SIMULASI PENEMPATAN TRANSFORMATOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI BERDASARKAN JATUH TEGANGAN MENGGUNAKAN ETAP *POWER STATION* 12.6.0

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Fajar Dwi Safitri

NIM.5301415010

PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Fajar Dwi Safitri
NIM	: 5301415010
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro
Judul	:Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP *Power Station* 12.6.0

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 22 November 2019

Pembimbing,

Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM

NIP. 195907051986011002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Simulasi Penempatan Transformator pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP *Power Station* 12.6.0 telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 22 bulan November tahun 2019.

Oleh

Nama	: Fajar Dwi Safitri
NIM	: 5301415010
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro

Panitia:

Ketua,

Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T., IPM.
NIP. 196605051998022001

Sekretaris,

Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si, IPM.
NIP. 196505081991031003

Penguji I

Drs. Sutarno, M.T.
NIP. 195510051984031001

Penguji II

Drs. Isdiyarto, M.T.
NIP. 195706051986011001

Penguji III/Pembimbing

Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM.
NIP. 195907051986011002

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Nur Qudus, M.T. IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing dan masukan tim penguji
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagau acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpanan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 22 November 2019

Yang membuat pernyataan,

Fajar Dwi Safitri

NIM. 5301405010

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

“Manusia tidak merancang untuk gagal, mereka gagal untuk merancang” (William J.Siegel)

“Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil, kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik”(Evelyn Underhil)

Persembahan

Karya ini ku persembahkan untuk:

- Kedua orang tua saya
- Kedua kakak saya tersayang yang selalu memberikan semangat dan doa
- Bapak ibu Guru dan Dosen yang telah memberikan ilmu kepada saya
- Teman-teman seperjuangan serta sahabat yang selalu memberikan semangat dan dukungan atas karya ini

RINGKASAN

Fajar Dwi Safitri. 2019. **Simulasi Penempatan Transfrmator pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP *Power Station* 12.6.0 .** Henry Ananta. Pendidikan Teknik Elektro.

Energi listrik dalam penyalurannya dari pusat pembangkitan, sistem transmisi, sistem distribusi sampai ke pusat beban mengalami jatuh tegangan. Hal ini terjadi karena jumlah konsumen PLN yang tiap tahunnya meningkat sehingga mengakibatkan bertambahnya panjang jaringan dan beban yang harus disuplai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jatuh tegangan pada Penyulang KLS06.

Untuk melakukan perhitungan tersebut digunakan *software* ETAP *Power Station*12.6.0 dengan menggunakan metode *Newton-Raphson*.Jaringan distribusi Penyulang KLS 06 termasuk wilayah kerja PT PLN (Persero) UP3 Semarang. Pada transformator distribusi 3 fasa 50 kV dengan nomor gardu KLS06-110 mengalami pembebanan yang melebihi batas standar. Sehingga pada Bus24 mengalami jatuh tegangan sebesar 3,75%.

Berdasarkan SPLN 72: 1987 batas maksimum jatuh tegangan yang diijinkan pada JTR yaitu 4%. Untuk mempertahankan kualitas tegangan dan mengantisipasi terjadinya jatuh tegangan yang lebih besar akibat pertambahan beban, maka perlu dilakukannya sisip transformator dan melimpahkan sebagian beban pada transformator KLS06-110 ke transformator sisip. Dari hasil analisis setelah dilakukan sisip transformator didapat nilai jatuh tegangan pada Bus24 menjadi 2%.

Kata kunci— Jaringan Distribusi, Transformator, Jatuh Tegangan

PRAKATA

Segala puja dan puji syukur atas kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **"Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP *Power Station* 12.6.0"**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Terwujudnya skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan, arahan, kepercayaan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis dengan tulus mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universtas Negeri Semarang
2. Ir. Ulfah Mediyati, S.T., M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan sekaligus Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
3. Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran dan ilmu serta motivasi kepasa penulis selama penyusunan skripsi ini
4. Drs. Sutarno, M.T. dan Drs. Isdiyarto, M.Pd. selaku dosen penguji skripsi yang juga memberikan bimbingan, kritik dan saran selama penyusunan skripsi ini
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan dorongan, arahan dan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis
6. Haryo Praminto Sadewo, S.T. selaku guru dan mentor terimakasih atas ilmu, bimbingan dan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Bapak, ibu, kakak serta sahabat-sahabat saya yang selalu menyayangiku, memberiku semangat, nasihat dan yang selalu mendoakanku

8. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dari awal hingga terselesaikannya skripsi ini

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu penulis sangat berharap kritik dan sarannya yang membangun dari para pembaca. Harapannya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya serta dapat membantu dalam penelitian selanjutnya.

Semarang, 22 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN v
RINGKASAN vi
PRAKATA vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 5
1.3 Pembatasan Masalah 5
1.4 Rumusan Masalah 6
1.5 Tujuan 6
1.6 Manfaat 6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 8
2.1 Kajian Pustaka 8
2.2 Landasan Teori 10
2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik 10
2.2.2 Transformator Distribusi 16
2.2.3 Gardu Distribusi 17
2.2.4 Saluran Udara Tegangan Menengah 22
2.2.5 Penghantar Listrik 22
2.2.6 Daya Listrik 24
2.2.7 Faktor Daya 27

2.2.8 Sifat Beban Listrik 27
2.2.9 Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)..... 29
2.2.10 ETAP *(Electrical Transient Analysis Program)* 32
2.2.11 Langkah Pembuatan Simulasi Menggunakan ETAP *Power Station* 35
2.2.12 Metode Perhitungan Aliran Daya..... 40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 43
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan..... 43
3.2 Alat dan Bahan 43
3.3 Variabel Penelitian 44
3.4 Sumber Data 44
3.5 Prosedur Penelitian 45
3.6 Metode Pengumpulan Data 50
3.7 Analisis Data..... 51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 53
4.1 Deskripsi Data 53
4.2 Analisis Data..... 58
4.2.1 Analisis Jaringan Distribusi 20 KV pada Penyulang Kalisari 06 58
4.2.2 Perencanaan Perbaikan Jaringan..... 65
4.3 Pembahasan 74
BAB V PENUTUP..... 76
5.1 Kesimpulan..... 76
5.2 Saran 76
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN 81

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Skema Saluran Sistem Radial 13
Gambar 2. 2 Skema Rangkaian Open Loop..... 14
Gambar 2. 3 Skema Rangkaian Close Loop 14
Gambar 2. 4 Skema Sistem Jaringan Primer..... 15
Gambar 2. 5 Gardu Portal 18
Gambar 2. 6 Gardu Cantol 19
Gambar 2. 7 Gardu Beton 20
Gambar 2. 8 Gardu Kios 20
Gambar 2. 9 Hubungan antara daya semu, daya reaktif, dan daya nyata 27
Gambar 2. 10 Tampilan awal Software ETAP 12.6.0 33
Gambar 2. 11 Fitur-fitur pada ETAP *Power Station* 34
Gambar 2. 12 Edit Toolbar standar IEC 35
Gambar 2. 13 Edit Toolbar standar ANSI 35
Gambar 2. 14 Ikon ETAP *Power Station* 36
Gambar 2. 15 Tampilan Menu Bar 36
Gambar 2. 16 Tampilan *Create New Project File* 37
Gambar 2. 17 Tampilan User Information 37
Gambar 2. 18 Tampilan Utama ETAP *Power Station* 38
Gambar 2. 19 Menu *Bar Projec*t 38
Gambar 2. 20 Tampilan *Project Information* 39
Gambar 2. 21 Tampilan Tab *Project Standards* 39
Gambar 2. 22 Pilihan Mode 40
Gambar 2. 23 *Run Load Flow* pada *Load Flow Toolbar* 40
Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian 46
Gambar 3. 2 *Flowchart* simulasi menggunakan ETAP *Power Station* 48
Gambar 3. 3 *Flowchart* Perencanaan Perbaikan..... 49
Gambar 4. 1 Single Line Diagram GI Kalisari 54
Gambar 4. 2 Single Line Diagram Penyulang Kalisari 06..... 55

Gambar 4. 3 Single Line Diagram Kalisari 06 pada ETAP Power Station..... 59
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Jaringan Eksisting Kalisari 06 Menggunakan ETAP Power Station 60
Gambar 4. 5 Single Line Diagram Perbaikan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP Power Station 68
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTM 73
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTR 74

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1.1 Realisasi jumlah pelanggan Indonesia 1
Tabel 2.1 Konstanta jaringan kawat penghantar AAAC menurut SPLN 64 Tahun 1985 23
Tabel 4.1 Data Transformator 54
Tabel 4.2 Data Saluran Penyulang Kalisari 06 56
Tabel 4.3 Data Beban di Penyulang Kalisar 06 57
Tabel 4.4 Tegangan Hasil Simulasi ETAP *Power Station* dan Presentase Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah Penyulang KLS 06 63
Tabel 4.5 Tegangan Hasil Simulasi ETAP *Power Station* dan Presentase Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah Penyulang KLS 06 64
Tabel 4.6 Profil Tegangan pada JTM Sesudah Perbaikan 69
Tabel 4.7 Profil Tegangan pada JTR Sesudah Perbaikan 70
Tabel 4.8 Perbedaan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTM..... 71
Tabel 4.9 Perbedaan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTR 72

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Gambar Single Line Diagram Penyulang Kalisari 06 81
Lampiran 2. Single Line Diagram (SLD) pada ETAP *Power Station* 85
Lampiran 3. Simulasi Single Line Diagram (SLD) pada ETAP *Power Station* 86
Lampiran 4. Hasil dari Simulasi Single Line Diagram (SLD) pada ETAP *Power Station*..... 87
Lampiran 5. *Single Line Diagram* (SLD) Perbaikan pada ETAP *Power Station* 89
Lampiran 6. Simulasi *Single Line Diagram* (SLD) Perbaikan pada ETAP *Power Station*..... 90
Lampiran 7. Hasil Simulasi Perbaikan..... 91
Lampiran 8. Data Inputan 93
Lampiran 9. Surat Usul Topik..... 101
Lampiran 10. Surat Penetapan Dosen Pembimbing..... 102
Lampiran 11. Surat Tugas Dosen Penguji..... 103
Lampiran 12. Surat Izin Observasi..... 104
Lampiran 13. Surat Penelitian..... 105

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk dan pembangunan industri-industri di Indonesia semakin pesat. Begitu pula dengan kebutuhan akan energi listrik yang tiap tahunnya ikut meningkat. Hal ini ditandai dengan banyaknya bangunan baru baik untuk perumahan maupun untuk usaha perindustrian, sehingga jumlah pelanggan PLN juga turut bertambah. Berikut ini adalah data jumlah pelanggan PLN menurut sektor pelanggan.

Tabel 1. 1 Realisasi jumlah pelanggan Indonesia

Uraian	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017*)**
Rumah Tangga	42.348.312	45.991.105	49.887.344	53.080.778	56.374.290	59.243.672	62.052.624
Industri	50.027	52.310	55.170	57.969	62.924	69.629	74.860
Bisnis	2.019.030	2.175.327	2.359.279	2.549.146	2.801.331	3.239.764	3.498.539
Sosial	961.039	1.030.116	1.107.726	1.179.038	1.258.751	1.354.010	1.446.121
Gedung Kantor Pemerintah	119.684	127.549	137.023	145.539	156.006	169.478	181.007
Penerangan Jalan Umum	132.967	142.485	156.895	170.277	185.002	205.940	219.950
Jumlah	**45.631.059**	**49.518.892**	**53.703.437**	**57.182.747**	**60.838.304**	**64.282.493**	**67.473.102**

(sumber: Kementerian Energi dan SDM, 2018)

Beriringan dengan perkembangan ekonomi di Indonesia energi listrik menjadi suatu kebutuhan yang penting bagi masyarakat. Maka dari itu tidak dapat dipungkiri bahwa kebutuhan listrik semakin bertambah tahun juga semakin meningkat.

Menurut data Statistik Ketenagalistrikan 2017, konsumsi tenaga listrik perkapita Indonesia setiap tahunnya selalu bertambah hal ini ditandai dengan grafik yang meningkat (Kementrian ESDM RI, 2018). Kemudian Pabla (1981:1) juga menyatakan bahwa, “ Makin bertambahnya konsumsi listrik per kapita di seluruh dunia menunjukkan kenaikan standar kehidupan manusia”.

Supaya energi listrik yang dibangkitkan bisa sampai ke pelanggan, maka perlu disalurkan melalui sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari pusat pembangkitan, saluran transmisi, dan saluran distribusi. Pada penyalurannya dari pusat pembangkitan menuju ke beban melalui suatu jaringan yang sangat jauh. Seiring dengan bertambahnya waktu dan pertumbuhan ekonomi di Indonesa, jumlah konsumen yang tersambung ke jaringan PLN juga semakin bertambah. Sehingga kondisi jaringan listrik yang terpasang pun juga turut berubah menjadi lebih panjang. Jarak dari transformator distribusi menuju ke beban jadi lebih jauh. Sehingga penempatan transformator sudah tidak tepat lagi. Hal inilah yang dapat mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya pada sistem penyaluran energi listrik. Menurut Erhaneli dan Riski (2013), dalam penyaluran energi listrik ke beban akan mengalami rugi-rugi teknis (*losses)* yaitu rugi daya dan rugi energi mulai dari pembangkit, saluran transmisi, dan saluran distribusi.

Jaringan distribusi yaitu bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan energi listrik dari transmisi menuju ke beban atau konsumen. Biasanya seringkali terjadi beban tidak seimbang pada fasa-fasanya (sistem distribusi 3 fasa) atau terjadi naik turunnya tegangan karena penyaluran energi listrik yang jauh dari pusat pembangkit dan mengakibatkan terjadinya *losses* saat

menuju ke beban (Pradono, Sukmadi dan Winardi, 2011). Sedangkan (Sukma, Feranita dan Hermanto, 2017) , menyebutkan *"Besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran distribusi tergantung pada beberapa faktor diantaranya jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, tipe beban, faktor daya dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan beban reaktif"*

Kasus jatuh tegangan sering sekali terjadi pada sistem jaringan listrik di berbagai daerah karena terjadinya penambahan beban yang tersambung. Untuk memberikan pelayanan yang baik dan agar tidak menimbulkan kerugian pada konsumen, Perusahaan Listrik Negara (PLN) harus menjaga kualitas tegangan pada jaringan. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya-upaya agar jaringan distribusi selalu dalam kondisi baik. Menurut Erhaneli *et.al.* (2013:19), salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan effisiensi yaitu mengurangi rugi-rugi daya dan meminimalkan drop tegangan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sebelumnya beberapa peneliti telah melakukan penelitian berkaitan dengan upaya perbaikan tegangan pada jaringan distribusi. Terdapat beberapa peneliti yang melakukan analisis dan perancangan perbaikan jatuh tegangan diantaranya Indra Roza (2018) dalam penelitiannya Indra merencanakan perbaikan tegangan pada jaringan distribusi 20 KV dengan penyisipan transformator baru dengan keberhasilan mengurangi jatuh tegangan sebesar 0,44%. Ardhi Surya Nopianto (2015), melakukan analisa jatuh tegangan dan susut daya perencanaan perbaikan tegangan dengan penggantian kawat penghantar AAAC 35 mm^2 menjadi AAAC 150 mm^2. Sukma, *et.al.* (2017)

menggunakan kapasitor bank dan penggantian kawat penghantar untuk mengurangi jatuh tegangan yang terjadi dengan memanfaatkan aplikasi *software ETAP* 7.0.0 untuk simulasinya. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Maula Firdha Safala (2016), dalam penelitiannya Maula melakukan penstabilan tegangan sekunder pada Transformator Daya 150/20 KV akibat jatuh tegangan dengan mengubah sadapan (*tap changer*) yang dipasang pada transformator daya 150/20 kV yang bekerja secara otomatis terhadap setiap perubahan tegangannya. Bambang Winardi, Heru Winarno, dan Kurnanda R. Aditama (2016) menganalisis perbaikan jatuh tegangan pada suatu penyulang sekaligus merencanakan solusi perbaikannya dengan memindahkan sebagian beban ke penyulang lain.

Dari permasalahan-permasalahan yang telah peneliti jabarkan di atas, peneliti mencoba menganalisis sistem jaringan distribusi Penyulang Kalisari (KLS) 06. Adapun persamaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu sama-sama menganalisis jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi dan merencanakan solusi perbaikannya. Sedangkan untuk perbedaannya yaitu pada penelitian diatas hanya berfokus pada perhitungan jatuh tegangan saja dan atau cara perbaikannya saja. Namun pada penelitian skripsi ini akan dilakukan perhitungan dan analisis jatuh tegangan serta analisis efektifitas penempatan transformator pada suatu penyulang sebagai upaya untuk perbaikan jatuh tegangan pada jaringan. Selain itu dalam penelitian ini juga akan disimulasikan menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0 untuk memastikan tingkat efektifitas dari perencanaan perbaikan tegangan tersebut.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diidentifikasi beberapa masalah yang terjadi, yaitu:

1. Banyaknya konsumen mengakibatkan semakin panjangnya saluran distribusi dan meningkatnya beban terpasang yang kemudian menimbulkan jatuh tegangan pada jaringan
2. Penempatan transformator yang tidak tepat akibat pertambahan beban menyebabkan terjadinya jatuh tegangan dan susut daya
3. Perlunya disimulasikan menggunakan *software* ETAP *Power Station* untuk mempermudah dalam melakukan analisis dan memodelkannya sebelum dilakukan pada kondisi nyatanya.

1.3 Pembatasan Masalah

Karena permasalahan yang sangat kompleks dalam penelitian ini, dengan ini peneliti :

1. Analisa jatuh tegangan yang dipengaruhi oleh bertambahnya konsumen yang mengakibatkan semakin panjangnya saluran distribusi dan besaran beban yang harus disuplai.
2. Sistem distribusi yang dibahas dalam penelitian ini adalah sistem distribusi tegangan menengah pada penyulang KLS (Kalisari) 06.
3. Aplikasi *software* yang digunakan adalah *Software* ETAP 12.6.0 hanya untuk simulasi dan perhitungan jatuh tegangan.

4. Perencanaan solusi ini hanya pemikiran peneliti dengan mempertimbangkan standar pada PLN yang berlaku.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, dapat dirumuskan masalahnya yaitu sebagai berikut:

1. Berapa jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang KLS 06 ?
2. Bagaimana rencana untuk memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi?

1.5 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Menghitung nilai jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang KLS 06.
2. Membuat rencana untuk memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi.

1.6 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dengan dilaksanakannya penelitian ini yaitu:

1. Manfaat teoritis: sebagai bahan untuk menambah pengetahuan mengenai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang sering terjadi pada jaringan distribusi
2. Manfaat praktis:
    a. Bagi Masyarakat: hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan tentang kelistrikan dan bisa menjadi acuan atau referensi dalam penelitian selanjutnya.

b. Bagi perusahaan: hasil penelitian bisa menjadi acuan dalam pemeliharaan dan perencanaan jaringan distribusi pada PT. PLN (Persero) UP3 Semarang

c. Bagi peneliti: dengan penelitian ini bisa memberikan pengalaman baru dan pengetahuan tentang cara menghitung jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan dan dapat membuat simulasinya dengan menggunakan *software* ETAP *Power Station* versi 12.6.0.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Proses penulisan skiripsi ini dilakukan dengan menggali data dan informasi dari berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Data dan informasi dari penelitian sebelumnya digunakan sebagai bahan perbandingan untuk melihat kekurangan dan kelebihan dari tiap penelitian. Selain dari hasil penelitian terdahulu, informasi juga didapat dari berbagai buku dan jurnal yang berkaitan dengan topik. Informasi-informasi tersebut digunakan untuk mendapatkan landasan teori sebelum melakukan analisis dan pengolahan data. Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik dan judul yang penulis ajukan.

Penelitian Indra Roza (2018), mahasiswa Teknik Elektro Universitas Harapan Medan dengan judul "Analisis Jatuh tegangan Lokasi Penempatan Trafo Distribusi 20 KV untuk Penyaluran Energi". Pada penelitian ini dilakukan analisis jatuh tegangan pada jaringan distribusi sisi sekunder. Dengan hasil penelitiannya yaitu dapat mengurangi drop tegangan yang terjadi pada jaringan sebesar 0,44% dengan pemasangan transformator distribusi baru. Dari penelitian ini dapat dibuktikan bahwasanya dengan penyisipan transformator baru dapat mengurangi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan.

Reza Indra Satrio (2018), dengan judul "*Reduction Technique of Drop Voltage and Power Losses to Improve Power Quality using ETAP Power Station Simulation Model*". Penelitian bertujuan untuk menganalisis jatuh tegangan yang terjadi pada

saluran layanan pelanggan akibat panjang tarikan penghantar dan jumlah sambungan rumah yang tidak sesuai standar PLN. Hasil simulasi dari penelitian ini yaitu terjadi drop tegangan dilokasi sebesar 1,3% -32,3%. Selanjutnya dilakukan perbaikan jaringan sehingga drop tegangan yang dihasilkan berkurang menjadi 1,8-5,4%.

Penelitian Dian Yayan Sukma, Feranita dan Hermanto (2017), dengan judul "Perbaikan Jatuh Tegangan pada Feeder Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV Teluk Kuantan". Penelitian ini bertujuan mengurangi besarnya jatuh tegangan yang terjadi. Metode yang digunakan yaitu dengan pemasangan kapasitor bank dan penggantian kawat penghantar dengan luas penampang yang lebih besar. Penelitian ini juga memanfaatkan software ETAP 7.0.0 untuk menyimulasikan hasil perhitungan. Hasil dari penelitian ini yaitu penggabungan kedua metode yang digunakan menunjukkan drop tegangan yang terjadi lebih kecil daripada hanya menggunakan salah satu metode.

Adib Gustian Nigara (2015), dengan judul penelitiannya "Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal Menggunakan Sofware ETAP *Power Station* 4.0". Untuk melakukan perhitungan dan analisis aliran daya peneliti menggunakan *Software ETAP Power Station* 4.0 dengan metode *Newton Raphson*.

Maula Firdha Safala (2016) dalam penelitian untuk skripsi dengan judul "Penstabilan Tegangan Sekunder pada Transformator Daya 150/20 KV Akibat Jatuh tegangan" meneliti langkah perubahaan posisi tap pada *on load tap changer* dalam memperbaiki tegangan sisi sekunder transformator daya 150/20 kV.

Penelitian Bambang Winardi, Heru Winarno, dan Kurnanda R. Aditama (2016) dengan judul "Perbaikan *Losses* dan Drop Tegangan PWI 9 dengan Pelimpahan Beban ke Penyulang Baru PWI 11 Di PT PLN (Persero) Area Semarang" menganalisis perbaikan jatuh tegangan pada penyulang PWI 9 sekaligus merencanakan solusi perbaikannya dengan memindahkan sebagian beban ke penyulang PWI 11.

Agung Nugroho, Bambang dan Dinda (2016) dalam penelitiannya dengan judul "Perbaikan JTR Penyulang SRL001 di Daerah Tanjungsari Guna Mengurangi Drop Tegangan di PT PLN (Persero) Rayon Semarang Selatan Menggunakan Sofware ETAP" merencanakan perbaikan jaringan tegangan rendah dengan memperluas jaringan menggunakan software ETAP 12.6.0. hasil dari penelitian ini yaitu dapat menurunkan besar jatuh tegangan dari 9,09% - 22,72% menjadi 1,81% - 3,62%.

Penelitian selanjutnya oleh Rudi Salman (2017) berjudul "Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan". Penelitian tersebut merencanakan penataan ulang panjang saluran sistem distribusi primer dengan memindahkan lokasi transformator. Hasilnya yaitu terdapat dua transformator yang dipindahkan lokasinya untuk mendapatkan tegangan yang lebih baik.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pembangkit listrik dengan sistem distribusi

melalui hubungan antar sistem atau menuju ke sistem-sistem tenaga yang lain. Sedangkan sistem distribusi yaitu jaringan yang menghubungkan semua beban yang terpisah antar satu dengan yang lain dengan saluran transmisi (Stevenson, 1983).

Menurut Nigara (2015), sistem distribusi merupakan keseluruhan komponen dari suaru sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antar sumber daya yang besar (seperti gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik. Pada jaringan distribusi terbagi dalam dua bagian yaitu:

> *Yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/primer (JTM), biasanya memakai tiga phasa tiga kawat. Jaringan yang kedua adalah jaringan tegangan rendah (JTR) dengan tegangan 380/220 volt, dimana sebelumya tegangan terebut ditransformasikan oleh transformator distribusi dari 20 kV menjadi 380/220 volt. Jaringan ini dikenal pula dengan jaringan distribusi sekunder (Roza, 2018).*

Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menyuplai konsumen pada daerah industri berukuran menengah, daerah perumahan kota besar dan daerah pedesaan dari trafo gardu induk, sedangkan tegangan rendah biasanya dipergunakan untuk mensuplai perumahan dan daerah industri ringan di kota-kota dan dan pedesaan dari trafo-trafo distribusi (Daryanto, 2002: 26).

2.2.1.1 Gardu Induk (GI)

Sebelum sampai ke konsumen, energi listrik dari pusat pembangkitan disalurkan melalui jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Sebelum ke jaringan distribusi kemudian ke konsumen, terlebih dahulu melalui gardu induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi. Setelah tegangan listrik diturunkan baru disalurkan melalui jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

2.2.1.2 Jaringan Distribusi Primer

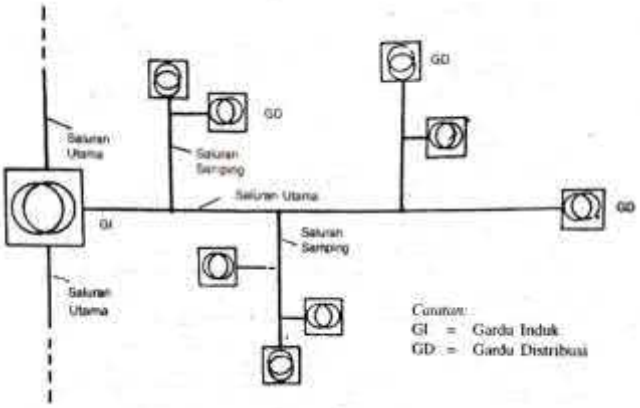
Jaringan distribusi primer yaitu jaringan yang terbentang antara titik Sekunder trafo substation (GI) dengan titik primer trafo distribusi. Tegangan pada `saluran ini yaitu 20 kV

Menurut Kadir (2006: 21-25), pada distribusi primer terdapat tiga jenis dasar, yaitu: sistem radial, sistem lup (*loop*), sistem jaringan primer dan sistem *spindel*.

1) Sistem Radial

Pengertian dari sistem radial yaitu "sistem yang paling sederhana dan paling banyak dipakai. Sistem ini terdiri atas feeder atau rangkaian tersendiri yang seolah-olah keluar dari suatu sumber tertentu secara radial" (Kadir, 2006: 21). Sedangkan menurut Suhadi dan Wrahatnolo (2008), dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari satu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan cabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Menurutnya spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

a) Bentuknya sederhana
b) Biaya investasinya relatif murah
c) Kualitas dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar
d) Kontinyuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan beban hanya ada satu alterrnatif saluran sehingga bila terjadi gangguan, seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami "black out" secara total.



Gambar 2. 1 Skema Saluran Sistem Radial

(Kadir,2006: 22)

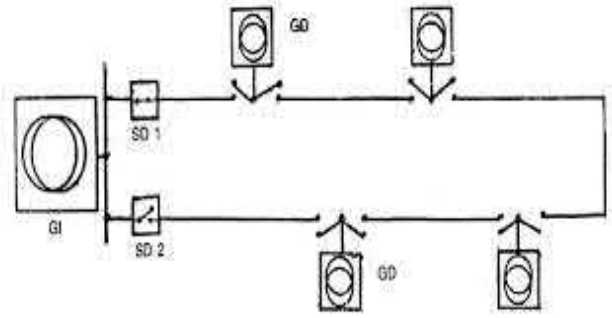
2) Sistem Loop

Mendesain fider sebagai *loop* dengan menyambung kedua ujung saluran dapat mengurangu lama interupsi daya yang disebabkan oleh gangguan (Kadir, 2006: 21). Sebagaimana seperti yang disebutkan Suhadi dan Wrahatnolo (2008: 22) dalam bukunya bahwa, suatu jaringan distribusi dapat dikatakan jaringan distribusi ring (*loop*) apabila memiliki kriteria-kriteria sebagai berikut:

Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih satu sumber. Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga jaringan "*loop*". Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinyuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Bentuk *loop* ini ada 2 macam, yaitu:

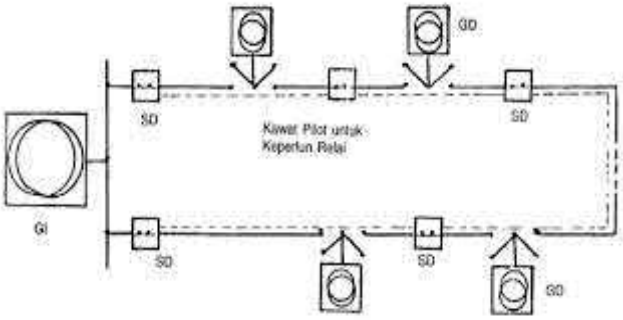
a) Bentuk *open loop*: Bila diperlengkapi dengan *normally-open switch*, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

b) Bentuk *close loop*: Bila diperlengkapi dengan *normally-close switch*, yang dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.



Gambar 2. 2 Skema Rangkaian Open Loop

(Kadir, 2006: 24)



Gambar 2. 3 Skema Rangkaian Close Loop

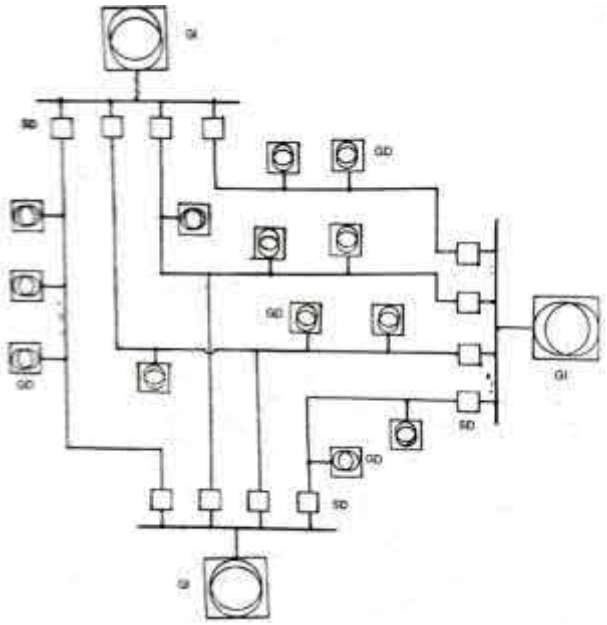
(Kadir, 2006: 24)

3) Sistem Jaringan Primer

Beberapa studi menyatakan bahwa dalam kondisi tertentu sistem jaringan primer lebih murah daripada sistem radial, akan tetapi saat ini sedikit jaringan primer yang dioperasikan (Kadir, 2006:24). Menurutnya pula, sistem ini terbentuk dengan menyambung saluran-saluran utama atau *feeder* sehingga menjadi suatu jaringan yang diisi dari beberapa sumber atau gardu.

Selanjutnya menurut Salman (2017: 18), bagian-bagian dari sistem distribusi primer yaitu sebagai berikut:

1) *Transformator daya, berfungsi utnuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menegah atau sebaliknya.*
2) *Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya*
3) *Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya*
4) *Gardu Hubung, berfungsi menyalurkan daya ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan*
5) *Gardu Distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menegah menjadi tegangan rendah*



Gambar 2. 4 Skema Sistem Jaringan Primer

(Kadir,2006:26)

3) Sistem Spindel

Jaringan distribusi sistem spindle banyak di pakai di kota-kota besar seperti Jakarta karena memberikan keandalan operasi yang cukup tinggi (Kadir, 2006:27). Adapun prinsip-prinsip operasi sistem ini yaitu sebagai berikut:

a. *Dalam keadaan normal semua saluran digardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.*
b. *Dalam keadaan normal saluran ekspress tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.*

c. *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 ekspress.*(Syahputra, 2017:135)

2.2.1.3 Jaringan Distribusi Sekunder

Energi listrik didistribusikan dari Gardu Induk (GI) melalui penyulang-penyulang yang terdiri dari gardu-gardu distribusi. Fungsi gardu pada penyulang yaitu untuk menurunkan tegangan primer menjadi 380/220 volt yang didistribusikan melalui Jaingan Tegangan Rendah (JTR). Konsumen tenaga listrik disambung dari JTR dengan menggunakan sambungan rumah (SR). Selanjutnya dari SR tenaga listrik masuk ke alat pembatas dan pengukur (APP) terlebih dahulu sebelum memasuki instalasi rumah milik konsumen. APP berfungsi membatasi daya dan mengukur pemakaian energi listrik oleh konsumen (Marsudi, 2011:6).

Menurut (Syahputra, 2017: 130), jaringan distribusi sekunder (JDTR) merupakan suatu jaringan yang terletak setelah gardu distribusi yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertagangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Jaringan sekunder tegangan rendah disuplai oleh tiga atau lebih fider, tujuannya jika salah satu *fideer* terganggu, sisa jaringan sekunder akan dapat dengan mudah menampung beban dari fider yang terganggu itu (Roza, 2018: 77).

2.2.2 Transformator Distribusi

Transformator yaitu suatu alat yang diguanakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangangan. Menurut (Zuhal, 1992: 43) Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet

dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik. Sedangkan menurut (Salman, 2017:17), pengertian transformator adalah suatu komponen dalam sistem tenanga listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan dari satu tingkat ketingkat yang lain melalui gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Pada jaringan distribusi seringkali dijumpai trafo-trafo atau transformator yang terpasang baik itu yang terpasang pada tiang listrik maupun terpasang terpisah. Menurut Salman (2017), kriteria-kriteria transformator distribusi yang sering digunakan, yaitu:

> *Transformator distribusi umumnya digunakan adalah transformator Step Down 20 KV/400 . Tegangan fasa ke fasa jaringan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat menjadi 400 V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 V. Transformator distribusi dapat berfasa tunggal atau tiga fasa dan kapasitasnya kira-kira 5 kVA. Impedansi transformator distribusi pada umumnya sangat rendah, kira-kira 2% untuk unit-unit yang kurang dari dari 50kVA dan sampai 4% untuk unit-unit yang lebih besar dari 100 KVA.*

2.2.3 Gardu Distribusi

Gardu distribusi yaitu suatu bangunan gardu listrik yang konstruksinya terdiri dari Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah yang bertugas memasok tenaga listrik menuju ke konsumen baik tegangan menengah maupun tegangan rendah (PT. PLN (Persero), 2010a).

Sedangkan menurut Syahputra (2017:130), gardu distribusi adalah suatu tempat/sarana dimana terdapat transformator *step down* yaitu transformator yang menurunkan tegangan dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Adapun jenis-jenis gardu distribusi menurut (PT. PLN (Persero), 2010a: 1) yaitu:

2.2.3.1 Bedasarkan Jenis Pemasangannya

a. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol

1) Gardu Portal

Gardu portal adalah gardu listrik tipe terbuka yang konstruksinya menggunakan dua tiang atau lebih. Kemudian pemasangan transformatornya di atas lemari panel minimal tiga meter di atas tanah.

Gambar 2. 5 Gardu Portal

(Dokumentasi Pribadi)

Secara umun konfigurasi gardu tiang Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) ini adalah T *section* dengan peralatan pengamannya *Fuse Cut-Out* (FCO) dan *Ligthing Arester* (LA). Fungsi dari FCO adalah untuk mengamankan transformator ketika terjadi hubung singkat. Sedangkan *Ligthing Arrester* untuk mencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

2) Gardu Cantol

Gardu cantol yaitu gardu listrik yang penempatan transformatornya dengan dicantolkan pada tiang. Pada gardu distribusi tipe ini menggunakan transformator jenis *Completely Self Protected Trasnformer* (CSP) dengan

daya ≤ 100 kVA baik fase 3 atau fasa 1. Pada transformator CSP, peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang dalam tanki transformator. Akan tetapi proteksi tambahan *Lighting Arrester* dipasang terpisah dengan penghantar pembumiannya yang dihubung langsung dengan badan transformator.

Gambar 2. 6 Gardu Cantol

(Dokumentasi Pribadi)

b. Gardu pasangan dalam: Gardu Beton, Gardu Kios

1) Gardu Beton

Pada gardu tipe ini, seluruh komponen utama seperti transformator dan peralatan proteksi terangkai di dalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton.

Gambar 2. 7 Gardu Beton

(PT PLN (Persero), 2010a)

2) Gardu Kios

Gardu kios terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi yaitu di tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton. Karena sifatnya mobilitas, maka transformator distribusi yang terpasang terbatas.

Gambar 2. 8 Gardu Kios

(PT PLN (Persero) , 2010a)

2.2.3.2 Berdasarkan Jenis Konstruksinya: Gardu Beton, Gardu Tiang, Gardu Kios

Gardu tiang merupakan gardu distribusi yang dipasang pada tiang-tiang listrik. Tiang yang digunakan pada umumnya berbahan beton, besi dan kayu.

2.2.3.3 Berdasarkan jenis Penggunaannya: Gardu Pelanggan Umum, Gardu Pelanggan Khusus

1) Gardu Pelanggan Umum

Pada umumnya konfigurasi peralatan gardu pelanggan umum adalah π section, yang sama halnya dengan gardu tiang yang dicatu dari SKTM. Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, konfigurasi gardu berupa T section dengan catu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut Gardu Antena. Karena tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakkan secara otomatis.

2) Gardu Pelanggan Khusus

Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung. dan proteksi, gardu ini dilengkapi dengan alat-alat ukur yang memenuhi persyaratan

Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kV, komponen utamanya adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran tegangan menengah. Transformator penurun tegangan berada disisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PLN. Gardu pelanggan khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum.

Pelayanan dengan transformator tersendiri dilakukan untuk pemakai yang agak besar atau bila para pemakai terletak agak berjauhan terutama didaerah luar kota, sehingga saluran tegangan rendahnya akan terjadi terlampau panjang (Roza, 2018: 75).

2.2.4 Saluran Udara Tegangan Menengah

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik sehingga saluran ini yang paling banyak digunakan di Indonesia. Yang menjadi ciri utama jaringan ini adalah menggunakan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang (PT PLN (Persero), 2010b).

Adapun material yang dipakai pada peghantar telanjang yaitu tembaga, aluminium, baja, kombinasi tembaga dan baja, atau kombinasi aluminium dengan baja. Dari beberapa jenis material, tembaga adalah yang paling banyak dipakai karena sifatnya yang sangat baik dalam menghantarkan arus listrik. Selain itu harganyapun cukup murah dan mudah disambung . (Soepartono dan A. R. Ismu, 1980)

2.2.5 Penghantar Listrik

Salah satu komponen utama dalam saluran distribusi yaitu penghantar. Penghantar inilah yang menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju ke pusat-pusat beban. Menurut Anisah, *et.al.* (2019: 208), jenis penghantar yang digunakan dalam sistem distribusi yaitu kawat dan kabel.

Penghantar kawat yaitu jenis penghantar yang tidak ada lapisan pelindungnya atau isolasi. Penghantar jenis ini biasanya digunakan pada sistem distribusi bagian Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Jenis penghantar kawat yang sering digunakan yaitu *All Alumunium Conductor* (AAC) dan *All Alumunium Alloy Conductor* (AAAC). Sedangkan penghantar kabel biasanya digunakan pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah. Penghantar jenis ini terdapat lapisan luarnya atau pelindung yang biasa disebut isolasi. Adapun penghantar kabel yang sering dipakai dalam jaringan distribusi PLN yaitu kabel AAAC-S dan XLPE.

Pada sistem distribusi primer pada tegangan menengah tiga fase hanya menggunakan tiga kawat penghantar saja karena tidak menggunakan penghantar netral. Akan tetapi pada sistem distribusi sisi sekunder yaitu jaringan tegangan rendah menggunakan empat kawat penghantar yaitu tiga kawat fasa dan satu kawat netral. Berkut ini data konstanta jaringan menurut SPLN 64 Tahun 1985.

Tabel 2.1 Konstanta jaringan kawat penghantar AAAC menurut SPLN 64 Tahun 1985

Luas Penampang (mm^2)	**Impedansi (Ohm/Kms)**	**KHA (A)**
AAAC 240	0,1344 + j0,3158	585
AAAC 150	0,2162 + j0,3305	425
AAAC 70	0,4608 + j0,3572	155
AAAC 50	0,6452 + j0,3678	210

(sumber: SPLN 64 Tahun 1985)

2.2.6 Daya Listrik

Daya yang dibangkitkan sebuah perangkat listrik sebanding dengan besarnya arus yang mengalir melewatinya. Daya juga sebanding dengan tegangan yang menggerakkan arus tersebut. Semakin besar arus dan semakin besar gaya gerak listriknya, semakin besar pulalah daya yang dihasilkan. Daya disimbolkan dengan huruf P, arus disimbolkan dengan huruf I dan tegangan disimbolkan dengan huruf V. Rumus umum daya yaitu:

$P = V \times I$

Keterangan:

P= Daya (Watt)

V= Tegangan (Volt)

I= Arus (Ampere)

Daya listrik dibedakan menjadi tiga yaitu: daya semu, daya nyata dan daya reaktif.

1) Daya Semu (S)

Daya semu disebut juga daya buta atau daya pasif. Daya ini merupakan daya keseluruhan yang dikeluarkan, dan juga kapasitor generator. Satuannya yaitu kVA (kilovolt ampere) atau MVA (megavolt ampere).

Sedangkan menurut Salman (2017: 18), daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Besar daya ini yaitu hasil dari perkalian tegangan dengan arus. Berikut ini rumus yang digunakan dalam perhitungan.

Untuk saluran 1 fasa:

$$S = V \times I$$

Kemudian untuk saluran 3 fasa:

$$S = 3 \times V \times I$$

Keterangan:

S = Daya Semu (VA)

V= Tegangan (KV)

I = Arus (A)

2) Daya Nyata (P)

Daya nyata atau daya aktif adalah daya yang benar-benar dipergunakan sesuai dengan kebutuhan tenaga listrik (Ngadirin, 2008). Yaitu daya yang digunakan untuk menggerakkan atau menyalakan peralatan–peralatan listik seperti seterika, motor listrik, kulkas, dan lain-lain.

Rumus untuk menghitung daya nyata yaitu:

Untuk 1 fasa,

$$P = V \times I \times \mathrm{Cos}\varphi$$

Kemudian untuk 3 fasa menggunakan rumus,

$$P = 3 \times V \times I \times \mathrm{Cos}\varphi$$

Keterangan:

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere).

3) Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang tidak bisa digunakan akibat pengaruh harga reaktansi dan beban. Kemudian Ngadirin (2008), juga membagi daya reatif menjadi dua, yaitu:

a) Daya reaktif induktif

Yaitu daya yang dihasilkan akibat mengalirnya arus listrik melalui komponen-komponen kawat listrik.

b) Daya reaktif kapasitif

Yaitu daya yang dihasilkan akibat mengalirnya arus listrik pada sebuah kapasitor.

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung besar daya rekatif.

Untuk saluran 1 fasa:

$$Q = V \times I \times Sin\varphi$$

Untuk saluran 3 fasa:

$$Q = 3 \times V \times I \times Sin\varphi$$

Keterangan:

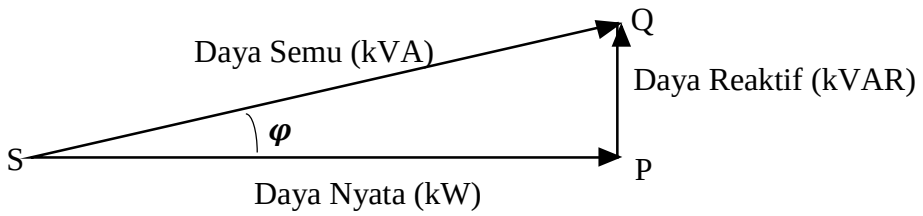
Q = Daya Reaktif (KVAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A).

2.2.7 Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu. Adapun hubungan antar ketiga daya yang telah disebutkan diatas dapat dijelaskan dengan segitiga daya seperti gambar di bawah ini (Ngadirin, 2008).



Gambar 2. 9 Hubungan antara daya semu, daya reaktif, dan daya nyata (Ngadirin, 2008: 103)

Sehingga diperoleh rumus sebagai berikut:

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} = \frac{\text{V.I}\cos\varphi}{\text{V.I}} = \cos\varphi$$

Nilai faktor daya dalam suatu saluran mempengaruhi besarnya arus yang mengalir pada saluran tersebut., nilainya yaitu antara 0 sampai dengan 1 yang terbagi menjadi faktor daya mendahului dan faktor daya tertinggal (Ngadirin, 2008:104). Terlalu rendah nilai faktor daya dapat mengakibatkan rugi yang sangat besar pada saluran. Adapun penyebab faktor daya antara lain karena penggunaan peralatan pada pelanggan yang menyimpang dari syarat-syarat penyambungan yang telah ditetapkan (Salman, 2017).

2.2.8 Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu terdapat sumber dan beban. Pada sumber listrik DC, beban yang tersambung bersifat resistif murni dikarenakan frekuensi

pada listrik DC adalah nol. Pada sumber DC beban induktif dan beban kapasitif tidak berpengaruh pada rangkaian karena reaktansi induktif (XL) menjadi nol yang menandakan induktor tersebut mengalami *short circuit*. Kemudian reaktansi kapasitif (XC) menjadi tak terhingga yang berarti kapasitornya *open circuit*. Sedangkan beban dalam sumber AC dibedakan menjadi tiga, yaitu:

2.2.7.1 Beban Resistif

Beban resistif merupakan resistor murni terdiri dari komponen tahanan ohm saja. Adapun contoh beban yang bersifat resistif yaitu lampu pijar dan pemanas. Keduanya hanya menyerap daya aktif sedangkan daya reaktif tidak diserap sama sekali. Rumus umum yang digunakan yaitu:

$$\mathrm{R} = \frac{V}{I}$$

Keterangan:

R = Hambatan (ohm)

V = Tegangan (volt)

I = arus (ampere)

2.2.7.2 Beban Induktif

Beban Induktif yaitu suatu beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada intinya. Contoh beban induktif diantaraya motor-motor listrik, induktir dan transformator. Karakteristik beban ini yaitu:

a. Mempunyai faktor daya Antara 0 – 1

b. Menyerap daya aktif (K=kW) dan daya reaktif (kVAR)

c. Tegangan mendahului arus.

Rumus matematisnya:

$$XL = 2\pi f.L$$

Keterangan:

XL = Reaktansi Induktif (ohm)

f = frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)

2.2.7.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan suatu beban yang mengandung rangkaian kapasitor. Beban jenis ini dapat menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus yang lewat selalu mendahului tegangan sebesar $\varphi°$. Rumus matematis yang digunakan yaitu:

$$XC = \frac{1}{2\pi fC}$$

Keterangan:

XC = Reaktansi Kapasitif

F = Frekuensi (Hz)

C = Kapasitas Kapasitor (farad)

2.2.9 Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik, yang disebabkan oleh bagian yang berbeda tegangan di dalam suatu sistem daya tersebut dan juga dipengaruhi oleh

resistansi, reaktansi dan impedansi pada saluran (Tanjung, 2014). Sedangkan menurut Soepartono (1980), rugi tegangan dan rugi daya terjadi karena saluran distribusi mempunyai tahanan, induktansi, dan kapasitas. Kemudian disebutkan pula terjadinya rugi tegangan pada saluran distribusi akibat adanya tahanan (R) dan reaktansi induktif kawat saluran (X).

Menurut Abrar Tanjung (2014:164), terdapat dua komponen yang mempengaruhi terjadiya penurunan tegangan yaitu:

a. $I \times R_s$ yaitu rugi-rugi tegangan yang diakibatkan oleh tahanan saluran
b. $I \times X_1$ yatiu rugi-rugi tegangan yang diakibatkan oleh reaktansi induktif saluran.

Sehingga besarnya jatuh tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta V = I.R.\cos\varphi + I.X.\sin\varphi$$

$$\Delta V = I \times Z$$

Untuk menghitung besarnya hambatan (R) digunakan rumus:

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

keterangan:

ΔV : Jatuh tegangan (volt)

I : Arus yang mengalir (ampere)

R : Tahanan saluran (ohm)

X : Reaktansi (Ohm)

φ : Sudut dari faktor daya beban

Z : Impedansi saluran

ρ : tahanan jenis penghantar (mm^2/m)

l : panjang penghantar (meter)

A : luas penampang (mm^2)

Seiring dengan bertambahnya waktu, beban atau konsumen yang tersambung ke jaringan PLN juga semakin bertambah. Penambahan beban inilah yang juga dapat menyebabkan tegangan pada titik-titik beban turun yang berakibat kualitas tegangan terpasang pada jaringan distribusi menjadi dibawah tegangan sekunder (Ngadirin, 2008). Besarnya *drop* tegangan disimbolkan dengan ΔV (Erhaneli & Riski, 2013: 21). Kemudian hasilnya dinyatakan dalam bentuk persen maupun dalam satuan *volt* (Winardi, Winarno & Aditama, 2016: 66). Berdasarkan SPLN 72: 1987 batas maksimum *drop* tegangan yang diijinkan adalah sebagai berikut:

1) *Drop* tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah = 5%
2) *Drop* tegangan pada trafo = 3%
3) *Drop* tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah = 4%
4) *Drop* tegangan pada Saluran Pelayanan = 1%

Karena nilai jatuh tegangan dapat berubah-ubah tergantung dengan fluktuasi beban sehingga dalam rangka optimasi jaringan digunakan nilai maksimum sesuai SPLN 72:1987.

Selanjutnya untuk mengetahui suatu saluran apakah tegangan pelayanannya masih dalam batas standar atau tidak, dilakukan perhitungan presentese *drop voltage* (jatuh tegangan) dengan rumus:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_S} \times 100\%$$

Keterangan:

Vs = tegangan pada pangkal pengiriman

Vr = tegangan pada ujung penerimaan

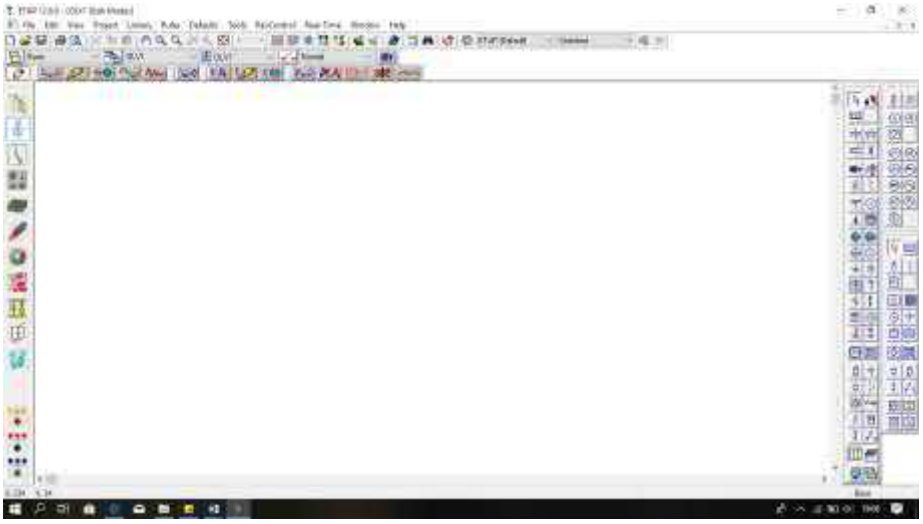
2.2.10 ETAP *(Electrical Transient Analysis Program)*

ETAP merupakan suatu perangkat lunak (*software)* yang mendukung sistem tenaga listrik. Aplikasi jenis ini sangat dibutuhkan dalam bidang tenaga listrik karena sebelum direalisasikan suatu perencanaan perlu dilakukan simulasi terlebih dahulu. ETAP *Power Station* ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data *real-time*. Aplikasi ini dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi, sistem harmonisa dan lain sebagainya (Hayusman, Hidayat & Saleh, 2017: 8).

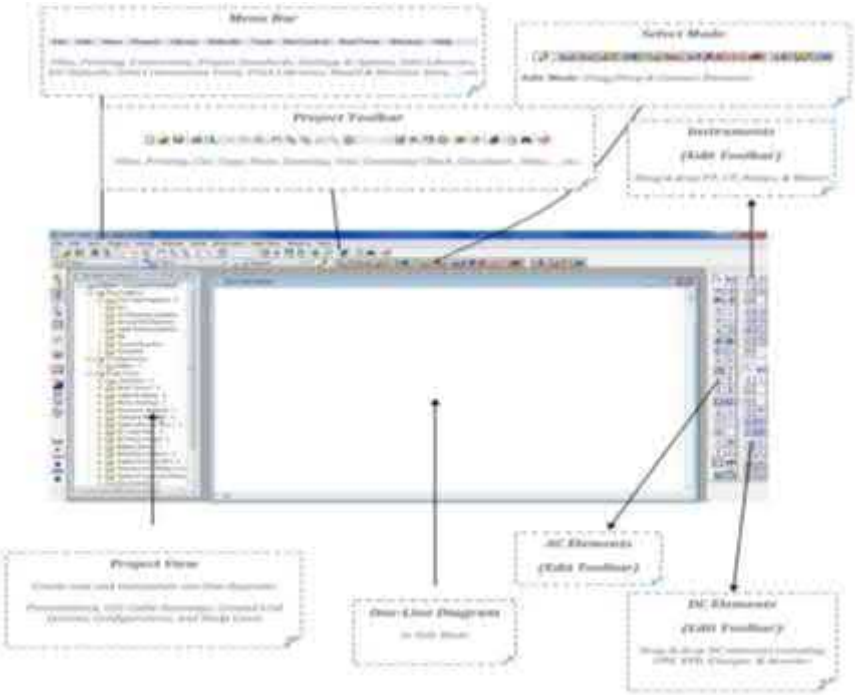
Tujuan digunakannya software ini yaitu untuk mempermudah dalam perhitungan dan memperoleh hasil perhitungan yang akurat. Dengan menggunakan ETAP dapat dilakukan analisis jaringan sekaligus mevisualisasikan respon dari jaringan ketika terjadi perubahan parameter-parameter daya yang mendadak dan tidak tetap (Reddy & Kumari, 2017: 511).

Software ETAP *Power Station* dilengkapi dengan fasilitas *Library* yang data-datanya dapat diubah sesuai dengan yang sebenarnya pada komponen-komponen

yang digunakan. Selain itu untuk mendukung dalam pembuatan simulasi aplikasi ini dilengkapi dengan banyak *tool* yang melambangkan suatu komponen yang digunakan dalam jaringan yang akan dianalisa. Dalam ETAP digunakan dua standar untuk analisa kelistrikan yaitu standar IEC (*International Electrotechnical Comission*) dan ANSI (*America National Standards Institude*). Dari keduanya memiliki perbedaan yaitu besar frekuensi yang digunakan. IEC menggunakan standar frekuensi 50 Hz sedangkan ANSI 60 Hz. Hal ini menyebabkan spesifikasi peralatan yang digunakan juga berbeda. Berikut ini adalah tampilan dari *Software* ETAP *Power Station*:



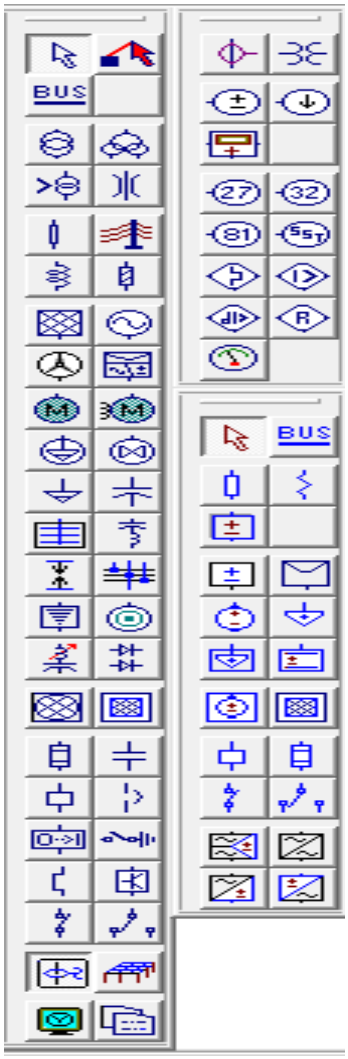
Gambar 2. 10 Tampilan awal Software ETAP 12.6.0



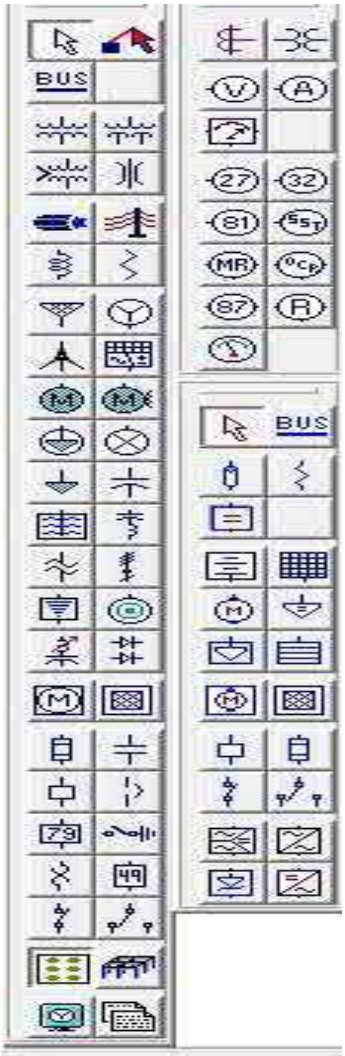
Gambar 2. 11 Fitur-fitur pada ETAP *Power Station*

(Multa dan Aridani, 2013: 4)

Sistem tenaga listrik di Indonesia menggunakan standar IEC yaitu dengan frekuensi 50 Hz. Di atas sudah dijelaskan mengenai perbedaan dari standar IEC dan ANSI mengenai perbedaan spesifikasi pada peralatan yang digunakan. Selain itu simbol-simbol peralatan kelistrikan pada ETAP juga ada beberapa yang berbeda.



Gambar 2. 12 Edit Toolbar standar IEC



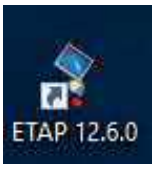
Gambar 2. 13 Edit Toolbar standar ANSI

2.2.11 Langkah Pembuatan Simulasi Menggunakan ETAP *Power Station*

ETAP merupakan *software* aplikasi yang sangat berperan penting dalam simulasi kelistrikan. Sebelum suatu perencanaan direalisasikan perlu terlebih dahulu dilakukan simulasi guna mengatahui keefektifan serta keamanan jika

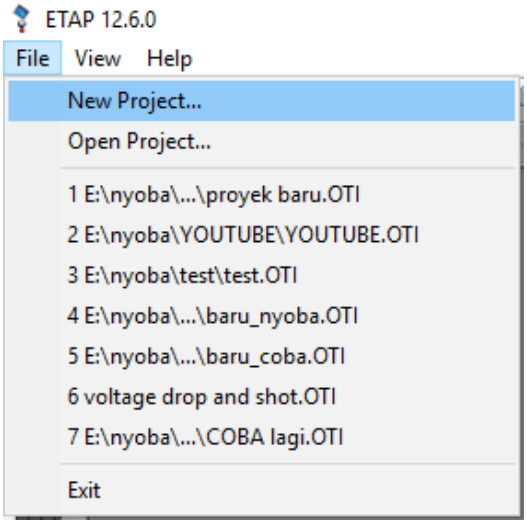
perencanaan yang sudah dibuat diterapkan. Berikut ini adalah tahapan pengoperasian dan pembuatan simulasi menggunakan ETAP *Power Station*:

1. *Install Software* ETAP *Power Station.*
2. Jalankan ETAP *Power Station* dengan cara klik ikon



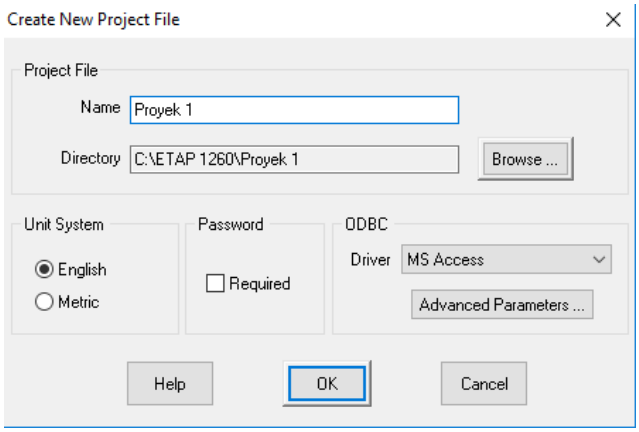
Gambar 2. 14 Ikon ETAP *Power Station*

3. Membuat lembar kerja baru dengan mengklik menu *File > new project*

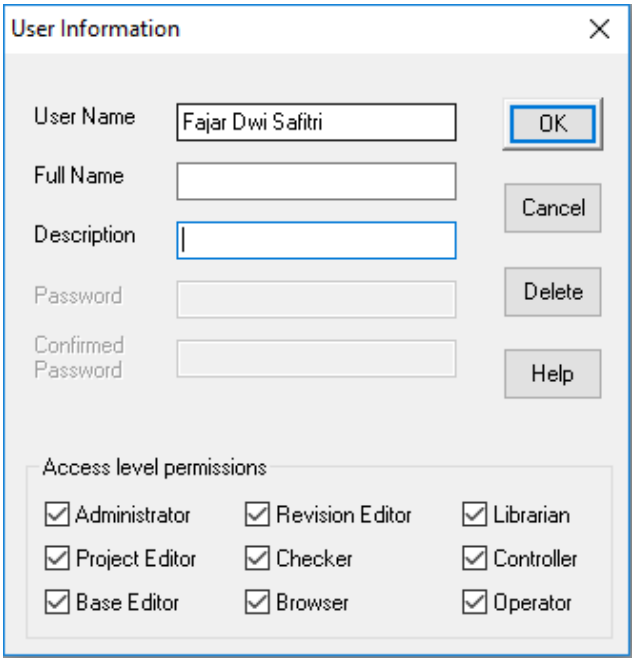


Gambar 2. 15 Tampilan Menu Bar

4. Pilih folder penyimpanan dan beri nama kemudian klik *Ok*

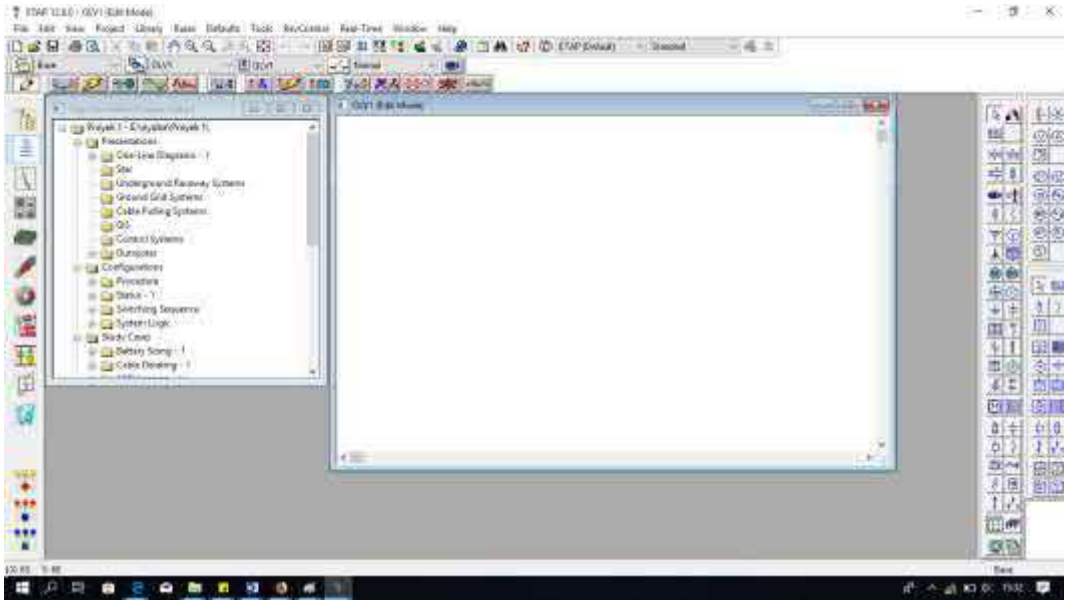


Gambar 2. 16 Tampilan *Create New Project File*



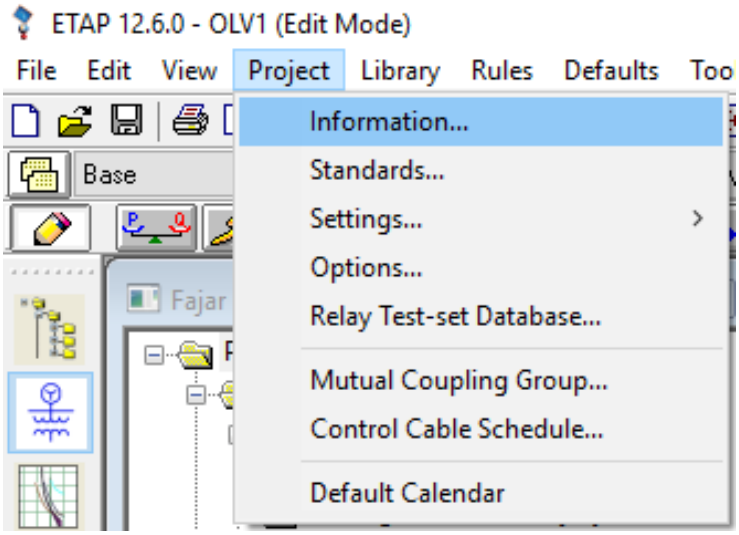
Gambar 2. 17 Tampilan *User Information*

5. Kemudian pada layar akan muncul tampilan seperti gambar dibawah ini

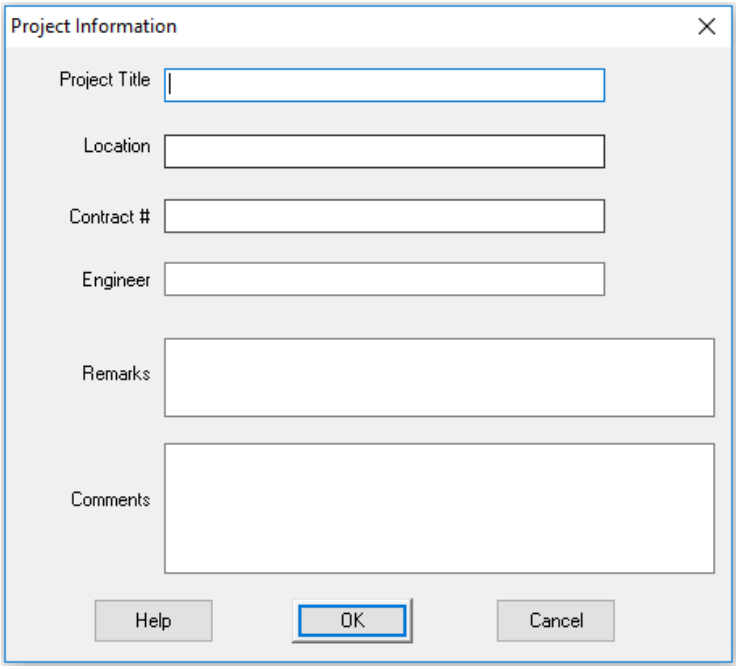


Gambar 2. 18 Tampilan Utama ETAP *Power Station*

6. Sebelum memulai membuat rangkaian simulasi klik menu *setting* informasi pada tab *Project Information* dengan mengklik menu *Project* > *Information*, sehingga akan muncul tab seperti gambar 2.20

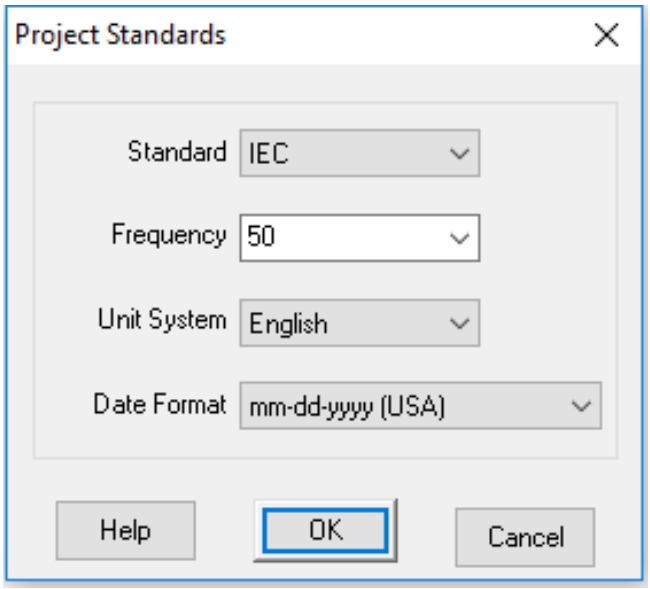


Gambar 2. 19 Menu Bar *Project*



Gambar 2. 20 Tampilan *Project Information*

7. Selanjutnya klik menu *Project* > *Standards*, maka muncul tab seperti gambar dibawah ini. Pada tab tersebut bisa dipilih *standard* yang akan digunakan IEC atau ANSI, *frequency* 50 Hz atau 60 Hz, *Unit System* yang akan digunakan *English* atau *Metric* dan Date Format. Selanjutnya klik *Ok*

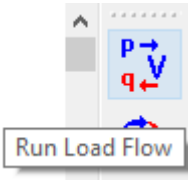


Gambar 2. 21 Tampilan *Tab Project Standards*

8. Setelah tahapan-tahapan di atas selesai maka sudah bisa dimulai untuk membuat *Single Line Diagram* (SLD) dengan memasukkan beberapa komponen yang akan disimulasikan seperti: *power grid*, *busbar*, *transformer*, penghantar, dan lainnya dengan men-*drag* komponen dari *Edit Toolbar* ke lembar *project*
9. Hubungkan antar komponen yang telah dimasukkan ke lembar *project* tadi
10. Masukkan data, identitas, dan spesifikasi yang setiap komponen yang akan disimulasikan sesuai dengan sumber data
11. Setelah rangkaian SLD selesai langkah selanjutnya yaitu memulai menganalisis aliran daya dan jatuh tegangan dengan mengklik mode *Load Flow Analysis*

Gambar 2. 22 Pilihan Mode

12. Kemudian klik *Run Load Flow* untuk menjalankan program.



Gambar 2. 23 *Run Load Flow* pada *Load Flow Toolbar*

2.2.12 Metode Perhitungan Aliran Daya

Analisis aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya

dan juga mempelajari adanya jatuh tegangan di sisi beban (Multa & Aridani, 2013). Menurut Sulasno (1993), terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk perhitungan aliran daya yaitu Metode *Gauss-Seidel* dan Metode *Newton-Raphson*. Masing-masing metode memiliki kelebihaan dan kelemahannya masing-masing.

1. Metode *Gauss-Seidel*

   Kelebihan yang dimiliki dari metode ini yaitu:

   a. Pemrograman dan perhitungannya relative lebuh mudah.
   b. Hanya butuh sedikit nilai masukan.
   c. Waktu tiap iterasi singkat.
   d. Metode ini cocok digunakan pada sistem tenaga listrik yang jaringannya sedikit.

   Sedangkan kelemahan dari metode *Gauss-Seidel* ini yaitu:

   a. Kecepatan perhitungannya sedikit lebih lambat
   b. Tidak cocok untuk sistem radial karena tidak dapat menvapai konvergen.
   c. Semakin banyak simpul maka akan semakin banyak pula iterasi yang diperlukan. Julah iterasi juga akan berubah ketika bus referensinya diganti dengan bus lain.
   d. Tidak cocok untuk sistem jaringan yang banyak.

2. Metode *Newton-Raphson* (N-R)

   Metode ini merupakan hasil perkembangan dari metode *Gauss-Seidel* yang lebih disempurnakan. Metode N-R dianggap lebih efektif dan menguntungkan untuk sistem jaringan yang lebih besar. Selain itu juga dapat menutup kelemahan dari metode *Gauss-Seidel* yaitu tingkat ketelitiaannya lebih baik,

kemudian membutuhkan jumlah iterasi yang lebih sedikit dan mampu menghitung dengan waktu yang lebuh cepat. Menurut Martínez-Molina dan Ledezma (2016), metode NR telah berhasil membuktikan dalam sebagian besar kasus bahwa memiliki karakteristik konvergensi yang kuat.

Selain dua metode di atas, dalam ETAP untuk melakukan kalkulasi aliran daya ada satu lagi metode tambahan yaitu metode *Fast Decoupled*. Kelebihan serta kelemahan dari metode ini yaitu baik untuk sistem jaringan radian dan jaringan yang panjang. Selain itu cepat dalam penghitungan akan tetapi memiliki tingkat presisi yang kurang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan paparan pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar jatuh tegangan pada jaringan Penyulang Kalisari 06 masih dalam standar yang diizinkan sesuai SPLN 72: 1987. Jatuh tegangan terbesar terjadi pada Bus24 dengan nilai 3,75% mendekati batas maksimal yang diijinkan.
2. Solusi yang digunakan untuk meminimalkan jatuh tegangan yang terjadi yaitu dengan melakukan sisip trafo distribusi 3 fasa 50 kVA dikarenakan beban pada trafo distribusi tersebut sudah melebihi batas pembebanan yang diijinkan. Hasil dari simulasi dengan menambahkan trafo menjadikan jatuh tegangan pada Bus24 berkurang menjadi 2%.

5.2 Saran

Untuk kesempurnaan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang ingin penulis ajukan, diantaranya sebagai berikut:

1. Dari hasil kesimpulan skripsi ini penulis menyarankan agar dilakukannya pengukuran, pengawasan dan pemeliharaan agar kualitas energi listrik yang diterima konsumen tetap dalam kualitas yang baik.

2. Penulis juga memberikan saran agar hasil dari skripsi ini dapat dijadikan pertimbangan dalam melakukan perbaikan jatuh tegangan pada jaringan Penyulang Kalisari 06.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat mensimulasikan pada sistem jaringan yang lebih luas dan dilakukan perbandingan dengan menggunakan *software* lain.

DAFTAR PUSTAKA

Anisah, S., Z. Tharo dan Suhardi. 2019. **Analisis Perbaikan Tegangan Ujung Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Dengan Simulasi E-Tap (Studi Kasus PT PLN (Persero) Rayon Kuala**. *Seminar Nasional Teknik*. Universitas Negeri Sumatera Utara. Medan. 207-212.

Daryanto. 2002. ***Pengetahuan Teknik Listrik***. Jakarta: PT Bumi Aksara.

Erhaneli dan A. Riski. 2013. **Pengaruh Penambahan Jaringan Terhadap Drop Tegangang pada SUTM 20 kV Feeder Kersik Tuo.** *Jurnal Momentum*. 15(2): 19–23.

Hayusman, L. M., T. Hidayat, C. Saleh, I. M. Wartana dan T. Herbasuki. 2017. **Pelatihan Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program**. *Industri Inovatif* . 7(1): 7–11.

Kadir, A. 2006. ***Distribusi dan Utilitas Tenaga Listrik***. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

Kementrian ESDM RI. 2018. ***Statistik Ketenagalistrikan 2017***. Edisi Ketiga. Jakarta: Kementrian ESDM RI.

Marsudi, D. 2011. ***Pembangkitan Energi Listrik***. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.

Multa, L. dan R. P. Aridani. 2013. ***Modul Pelatihan ETAP.*** Yogyakarta: Magatrika.

Martinez-Molina, M. A., S. N. Ladezma. 2016. A**nalysis of three-phase load flow problem in distribution networks with the inclusion of symmetric and asymmetric transformer connections.** *IEEE*

Narottama, A. A. N. M., I. G. A. M. Sunaya, I. M. Purbhawa dan K. R. D. Noviyanti. 2014. **Analisis Pengaruh Rekonfigurasi Jaringan Terhadap Pembebanan Transformator Pada Gardu Distribusi Ka 1316 Penyulang Sriwijaya**. *JURNAL MATRIX* 4(3): 125–130.

Ngadirin. 2008. ***Jaringan Distribusi***. Semarang: Universitas Negeri Semarang Press

Nigara, A. G. 2015. **Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizzing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal Menggunakan Software ETAP *Power Station* 4.0**. *Skripsi.* Universitas Negeri Semarang.

Nugroho, A., D. H. Kusumastuti dan B. Winardi. **Perencanaan Perbaikan JTR Penyulang SRL001 Di Daerah Tanjungsari Guna Mengurangi Drop Tegangan Konsumen Pada PT PLN (Persero) Rayon Semarang Selatan Menggunakan Software Etap 12.6.0**. *Transmisi* 19(4): 177-181

Pabla, A. S. 1981. ***Electric Power Distribution Systems***. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publ.Co. Terjemahan A. Hadi. 1991. ***Sistem Distribusi Daya Listrik*.** Cetakan kedua. Jakarta: Erlangga

Pradono, S. S., T. Sukmadi dan B. Winardi. 2011. **Optimasi Penempatan Transformator Distribusi Berdasar Jatuh Tegangan (Studi Kasus pada Wilayah Kawasan Tertib Listrik UPJ Semarang Selatan)**. *Seminar Tugas Akhir*.

PT PLN (Persero). 2010a. ***Buku 4: Standar Konstruksi Gardu Distribusi Dan Gardu Hubung Tenaga Listrik***. Jakarta: PT PLN (Persero).

_____. 2010b. ***Buku 5: Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik***. Jakarta: PT PLN (Persero).

Reddy, D. S. dan C. S. Kumari. 2017. **Transient Stability Analysis Of A Combined Cycle Power Plant Using ETAP Software.** *IEEE 7th International Advance Computing Conference:* 510–115.

Roza, I. 2018. **Analisis Tegangan Jatuh Lokasi Penempatan Trafo Distribusi 20 kV Untuk Penyaluran Energi Fall**. *Journal of ELectrical and System Control Engineering* 1(2): 72-82.

Safala, M. F. 2016. **Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20 Kv Akibat Jatuh Tegangan**. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang

Salman, R. 2017. A**nalisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan**. *JITEKH* 6(1): 17–21.

Satrio, R. I dan Subiyanto. 2018. **Reduction Technique of Drop Voltage and Power Losses to Improve Power Quality using ETAP Power Station Simulation Model.** *AIP Conference Proceedings*. Universitas Negeri Semarang. Semarang. 1-12.

SPLN 72-1987. ***Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)***. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta

SPLN 64-1985. ***Petunjuk Pemilihan dan Peenggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah***. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta

Stevenson, W. D. 1983. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: Erlangga

Sugiyono. 2011**.** ***Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)***. Bandung: Alfabeta.

_____. 2016. ***Cara Mudah Menyusun: Skripsi, Tesis, dan Disertasi*.** Bandung: Alfabeta.

Suhadi dan T. Wrahatnolo. 2008. ***Teknik Distribusi Tenaga Listrik***. Jilid 3. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Sukma, D. Y., Feranita dan Hermanto. 2017. **Perbaikan Jatuh Tegangan pada Feeder Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Teluk Kuantan.** *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau (Jom FTEKNIK)* 4(1): 1–8.

Sulasno. 1993. ***Analisis Sistem Tenaga Listrik***. Semarang: Satya Wacana.

Syahputra, R. 2017. ***Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik***. Yogyakarta: LP3M UMY.

Tanjung, A. 2014. **Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya dan Drop Tegangan**. *Sains, Teknologi, dan Industri* 11(2): 160–166.

Winarno, H., K. R. Aditama dan B. Winardi. 2016. **Perbaikan Losses Dan Drop Tegangan Pwi 9 Dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru Pwi 11 Di Pt Pln (Persero) Area Semarang**.*Transmisi*, 18(2): 65–69.

Wiryawan, I. M. A., I. P. **Sutawinaya dan I. W. R. Sutrawan. 2015. Analisis Perbandingan dntara Penggunaan Transformator Sisipan dan Uprating Transformator dalam Menanggulangi Drop Tegangan pada Gardu Distribusi KA 0819 Penyulang Mumbu**. *Jurnal Logic*, 15(3): 159-163.

Zuhal. 1992. ***Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya***. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.