecil dari tegangan sumber ($V_s > V_p$). Selisih tegangan tersebut disebut jatuh tegangan (V). Secara umum *drop* tegangan adalah $V = V_s - V_p$ (Modal Holong, 2012).

1. Besar beban pada suatu titik (tiang) tidak sama pada fasa yang satu dengan fasa yang lainnya. Walaupun dilihat dari gardu, beban tiap fasanya mungkin sama besar diantaranya disebabkan oleh perilaku beban konsumen yang tidak teratur.
2. Beban dilihat dari gardu tidak sama untuk masing – masing fasa, sudah pasti beban di tiap tiang tidak sama.
3. Pembagian atau penempatan beban di masing- masing fasa tidak sama.

2.9. Manuver Jaringan

Manuver jaringan distribusi adalah suatu kegiatan membuat perubahan terhadap operasi normal dari jaringan akibat dari adanya gangguan atau pekerjaan jaringan lainnya yang membutuhkan pemadaman tenaga listrik, sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman tenaga listrik agar tetap tercapai kondisi penyaluran tenaga listrik yang seefisien dan semaksimal mungkin (Ibrahim S, 2013). Manuver jaringan harus dilakukan pada saat terjadi gangguan penyulang disalah satu penyulang tersebut. Penyulang yang layak untuk dilakukan manuver jaringan yaitu ketika kedua jaringan penyulang tersebut sudah bertemu di satu *Load Break Switch* (LBS) dan kapasitas yang akan di manuver masih dalam kategori aman atau tidak *over load* (Stefanie Manzinger, 2017).

Adapun tujuan dan manfaat dari manuver pasokan daya listrik adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi daerah pemadaman listrik pada saat terjadi gangguan atau pekerjaan jaringan.
2. Menghindari pemadaman listrik untuk pelanggan dengan kategori beban kritis.
3. Memaksimalkan penyaluran tenaga listrik.

Manuver jaringan dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu :

1. Manuver Secara Manual

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang utama dan penyulang cadangan yang dilakukan secara manual dimana petugas/operator langsung menuju gardu hubung atau tempat yang akan dilakukannya manuver.

2. Manuver Secara Otomatis

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang (prioritas 1) dan penyulang (prioritas 2) yang dilakukan secara otomatis menggunakan ATS (*Automatic Transfer Switch*), apabila terjadi gangguan pada penyulang (prioritas 1) maka ATS akan langsung bekerja memindahkan aliran listrik pada penyulang (prioritas 2).

Manuver jaringan baru akan terealisasi jika memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (PT. PLN (Persero) Area Palembang, 2018) :

1. Jaringan sudah bertemu di satu titik pertemuan yang dipisahkan dan di hubungkan oleh switch.
2. Beban masing-masing penyulang masih bisa menampung dari beban penyulang satu sama lain.
3. Konduktor berpenampang besar.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Bahan Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah di Penyulang Kikim di Gardu Induk Sungai Juaro dan di Penyulang Parkit di Gardu Induk Seduduk Putih PT.PLN (Persero) Area Palembang. Gardu Induk Sungai Juaro meliputi 3 Penyulang yang terdiri dari Penyulang Kikim, Penyulang Singkarak dan Penyulang Poso. Gardu Induk Seduduk Putih meliputi 5 Penyulang yang terdiri dari Penyulang Parkit, Penyulang Kutilang, Penyulang Wallet, Penyulang Beo, Penyulang Pipit, Penyulang Kenari.

Tahapan dari penelitian ini berupa pengumpulan bahan pustaka sebagai referensi, buku-buku yang berkaitan dengan objek penelitian, informasi data lapangan dari sumber yang telah ditunjuk oleh perusahaan dan *single line diagram* sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) Area Palembang. Data-data lapangan dan *single line diagram* tersebut digunakan untuk menggambar jaringan listrik pada halaman *drawing* program aplikasi ETAP *Power Station* 12.6.

Kendala yang dihadapi dalam penelitian ini yaitu untuk mendapatkan data *real* nilai tegangan dari pengukuran secara langsung dilokasi dikarenakan permohonan izin dari pihak PLN lambat terpenuhi. Kemudian kesulitan untuk mencapai titik konvergensi dalam eksekusi program dikarenakan banyaknya jumlah komponen yang digambarkan dan nilai yang dimasukkan pada aplikasi ETAP.

3.2. Alat dan Langkah-langkah Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa :

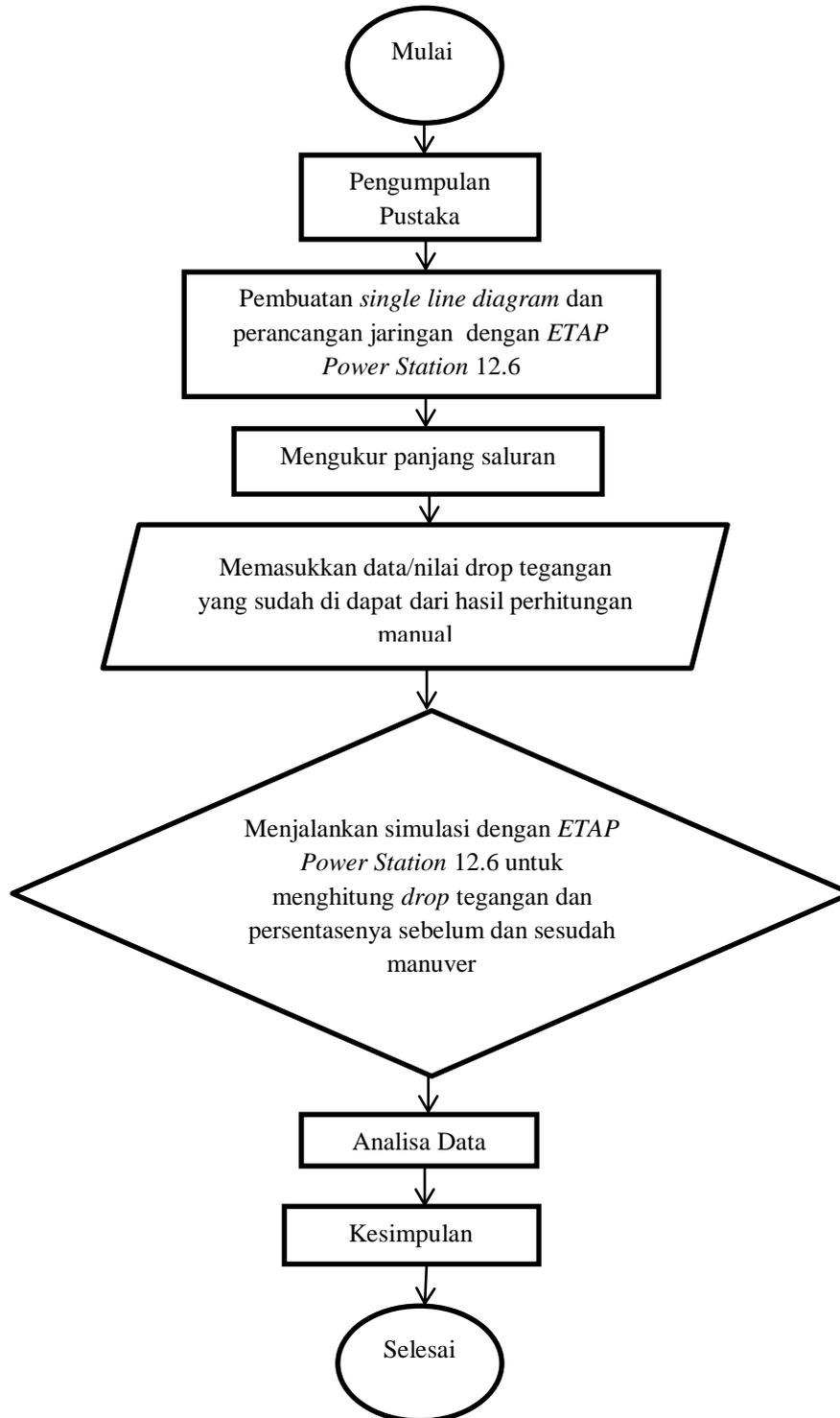
1. Satu komputer dengan prosessor Intel Core Duo
2. Software Windows 2010 dan Microsoft Office 2010
3. Program aplikasi ETAP *Power Station* 12.6

Untuk mencapai tujuan penelitian dilakukan langkah-langkah sebagai berikut

:

1. Melakukan literatur review untuk menyusun dasar teori yang mendukung penelitian serta untuk mempelajari penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya
2. Pengambilan data sistem kelistrikan yang berupa :
 - a. Single line diagram sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) Area Palembang
 - b. Data Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit
 - c. Beban aktual
3. Menggambar *single line diagram* Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit pada program aplikasi ETAP *Power Station* 12.6. Gambar yang telah selesai dikerjakan kemudian diperiksa melalui fasilitas *error checking* yang ada di ETAP untuk memastikan apakah semua komponen telah terhubung dengan benar. Setelah semua komponen terhubung dan tidak ada kesalahan maka program dapat dijalankan.
4. Memasukkan data-data sistem kelistrikan yang diperlukan untuk menjalankan program ETAP. Data-data tersebut adalah tegangan, impedansi, beban dan panjang saluran.
5. Melakukan analisis untuk masing-masing kondisi yang telah ditentukan.
6. Hasil analisis akan memberikan gambaran tentang keadaan sistem kelistrikan yang ada. Dalam menganalisis *drop* tegangan dan manuver jaringan pada Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit ini, penulis perlu menghitung :
 - Tegangan menengah (TM) yang mengalir pada Penyulang Kikim dan Parkit
 - *Drop* tegangan Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit.

Secara ringkas proses perhitungan *drop* tegangan pada penelitian ini dapat dilihat melalui diagram blok berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram blok penelitian

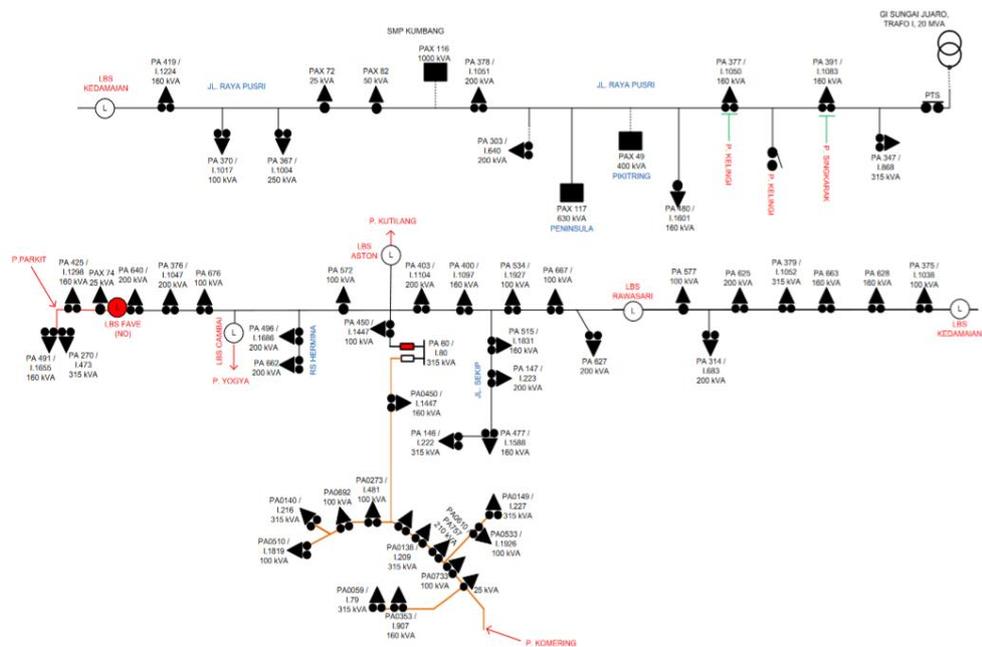
BAB 4 HASIL DAN ANALISA

4.1. Data Sistem

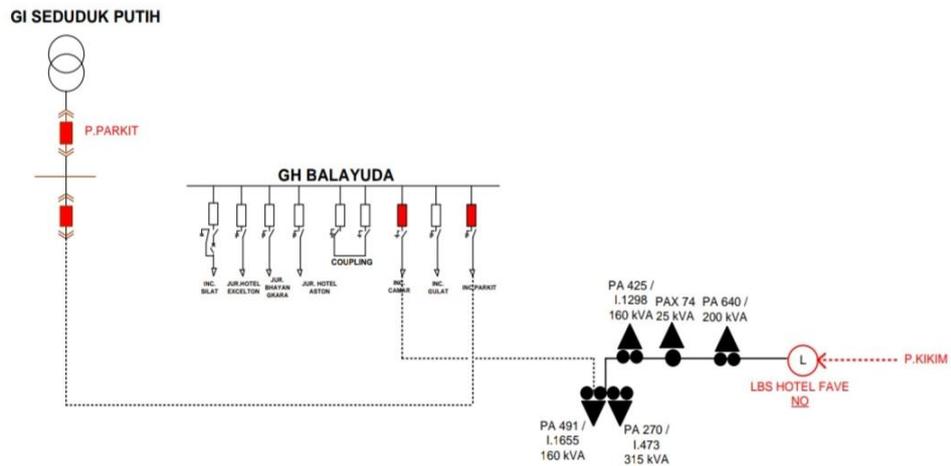
Single Line Diagram menjadi salah satu data penting pada penelitian ini dikarenakan program ETAP mengharuskan ketersediaan data tentang konfigurasi jaringan yang akan disimulasi.

Penyulang yang menjadi bahasan pada penelitian ini adalah Penyulang Kikim yang merupakan bagian dari Gardu Induk Sungai Juaro dan Penyulang Parkit yang merupakan bagian dari Gardu Induk Seduduk Putih.

Berikut *Single Line Diagram* Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit :



Gambar 4.1 Single Line Diagram Penyulang Kikim



Gambar 4.2 Single Line Diagram Penyulang Parkit

Besarnya tegangan pengukuran tegangan rendah (TR) dan tegangan menengah (TM) di Gardu Induk untuk Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit di Gardu Portal ditunjukkan pada tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Besar TR Pengukuran dan TM Gardu Induk di Gardu Portal Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit

No.	Gardu Portal	Penyulang	Tegangan Rendah (TR) Terukur (V)	TM Gardu Induk (kV)
1.	1	Parkit	231,6	20,6
2.	2	Parkit	232,7	20,6
3.	3	Parkit	234	20,6
4.	1	Kikim	220,5	20,4
5.	2	Kikim	222,7	20,5
6.	3	Kikim	232,3	20,5

Panjang dan luas penampang konduktor Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.2 Panjang dan luas penampang konduktor Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit

No.	Gardu Induk / Penyulang	Panjang Penyulang (kms)	Luas	Jenis Penampang
			Penampang Konduktor (mm ²)	
1.	Sungai Juaro / Kikim	9.875	240	AAAC
2.	Seduduk Putih / Parkit	4	150	AAAC

Sebagaimana diuraikan pada tinjauan pustaka, bahwa besarnya *drop* tegangan dipengaruhi oleh panjang saluran dan luas penampang penghantar yang dengan kata lain dipengaruhi oleh nilai impedansi penghantar.

Berikut adalah nilai impedansi untuk Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit berdasarkan SPLN 64 tahun 1985 :

Tabel 4.3 Impedansi Penyulang Parkit

No.	A (mm ²)	R (Ω /km)	L (mH/km)	C (mF/km)	Impedansi	Impedansi
					Urutan Positif	Urutan Nol
1.	150	0,206	0,33	0,26	0,206 + j0,104	0,356 + j0,312

Tabel 4.4 Impedansi Penyulang Kikim

No.	A (mm ²)	Jari-jari Urut (mm)	GMR (mm)	Impedansi	Impedansi
				Urutan Positif	Urutan Nol

1.	240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j0,3158	0,2824 + j1,6034
----	-----	--------	----	--------	---------------------	---------------------

Beban turut mempengaruhi besaran *drop* tegangan pada Penyulang. Besarnya beban pada kedua Penyulang disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4.5 Rata-rata data beban Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit Bulan Oktober 2018

No.	Gardu Induk / Penyulang	Unit	Siang			Malam		
			Amp	V	MW	Amp	V	MW
1.	GI Sungai Juaro Trafo 2 – 20 MVA/70-2-kV Penyulang Kikim	Rivai	113,12	20,38	3,47	96,40	20,58	3,19
2.	GI Seduduk Putih Trafo 2 – 30 MVA/70-20 kV Penyulang Parkit	Kenten	24,51	20,48	0,77	18,25	20,5	0,58

Adapun Trafo daya di Gardu Induk yang digunakan memiliki data teknis sebagai berikut :

1. Trafo 2 Gardu Induk Sungai Juaro
 - Merk : XIAN
 - Kapasitas : 20 MVA

- Tegangan Primer : 70 kV
- Tegangan Sekunder : 20 kV

2. Trafo 2 Gardu Induk Seduduk Putih

- Merk : UNINDO
- Kapasitas : 30 MVA
- Tegangan Primer : 70 kV
- Tegangan Sekunder : 20 kV

4.2. Perhitungan Manual *Drop* Tegangan

Perhitungan *drop* tegangan secara manual dilakukan karena proses perhitungan tersebut masih dapat ditinjau secara manual.

4.2.1. Perhitungan *Drop* Tegangan Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit di Gardu Portal

Hasil yang tertera pada tabel 4.6 didapat dari hasil hitung tegangan menengah (TM) dan *drop* tegangannya. Berikut disajikan perhitungan tegangan menengah untuk Penyulang Parkit pada Gardu Portal 1 dengan menggunakan persamaan 2.1 :

$$\begin{aligned}
 V_{TM} &= \frac{V_{TR}}{V_{uTR}} \times 20.000 \\
 &= \frac{231,6V}{220V} \times 20.000 \\
 &= 20.100 V \\
 &= 20,1 kV
 \end{aligned}$$

Besarnya *drop* tegangan dihitung dengan persamaan 2.4 :

$$\begin{aligned}
 V_R &= \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\% \\
 &= \frac{20,6 kV - 20,1 kV}{20,1 kV} \times 100\% \\
 &= 2,48 \%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapatkan hasil TM yang menyuplai Gardu Portal 1 untuk Penyulang Parkit sebesar 20,1 kV dan *drop* tegangannya sebesar 2,48 %. Kemudian untuk perhitungan selanjutnya telah dirangkum dalam tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Perhitungan manual drop tegangan Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit dalam kondisi normal (sebelum di manuver).

No.	Gardu Portal	Penyulang	Tegangan			Drop Tegangan
			Rendah (TR) Terukur (V)	TM Gardu Induk (kV)	TM Perhitungan (kV)	
1.	1	Parkit	231,6	20,6	20,1	2,48%
2.	2	Parkit	232,7	20,6	20,2	1,98%
3.	3	Parkit	234	20,6	20,3	1,47%
4.	1	Kikim	220,5	20,4	19,1	6,81%
5.	2	Kikim	222,7	20,5	19,3	6,21%
6.	3	Kikim	232,3	20,5	20,1	1,99%

4.2.2. Simulasi Dengan ETAP Power Station 12.6

Simulasi yang dilakukan pada ETAP Power Station 12.6 untuk mengetahui terjadinya *drop* tegangan. Hasil simulasi menunjukkan daerah yang mengalami *drop* tegangan lalu diatasi dengan manuver jaringan dari penyulang lain untuk menyuplai tegangan.

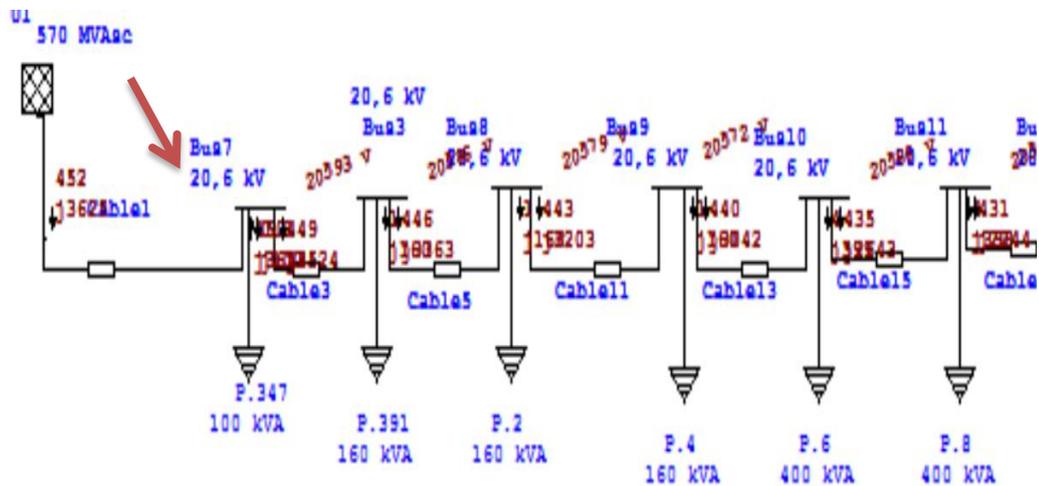
Simulasi dilakukan untuk beberapa keadaan berikut :

1. Kedua Penyulang dalam keadaan normal
2. Kedua Penyulang dalam keadaan terganggu (gangguan GI / pemeliharaan GI)
3. Penyulang Kikim *drop* kemudian di manuver ke Penyulang Parkit
4. Penyulang Parkit *drop* kemudian di manuver ke Penyulang Kikim

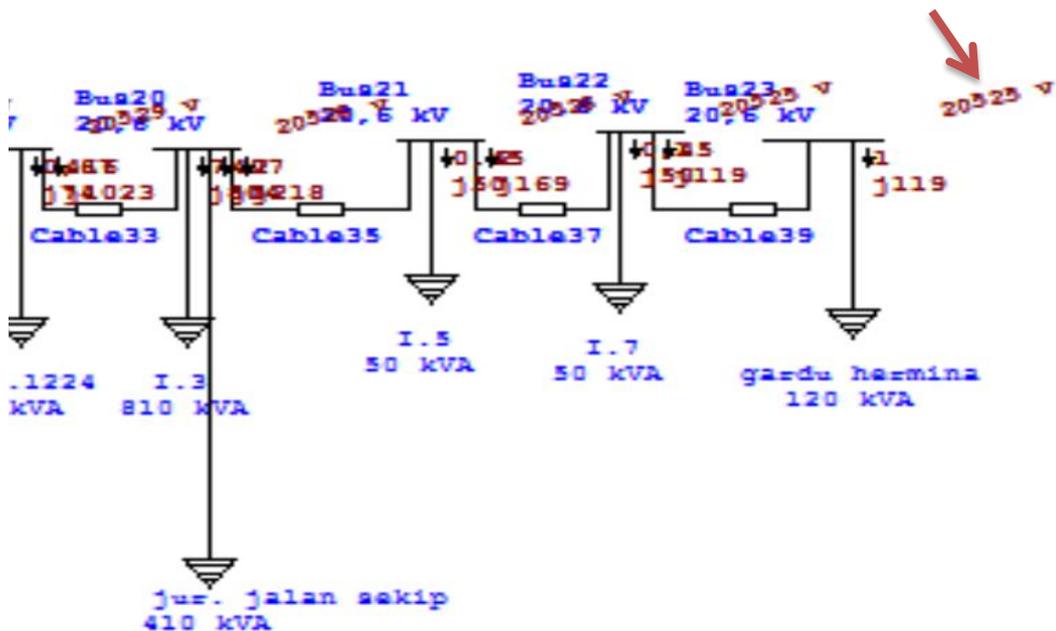
Berikut hasil simulasi ETAP untuk keempat keadaan diatas :

1. Pada Kondisi normal

Hasil simulasi ETAP menunjukkan tegangan pangkal Penyulang Kikim sebesar 20,6 kV dengan tegangan ujung sebesar 20,52 kV

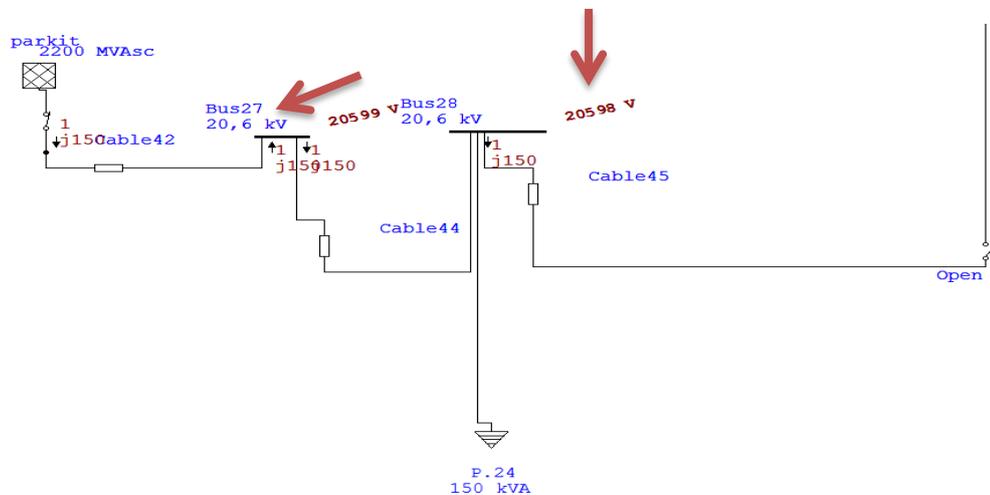


Gambar 4.3 Simulasi *drop* tegangan Penyulang Kikim dengan ETAP yang menunjukkan nilai tegangan pangkal.



Gambar 4.4 Simulasi *drop* tegangan Penyulang Kikim dengan ETAP yang menunjukkan nilai tegangan ujung

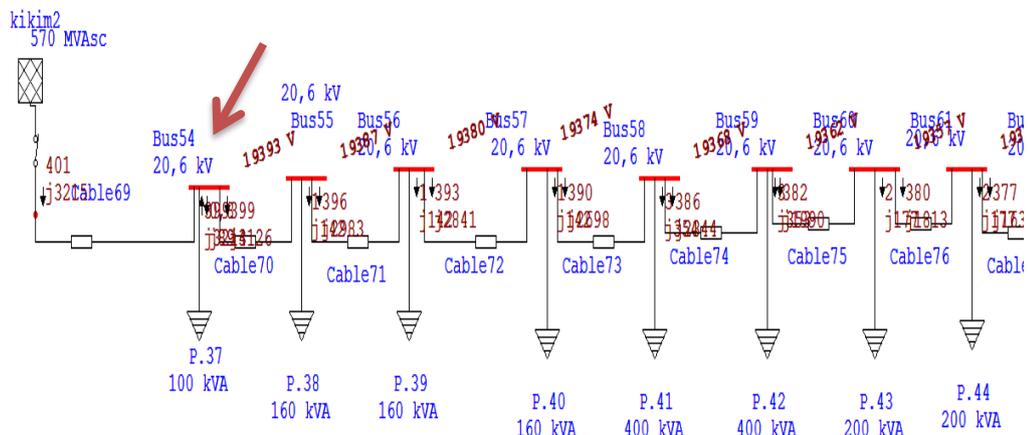
Hasil simulasi ETAP pada Penyulang Parkit menunjukkan tegangan pangkal Penyulang Parkit sebesar 20,6 kV dan tegangan ujung sebesar 20,59 kV



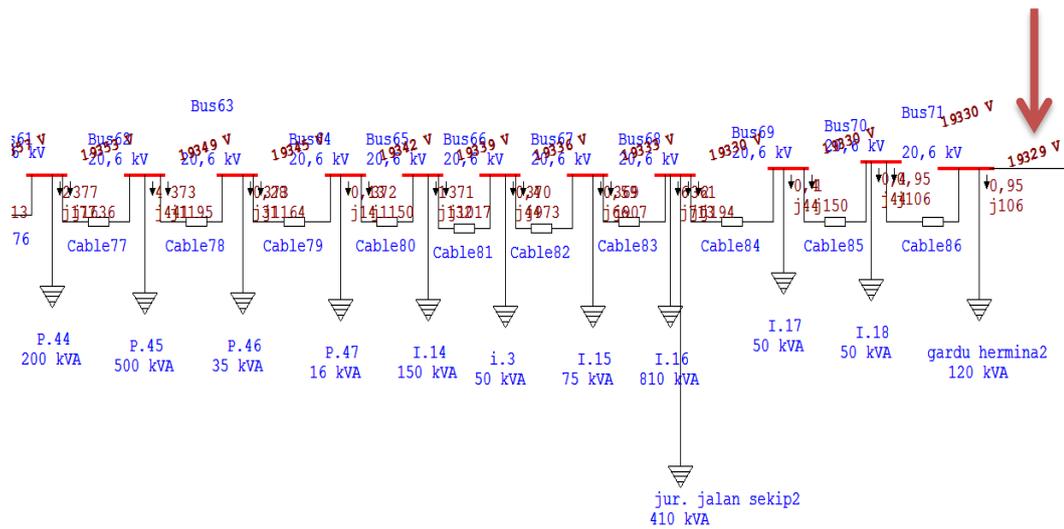
Gambar 4.5 Simulasi *drop* tegangan penyulang Parkit dengan ETAP power station 12.6 pada keadaan normal

2. Pada kondisi Penyulang terganggu

Hasil simulasi ETAP menunjukkan tegangan pangkal Penyulang Kikim terganggu (*drop*) sebesar 20,6 kV dengan tegangan ujung sebesar 19,32 kV

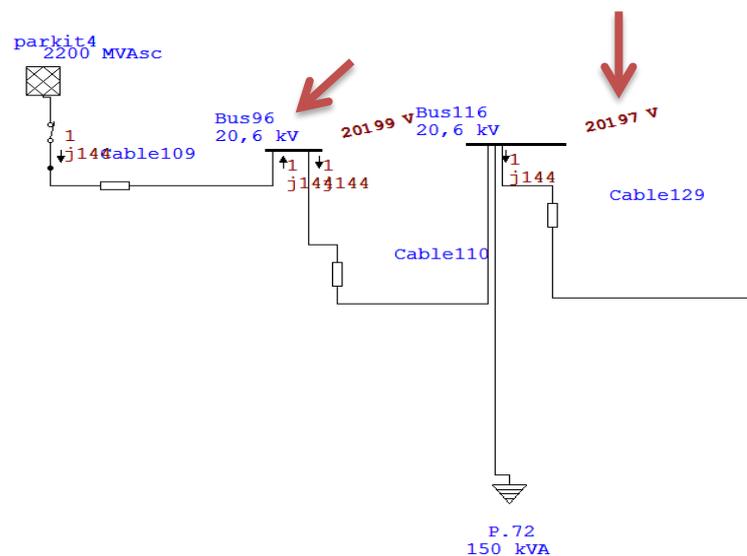


Gambar 4.6 Simulasi *drop* tegangan Penyulang Kikim terganggu dengan ETAP yang menunjukkan nilai tegangan pangkal.



Gambar 4.7 Simulasi *drop* tegangan Penyulang Kikim terganggu dengan ETAP yang menunjukkan nilai tegangan ujung.

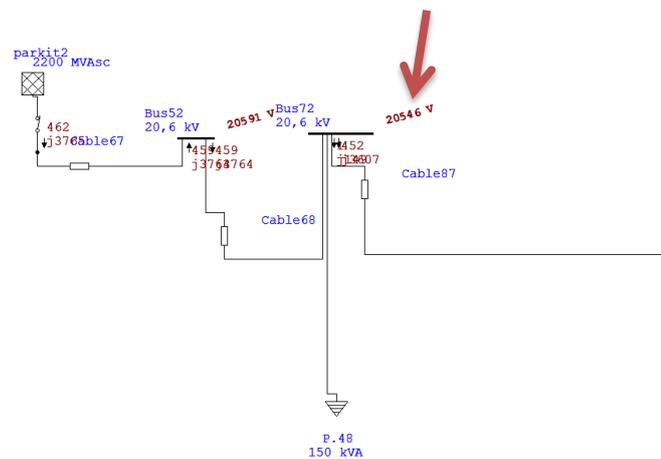
Hasil simulasi ETAP pada Penyulang Parkit terganggu (*drop*) menunjukkan tegangan pangkal Penyulang Parkit sebesar 20,6 kV dan tegangan ujung sebesar 20,59 kV



Gambar 4.8 Simulasi Penyulang Parkit dengan ETAP power station 12.6 pada keadaan terganggu (*drop*).

3. Penyulang Kikim terganggu dimanuver ke Penyulang Parkit normal

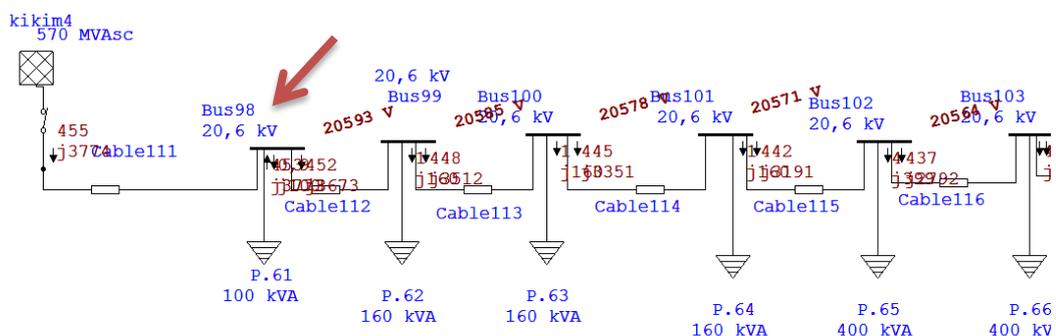
Hasil simulasi ETAP dimana Penyulang Parkit menerima manuver beban dari Penyulang Kikim yang terganggu. Sehingga tegangan ujung pada Penyulang Parkit (LBS Fave Hotel) menjadi 20,54 kV dengan tegangan pangkal sebesar 20,6 kV.



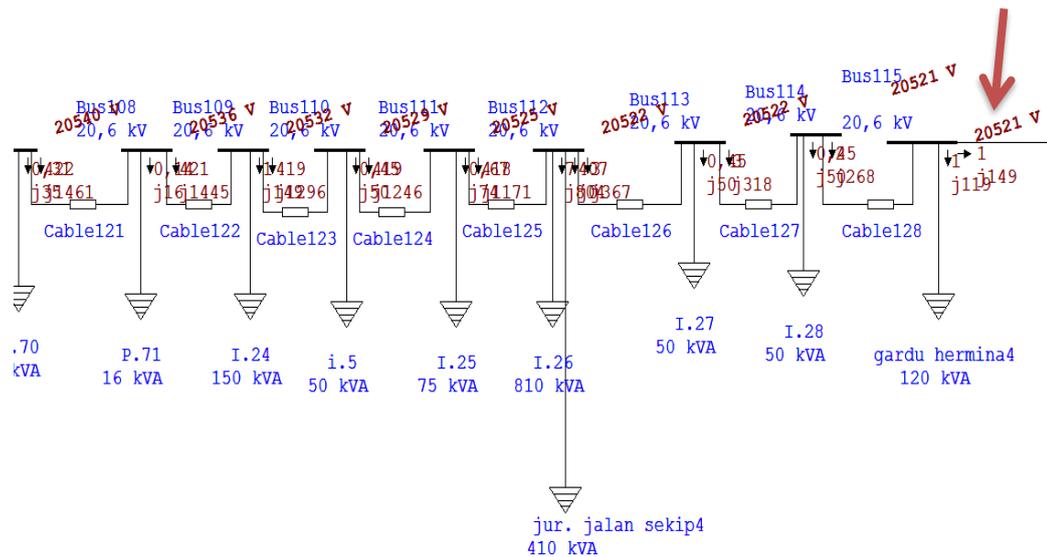
Gambar 4.9 Simulasi ETAP Penyulang Kikim terganggu dimanuver dengan Penyulang Parkit normal.

4. Penyulang Parkit terganggu dimanuver ke Penyulang Kikim normal

Hasil simulasi ETAP dimana Penyulang Kikim menerima manuver beban dari Penyulang Parkit. Tegangan ujung pada Penyulang Kikim (LBS Fave Hotel) menjadi 20,52 kV dengan tegangan pangkal sebesar 20,6 kV.



Gambar 4.10 Simulasi ETAP yang menunjukkan nilai tegangan pangkal Penyulang Parkit dimanuver dengan Penyulang Kikim



Gambar 4.11 Simulasi ETAP yang menunjukkan nilai tegangan ujung Penyulang Parkit dimanuver dengan Penyulang Kikim

4.3. Analisis Drop Tegangan Pada Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Dari hasil perhitungan manual *drop* tegangan pada jaringan distribusi Area Palembang untuk Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit, dapat dianalisa sebagai berikut :

Seperti yang tertera pada tabel 4.6, Penyulang Parkit dengan tegangan sumber sebesar 20,6 kV, nilai tegangan perhitungan TM yang didapat pada Gardu Portal 1 yaitu sebesar 20,1kV, Gardu Portal 2 sebesar 20,2kV, dan pada Gardu Portal 3 sebesar 20,3 kV. Dari ketiga nilai tersebut jika dibandingkan dengan SPLN 72 Tahun 1987 yang mana drop tegangan hanya diizinkan sebesar maksimal 5%, maka minimal nilai TM sebesar 19,57 kV. Jika dibandingkan ketiga nilai TM Perhitungan diatas dari Penyulang Parkit, nilainya masih diatas minimum. Atas dasar itu Penyulang Parkit dinyatakan masih layak di operasikan.

Pada Gardu Portal 1,2,3 untuk Penyulang Parkit didapatkan hasil *drop* tegangan yang tertera didalam tabel 4.6. Sebagai contoh diambil dari nilai *drop* tegangan tertinggi : *Drop* tegangan pada Gardu Portal 1 Penyulang Parkit = 2,48%. Berdasarkan SPLN 72 Tahun 1987 penyulang Parkit masih layak dioperasikan.

Pada tabel 4.6, *drop* tegangan pada Gardu Portal 1 dan Gardu Portal 2 Penyulang Kikim melebihi batas toleransi sebesar 5% berdasarkan SPLN 72 Tahun 1987. Jika mengikuti standar ini, besarnya TM minimum dikedua Gardu Portal tersebut berturut-turut adalah 19,38 kV dan 19,47 kV. Berarti, pada Gardu Portal 1 dan Gardu Portal 2 terdapat kekurangan tegangan 0,28 kV dan 0,17 kV. Dari hasil pengamatan dilapangan, banyak penyebab yang membuat *drop* tegangan pada penyulang. Beberapa penyebab tersebut antara lain sambungan *jumper* serta konduktor yang rusak yang menyebabkan *drop* tegangan pada Gardu Portal 1 dan 2 tersebut cukup besar dan jika dibandingkan dengan SPLN maka hal ini dikategorikan sudah tidak layak. Namun dikarenakan supply ke beban (pelanggan) belum terakomodir, maka penyulang Kikim tersebut masih dioperasikan untuk keperluan pelanggan disamping pemeliharaan dan perbaikan masih terus dilaksanakan. Kemudian untuk Gardu Portal 3 Penyulang Kikim didapatkan hasil *drop* tegangan sebesar 1,99% yang berarti penyulang tersebut layak untuk beroperasi.

Semakin besar tegangan ukur TR pada sebuah penyulang maka akan semakin besar hasil perhitungan tegangan TM dan begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan karena adanya perbandingan rasio trafo pada pengukuran tegangan ini. Rasio trafo menggunakan rasio (1:50) yang didapat dari tegangan menengah TM/tap trafo 20.000/400.

Semakin kecil tegangan ukur TR pada sebuah penyulang maka semakin besar *drop* tegangan yang kemungkinan terjadi dan begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan karena adanya jarak antara masing-masing Gardu, karena jarak memiliki nilai impedansi yang mempengaruhi *drop* tegangan. Jika *drop* tegangan terlampau besar, maka kualitas konduktor dan sambungan pada jaringan juga menjadi penentu.

Setelah melakukan simulasi pada ETAP *Power Station* 12.6, didapatkan hasil sebagai berikut :

Drop tegangan pada masing-masing Penyulang dapat dilihat dari nilai tegangan ujung pada masing-masing Penyulang. *Drop* tegangan yang dialami oleh Penyulang Kikim normal sebesar 0,36%, Penyulang Parkit normal sebesar 0,09%,

Penyulang Kikim terganggu sebesar 6,16% dan Penyulang Parkit terganggu sebesar 0,38%.

Terjadi penurunan tegangan pada masing-masing Penyulang jika dimanuver satu sama lain. Hal tersebut dikarenakan terjadinya penambahan panjang jaringan dan beban pelanggan pada masing-masing Penyulang. Secara otomatis hal ini mempengaruhi tegangan ujung pada masing-masing Penyulang tersebut yang berefek pada penurunan tegangan pada titik manuver (LBS Fave Hotel). Setelah melakukan manuver, Penyulang Kikim mengalami penurunan tegangan sebesar 0,079 kV dan untuk Penyulang Parkit sebesar 0,054 kV dari sisi TM.

Berdasarkan SPLN 72 Tahun 1987 dan jika ditinjau hasil simulasi ETAP untuk Penyulang Kikim terganggu yang menunjukkan besarnya drop tegangan sebesar 6,16%, maka Penyulang Kikim tidak layak untuk dioperasikan. Untuk mengakomodir listrik yang harus tetap menyala, maka dilakukan manuver ke Penyulang Parkit. Manuver disini bukan sebagai perbaikan tegangan tetapi lebih kepada pemanfaatan Penyulang Parkit disaat Penyulang Kikim terjadi gangguan tetapi listrik ke beban harus tetap mengalir. Akan tetapi jika tidak diperlukan untuk manuver, maka kondisi operasi kembali seperti semula.

Nilai-nilai dari percobaan diatas telah dirangkum pada tabel 4.7 berikut :

Tabel 4.7 Data hasil simulasi ETAP yang menunjukkan nilai drop tegangan

No.	Penyulang	Kondisi Normal	Kondisi Teganggu
1.	Kikim	0,36%	6,16%
2.	Parkit	0,09%	0,38%

Jika diperlukan untuk saling memanuver, maka Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit dapat menampung beban secara keseluruhan dari beban kedua Penyulang tersebut, dikarenakan besar *drop* tegangan yang terjadi saat proses manuver tidak melebihi SPLN yang telah ditetapkan.

Uraian diatas menunjukkan bahwa Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit dapat menampung beban secara keseluruhan dari beban kedua Penyulang tersebut, dikarenakan besar *drop* tegangan yang terjadi saat proses manuver tidak melebihi SPLN yang telah ditetapkan.

Jadi, tindakan manuver tetap mengacu pada beban maksimum baik itu beban pelanggan ataupun tegangan ujung dari kedua Penyulang.

Ini artinya parameter manuver bukan hanya drop tegangan tetapi keandalan jaringan dan besaran arus pada konduktor juga menjadi pertimbangan untuk melakukan manuver.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada kondisi Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit terganggu, *drop* tegangan berturut-turut sebesar 6,16% dan 0,38% yang menunjukkan bahwa Penyulang Kikim tidak layak untuk dioperasikan pada kondisi terganggu dikarenakan *drop* tegangannya melebihi batas toleransi yang telah ditetapkan. Untuk mengatasi *drop* tegangan Penyulang Kikim tersebut, maka dapat melakukan manuver jaringan antara Penyulang Kikim terganggu ke Penyulang Parkit normal. Setelah melakukan manuver, maka *drop* tegangan untuk Penyulang Kikim dapat teratasi dengan baik.

Hal ini menunjukkan sekaligus membuktikan bahwa Penyulang Parkit lebih handal karena *drop* tegangan yang dialami lebih kecil dibandingkan Penyulang Kikim, sehingga Penyulang Parkit dapat menerima manuver beban dari Penyulang Kikim yang terganggu dan kedua Penyulang dapat beroperasi dengan baik.

5.2. Saran

Dalam proses perencanaan sistem manuver harus dilakukan perhitungan yang baik dengan menggunakan data pengukuran yang tepat dan untuk merencanakan manuver pada Penyulang harus dibuat permodelan di ETAP terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang akurat.

Lampiran 2. Data Beban Penyulang Kikim dan Penyulang Parkit Bulan Oktober 2018

NO	GARDU INDUK / PENYULANG	5						6						7					
		Siang			Malam			Siang			Malam			Siang			Malam		
		Amp	Teg	MW															
	GI Sei Juaro																		
1	Trafo 1 - 30 MVA/70-20 kV	298	20,1	9,33	269	20,5	8,59	281	20,3	8,88	259	20,4	8,23	219	20,6	7,02	240	20,6	7,70
1	Lematang	63		1,97	41		1,31	63		1,99	44		1,40	20		0,64	28		0,90
2	Komerang	102		3,19	107		3,42	91		2,88	103		3,27	81		2,60	101		3,24
3	Ogan	137			130			135			128			128					126
2	Trafo 2 - 20 MVA/70-20 kV	225	20,2	7,08	245	20,5	7,82	180	20,4	5,72	94	20,8	3,04	149	20,6	4,78	85	20,8	2,75
1	Enim (Tembaga)	103		3,24	135		4,31	84		2,67	9		0,29	64		2,05	(7)		(0,23)
2	Kikim	125		3,93	112		3,57	100		3,18	104		3,37	85		2,73	94		3,04
3	Kelingi	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-
	GI Seduduk Putih																		
1	Trafo 1 - 30 MVA/70-20 kV	397	20,2	12,49	437	20,6	14,02	365	20,3	11,54	439	20,5	14,01	348	20,6	11,16	426	20,8	13,80
1	Kacer	125		3,93	152		4,88	120		3,79	151		4,82	115		3,69	147		4,76
2	Beo	130		4,09	160		5,13	134		4,24	164		5,23	133		4,27	162		5,25
3	Kenari	37		1,16	52		1,67	37		1,17	51		1,63	37		1,19	50		1,62
4	Merak	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-
5	Pipit	75		2,36	63		2,02	60		1,90	59		1,88	56		1,80	53		1,72
2	Trafo 2 - 30 MVA/70-20 kV	291	20,2	9,15	295	20,6	9,46	281	20,2	8,84	290	20,5	9,26	230	20,3	7,27	270	20,5	8,62
1	Murai	99		3,11	88		2,82	94		2,96	90		2,87	73		2,31	83		2,65
2	Merpati	132		4,15	128		4,11	122		3,84	129		4,12	103		3,26	118		3,77
3	Walet	13		0,41	22		0,71	16		0,50	21		0,67	20		0,63	21		0,67
4	Kutiang	56		1,76	54		1,73	50		1,57	50		1,60	41		1,30	47		1,50
5	Parkit	22		0,69	16		0,51	11		0,35	9		0,29	9		0,28	9		0,29
6	Cendrawasi	9		0,28	8		0,26	9		0,28	8		0,26	9		0,28	7		0,22

NO	GARDU INDUK / PENYULANG	8						9						10					
		Siang			Malam			Siang			Malam			Siang			Malam		
		Amp	Teg	MW	Amp	Teg	MW	Amp	Teg	MW	Amp	Teg	MW	Amp	Teg	MW	Amp	Teg	MW
	GI Sei Juaro																		
1	Trafo 1 - 30 MVA/70-20 kV	237	20,4	7,53	234	20,6	7,51	282	20,3	8,91	236	20,5	7,53	283	20,6	9,08	241	20,6	7,73
1	Lematang	60		1,91	28		0,90	62		1,96	22		0,70	62		1,99	28		0,90
2	Komerang	83		2,64	100		3,21	90		2,84	98		3,13	94		3,01	103		3,30
3	Ogan	128			122			138			122			131					120
2	Trafo 2 - 20 MVA/70-20 kV	160	20,4	5,08	179	20,5	5,71	95	20,1	2,97	141	20,4	4,48	110	20,6	3,53	141	20,8	4,57
1	Enim (Tembaga)	77		2,45	77		2,46	(11)		(0,34)	45		1,43	(9)		(0,16)	48		1,55
2	Kikim	110		3,49	103		3,29	110		3,44	99		3,14	115		3,69	108		3,50
3	Kelingi	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-
	GI Seduduk Putih																		
1	Trafo 1 - 30 MVA/70-20 kV	384	20,1	12,02	435	20,6	13,95	436	20,6	13,98	429	20,8	13,89	381	20,6	12,22	449	20,8	14,54
1	Kacer	116		3,63	141		4,52	113		3,62	142		4,60	116		3,72	148		4,79
2	Beo	123		3,85	153		4,91	113		3,62	154		4,99	120		3,85	156		5,05
3	Kenari	33		1,03	50		1,60	114		3,66	48		1,55	34		1,09	52		1,68
4	Merak	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-
5	Pipit	84		2,63	73		2,34	85		2,73	79		2,56	85		2,73	75		2,43
2	Trafo 2 - 30 MVA/70-20 kV	279	20,2	8,77	280	20,5	8,94	289	20,3	9,13	273	20,5	8,71	278	20,3	8,79	291	20,5	9,29
1	Murai	96		3,02	83		2,65	86		2,72	84		2,68	93		2,94	88		2,81
2	Merpati	129		4,06	127		4,05	122		3,86	123		3,93	128		4,05	128		4,09
3	Walet	13		0,41	20		0,64	12		0,38	20		0,64	13		0,41	21		0,67
4	Kutiang	57		1,79	52		1,66	55		1,74	50		1,60	54		1,71	53		1,69
5	Parkit	21		0,66	14		0,45	12		0,38	13		0,41	20		0,63	13		0,41
6	Cendrawasi	7		0,22	8		0,26	9		0,28	8		0,26	9		0,28	7		0,22

Lampiran 7. Gambar pengukuran TR Penyulang Parkit berturut-turut Gardu Portal 1,2 dan 3



Lampiran 8. Gambar pengukuran TR Penyulang Kikim berturut-turut Gardu Portal 1,2 dan 3

