

**ANALISIS ALIRAN DAYA PENYULANG KBL02 DAN KBL05 PADA
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA
PURWOKERTO**

NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR



Disusun oleh :

**MOH HANIEF ALMAS ZINDANI
5150711088**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI & ELEKTRO
UNIVERSITAS TEKNOLOGI YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2019**

HALAMAN PENGESAHAN
NASKAH PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir

**ANALISIS ALIRAN DAYA PENYULANG KBL02 DAN KBL05 PADA JARINGAN
TEGANGAN MENENGAH 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA PURWOKERTO**

Judul Naskah Publikasi

**ANALISIS ALIRAN DAYA PENYULANG KBL02 DAN KBL05 PADA JARINGAN
TEGANGAN MENENGAH 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA PURWOKERTO**

Disusun oleh :

MOH HANIEF ALMAS ZINDANI
5150711088

Telah dipertanggungjawabkan di dalam Sidang Tugas Akhir

Pada

Nama	Jabatan	Tanda tangan	Tanggal
Ikrima Alfi, S.T., M.Eng	Pembimbing

Naskah Publikasi Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu syarat untuk mencapai derajat
Sarjana S-1 Program Studi Teknik Elektro

Yogyakarta,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

M.S Hendriyawan A., S.T., M.Eng
NIK. 110810056

PERNYATAAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya :

NAMA : MOH. HANIEF ALMAS ZINDANI
NIM : 5150711088
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Fakultas : Teknologi Informasi dan Elektro

**“ANALISIS ALIRAN DAYA PENYULANG KBL02 DAN KBL05 PADA JARINGAN
TEGANGAN MENENGAH 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA PURWOKERTO”**

Menyatakan bahwa Naskah Publikasi ini hanya akan dipublikasikan di JURNAL TeknoSAINS FTIE UTY, dan tidak dipublikasikan di jurnal yang lain.

Demikian surat pernyataan ini di buat dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, 28 Mei 2019
Penulis

MOH. HANIEF ALMAS ZINDANI
5150711088

Analisis Aliran Daya Penyulang KBL02 dan KBL05 Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV PT. PLN (Persero) Area Purwokerto

Moh. Hanief Almas Zindani

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Informasi dan Elektro
Universitas Teknologi Yogyakarta
Jl. Ringroad Utara Jombor Sleman Yogyakarta
E-mail : zindanihanif@gmail.com*

ABSTRAK

Kota Purwokerto merupakan salah satu daerah yang sedang mengalami kemajuan dalam infrastruktur, perindustrian, penataan kota dan pariwisata, maka dari itu menyebabkan kebutuhan listrik semakin meningkat. Peningkatan jumlah pasokan listrik ini tidak diimbangi dengan kapasitas trafo distribusi yang terbatas jumlahnya, maka akan menyebabkan overload pada trafo. Hal ini berakibat isolasi kumparan meleleh sehingga terjadi hubung singkat dan trafo menjadi terbakar/rusak. Adapun juga sistem distribusi yang berupa undervoltage, yaitu jatuhnya tegangan yang menyebabkan konsumen cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah dibandingkan dengan konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan. Khususnya pada jaringan penyulang KBL02 yang meliputi daerah perkotaan dan KBL05 untuk daerah pariwisata Baturraden yang semua dipasok oleh GI Kalibakal. Untuk mengatasi overload pada trafo yaitu dengan cara peningkatan kapasitas trafo, trafo yang memiliki beban kecil dimutasi atau dipindahkan ke beban yang besar atau sebaliknya dan melakukan penyisipan trafo. Sedangkan untuk undervoltage dilakukan pemindahan section pada jaringan penyulang terdekat yang memiliki beban lebih kecil. Dari data kondisi eksisting trafo yang mengalami overload ada 43 trafo dan mengalami undervoltage dengan presentase 93,91 % untuk KBL02, sedangkan untuk KBL05 ada 64 trafo overload dan presentase tegangan 71,29 % yang sudah melebihi batas toleransi kriteria undervoltage dengan nilai presentase tegangan 90 %, maka perlu dilakukan pemindahan jaringan baru, yaitu ke jaringan penyulang KBL011 pada section yang mengalami undervoltage atau tap changer dengan menaikkan 5 % dari tegangan nominal.

Kata kunci : *Overload, Undervoltage, Trafo, Section dan Eksisting*

1. PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan listrik semakin meningkat. Hal ini berpengaruh terhadap permintaan listrik yang terus bertambah dan tidak merata. Peningkatan jumlah pasokan listrik ini tidak diimbangi dengan kapasitas trafo distribusi yang terbatas jumlahnya. Jika hal ini terus dibiarkan, maka akan menyebabkan terjadinya beban lebih pada trafo atau sering disebut sebagai *overload* trafo. Beban lebih mungkin tidak tepat disebut sebagai gangguan, namun karena beban lebih merupakan suatu keadaan abnormal yang apabila dibiarkan terus berlangsung dapat membahayakan peralatan karena beban lebih dapat menyebabkan panas yang berlebihan sehingga dapat mempercepat proses penuaan. Beban sistem bervariasi dan besarnya berubah-ubah sepanjang waktu. Bila beban meningkat, maka tegangan di ujung penerimaan menurun dan sebaliknya bila beban berkurang, maka tegangan di ujung penerimaan naik. Ketidak seimbangan beban ini

dapat menyebabkan terjadinya arus fasa yang tinggi sehingga kumparan trafo dari fasa yang berbeban menjadi lebih panas. Hal ini berakibat isolasi kumparan meleleh sehingga terjadi hubung singkat dan trafo menjadi terbakar/rusak. Pada sistem distribusi sering terjadi persoalan tegangan yang biasanya berupa *undervoltage*. Untuk mengetahui kondisi tegangan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah memeriksa sekunder trafo distribusi. Dari hasil analisis aliran daya ini akan membantu perencanaan sistem distribusi untuk tahun berikutnya yang mencakup penambahan jaringan dan peralatan baru, penambahan jumlah konsumen, dan menganalisis persoalan tegangan sehingga didapatkan perencanaan sistem distribusi yang lebih efektif.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Roy Yoppy Firnandus (2014). Dengan judul penelitian "Analisis Koordinasi Proteksi Penyulang SGN 12 terhadap Arus Hubung Singkat di PT.PLN (Persero)

Area Purwokerto”. Dalam penelitian ini hasil studi kasus yang dilakukan bahwa koordinasi proteksi penyulang SGN 12 perlu pengaturan ulang koordinasi GFR untuk menghindari kemungkinan terjadinya trip bersama antara kedua recloser.

Eka Maudyna Isdyanti (2017). Dengan judul penelitian “Koordinasi Proteksi pada Penyulang KDS 07 22 kV GI Kudus PT. PLN (Persero) APD jateng & DIY”. Membahas tentang proteksi menggunakan *relay* OCR dan GFR dapat mengamankan peralatan listrik pada jaringan listrik 20 kV dibutuhkan adanya suatu koordinasi antara *relay* yang terdapat pada *recloser* dan *relay* yang terdapat pada *outgoing* 20 kV.

Pitiadani BR Tarigan (2017). Dengan judul penelitian “Optimasi Aliran Daya Reaktif Untuk Meminimasi Rugi-Rugi Daya Dengan Menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) Pada Sistem Kelistrikan Lampung”. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem dengan mengatur aliran daya reaktif menggunakan (PSO) dan disimulasikan menggunakan software Matlab. Dari hasil optimasi diperoleh rugi daya aktif sebesar 16,5896 MW dan rugi daya reaktif sebesar 52,84 MVAR.

Achmad Bambang Sumadiyana (2015). Dengan judul penelitian “ Simulasi Aliran Daya Sistem 150 kV Region Jakarta-Banten Dengan Perbandingan Sistem *Grid* dan IBT”. Dalam skripsi ini menentukan kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik adalah pengoprasian sistem pada tegangan dan frekuensi konstan dengan analisis aliran daya pada kondisi normal. Disimulasikan menggunakan software ETAP dengan dua situasi yaitu penggunaan *grid* dan IBT.

Citra Mustika Putri (2016). Dengan judul penelitian “Studi Kasus Rekoordinasi Proteksi Rele Gangguan Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Busbar 10 kV di PLTU Tanjung jati B Unit 1 dan 2”. Dalam studi kasus ini, ditentukan setelan rele terbaik berdasarkan perhitungan dan didukung dengan simulasi berkaitan dengan gangguan yang terjadi pada sistem.

2.2. Jaringan Tegangan Menengah

Jaringan Tegangan Menengah adalah jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk sebagai suplai tenaga listrik dengan gardu-gardu distribusi. Sistem Tegangan Menengah yang digunakan di PT. PLN (Persero) Area Purwokerto pada umumnya adalah 20 kV. Jaringan ini mempunyai struktur/pola sedemikian rupa, sehingga dalam pengoperasiannya mudah dan handal.

2.3. Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan Tegangan Rendah dibedakan menjadi dua :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah

Saluran Udara Tegangan Rendah ini merupakan penghantar yang ditempatkan di atas tiang (di

udara). Ada dua jenis penghantar yang digunakan, yaitu penghantar tak berisolasi (kawat) dan penghantar berisolasi (kabel). Penghantar tak berisolasi mempunyai berbagai kelemahan, seperti rawan pencurian dan rawan terjadi gangguan fasa-fasa maupun fasa-netral. Tetapi memiliki keunggulan harga yang relatif murah dan mudah dalam hal pengusutan gangguan. Sedang penghantar berisolasi memiliki keuntungan dan kerugian yang saling berlawanan dengan penghantar tak berisolasi.

2. Saluran Kabel Tegangan Rendah

Saluran Kabel Tegangan Rendah ini menempatkan kabel di bawah tanah. Tujuan utama penempatan di bawah tanah pada umumnya karena alasan estetika, sehingga penggunaan SKTR umumnya adalah kompleks perumahan dan daerah perindustrian. Keuntungan penggunaan kabel ini adalah estetika yang lebih indah, tidak terganggu oleh pengaruh-pengaruh cuaca. Kelemahan kabel ini adalah jika terjadi gangguan sulit menemukan lokasinya dan jika terjadi pencurian dengan suntikan di bawah tanah petugas kesulitan mengungkapkannya.

2.4. Transformator Distribusi

Trafo distribusi yang umum digunakan adalah trafo *step down* 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena terjadi *drop* tegangan maka tegangan pada rak TR dibuat di atas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt. Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik arus bolak-balik, sehingga pada inti transformator terbuat dari bahan ferromagnet yang akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet ($\text{fluks} = \Phi$).

2.5. Daya

Pengertian daya adalah perkalian antara tegangan yang diberikan dengan hasil arus yang mengalir.

$$P = V \cdot I$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Daya dibedakan menjadi 3 (tiga) jenis yaitu :

1. Daya aktif

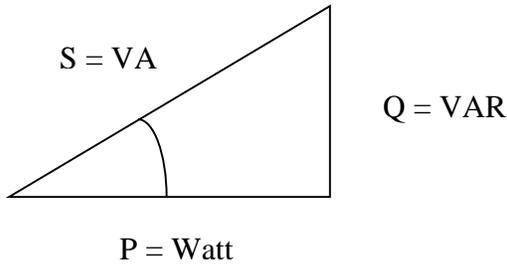
Daya aktif merupakan daya nyata yang terserap dari peralatan kW (kiloWatt) yang digunakan oleh beban untuk melakukan tugas tertentu.

2. Daya reaktif

Daya yang melakukan usaha dengan satuan kVAR (kilo Volt Ampere Reaktif). Daya reaktif merupakan daya yang tersendiri, daya ini sebenarnya adalah beban atau kebutuhan pada suatu sistem listrik.

3. Daya semu

Daya semu adalah daya yang tersedia untuk sebagai dasar melakukan usaha dengan satuan kVA (kilo Volt Ampere).



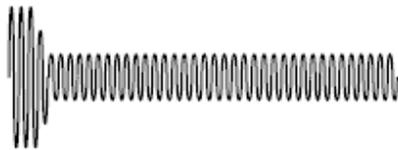
Gambar 1 : Segitiga Daya

2.6. Variasi Tegangan rms (root-mean-square)

Variasi tegangan rms merupakan variasi level tegangan yang terjadi lebih lama dari setengah cycle gelombang sinus. Perubahan level tegangan yang terjadi bisa singkat, bisa pula dalam waktu lama. Variasi dalam waktu lama terjadi ketika tegangan rms lebih panjang dari satu menit. Pada umumnya variasi ini disebabkan oleh variasi beban pada sistem dan sistem kerja switching. Variasi dikategorikan menjadi dua yaitu :

1. Undervoltage

Undervoltage merupakan penurunan tegangan rms kurang dari 90 % pada frekuensi daya dengan durasi waktu lebih dari satu menit. Undervoltage disebabkan antara lain karena penambahan atau pelepasan beban (load switching on), pelepasan kapasitor bank, dan overloaded circuits. Solusi untuk mengatasi undervoltage dengan menambahkan rangkaian untuk startup beban besar yaitu dengan star-delta configuration dan adjustable speed drives (ASDs).



Gambar 2 : Undervoltage

2. Overvoltage

Overvoltage merupakan peningkatan tegangan rms lebih dari 110 % pada frekuensi daya dengan durasi waktu lebih dari satu menit. Overvoltage disebabkan oleh load switching (pelepasan beban besar atau penambahan daya kapasitor bank), dan pengaturan tap trafo yang tidak tepat. Untuk

mengatasi overvoltage dengan menggunakan UPS (Uninterruptible Power Supply).



Gambar 3 : Overvoltage

3. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis aliran daya merupakan tahap pengolahan data-data yang diperoleh untuk mendapatkan penyelesaian masalah serta pembuktian hipotesis hingga terbentuknya penelitian sebagai berikut :

1. Menentukan kondisi eksisting sistem distribusi pada jaringan penyulang KBL02 dan KBL05 PT. PLN (Persero) Area Purwokerto yang terdiri dari topologi jaringan beserta data beban, data bus, data line transmisi, dan data trafo. Tahun 2019 merupakan tahun eksisting, sedangkan perencanaan dilakukan sampai tahun 2029.
2. Menggambar topologi jaringan penyulang KBL02 dan KBL05 pada program ETAP Power Station 12.6.0.
3. Memasukan data peralatan listrik yang terdapat pada topologi jaringan penyulang sesuai dengan data yang diperoleh di PT. PLN (Persero) Area Purwokerto. Serta parameter antara lain batas toleransi tegangan yaitu presentase overvoltage dan undervoltage yang diizinkan untuk jaringan distribusi masing-masing adalah +5 dan -10 % sehingga dilakukan perhitungan batas toleransi tegangan secara simulasi dengan program ETAP Power Station 12.6.0. Tegangan ini dinamakan dengan tegangan kritis (critical voltage). Pada tegangan tinggi 20 kV (100%), bus yang mengalami undervoltage sebesar ≥ 10% (nilai nyata 90% dari 20 kV) atau mengalami kelebihan tegangan (overvoltage) sebesar ≥ 5% (nilai nyata 105% dari 20 kV) dianggap tidak aman bagi sistem. Adapun tegangan marginal voltage yang nilai simpangannya sebesar ± 3% dari 20 kV.
4. Memperkirakan jumlah beban sampai 10 tahun mendatang dengan menggunakan program Microsoft Office Exsel 2013. Perkiraan jumlah beban ini dihitung dengan berdasarkan pada presentase pertumbuhan beban setiap tahun yaitu 8 % untuk trafo satu fasa dan 2 % untuk trafo tiga fasa.
5. Menganalisa aliran daya sampai 10 tahun medatang dengan menggunakan program ETAP Power Station 12.6.0. analisis alairan daya dilakukan sebanyak 10 kali. Dari analisis

- aliran daya ini akan diketahui profil tegangan untuk tiap bus dan arus untuk saluran pada topologi jaringan penyulang KBL02 dan KBL05. Hasil analisis aliran daya dapat dilihat pada *report manager* karena di dalam *report manager* ini terdapat data-data spesifikasi seluruh peralatan listrik pada jaringan yang telah dianalisis, profil tegangan setiap bus, dan arus pada setiap *line*.
6. Merangkum komponen-komponen jaringan distribusi yang berada di luar kriteria dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a. Pada ETAP *Power Station* 12.6.0 menunjukkan warna merah muda jika terjadi tegangan rata-rata (*marginal voltage*) pada bus tegangan menengah 20 kV.
 - b. Pada ETAP *Power Station* 12.6.0 menunjukkan warna merah tua jika terjadi tegangan kritis (*critical voltage*) pada bus tegangan menengah 20 kV.
 - c. Pada program Microsoft Office Excel 2013 menunjukkan *overload* trafo jika beban melebihi kapasitas trafo yang diijinkan.
 7. Setelah merangkum komponen jaringan penyulang yang berada diluar kriteria, langkah berikutnya adalah :
 - a. Majemen pembebanan trafo untuk mengatasi *overload* pada trafo distribusi antara lain :
 1. Peningkatan kapasitas trafo distribusi Setelah melakukan perkiraan beban selama 10 tahun mendatang terdapat beberapa beban trafo distribusi yang melebihi kapasitas trafo yang seharusnya sehingga perlu adanya peningkatan kapasitas trafo yang lebih besar. Hal ini dilakukan jika pada jaringan tegangan rendah tidak memungkinkan lagi untuk dilakukan perubahan jaringan.
 2. Mutasi trafo yaitu trafo yang memiliki beban kecil dimutasikan atau dipindahkan ke beban besar atau sebaliknya. Mutasi trafo dilakukan jika lokasi trafo memiliki tingkat pertumbuhan beban yang berbeda, misal di lokasi yang satu memiliki tingkat pertumbuhan beban yang besar namun kapasitas trafonya kecil, sedangkan di lokasi yang lain memiliki tingkat pertumbuhan beban yang kecil namun kapasitas trafonya besar sehingga kedua lokasi trafo saling bertukar trafo.
 3. Penyisipan trafo dilakukan dengan menyisipkan trafo distribusi dengan kapasitas tertentu pada trafo distribusi

yang memiliki beban melebihi kapasitas trafo dan memungkinkan untuk dilakukan perubahan jaringan di lokasi tersebut.

- b. Untuk mengatasi *undervoltage* dan *overvoltage* pada bus tegangan menengah 20 kV, maka dilakukan pemindahan salah satu *section* pada jaringan penyulang yang satu ke jaringan penyulang yang lain. Biasanya *section* yang dipindah adalah *section* paling ujung dari jaringan penyulang yang memiliki beban yang lebih besar dan dipindahkan ke jaringan penyulang terdekat yang memiliki beban yang lebih kecil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penggambaran Topologi Penyulang KBL02 dan KBL05

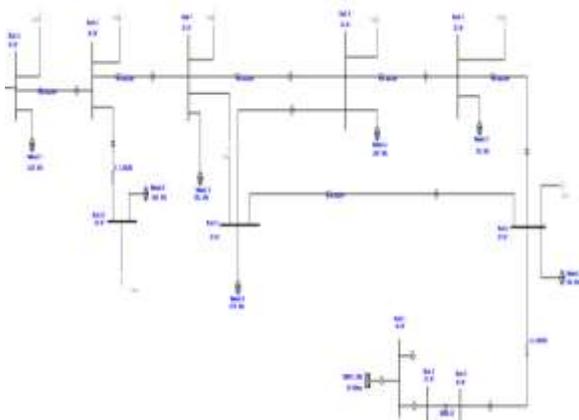
Pada penelitian ini, penulis menggunakan aplikasi program ETAP *Power Station* 12.6.0 sebagai media untuk menggambar jaringan penyulang KBL02 dan KBL05. Langkah selanjutnya adalah memasukan data-data peralatan listrik yang terdapat pada topologi jaringan tersebut sesuai dengan data-data yang telah diperoleh dari PT. PLN (Persero) Area Purwokerto. Selain memasukan data-data peralatan pada topologi jaringan yang akan diuji, parameter lain yang harus dimasukan antara lain mengenai batas toleransi tegangan yang berdasarkan pada SPLN 1 : 1995 yaitu persentase *overvoltage* dan *undervoltage* yang diizinkan untuk jaringan distribusi masing-masing adalah +5 dan -10 % sehingga dilakukan perhitungan batas toleransi tegangan secara simulasi dengan menggunakan program ETAP *Power Station* 12.6.0. Untuk perhitungan secara nyata sebesar 90 % dari 20 kV untuk batas *undervoltage*, dan 105 % dari 20 kV untuk batas *overvoltage*.

1. Jaringan penyulang KBL02

Jaringan penyulang KBL02 disuplay dari trafo I Gardu Induk Kalibakal yang memiliki kapasitas 20 MVA, kemampuan hubung singkat sebesar 720 MVA_{sc} dan arus nominal ($I_{nominal}$) trafo 577 A, sedangkan untuk seting arus jaringan penyulang KBL02 yaitu sebesar 480 A. penggambaran trafo pada program ETAP *Power Station* 12.6.0 disimbolkan dengan *power grid* dan dinamakan sebagai Trafo I KBL. Kemudian mengisikan parameter-parameter yang telah disebutkan di atas. Pada topologi jaringan, beban digambarkan dengan lumped load. Kapasitas beban akan diisi berdasarkan perkiraan beban selama sepuluh tahun untuk tiap *section*.

- Beban 2.1 terdapat pada *section* 02 dan terhubung pada bus 2.4
- Beban 2.2 terdapat pada *section* 03 dan terhubung pada bus 2.8

- Beban 2.3 terdapat pada section 04 dan terhubung pada bus 2.5
- Beban 2.4 terdapat pada section 05 dan terhubung pada bus 2.6
- Beban 2.5 terdapat pada section 06 dan terhubung pada bus 2.7
- Beban 2.6 terdapat pada section 07 dan terhubung pada bus 2.10
- Beban 2.7 terdapat pada section 08 dan terhubung pada bus 2.11



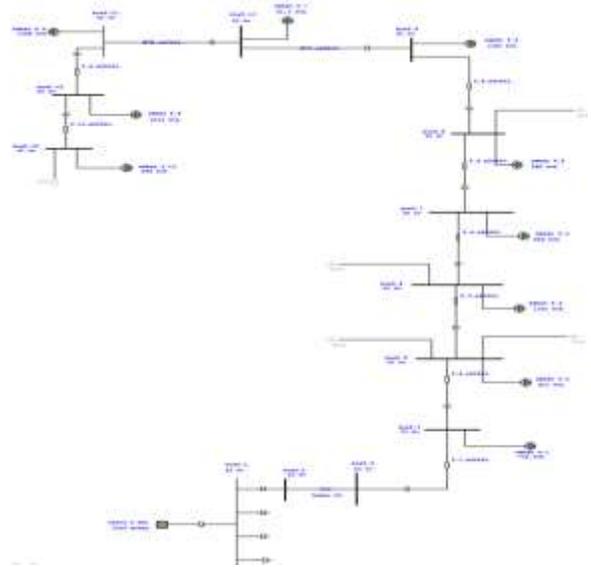
Gambar 4 : Single line eksisting KBL02

2. Jaringan Penyulang KBL05

Jaringan penyulang KBL05 disuplai dari trafo III Gardu Induk Kalibakal yang memiliki kapasitas 60 MVA, kemampuan hubung singkat sebesar 2000 MVAsc dan arus nominal ($I_{nominal}$) trafo 1732 A, sedangkan untuk seting arus jaringan penyulang KBL05 yaitu sebesar 440 A. Penggambaran trafo pada program ETAP *Power Station 12.6.0* disimbolkan dengan *power grid* dan dinamakan sebagai Trafo III KBL. Kemudian mengisikan parameter-parameter yang telah disebutkan di atas. Pada topologi jaringan, beban digambarkan dengan lumped load. Kapasitas beban akan diisi berdasarkan perkiraan beban selama sepuluh tahun untuk tiap section.

- Beban 5.1 terdapat pada section 02 dan terhubung pada bus 5.4
- Beban 5.2 terdapat pada section 03 dan terhubung pada bus 5.5
- Beban 5.1 terdapat pada section 04 dan terhubung pada bus 5.6
- Beban 5.1 terdapat pada section 05 dan terhubung pada bus 5.7
- Beban 5.1 terdapat pada section 06 dan terhubung pada bus 5.8
- Beban 5.1 terdapat pada section 07 dan terhubung pada bus 5.9

- Beban 5.1 terdapat pada section 08 dan terhubung pada bus 5.10
- Beban 5.1 terdapat pada section 09 dan terhubung pada bus 5.11
- Beban 5.1 terdapat pada section 10 dan terhubung pada bus 5.12
- Beban 5.1 terdapat pada section 02 dan terhubung pada bus 5.13



Gambar 5 : Single line eksisting KBL05

4.2. Perkiraan Beban

Perkiraan beban dimulai dari tahun *eksisting* sistem distribusi yaitu tahun 2019. Perkiraan beban dilakukan selama 10 tahun sampai dengan tahun 2029. Perhitungan beban ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi program Microsoft Office Excel 2013. Perkiraan beban dilakukan berdasarkan persentase pertumbuhan beban yang mengacu pada persentase kenaikan beban setiap tahunnya yaitu, sebesar 8% untuk trafo 1 fasa dan 2% untuk trafo 3 fasa. Persentase pertumbuhan beban untuk trafo 1 lebih besar dari presentase pertumbuhan beban untuk 3 fasa. Perkiraan beban pada trafo distribusi dapat dihitung dengan rumus pertumbuhan sebagai berikut :

$$P_n = P_0 \times (1 + g)^n$$

Keterangan :

P_n : beban tahun ke-n (kVA)

P_0 : beban tahun *eksisting* (kVA)

g : tingkat pertumbuhan beban sebesar 8% untuk trafo distribusi 1 fasa dan 2% untuk trafo distribusi 3 fasa

n : tahun perencanaan

Untuk pemasangan beban pada ETAP merupakan gabungan beban (kVA) trafo distribusi baik 1 fasa

maupun 3 fasa pada masing-masing *section*. Berikut jumlah perkiraan beban pada KBL02 dan KBL05 pada tahun *eksisting* :

Tabel 1 : Perkiraan beban pada KBL02

Section	Beban	Eksisting (kVA)
2	2.1	281,68
3	2.2	1578,15
4	2.3	831,21
5	2.4	1986,53
6	2.5	2311,47
7	2.6	2280,77
8	2.7	1216,32

Tabel 2 : Perkiraan beban pada KBL05

Section	Beban	Eksisting (kVA)
2	5.1	707,55
3	5.2	209,50
4	5.3	1041,06
5	5.4	639,07
6	5.5	562,04
7	5.6	1009,46
8	5.7	51,43
9	5.8	1086,18
10	5.9	2103,71
11	5.10	255,80

4.3. Resume Bus Tegangan Menengah 20 kV

Setelah simulasi dengan menggunakan program ETAP *Power Station 12.6.0* pada bus tegangan menengah 20 kV akan terjadi dua keadaan yang menyebabkan kondisi tidak aman bagi sistem distribusi khususnya terjadi pada bus tegangan menengah 20 kV antara lain :

1. Tegangan kritis (*critical voltage*)

Tegangan ini terjadi jika tegangan melebihi batas *undervoltage* maupun *overvoltage* yang diijinkan. Untuk *undervoltage*, tegangan ini terjadi jika tegangan $\leq 90\%$ dari 20 kV, sedangkan untuk *overvoltage*, tegangan ini terjadi jika tegangan $\geq 105\%$ dari 20 kV. Pada program ditunjukkan dengan warna merah tua.

2. Tegangan rata-rata (*marginal voltage*)

Tegangan ini tegangan kerja rata-rata dari sistem sebelum akhirnya tegangan beralih menjadi tegangan kritis. Nilai simpangan tegangan rata-rata ini sebesar $\pm 3\%$ dari batas toleransi *undervoltage* dan *overvoltage*. Pada program ETAP *Power Station 12.6.0* dimasukan nilai tegangan rata-rata sebesar 93 % untuk *undervoltage* dan 102 % untuk *overvoltage*. Jika terjadi tegangan rata-rata (*marginal voltage*) pada

bus tegangan menengah 20 kV maka akan ditunjukkan dengan warna merah muda.

Pada jaringan penyulang KBL02, bus tegangan menengah 20 kV masih dalam kondisi normal. Ini berarti persentase tegangan yang terjadi masih dalam batas toleransi. Menurut SPLN 1 : 1995, batas penurunan maupun kenaikan tegangan yang diizinkan adalah sebesar -10 % dan +5 %. Untuk perhitungan secara nyata adalah 90 % dan 105 % dari tegangan nominal 20 kV. Setelah dilakukan aliran daya pada ETAP *Power Station 12.6.0*, terlihat terjadi penurunan tegangan. Besar tegangan bus 2.11 yang berada pada *section 08* yang merupakan *section* paling ujung dari penyulang KBL02 masih dalam kondisi aman. Jika dinyatakan dalam persentase yaitu sebesar 93,91 %. Ini berarti tegangan masih jauh dari batas penurunan tegangan sebesar 90 % sehingga jaringan masih mampu melayani beban selama sepuluh tahun ke depan.

Tabel 3 : Resumen bus tegangan menengah 20 kV KBL02

20 kV	Eksisting	I	II	III	IV	V
Bus 2.1	100	100	100	100	100	100
Bus 2.2	100	100	100	100	100	100
Bus 2.3	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Bus 2.4	98,92	98,86	98,80	98,73	98,65	98,57
Bus 2.5	98,44	98,36	98,26	98,16	98,05	97,94
Bus 2.6	97,91	97,79	97,67	97,54	97,39	97,24
Bus 2.7	97,21	97,05	96,88	96,69	96,49	96,28
Bus 2.8	97,91	97,79	97,67	97,74	97,39	97,24
Bus 2.9	96,9	96,72	96,52	96,31	96,07	95,84
Bus 2.10	96,83	96,64	96,44	96,23	95,99	95,75
Bus 2.11	96,72	96,52	96,31	96,08	95,84	95,58

20 kV	VI	VII	VIII	IX	X
Bus 2.1	100	100	100	100	100
Bus 2.2	100	100	100	100	100
Bus 2.3	99,99	99,99	99,98	99,98	99,98
Bus 2.4	98,48	98,45	98,29	98,18	98,06
Bus 2.5	97,81	97,77	97,53	97,37	97,20
Bus 2.6	97,07	97,01	96,70	96,49	96,26
Bus 2.7	96,05	95,97	95,53	95,24	94,93
Bus 2.8	97,07	97,01	96,70	96,49	96,26
Bus 2.9	95,58	95,49	94,99	94,66	94,31
Bus 2.10	95,48	95,38	94,87	94,54	94,71
Bus 2.11	95,29	95,19	94,65	94,30	93,91

Pada jaringan penyulang KBL05 tahun *eksisting*, terdapat bus dalam kondisi marginal yaitu bus 5.9 dengan nilai persentase terendah sebesar 90,83 %. Setelah sepuluh tahun perencanaan, terdapat satu bus

dalam kondisi *marginal* (bus 5.6) dan tujuh bus dalam kondisi kritis (bus 5.7, bus 5.8, bus 5.9, bus 5.10, bus 5.11, bus 5.12, dan bus 5.13). Bus yang semula dalam kondisi *marginal* beralih menjadi kondisi kritis dengan persentase tegangan terendah sebesar 71,29 %.

Kondisi ini juga terjadi pada bus 5.13.

Tabel 4 : Resume bus tegangan menengah 20 kV KBL05

20 kV	Eksisting	I	II	III	IV	V
Bus 5.1	100	100	100	100	100	100
Bus 5.2	100	100	100	100	100	100
Bus 5.3	99,98	99,98	99,97	99,97	99,97	99,97
Bus 5.4	98,12	97,95	97,78	97,59	97,39	97,17
Bus 5.5	97,51	97,29	97,06	96,81	96,55	96,26
Bus 5.6	96,62	96,33	96,01	95,68	95,31	94,92
Bus 5.7	95,44	95,04	94,61	94,15	93,66	93,12
Bus 5.8	94,01	93,48	92,92	92,31	91,66	90,96
Bus 5.9	90,83	90,02	89,15	88,22	87,23	86,16
Bus 5.10	89,91	89,02	88,06	87,05	85,95	84,78
Bus 5.11	88,7	87,7	86,63	85,49	84,27	82,95
Bus 5.12	87,95	86,88	85,73	84,52	83,22	81,82
Bus 5.13	87,92	86,84	85,69	84,47	83,17	82,76

VI	VII	VIII	IX	X
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
99,96	99,96	99,96	99,95	99,95
96,93	96,86	96,34	95,98	95,58
95,94	95,85	95,16	94,69	94,14
94,49	94,36	93,48	92,79	92,05
92,55	92,36	91,09	90,22	89,21
90,2	89,96	88,29	87,12	85,77
84,99	84,62	82,07	80,27	78,18
83,5	83,09	80,29	78,31	76,01
81,53	81,08	77,95	75,74	73,16
80,31	79,82	76,49	74,13	71,38
80,25	79,76	76,42	74,05	71,29

4.4. Pemindahan Section

Pada tahun *eksisting* terjadi *undervoltage* pada bus tegangan menengah 20 kV di penyulang KBL05 dengan kondisi *marginal* yaitu pada bus 5.9. Untuk mengatasinya, akan dilakukan pemindahan *section* terakhir dari jaringan penyulang KBL05 yaitu *section 07, section 08, section 09, section 10, section 11*. Kelima *section* ini berada di daerah Baturraden dan sekitarnya. Pemindahan akan dilakukan ke penyulang KBL011 yang disuplai dari trafo tenaga baru, yaitu trafo IV GI Kalibakal dengan kapasitas 60 MVA.

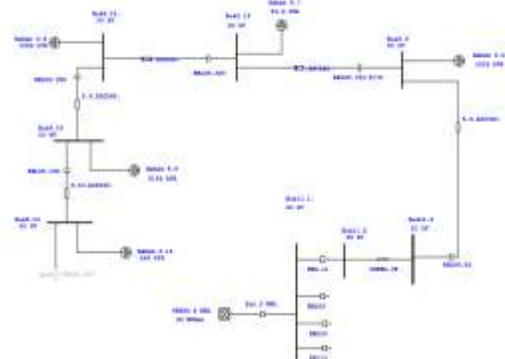
Pemindahan kelima *section* ini dengan mempertimbangkan beberapa hal, antara lain :

- Delapan penyulang yang telah ada sebelumnya memiliki beban yang besar. Jika pemindahan dilakukan ke salah satu penyulang, maka akan terjadi gangguan-gangguan, misalnya *drop voltage* pada bus tegangan menengah 20 kV maupun *overload* pada trafo, mengingat umur trafo yang sudah tua.
- Kelima *section* memiliki *line* yang panjang dan beban yang besar, sehingga *losses* daya yang terjadi pun besar. Karena semakin panjang *line*, maka semakin besar pula *losses* daya dan *drop voltage* yang terjadi.

Pemindahan *section* ke penyulang KBL011 dilakukan dengan memindahkan beban penyulang KBL05 arah Baturraden. Panjang *line* dari trafo IV GI Kalibakal ke *section 07* diasumsikan sama dengan jumlah total panjang *line section 01 – section 06* pada penyulang KBL05. Sebelum *section 07* tidak terdapat pembebanan. Setelah dilakukan simulasi pada penyulang KBL011, masih tetap terjadi *undervoltage* dengan kondisi *marginal* pada bus tegangan menengah 20 kV. Hal ini disebabkan karena *line* transmisi yang terlalu panjang. Jarak Trafo IV GI Kalibakal terlalu jauh dengan *section 07* dan *section* berikutnya yang berada di daerah Baturraden, yaitu ±21.641 m atau sekitar 21,6 km.

Tabel 5 : Hasil simulasi jaringan penyulang KBL011

Bus TM 20 kV	Persentase Tegangan (%)
Bus 11.1	100
Bus 11.2	100
Bus 11.3	99,98
Bus 5.9	94,24
Bus 5.10	93,35
Bus 5.11	92,17
Bus 5.12	91,44
Bus 5.13	91,41



Gambar 6 : Single Line KBL011

