

ANALISIS SUSUT ENERGI (*LOSSES*) JARINGAN TEGANGAN  
MENENGAH (20 KV) DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL SULTAN  
HASANUDDIN MAKASSAR



SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk menyelesaikan Pendidikan Diploma  
Empat (D4) Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik  
Negeri Ujung Pandang*

TRI WAHYUDI LISTIN  
421 20 066

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2021

## HALAMAN PENGESAHAN

Proposal skripsi ini dengan judul **Analisis Susut Energi (*Losses*) Jaringan Tegangan Menengah (20 KV) Di Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar** oleh Tri Wahyudi Listin NIM 421 20 066 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi D4 Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 2021

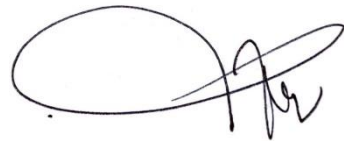
Mengesahkan,

Pembimbing I,



Sarma Thaha, ST., M.T.  
NIP.19781002 201504 2 001

Pembimbing II,



Kurniawati Naim, ST., M.T.  
NIP.19820715 201012 2 003

Mengetahui,

Ketua Program Studi

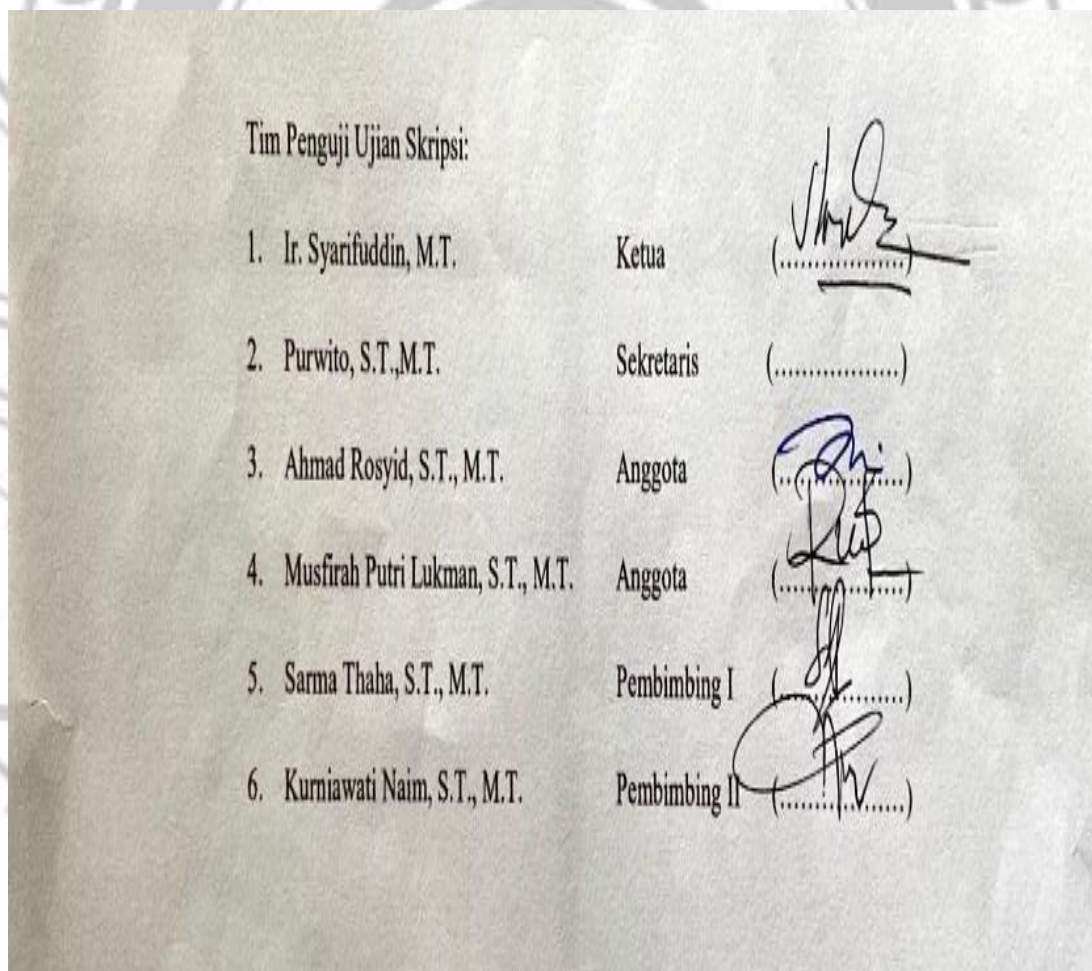


Ahmad Rosyid Idris, ST., MT.  
NIP.19860404 201504 1 001

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari            tanggal    Agustus 2021, Tim Penguji Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa Tri Wahyudi Listin NIM 421 20 066 dengan judul **"Analisis Susut Energi (Losses) Jaringan Tegangan Menengah (20KV) Di Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar"**

Makassar,            Agustus 2021



## KATA PENGANTAR

Assalamualikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala berkat, rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **“Analisis Susut Energi (*Losses*) Jaringan Tegangan Menengah (20 KV) Di Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar ”**.

Proposal skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma IV di Politeknik Negeri Ujung Pandang. Proses penyelesaian proposal skripsi ini tidak lepas dari banyak pihak. Oleh karena itu melalui kesempatan ini penulis menyampaikan rasa syukur dan berterima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga atas segala dukungan baik berupa moril, materil, motivasi serta doa yang telah diberikan.
2. Prof Ir. Muhammad Anshar, M.si., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Ahmad Rizal Sultan, ST. MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Eketro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ahmad Rosyid Idris, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.

5. Sarma Thaha, ST., M.T. sebagai Pengarah I dan Kurniawati Naim, ST., M.T. sebagai Pengarah II yang telah menyempatkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.

6. Seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Program Studi Diploma IV Teknik Listrik.

7. Seluruh teman-teman seperjuangan D4 Listrik kelas 4C angkatan 2020 yang telah ikut memberikan support serta semangat.

Tak lupa penulis menyampaikan permohonan maaf apabila selama penyusunan proposal skripsi ini terdapat kesalahan, baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Penulis menyadari bahwa proposal skripsi ini masih jauh dari sempurna. Sehingga dengan rendah hati mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di penyusunan skripsi. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, Agustus 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUTAN .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
SURAT PERNYATAAN.....	xii
RINGKASAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik.....	8
2.2 Struktur Jaringan Distribusi ( <i>Main Power House</i> ).....	11
2.3 Transformator TM.....	14
2.4 Panel Kubikel TM.....	18
2.5 Susut Distribusi .....	31
2.6 Perhitungan Susut Pada Saluran Distribusi.....	33

2.7 <i>Electrical Transient Analyzer</i> Program (ETAP) 12.6.0.....	36
BAB III METODE PENELITIAN.....	38
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	38
3.2 Prosedur Penelitian.....	38
3.3 Teknik Analisa Data.....	39
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Data Hasil Penelitian.....	42
4.2 Perhitungan Rugi-rugi Daya Secara Manual.....	46
4.3 Simulasi Rugi-rugi Daya Menggunakan Software ETAP 12.6.0.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik ( <i>Main Power House</i> ).....	6
Gambar 2 Sistem Jaringan Distribusi Loop (Substation).....	8
Gambar 3 <i>SCADA WIRING POWER DISTRIBUTION (Main power house)</i> .....	12
Gambar 4 Jaringan Distribusi Primer.....	13
Gambar 5 Jaringan Distribusi Sekunder .....	13
Gambar 6 Transformator TM <i>main power house</i> .....	14
Gambar 7 Trafo <i>Step Up main power house</i> .....	16
Gambar 8 Trafo <i>Step Down main power house</i> .....	17
Gambar 9 Kubikel <i>main power house</i> .....	18
Gambar 10 Kompartemen Kubikel .....	21
Gambar 11 Rell Busbar .....	22
Gambar 12 Air CB Kontak Sela Tanduk .....	23
Gambar 13 Air CB Tabir Konduktor .....	23
Gambar 14 Air CB Tabir Isolator .....	24
Gambar 15 <i>Air Circuit Breaker</i> .....	24
Gambar 16 <i>Oil CB</i> . .....	25
Gambar 17 <i>OCB (Oil Circuit Breaker)</i> .....	26
Gambar 18 <i>Air Blast (CB)</i> .....	26
Gambar 19 Kontak pemutus daya vakum .....	27
Gambar 20 <i>Vacum CB Rating 12-24 kV</i> .....	27
Gambar 21 <i>SF6 CB (Sulfur Hexafluoride Circuit)</i> .....	28
Gambar 22 Diagram Sistem PMS .....	29

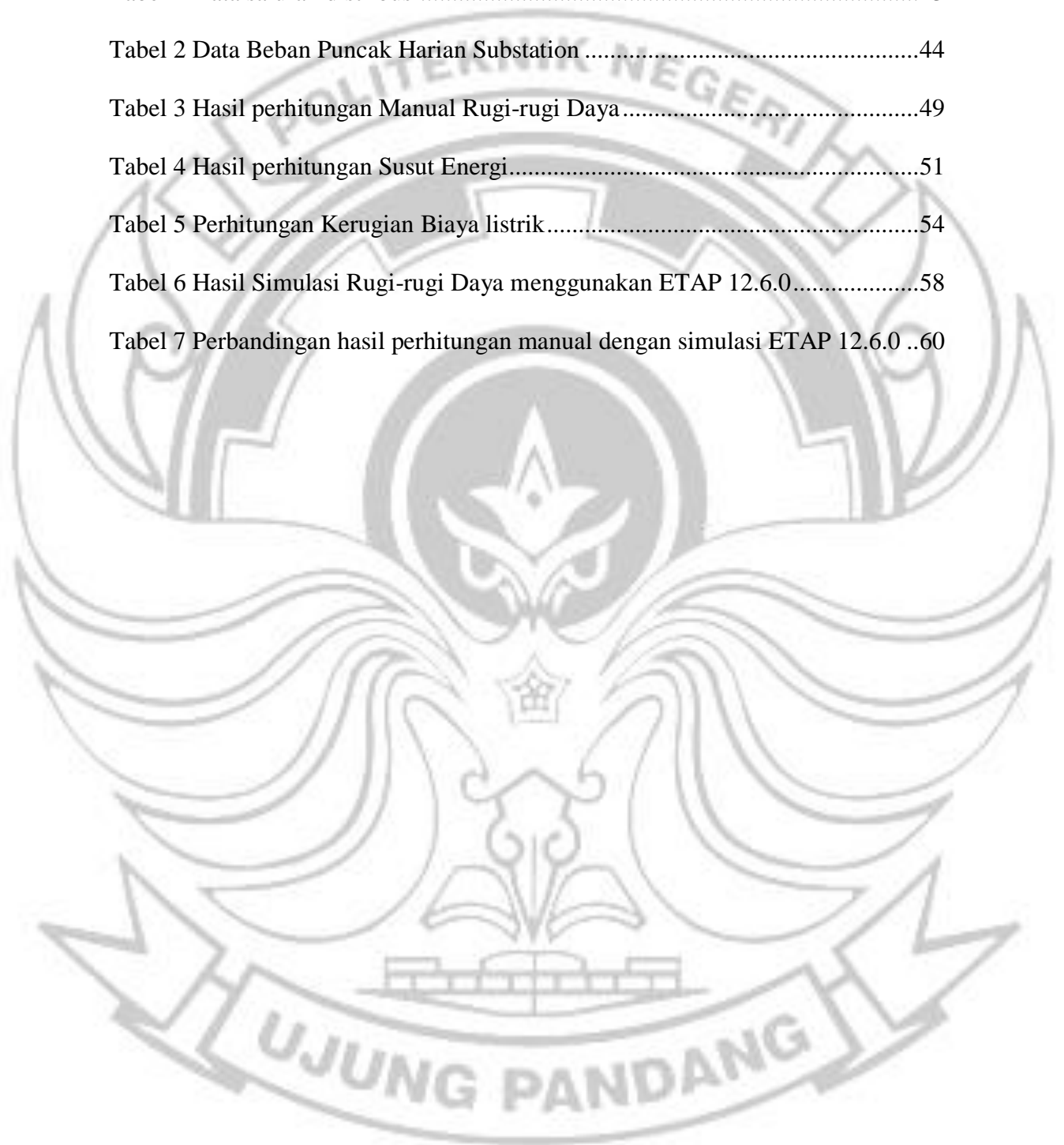


Gambar 23 Solefuse dalam melindungi trafo tegangan .....	30
Gambar 24 Tampilan Awal dari Aplikasi ETAP Versi 12.6.0 .....	37
Gambar 25 Diagram Alir Penelitian .....	41
Gambar 26 simulasi Rugi-rugi daya .....	56
Gambar 27 Hasil simulasi rugi-rugi daya pada ETAP 12.6.0.....	57
Gambar 28 Diagram hasil perbandingan Perhitungan, Simulasi, Error.....	62



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data saluran distribusi.....	43
Tabel 2 Data Beban Puncak Harian Substation .....	44
Tabel 3 Hasil perhitungan Manual Rugi-rugi Daya .....	49
Tabel 4 Hasil perhitungan Susut Energi.....	51
Tabel 5 Perhitungan Kerugian Biaya listrik.....	54
Tabel 6 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya menggunakan ETAP 12.6.0.....	58
Tabel 7 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan simulasi ETAP 12.6.0 ..	60



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tarif Tenaga Listrik.....	67
Lampiran 2 Single Line Diagram 20 kV Main Power House.....	68



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tri Wahyudi Listin

NIM : 42120066

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “ Analisis Susut Energi (Losses) Jaringan Tegangan Menengah (20KV) Di Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar ” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2021

Tri Wahyudi Listin  
NIM. 42120066

# ANALISIS SUSUT ENERGI (*LOSSES*) JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (20 KV) DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL SULTAN HASANUDDIN MAKASSAR

## RINGKASAN

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari empat komponen utama yaitu pembangkit, jaringan distribusi, jaringan transmisi, dan beban. Proses penyaluran (distribusi) terdapat beberapa masalah, salah satu masalahnya yaitu rugi-rugi daya. Penyebab adanya rugi-rugi tersebut yaitu adanya resistansi pada penghantar serta faktor jarak menuju beban yang terlalu jauh sehingga menimbulkan adanya daya yang hilang pada penghantar. Penelitian ini bertujuan menghitung rugi-rugi daya yang terjadi dengan memberikan perbandingan perhitungan manual dengan simulasi ETAP 12.6.0 serta menghitung susut energi dan kerugian finansial yang terjadi pada saat beban puncak. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan yakni pendekatan kuantitatif dimana pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur, observasi, dan wawancara langsung. Didapatkan hasil penelitian yaitu besar rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi 20 kV pada saat beban puncak selama satu bulan secara manual sebesar 10,20204 kV sedangkan besar rugi-rugi daya dengan simulasi ETAP 12.6.0 sebesar 9,2 kV serta besar susut energi pada saluran transmisi MPH ke *substation* 3, 2 dan 4 dalam satu bulan sebesar 122,42448 kWh dengan kerugian finansial yang di tanggung pihak PT Angkasa pura I (Persero) pada bulan Mei 2021 sebesar Rp 190.207.242. Dari hasil jumlah rupiah tarif tenaga listrik pada bulan Mei 2021 sebesar Rp 1.171.777.914 dibandingkan Rupiah rugi-rugi total daya sebesar Rp 190.207.242 sehingga kerugian perusahaan PT Angkasa pura I (persero) sebesar 16,2%

Kata Kunci : Rugi-rugi daya, Susut Energi, ETAP 12.6.0, dan Distribusi.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada tahun 1962, PN Angkasa Pura Kemayoran berubah nama menjadi PN Angkasa Pura, dengan maksud untuk lebih membuka kemungkinan mengelola bandar udara lain di wilayah Indonesia. Selanjutnya tahun 1974, status badan hukum perusahaan diubah menjadi Perusahaan Umum (Perum). Tanggal 19 Mei 1987, nama Perum Angkasa Pura diubah menjadi Perusahaan Umum Angkasa Pura I. Selanjutnya berdasarkan PP Nomor 5 Tahun 1992, bentuk Perum berubah menjadi Perseroan Terbatas (PT) yang sahamnya dimiliki sepenuhnya oleh Negara Republik Indonesia sehingga namanya menjadi PT Angkasa Pura I. Hingga saat ini Angkasa Pura I mengelola 13 Bandara di kawasan tengah dan timur Indonesia salah satunya adalah Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar. (Buku angkasa pura1)

Bandara mengalami peningkatan kembali di masa penjajahan Jepang dengan melakukan perbaikan landasan pacu yang awalnya rumput menjadi beton. Namanya pun menjadi Lapangan Terbang Mandai. Penambahan landasan pacu pun terjadi dan akan dilakukan oleh pihak sekutu pada tahun 1945 dengan kode Runway 13-31 yang dibangun dengan ukuran 1745 x 45 meter (Buku angkasa pura1)

Bandar Udara Sultan Hasanuddin mengalami peningkatan jumlah penumpang dan wisatawan luar negeri setelah melalui keputusan Menteri Perhubungan Nomor. KM 61/1994 yang keluar pada tanggal 30 Oktober 1994 Melalui

Keputusan itu Bandar Udara Sultan Hasanuddin resmi menjadi Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin. (Buku angkasa pura1)

Bandar udara atau bandara memiliki pengertian yang berasal dari kata "bandar" (tempat berlabuh) dan "udara". Bandara dibedakan menjadi dua bagian yaitu Airside dan Lineside. Airside (sisi udara) adalah bagian bandara yang berhubungan dengan kegiatan take off (lepas landas) maupun landing (pendaratan) sehingga merupakan area terbatas, bagian dari airside meliputi runway, taxiway, apron. Sedangkan lineside (sisi darat) adalah bagian bandara yang terbuka untuk umum (public area) dan bangunan terminal yang terbatas untuk umum (restricted public area), bagian dari lineside meliputi terminal penumpang dan area parker mobil dan motor.

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari empat komponen utama, yaitu pembangkit, jaringan distribusi (sistem tenaga listrik yang bertegangan tinggi dan ekstra tinggi), jaringan distribusi (sistem tenaga listrik menengah dan sistem tenaga listrik rendah), dan beban. Proses pengiriman energi listrik dilakukan dengan cara bertahap yang dimulai dari sistem pembangkit kemudian disalurkan ke jaringan distribusi, dan disalurkan ke semua beban menggunakan saluran distribusi.

Jaringan distribusi adalah suatu saluran atau jaringan yang menghubungkan dari sumber daya listrik besar (gardu induk) ke peralatan atau pemakai listrik baik terminal, industri dan substation. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke peralatan. Sistem distribusi daya listrik meliputi semua Jaringan Tegangan

Menengah (JTM) 20 KV dan semua Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt hingga ke KWh meter pelanggan. Pendistribusian daya listrik dilakukan dengan menarik kabel distribusi melalui penghantar ke tanah. Penghantar bawah tanah dari mulai gardu induk hingga ke pusat – pusat beban. Pada sistem di bandar udara sultan hasanuddin makassar. Jadi untuk daerah ini tetap disuplai melalui hantaran bawah tanah 3 phasa 1 kabel. Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling penting bagi peralatan. (Shiddiq, 2018).

Proses penyaluran terdapat beberapa masalah, salah satu masalahnya yaitu rugi-rugi daya dan susut energi. Penyebab adanya rugi-rugi tersebut yaitu memiliki beberapa faktor diantaranya, kebocoran isolator adanya resistansi pada penghantar serta faktor jarak menuju beban yang terlalu jauh sehingga menimbulkan adanya daya yang hilang pada penghantar. Faktor lain yang mempengaruhi susut pada jaringan adalah panjang jaringan dan luas penampang konduktornya, dimana semakin panjang jaringan dengan penampang konduktor yang kecil, maka susut pada jaringan akan semakin besar.

Kehilangan energi yang berupa rugi-rugi daya sulit untuk dihindari. Kerugian daya pada saluran distribusi sangat perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan kehilangan daya yang besar. Besar daya yang hilang saat pen-transmisiian harus dianalisa dan diantisipasi, sehingga daya yang hilang masih mencapai batas yang diperbolehkan. Kekurangan energi listrik pada daerah mengakibatkan tegangan merendah atau bisa mengakibatkan pemadaman listrik (Shiddiq, 2018).

Berdasarkan dari uraian latar belakang diatas sehingga pada penelitian ini



akan membahas tentang rugi-rugi daya dengan menggunakan software ETAP 12.6.0 untuk dibandingkan dengan perhitungan manual serta menghitung susut energi yang diakibatkan oleh rugi-rugi daya dan menghitung kerugian biaya akibat susut energi. Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis mengambil judul laporan akhir “Analisis Susut Energi (Losses) Jaringan Tegangan Menengah (20 KV) di Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Untuk menghitung besar rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi tegangan menengah 20kV di *main power house* pada saat beban puncak baik secara perhitungan manual dengan simulasi ETAP?
2. Untuk mengetahui hasil perbandingan dari perhitungan manual dan simulasi ETAP?
3. Untuk menganalisis susut energi dan besar kerugian finansial di tanggung pihak persero angkasa pura 1 yang terjadi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV Gardu Induk *main power house* pada saat beban puncak?

### **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Pada skripsi ini, penulis hanya menghitung rugi-rugi daya serta menghitung susut energi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV Gardu Induk Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar dan simulasi rugi-rugi daya menggunakan *software* ETAP 12.6.0 pada saat beban puncak. Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari hasil observasi.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

- 1 Untuk menghitung besar rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV Gardu Induk *main power house* pada saat beban puncak baik secara manual maupun dengan simulasi ETAP 12.6.0.
- 2 Untuk mengetahui hasil perbandingan antara perhitungan manual dengan simulasi ETAP?
- 3 Untuk menganalisis susut energi dan besar kerugian finansial di tanggung pihak persero angkasa pura 1 yang terjadi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV Gardu Induk *main power house* pada saat beban puncak?

### 1.4.2 Manfaat untuk penelitian

Untuk mahasiswa penelitian ini dilakukan untuk menambah wawasan tentang susut energi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV serta dijadikan referensi bagi kalangan akademis yang ingin menganalisa kerugian daya dan kerugian energi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV.

### 1.4.3 Untuk perusahaan

Sebagai masukan bagi perusahaan untuk meminimalisir kerugian yang bisa terjadi khususnya kerugian daya dan energi.

## **BAB II**

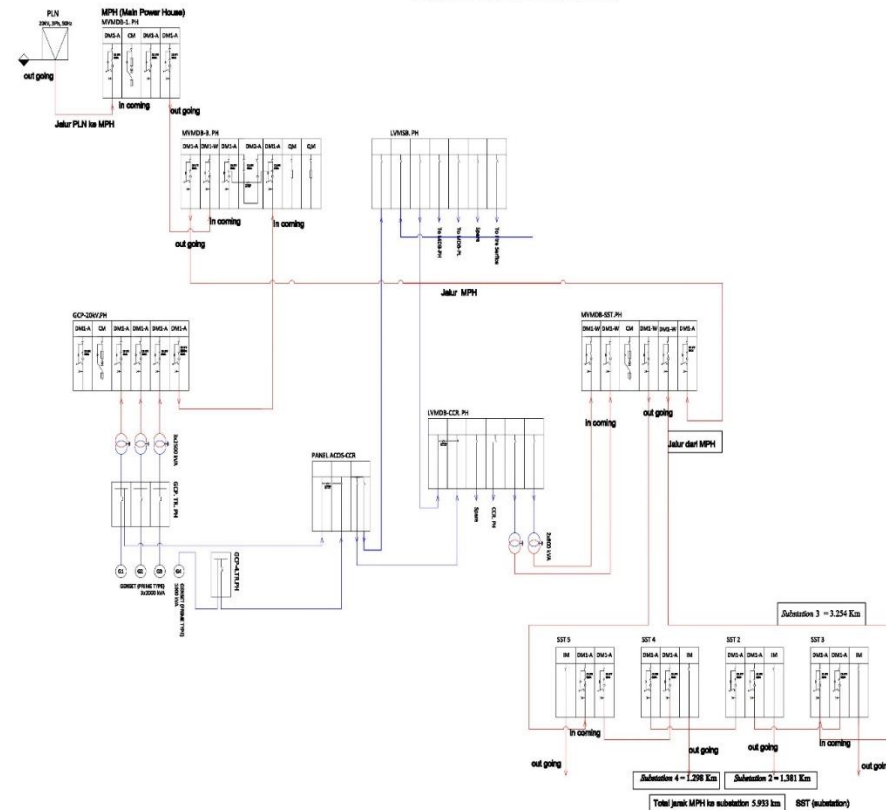
### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pusat-pusat listrik, biasanya juga disebut sentral-sentral listrik (electric power stations), terutama yang menggunakan tenaga air, biasanya letaknya jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan. Karena itu, tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat (saluran-saluran) transmisi. Saluran-saluran ini membawa tenaga listrik dari Pusat-Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) atau Pusat-Pusat Listrik Tenaga Termis (PLTT) ke pusat-pusat beban (load centers), baik langsung maupun melalui saluran-saluran penghubung, gardu-gardu induk (substation) dan gardu-gardu rele (relay substation) (Arismunandar, 2004).

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama yang dibutuhkan dalam berbagai kegiatan. Dalam waktu yang akan datang kebutuhan listrik akan meningkat sering dengan adanya peningkatan dan perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi, perkembangan teknologi termasuk didalamnya perkembangan dunia semua jenjang pendidikan.

Dalam proses penyaluran energi listrik, tenaga listrik dibangkitkan oleh suatu pusat pembangkit listrik, selanjutnya tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi. Tegangan distribusi yang digunakan dari kubikel yaitu 380V sampai 20 kV. Pada gambar 1 di bawah ini terdapat sistem distribusi tenaga listrik

## WIRING POWER DISTRIBUTION



Gambar 1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik (*Main Power House*)

Sumber : Sistem Distribusi Tenaga Listrik MPH

1. Trafo *step up* : Transformator untuk menaikkan tegangan
2. Trafo *step down* : Transformator untuk menurunkan tegangan
3. Kubikel : Sebagai pengendali, Penghubung atau pelindung serta membagi tegangan listrik Saluran transmisi berupa saluran kabel tanah

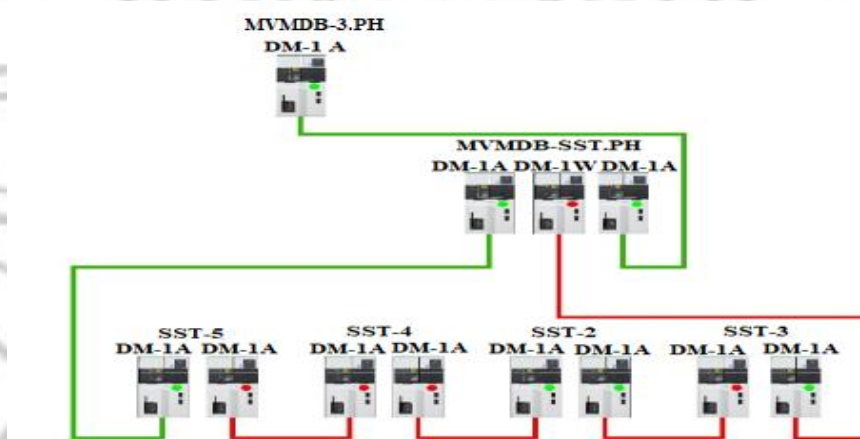
Jaringan *Loop* ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk *ring*, seperti terlihat pada gambar 2 di bawah yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran,

sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

1. Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
2. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup. (Achmaddwiki., 2014)

Panel kubikel *Out going* MVMDB-3 PH ke *Incoming* Panel MVMDB-SST-PH *Out going* ke Panel Sst-3 kemudian ke Panel Sst-2 *Out going* menyuplai Panel Sst-4 *Out going* menyuplai Panel Sst-5 *Incoming* Panel MVMDB-3 PH.



Gambar 2 Sistem Jaringan Transmisi (*Loop Substation*)

Sumber : Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

## 2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar dengan konsumen tenaga listrik. Mulai dari gardu induk menuju gardu distribusi. Sistem distribusi energi listrik meliputi semua jaringan tegangan menengah 20kV dan semua jaringan tegangan rendah 220/380 V hingga meter-meter pelanggan distribusi tenaga listrik dilakukan dengan menarik kabel-kabel dsitribusi penghantar dibawah tanah mulai dari gardu induk hingga ke pusat-pusat beban. Setiap elemen jaringan distribusi pada lokasi tertentu dibangun gardu-gardu distribusi diturunkan ke level tegangan yang lebih rendah yaitu dari 20kV menjadi 220/380 V, dari gardu-gardu ini kemudian ke peralatan listrik dilayani dengan menarik kabel-kabel tegangan rendah menjelajah pusat pemakaian, Beberapa pelanggan besar dapat juga dilayani secara khusus dengan menggunakan jaringan tegangan tinggi baik 20kV ataupun dengan jaringan tegangan menengah 20kV.

Ada dua kategori saluran transmisi: saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground*). Yang pertama menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-tiang transmisi dengan perantara isolator- isolator, sedang saluran kategori kedua menyalurkan listrik melalui kabel-kabel bawah tanah. Kedua cara penyaluran mempunyai untung-ruginya sendiri-sendiri. Dibandingkan dengan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, taufan, hujan angin, bahaya petir, dan sebagainya. Lagi pula, saluran bawah tanah lebih estetik (indah), karena tidak tampak. Karena alasan terakhir ini, saluran-saluran bawah tanah lebih disukai di Indonesia,

terutama untuk kota-kota besar. Namun, biaya pembangunannya jauh lebih mahal dari pada saluran udara, dan perbaikannya lebih sukar bila terjadi gangguan hubung singkat singkat dan sukar-sukaran (Arismunandar, 2004).

Menurut jenisnya, arus terbagi menjadi dua, yaitu arus bolak-balik (AC atau *alternating current*) dan arus searah (DC atau *direct current*). Di dalam sistem AC, untuk menaik-turunkan tegangan mudah dilakukan dengan menggunakan *transformator*. Dalam sistem AC ada sistem satu fasa dan tiga fasa. Sistem tiga fasa mempunyai kelebihan daripada satu fasa, karena:

1. Daya yang disalurkan lebih besar
2. harga sesaatnya konstan dan magnet putaranya mudah diadakan

Berhubung dengan keuntungan-keuntungannya, hampir seluruh penyaluran tenaga listrik di dunia dewasa ini dilakukan dengan arus bolak-balik. Namun demikian sejak beberapa tahun terakhir ini penyaluran arus searah mulai dikembangkan di beberapa bagian dunia. Penyaluran sistem DC mempunyai keuntungan karena isolasinya yang lebih sederhana, daya guna (efisiensi) yang tinggi karena faktor dayanya 1 serta tidak adanya masalah stabilitas sehingga dimungkinkan penyaluran jarak jauh. Namun sisi ekonomisnya masih harus diperhitungkan. penyaluran tenaga listrik dengan sistem DC dianggap ekonomis bila jarak saluran udara lebih jauh dari 640 km atau saluran bawah tanah lebih panjang dari 50 km. Sebaliknya, biaya peralatan pengubah dari AC ke DC juga mahal (Arismunandar, 2004).

Berdasarkan panjangnya, saluran transmisi dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu sebagai berikut ini:

1. Saluran transmisi pendek (*Short line*)
2. Saluran transmisi menengah (*Medium line*)
3. Saluran transmisi panjang (*Long line*)

#### 2.1.1 Saluran transmisi pendek (*Short line*)

Saluran transmisi pendek (*Short line*) merupakan saluran transmisi yang memiliki panjang kurang dari atau sama dengan 50 mile (80 Km). Pada saluran model ini besar kapasitansi ke tanah sangat kecil, dengan demikian besar arus bocor

#### 2.1.2 Saluran transmisi menengah (*Medium line*)

Saluran transmisi menengah didefinisikan sebagai saluran transmisi yang mempunyai panjang dari 80 km sampai 250 km. Pada saluran model ini besar kapasitansi ke tanah cukup besar sehingga tidak dapat diabaikan. Sehingga seluruh admitansi shunt saluran terpusat pada cabang shunt, dimana pada saluran transmisi menengah dibedakan menjadi dua model, yaitu:

1) Saluran transmisi menengah nominal T yaitu saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada satu titik dan impedansi serinya terbagi dua pada kedua cabang serinya.

2) Saluran transmisi menengah nominal  $\pi$  yaitu saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada dua titik dan impedansi serinya dipusatkan satu titik pada cabang serinya c.

#### 2.1.3 Saluran transmisi panjang (*Long Line*)

Saluran transmisi yang panjangnya lebih besar dari 250 km digolong pada transmisi panjang, besarnya reaktansi kapasitif paralel dan konduktansi semakin



kecil sehingga arus bocor semakin besar. Jadi pada saluran panjang ini semua parameter R, L, C, dan G diperhitungkan secara terdistribusi sepanjang saluran. (Arismunandar, 2004).

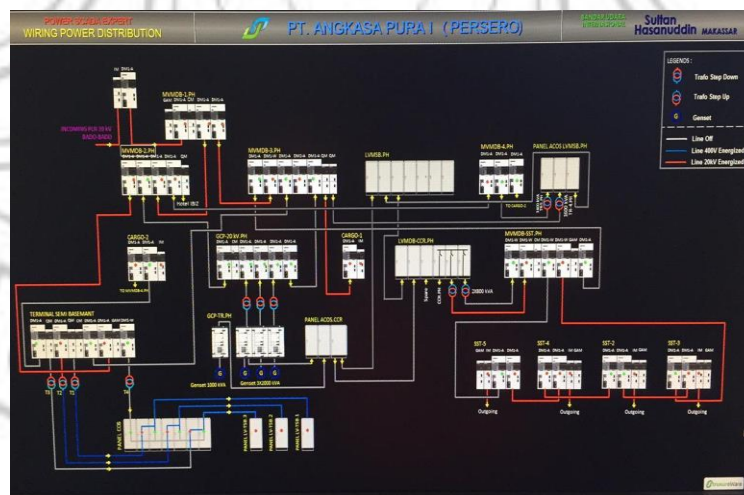
## 2.2 Struktur jaringan distribusi (*Main Power House*)

Sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian yaitu:

### 2.2.1 Pusat pembangkit listrik

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Terletak di daerah bado bado mandai pada umumnya berupa pusat gardu induk. Untuk menyalurkan tegangan listrik ke pusat-pusat beban (peralatan) dilakukan pada jaringan primer dan sekunder.

Jika sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer. Pada gambar 3 terdapat monitor sistem scada di bandar udara sultan hasanuddin makassar

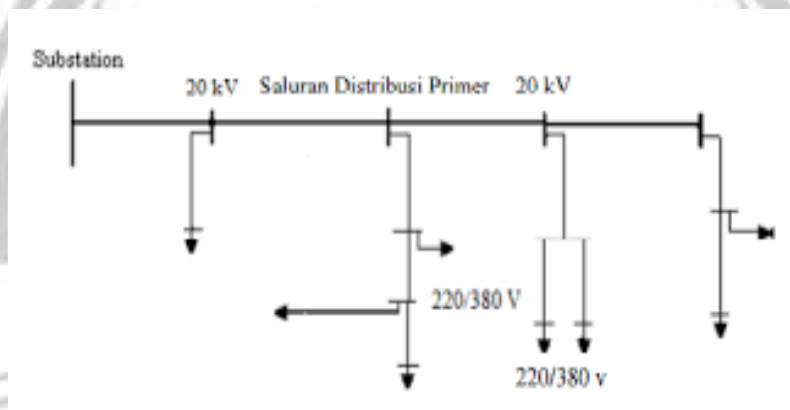


Gambar 3 *scada wiring power distribution (Main power house)*

Sumber : Monitor Sistem Scada di bandar udara sultan hasanuddin makassar MPH

### 2.2.2 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik ke untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dan jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV (Daman suswanto, 2014)

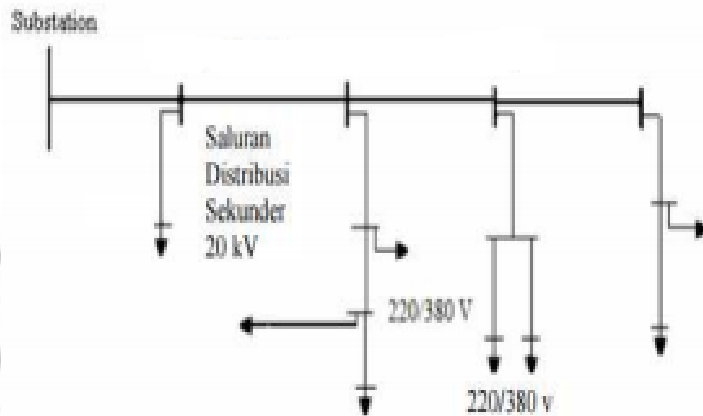


Gambar 4 Jaringan Distribusi Primer

Sumber : Daman suswanto (Sistem Distribusi Tenaga Listrik)

### 2.2.3 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Distribusi Tegangan Rendah merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan peralatan. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi sekunder adalah 220/380 volt. Pada gambar 5 terdapat jaringan distribusi sekunder (Daman suswanto, 2014)



Gambar 5 Jaringan Distribusi Sekunder  
 Sumber : Daman suswanto (Sistem Distribusi Tenaga Listrik)



## 2.3 Transformator TM

Transformator adalah sebuah alat yang mentransfer energi antara 2 sirkuit yang melalui induksi elektromagnetik. Transformer di mungkinkan untuk di gunakan sebagai perubahan tegangan dengan mengubah tegangan sebuah arus bolak balik dari satu tingkat tegangan ke tingkat tegangan lainnya dari input ke input alat tertentu, untuk menyediakan kebutuhan yang berbeda dari sebuah tingkatan arus sebagai sumber arus cadangan, atau bisa juga di gunakan untuk mencocokkan impedansi antara sirkuit elektrik yang tidak sinkron untuk memaksimalkan pertukaran antara 2 sirkuit. Hal ini memungkinkan terjadinya pertambahan daya arus listrik yang terjadi dari sebuah benda yang memiliki arus tegangan listrik yang tidak stabil. (Aprilia Erlita, 2015) Transformator TM dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6 Transformator TM *main power house*

### 2.3.1 Trafo Step Up

Trafo *step up* adalah jenis trafo yang memiliki lilitan yang lebih banyak pada kumparan sekunder atau outputnya. Trafo jenis ini dapat menghasilkan tegangan listrik dengan taraf yang lebih tinggi pada terminal outputnya

dibandingkan taraf tegangan listrik yang masuk ke trafo. Oleh karena itu, transformator ini disebut juga dengan trafo penaik tegangan. Pada trafo ini meskipun tegangannya naik tetapi daya listrik dan frekuensinya tetap sama.

Pada dasarnya trafo step up berfungsi untuk mengubah tegangan dengan taraf tertentu menjadi tegangan yang lebih tinggi atau secara lebih sederhana digunakan untuk menaikkan tegangan listrik. Sebagai contoh, trafo step up 12v to 220v yang berarti trafo step up tersebut menerima tegangan listrik sebesar 12 volt yang kemudian dinaikkan menjadi 220 volt tegangan listrik yang keluar dari terminal *output* trafo *step up*. Trafo *step up* seperti ini biasa digunakan pada rangkaian inverter pembangkit listrik tenaga surya.

- Cara Kerja Transformator *Step Up*

Transformator *step up* bekerja dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik dan sesuai dengan hukum *Lorentz* dan hukum *Faraday*. Cara kerja transformator berdasarkan induksi elektromagnetik yang terjadi pada saat lilitan di kumparan primer diberi tegangan dengan arus bolak balik/AC, semakin besar tegangan yang berikan maka semakin besar induksi elektromagnetik yang dihasilkan kumparan. Induksi elektromagnetik tersebut kemudian akan menyebabkan terjadinya flux magnet pada inti trafo yang selanjutnya juga menginduksikan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder. Idealnya daya yang berikan ke kumparan primer akan sepenuhnya diteruskan pada kumparan sekunder. Pada dasarnya cara kerja transformator seperti ini sama saja dengan trafo *step up* dan *step down*. Aprilia Erlita, Transformator (2015) Trafo *step up* dapat dilihat pada gambar 7



Gambar 7 Trafo *Step Up* main power house

### **2.3.2 Trafo *Step Down***

Transformator *step down* merupakan perangkat listrik pasif yang mentransfer energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya, ataupun beberapa rangkaian listrik. Transformator *step down* atau sering disebut dengan trafo *step down* pada dasarnya fungsinya sama saja dengan transformator *step up* yaitu untuk mengubah taraf suatu tegangan listrik. Trafo *step down* menggunakan tegangan dengan arus bolak balik agar dapat bekerja. Perbedaan yang terdapat pada trafo *step down* dengan trafo *step up* terletak pada taraf tegangan listrik yang dihasilkan trafo *step down* tersebut.

Trafo jenis ini berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dari tegangan tinggi menjadi tegangan menengah ataupun menjadi tegangan rendah yang selanjutnya didistribusikan ke peralatan.

- Cara Kerja Transformator *Step Down*

Trafo *step down* terdiri dari dua kumparan yang membungkus inti besi baja, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada trafo jenis ini jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak dibandingkan pada kumparan sekunder. Transformator dirancang sedemikian rupa sehingga hampir seluruh flux magnetik yang dihasilkan arus pada kumparan primer dapat masuk ke kumparan sekunder. Aprilia Erlita, Transformator (2015) Trafo *step down* dapat dilihat pada gambar 8



Gambar 8 Trafo Step Down *main power house*

## 2.4 Panel Kubikel TM

Kubikel 20 KV adalah komponen peralatan-peralatan untuk memutuskan dan menghubungkan, pengukuran tegangan, arus, maupun daya, peralatan proteksi, dan control yang terpasang pada ruang tertutup dan sebagai pembagi, penyalur, pengukur, pengontrol, dan proteksi sistem penyaluran tenaga listrik. Disebut sebagai kubikel karena peralatan-peralatan tersebut dikemas plat berbentuk almari dengan pintu di bagian depan yang bisa dibuka dan ditutup menurut standar operasi yang diminta. Kubikel 20 KV adalah seperangkat peralatan listrik yang dipasang pada Gardu Hubung.

Distribusi yang berfungsi sebagai Pembagi, Pemutus, Penghubung Pengontrol dan Proteksi system penyaluran tenaga listrik tegangan 20 KV. Cubicle biasanya terpasang pada Gardu Hubung Distribusi atau Gardu Hubung yang berupa Beton maupun Kios. Kubikel yang terdapat didalam Gardu Hubung (GH) merupakan Panel Tegangan Menengah yang berfungsi sebagai salah satu sarana penunjang Utama untuk mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen, dimana didalam GH selain terdapat Trafo Distribusi terdapat pula beberapa kubikel dengan beberapa peralatan bantu sesuai kebutuhan antara lain : Pemutus beban pemasangan dalam (PMT/LBS), Pemisah (DS), Isolator, Bus bar / Rel, *Vacuum circuit breaker* (VCB), Kabel saluran masuk/keluar, Tranformator Instrumen / Pengukuran antara lain : CT dan PT, dll. kubikel ialah suatu perlengkapan atau peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengendali, penghubung dan pelindung serta membagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik. (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/). Kubikel dapat di lihat pada gambar 9





Gambar 9 Kubikel *main power house*

#### 2.4.1 Jenis dan Fungsi Kubikel

Berdasarkan fungsi/penempatannya, kubikel TM 20 kV di Gardu Induk antara lain :

- a Kubikel *Incoming* berfungsi sebagai penghubung dari sisi sekunder trafo daya ke busbar 20 kV.
- b Kubikel *Outgoing* : sebagai penghubung / penyalur dari busbar ke beban
- c Kubikel Pemakaian sendiri (Trafo PS): sebagai penghubung dari busbar ke beban pemakaian sendiri GI.
- d Kubikel Kopel (*bus kopleng*); sebagai penghubung antara rel 1 dan rel 2
- e Kubikel PT / LA: sebagai sarana pengukuran dan proteksi pengaman terhadap surja.
- f Kubikel *Bus Riser / Bus Tie (Interface)*: sebagai penghubung antar sel.
- g Mengendalikan sirkuit yang dilakukan oleh saklar utama.

- h Melindungi sirkuit yang dilakukan oleh fase/pelebur.
- i Membagi sirkuit dilakukan oleh pembagi jurusan/kelompok (busbar)

#### 2.4.2 Bagian-bagian kubikel

kubikel TM 20 kV terdiri dari 4 kompartemen, yaitu :

##### a **Kompartemen PMT**

Pada kompartemen ini terpasang “*Withdrawable Circuit Breaker*”.

PMT dan mekanisme penggeraknya dapat dengan mudah 15 dikeluarkan/dimasukkan ke dalam kubikel untuk keperluan pemeliharaan.

##### b **Kompartemen Busbar**

Semua tertutup oleh bagian metal. Kompartemen busbar didisain agar bagian-bagian yang bergerak pada bagian ini seminimum mungkin. Busbar dibuat dari tembaga atau aluminium dengan bentuk sesuai dengan desain dari masing-masing pabrik.

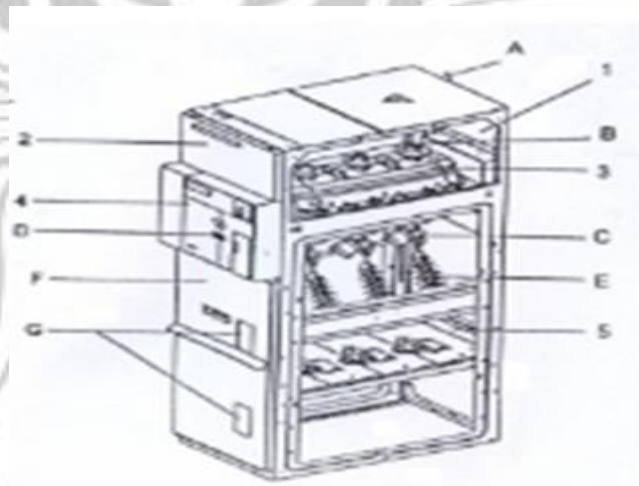
##### c **Kompartemen Sambung Kabel**

Pada Kompartemen ini terdapat :

- Terminasi kabel tegangan menengah.
- 3(tiga) pembagi tegangan (*potensial divider*), dilengkapi pada setiap pasa terminasi kabel, yang disambung dengan tiga neon indikator yang dipasang di muka panel. Fungsinya untuk melihat secara visual bahwa kabel tersebut dalam

keadaan bertegangan atau tidak, sehingga aman terhadap petugas yang melaksanakan pengoperasian.

- Satu rangkaian hubung pendek dan pemisah tanah untuk sisi kabel. Dioperasikan dari depan panel, dilengkapi dengan mekanisme operasi kecepatan tinggi sehingga mempunyai kecepatan masuk yang tidak tergantung kecepatan operator.
- Trafo arus
- Trafo tegangan (sesuai permintaan). Bisa tipe tetap atau lepasan. Dilengkapi dengan pelebur dengan kapasitas pemutusan tinggi. (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/) Kompartemen kubikel pada gambar 10



Gambar 10 Kompartemen kubikel

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

Keterangan :

- Kompartemen busbar
- Kompartemen tegangan rendah
- Pemutus beban dan saklar pentanahan

- Kompartemen mekanik operasi
- Kompartemen kabel

### 2.4.3 Peralatan di dalam Kubikel

#### a. Busbar

Busbar digunakan untuk mengumpulkan tenaga listrik dengan tegangan 20 kV serta membaginya ke tempat-tempat yang diperlukan.

Rel busbar pada gambar 11



Gambar 11 Rel IBusbar

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

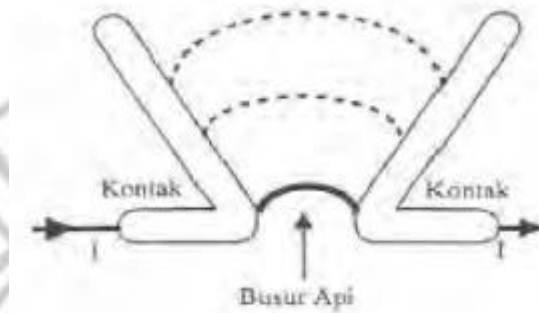
#### 2.4.3.2 Pemutus Data Udara (*Air Circuit Breaker*)

PMT jenis ini menggunakan metode yang paling sederhana, yaitu memperpanjang lintasan *arc*. Karena efek pemanjangan lintasan ini diharapkan dapat segera dipadamkan. Beberapa bentuk pemanjangan lintasan pada kontak PMT sebagai berikut:

- Kontak Sela Tanduk

Pada PMT ini *arc* dihilangkan dengan memperpanjang lintasan *arc* hingga ujung terjauh kontak. PMT jenis ini biasa digunakan ada instalasi listrik AC dan DC

tegangan rendah dengan arus pemutusan hingga ratusan ampere. Air CB kontak Sela Tanduk pada gambar 12

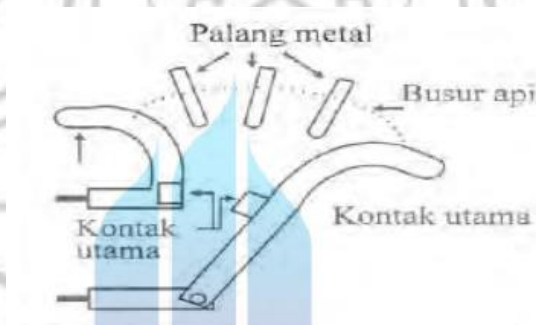


Gambar 12 Air CB Kontak Sela Tanduk

Sumber : <https://adoc.pub/bab-iii-dasar-teoric33b7091d84e576502e78f52eb76ae5e58467.html>

- Kontak Tabir

Konduktor Pada PMT ini, konduktor metal yang terletak di antara kontak memotong arc yang muncul sehingga hasil pemotongan arc pada tiap tabir mengalami pemanjangan lintasan dan pendinginan dan arc dapat segera dipadamkan. PMT jenis ini dapat digunakan hingga tegangan beberapa ribu volt dan arus hingga beberapa ribu ampere. (armanbacktrak5/2017/02/12/kubikel-20-kv/) Air CB tabir Kontaktor pada gambar 13

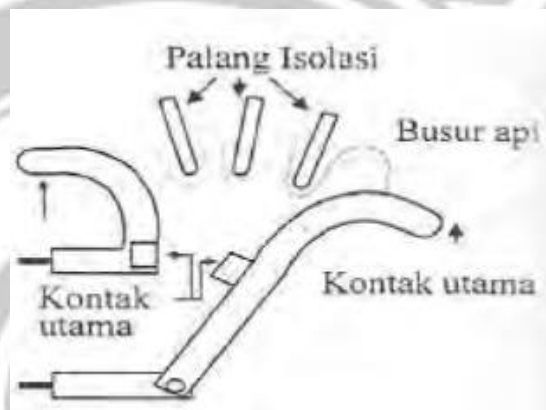


Gambar 13 Air CB Tabir Konduktor

Sumber : <https://adoc.pub/bab-iii-dasar-teoric33b7091d84e576502e78f52eb76ae5e58467.html>

- Kontak Tabir Isolator

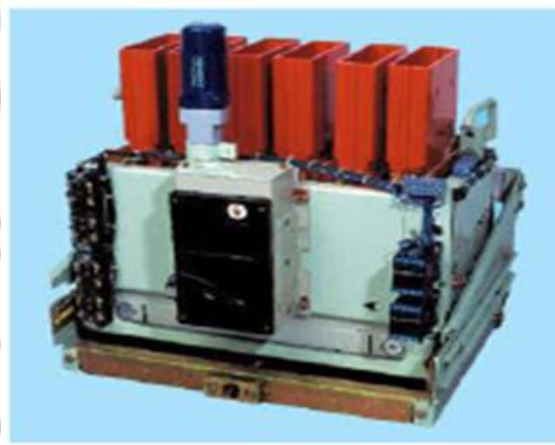
Pada PMT ini, tabir isolator yang terdapat di antara kontak membuat arc terpaksa menelusuri permukaan tabir untuk bisa mencapai kontak. PMT jenis ini dapat digunakan hingga tegangan 10kV dan arus hingga 50kA. (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/) *Air CB* Tabir Isolasi dapat dilihat pada gambar 14



Gambar 14 Air CB Tabir Isolator

Sumber : <https://adoc.pub/bab-iii-dasar-teoric33b7091d84e576502e78f52eb76ae5e58467.html>

Contoh *Air Circuit Breaker* dapat di lihat pada gambar 15



Gambar 15 Air Circuit Breaker

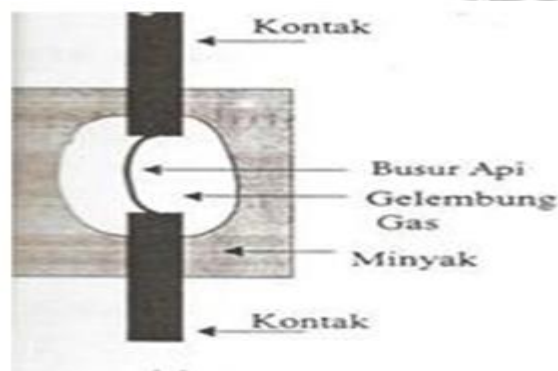
Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

(ACB) yang dapat dijumpai dipasaran adalah sbb:

- LV-ACB:  $U_e = 250V$  dan  $660V$   $I_e = 800A-6300A$   $I_{cn} = 45kA-170kA$
- LV-ACB:  $U_e = 7,2kV$  dan  $24kV$   $I_e = 800A-7000A$   $I_{cn} = 12,5kA-72kA$

a Pemutus daya minyak (*Oil Circuit Breaker*)

Prinsip kerjanya, kontak dipisahkan, busur api akan terjadi di dalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api. *Oil CB* dapat dilihat pada gambar 16



Gambar 16 *Oil CB*

Sumber : <https://adoc.pub/bab-iii-dasar-teoric33b7091d84e576502e78f52eb76ae5e58467.html>

Kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat serta dimensi PMT yang terlalu besar. OCB (*Oil Circuit Breaker*) dapat dilihat pada gambar 17 (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/)



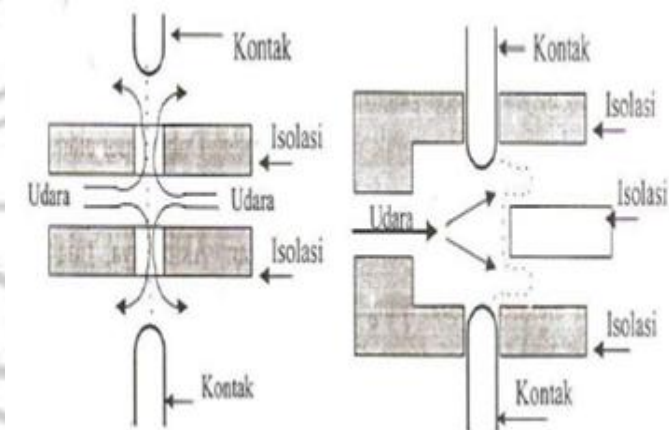
Gambar 17 OCB (*Oil Circuit Breaker*)

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

b. Pemutus Daya Tekanan Udara

Pemutus daya ini dirancang untuk mengatasi kelemahan pada pemutus daya minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat.

Air Blast (CB) dapat dilihat dari gambar 18 (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/)



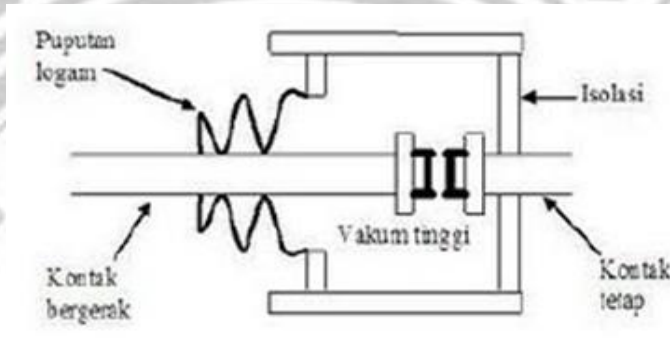
Gambar 18 *Air Blast* (CB)

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>



Saat busur api timbul, udara bertekanan tinggi ditiupkan untuk mendinginkan busur api dan menyingkirkan partikel bermuatan dari sela kontak. Kontak pemutus daya vakum pada gambar 19 (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/)

c. VCB (*Vakum Circuit Breaker*)



Gambar 19 Kontak pemutus daya vakum

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

Pada dasarnya kerja dari CB ini sama dengan jenis lainnya hanya ruang kontak Diana terjadi busur api merupakan ruang hampa udara yang tinggi sehingga peralatan dari CB jenis ini dilengkapi dengan seal penyekat udara untuk mencegah kebocoran. (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/) Vacuum CB Rating 12-24 kV dapat dilihat pada gambar 20



Gambar 20 Vacuum CB Rating 12-24 kV

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

d. SF6 CB (*Sulfur Hexafluoride Circuit Breaker*)

Sifat gas SF6 murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF6 mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic serta memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Prinsip pemadaman busur apinya adalah Gas SF6 ditiupkan sepanjang busur api, gas ini akan mengambil panas dari busur api tersebut dan akhirnya padam. Rating tegangan CB adalah antara 3.6 kV – 760 kV. (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/) SF6 CB (*Sulfur Hexafluoride Circuit*) dapat dilihat pada gambar 21



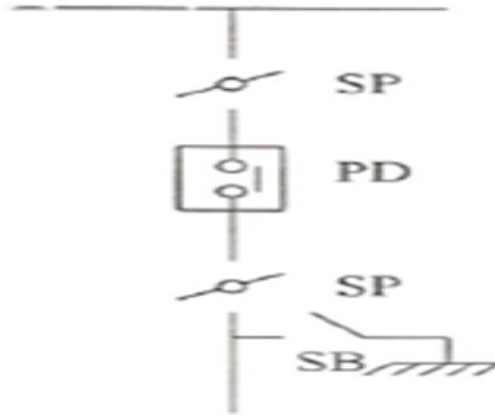
Gambar 21 SF6 CB (*Sulfur Hexafluoride Circuit*)

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

#### 2.4.4 Pemisah (PMS)

*Disconnecting switch* (DS) atau Pemisah (PMS) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai saklar pemisah yang dapat memutus dan menyambung rangkaian dengan arus yang rendah ( $\pm 5A$ ), biasa dipakai ketika dilakukan perawatan atau perbaikan. PMS terletak di antara sumber tenaga listrik

dan PMT serta di antara PMT dan beban. (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/) Diagram Sistem PMS dapat dilihat pada gambar 22



Gambar 22 Diagram Sistem PMS

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

Keterangan Gambar:

- SP = Saklar Pemutus
- PD = Pemutus Daya
- SB = Saklar Bumi

Mekanisme interlocking tersebut adalah :

- PMS tidak dapat ditutup ketika PMT dalam posisi tertutup.
- Saklar pembumian (*Earthing Switch*) dapat ditutup hanya ketika PMS dalam keadaan terbuka.
- PMS dapat ditutup hanya ketika PMT dan ES terbuka.
- PMT dapat ditutup hanya ketika PMS dalam kondisi telah terbuka atau telah tertutup.

## 2.4.5 Peralatan Pengaman

- Sekering

Pada kubikel terdapat suatu sekering tegangan menengah yang sering disebut sebagai *solefuse*. Rating tegangannya bisa mencapai 34 kV, dan mampu bekerja pada arus 31.5 kA. (armanbacktrak5 /2017/02/12/kubikel-20-kv/) *Solefuse* dalam melindungi trafo tegangan dapat dilihat pada gambar 23



Gambar 23 *Solefuse* dalam melindungi trafo tegangan

Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/>

## 2.5 Susut Distribusi

Susut (*losses*) adalah sejumlah energi yang hilang selama proses pengaliran energi listrik mulai dari gardu induk sampai ke konsumen. Apabila tidak terdapat gardu induk, susut dimulai dari gardu distribusi sampai ke konsumen. Nilai dari rugi daya pada jaringan merupakan nilai tunjuk kerja jaringan listrik dalam menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit sampai ke pusat-pusat beban. Penyebab susut ada beberapa faktor seperti jarak saluran listrik yang terlalu jauh, ketidakseimbangan beban, sambungan (*connector*) konduktor yang panas dll. Susut pada sistem transmisi tegangan tinggi sangat dipengaruhi oleh tingkat pembebanan, penampang konduktor, resistansi penghantar. Rugi-rugi daya merupakan sifat yang tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat diminimalkan.

Jenis susut (*losses*) menurut Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No.217-1.K/DIR/2005 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Neraca Energi (kWh), Jenis susut (*losses*) energi listrik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Berdasarkan sifatnya, susut teknis dan susut nonteknis :
  - a. Susut teknis, yaitu hilangnya energi listrik yang dibangkitkan pada saat disalurkan karena berubah terjadi energi panas. Susut teknis ini tidak dapat dihilangkan (fenomena alam).
  - b. Susut nonteknis, yaitu hilang energi listrik yang dikonsumsi pelanggan maupun non pelanggan karena tidak tercatat dalam penjualan.
2. Berdasarkan tempat terjadinya, susut transmisi dan susut distribusi:

a. Susut transmisi, yaitu hilangnya energi listrik yang di bangkitkan pada saat disalurkan melalui jaringan transmisi ke gardu induk.

b. Susut distribusi, yaitu hilangnya energi listrik yang didistribusikan dari gardu induk melalui jaringan distribusi ke pelanggan.

Rugi-rugi daya mencerminkan adanya daya yang terbuang sehingga mengakibatkan daya yang diterima disisi penerima lebih kecil dari daya yang dikirim pada sisi pengirim. Pembuangan daya ini dikonversikan dalam bentuk panas pada sistem transmisi selama selang waktu tertentu. Sehingga energi yang diterima pada sisi penerima lebih kecil dari energi yang dikirim. Secara umum rugi- rugi daya ini disebabkan oleh tahanan pada penghantar. Desember, J., & Khoirunnisa, N. (2020)

## 2.6 Perhitungan Susut Pada Saluran Distribusi

Untuk mendapatkan besarnya susut yang terjadi pada saluran distribusi terdapat beberapa perhitungan yang digunakan sebagai berikut:

### 1. Perhitungan Rugi-rugi daya secara manual

Dalam proses transmisi tenaga listrik sering kali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh komponen-komponen kawat penghantar itu sendiri, arus yang mengalir pada penghantar dengan resistansi akan menyebabkan terjadinya rugi-rugi pada penghantar tersebut, sehingga daya yang dikirim dari Gardu Induk ke konsumen akan berkurang. Rugi-rugi daya yang terjadi akibat adanya daya yang hilang pada saluran, kerugian daya ini mempengaruhi kualitas daya yang disalurkan ke sisi penerima, rugi-rugi daya yang besar menyebabkan kerugian finansial disisi perusahaan pengolah listrik. (Setyawan, 2018) Besarnya rugi-rugi daya pada penghantar saluran 3 fasa yaitu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1

$$P_{losses} = 3I^2 R_{total} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$P_{losses}$  = Rugi-rugi daya (W)

$I$  = Arus yang disalurkan (A)

$R_{total}$  = Resistansi Total ( $\Omega$ )

Untuk mencari nilai Resistansi Total, dapat menggunakan persamaan 2.2

$$R_{total} = R \times l \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$R$  = Resistansi ( $\Omega/\text{km}$ )

$R_{total}$  = Resistansi Total ( $\Omega$ )

$l$  = Jarak penghantar (km)

## 2. Perhitungan Susut Energi

Susut energi adalah suatu kondisi atau keadaan dimana jumlah energi yang disalurkan tidak sama dengan energi yang diterima pada sisi penerimaan. Susut energi adalah seharga dengan rugi daya rata-rata untuk periode tertentu dikalikan dengan jumlah jam dari periode yang bersangkutan. Susut Energi adalah jumlah energi kWh yang hilang. Persero Angkasa pura 1 akan mendapatkan kerugian finansial ketika susut energi bertambah besar. Faktor yang menentukan besarnya susut pada jaringan tegangan menengah adalah jenis atau ukuran saluran yang digunakan, panjang suplai energi listrik, dan besaran waktu pembebanan. Dikarenakan daya yang diterima berbeda dengan daya kirim. Sehingga daya kirim tidak bisa terjual sepenuhnya (Setyawan, 2018). Peneliti melakukan perhitungan susut energi yang hilang dengan menggunakan persamaan 2.3 berikut:

$$E = P_{losses} \times t \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$E$  = Susut energi (kWh)

$P_{losses}$  = Rugi-rugi Daya (W)

$t$  = Waktu pemakaian (jam)

## 3. Perhitungan kerugian finansial

Susut (*losses*) adalah suatu bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari selisih sejumlah energi listrik yang tersedia dengan sejumlah energi listrik yang terjual. Susut (*losses*) ini diakibatkan oleh dua faktor yaitu faktor teknis yang



berupa masalah jaringan dan faktor non teknis yaitu ketidakserempakan dalam pencatatan pemakaian atau dalam perhitungan kWh. Dalam istilah ekonomi losses ini erat kaitannya dalam masalah biaya efisiensi, sehingga bisa ditarik kesimpulan semakin tidak efisien (biaya tinggi) maka akan semakin kecil keuntungan dari pendapatan yang diperoleh. Ketidakefisienan biaya yang terjadi dalam aliran energi listrik erat kaitannya dengan permasalahan dalam segi teknologi dan peranan sumber daya manusia. Kerugian yang diderita PT Angkasa Pura I beberapa tahun belakangan ini selain disebabkan tidak adanya penyesuaian TDL (Tarif Dasar Listrik) juga disebabkan adanya ketidak efisienan dalam pengelolaannya, khususnya pengendalian terhadap susut (*losses*) energi listrik yang mengakibatkan hilangnya kesempatan perusahaan untuk memperoleh pendapatan akibat tidak terjualnya energi yang didistribusikan (Diyah Rosmawati, 2009). Susut (*losses*) yang merupakan sumber permasalahan dalam memperoleh pendapatan perusahaan. Susut (*losses*) mempunyai pengaruh yang sangat kuat dan positif karena tinggi rendahnya susut (*losses*) sangat dipengaruhi oleh tarif dasar listrik (TDL) artinya apabila susut (*losses*) meningkat maka pendapatan perusahaan akan meningkat, begitu pula sebaliknya. Tinggi rendahnya angka susut (*losses*) sangat penting, sebab secara finansial angka kesusutan identik dengan biaya/pendapatan yang hilang. Adanya daya listrik yang hilang pada saat proses transmisi mengakibatkan Angkasa Pura I mengalami kerugian biaya karena daya yang dibangkitkan tidak semua tersalurkan. Untuk menghitung kerugian finansial yang diakibatkan karena daya yang hilang, maka penulis menggunakan persamaan 2.4 berikut:

$$\text{Biaya Listrik} = E \times TTL \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$E$  = Energi listrik (kWh)

$TTL$  = Tarif Tenaga Listrik (Rp/kWh)

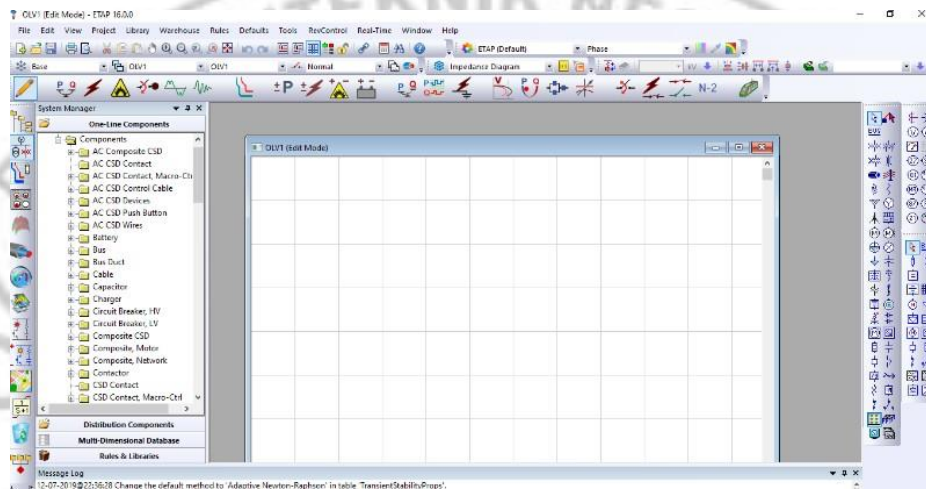
### **2.7 Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) 12.6.0**

Dalam perancangan dan analisis sebuah sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real. Hal ini dikarenakan sulitnya meng-uji coba suatu sistem tenaga listrik dalam skala yang besar terhadap kondisi transien yang ekstrim. ETAP Power Station 12.6.0 merupakan salah satu *software* aplikasi yang banyak digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik. Secara umum ETAP dapat digunakan untuk simulasi hasil perancangan dan analisis suatu sistem tenaga listrik yang meliputi (Multa, dkk 2013):

1. Menggambarkan denah beban-beban
2. Men-*setting* data-data beban dan jaringan
3. Merancang diagram satu garis (*One Line Diagram*)
4. Menganalisis aliran daya (*Load Flow*)
5. Menghitung gangguan hubung singkat (*Short Circuit*)
6. Menganalisis *Motor Starting* atau keadaan *Transien*.

Setiap komponen Sistem Tenaga Listrik dapat digambarkan dalam worksheet atau ruang kerja program dengan lambang-lambang tertentu. Spesifikasi masing- masing komponen dapat disesuaikan keadaan sebenarnya atau kondisi nyata di lapangan. Spesifikasi ini juga dapat dipilih sesuai data umumnya

yang dapat diambil dari *library* atau data yang ada pada program. Misalnya, panjang dan ukuran kabel, kapasitas dan rating trafo, kapasitas dan tegangan beban dan lain- lain. Adapun tampilan awal dari ETAP di bawah ini



Gambar 24 Tampilan Awal dari Aplikasi ETAP Versi 12.6.0

### 1. Membuat single line diagram

Tahap awal untuk memulai simulasi aliran daya adalah dengan menggambar single line diagram. Single line diagram yang telah dibuat dalam penelitian ini.

### 2. Data Masukan

Setelah single line diagram selesai dibuat, maka tahap selanjutnya adalah memasukkan data dari setiap komponen yang ada.

### 3. Eksekusi program

Tahap selanjutnya setelah single line diagram selesai dibuat dan semua data tiap komponen sudah dimasukkan adalah mengeksekusi program. NUR CAHYO, (2018)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pengambilan data dalam penurunan susut ini dilakukan di PT ANGKASA PURA 1 (PERSERO) Bandara Sultan Hasanuddin Makassar.

#### **3.2 Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yakni pendekatan kuantitatif, dimana pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur, observasi, dan wawancara langsung di kantor Angkasa Pura 1 *Main power house*. Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi

Observasi adalah melakukan kunjungan atau pengamatan langsung di lokasi penelitian yaitu untuk mengetahui kondisi dilapangan dan mendapatkan data-data yang diperlukan baik itu informasi penting lainnya dalam penyusunan skripsi ini.

2. Wawancara

Metode pengumpulan data ini dilakukan dengan mengadakan tatap muka atau wawancara secara langsung dengan staf divisi teknik di PT ANGKASA PURA 1 *Main power house*.

3. Studi Literatur

Studi literatur adalah suatu kegiatan yang dilakukan dengan mengadakan studi dari buku-buku/pustaka, situs-situs internet dan literatur lain yang berkaitan dengan masalah yang dibahas dalam penulisan ini.

### 3.3 Teknik Analisis Data

Adapun data-data yang dibutuhkan sebagai berikut untuk analisa data yaitu:

1. Data Saluran Distribusi MPH Gardu *Substation* 20kV
2. Data Beban Harian MPH Gardu *Substation* 20kV
3. *Single line diagram* MPH Gardu *Substation* 20kV
4. Tarif Tenaga Listrik tahun 2021

Data-data yang diperoleh diubah kedalam bentuk matematis dan diolah menggunakan persamaan yang telah ada. Adapun perhitungan yang akan dilakukan, yaitu:

1. Rugi-Rugi Daya

Untuk menghitung nilai rugi-rugi daya menggunakan persamaan (2.1) dengan terlebih dahulu menghitung nilai resistansi total dengan menggunakan persamaan (2.2)

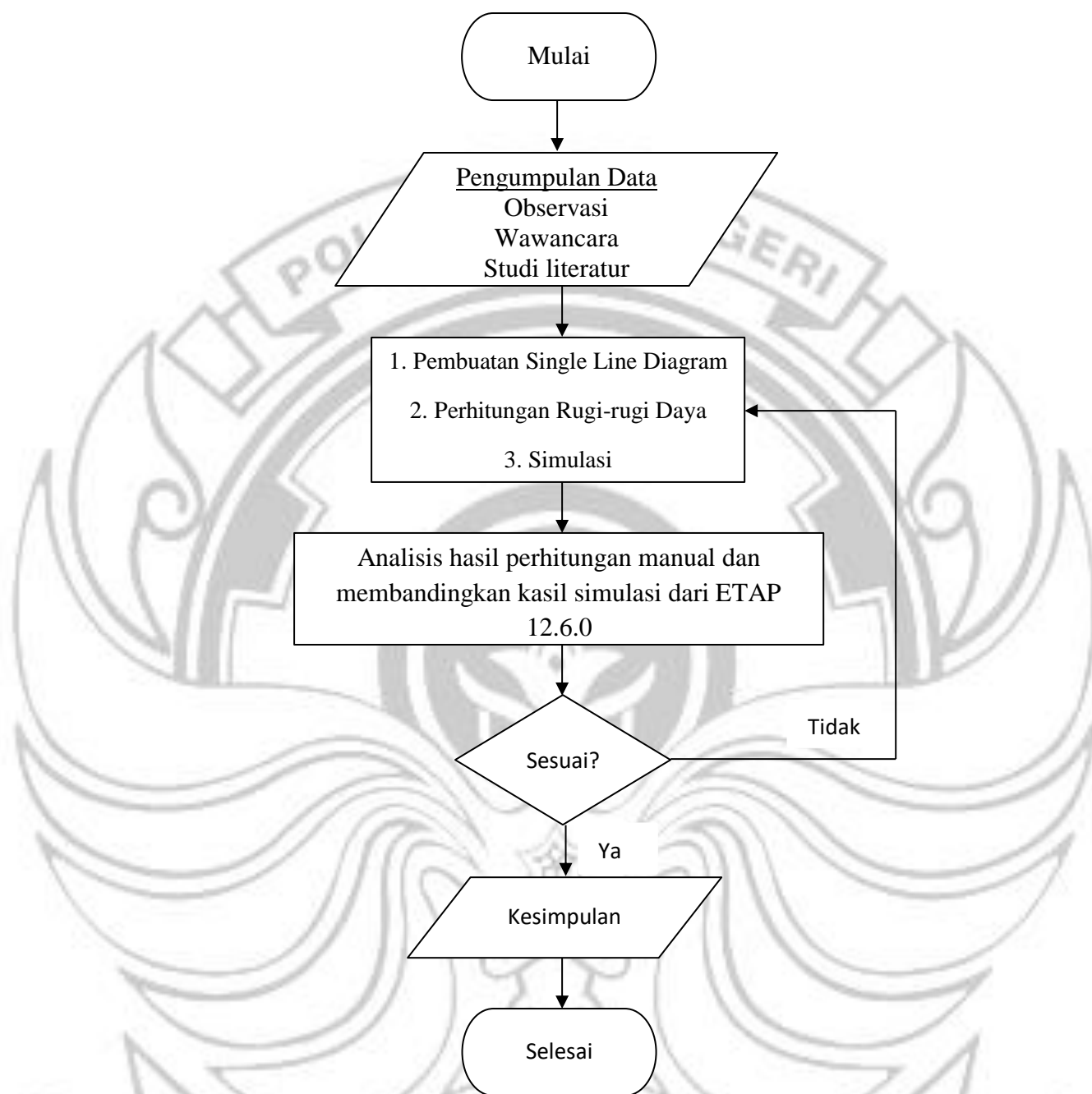
2. Susut Energi

Untuk menghitung besar susut energi yang diakibatkan rugi-rugi daya dapat menggunakan persamaan (2.3)

3. Kerugian Finansial

Untuk menghitung kerugian biaya yang diakibatkan karena daya yang hilang serta susut energi dapat menggunakan persamaan (2.4) Dalam menganalisis susut energi pada saluran transmisi 150 kV, ada beberapa prosedur yang dilakukan, yaitu:

1. Melakukan segala persiapan dengan melakukan pengenalan terhadap tempat penelitian maupun hal-hal yang akan diteliti.
2. Melakukan observasi ke tempat penelitian dengan teknik pengumpulan data yang ada untuk mengumpulkan : data beban puncak *line Substation* pada Gardu Induk *Main power house* data saluran transmisi Gardu induk *main power house, single line diagram* Gardu Induk *main power house* dan Tarif Tenaga Listrik bulan Mei tahun 2021.
3. Setelah pengumpulan data, selanjutnya mengolah data yaitu menghitung nilai rugi daya secara manual dan susut energi serta akibat rugi daya pada saluran transmisi Gardu Induk *main power mouse*.
4. Lalu membuat simulasi dan menginput data di *software* ETAP 12.6.0.
5. Melakukan perbandingan antara perhitungan manual dengan simulasi rugi-rugi daya
6. Selanjutnya melakukan proses penarikan kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan.



Gambar 25 Diagram Alir Penelitian.

## BAB VI

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Saluran distribusi antara MPH Bado-bado dengan *Substation 3, 2, dan 4* terdapat rugi-rugi daya yang merupakan selisih daya kirim dengan daya yang diterima yang dapat mengakibatkan adanya susut energi. Kerugian tersebut dapat mengakibatkan PT. PERSERO ANGKASA PURA 1 selaku perusahaan yang memasok listrik menjadi rugi materi. Peneliti melakukan survei dan pengambilan data yang menjadi bahan referensi di lokasi untuk mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya serta susut energi yang terjadi pada saluran *transmisi Main Power House*.

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

##### 4.1.1 *Single Line Diagram* Main Power House ke *Substation 20kV*

Untuk melihat *Single Line Diagram (SLD)* dari *Main Power House* ke *Substation 20 kV* dapat dilihat pada Lampiran 2 halaman 66.

##### 4.1.2 Data Saluran Distribusi

Jaringan distribusi *Main power house* ke *Substation* menggunakan sistem *looping* yaitu 1 *line* dari *Main power house* ke *Substation 3* dengan jarak panjang saluran 3.254 Km dan menggunakan jenis penghantar N2XSEBY 3 x 35mm<sup>2</sup> dengan nilai resistansi 0,0668  $\Omega$ /km. dan *Main power house* ke *substation 2* dengan jarak panjang saluran 1.381 Km kemudian *Main power house* ke *substation 4* dengan jarak panjang saluran 1.298 Km. Adapun data saluran transmisi dari *line* tersebut yang didapatkan dari Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar dapat dilihat pada tabel 1 berikut:



Tabel 1 Data saluran distribusi

No	DATA SALURAN TRANSMISI	
1.	Jenis Penghantar	N2XSEBY
2.	Panjang Saluran Kabel	<i>Substation 3 = 3.254 Km</i>
		<i>Substation 2 = 1.381 Km</i>
		<i>Substation 4 = 1.298 Km</i>
3.	Resistansi Penghantar	0,0668 $\Omega$ /km
4.	Luas Penampang	3 x 35mm <sup>2</sup>

Sumber : PT PERSERO ANGKASA PURA I

#### 4.1.3 Data Beban Puncak

Dalam penelitian ini, data beban yang digunakan hanya berupa data beban puncak dikarenakan pada layanan penyaluran saat beban puncak tersebut menyerap daya listrik yang besar sehingga harus mendapatkan layanan penyaluran daya yang cukup untuk semua kebutuhan beban yang ada, dimana pada saat beban puncak terdapat rugi-rugi daya lebih besar dibandingkan dengan luar beban puncak. Beban puncak merupakan maksimal kerjanya suatu peralatan. Beban puncak sendiri terjadi pada waktu antara jam 17:00-22:00. Data beban puncak yang dipakai dalam penelitian ialah data beban puncak malam saluran transmisi tegangan menengah Line dari MPH bado-bado ke *substation 3,2* dan 4 dengan jumlah data sebanyak 31 hari pada bulan Mei 2021. Data beban puncak yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Data Beban Puncak Harian *Substation*

TGL	GI MAIN POWER HOUSE 20 kV								
	LINE SUBSTATION 3			LINE SUBSTATION 2			LINE SUBSTATION 4		
	JAM	KV	AMPERE	JAM	KV	AMPERE	JAM	KV	AMPERE
A	B	C	F	G	H	K	B	C	F
1	19:00	20	15,8A	19:00	20	15,8A	19:00	20	15,8A
2	19:00	20	15,2A	19:00	20	15,2A	19:00	20	15,2A
3	19:00	20	15,9A	19:00	20	15,9A	19:00	20	15,9A
4	19:00	20	14,8A	19:00	20	14,8A	19:00	20	14,8A
5	19:00	20	17,1A	19:00	20	17,1A	19:00	20	17,1A
6	18:38	20	16,4A	18:38	20	16,4A	18:38	20	16,4A
7	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A
8	18:35	20	17,3A	18:35	20	17,3A	18:35	20	17,3A
9	19:00	20	17,8A	19:00	20	17,8A	19:00	20	17,8A
10	19:00	20	17,5A	19:00	20	17,5A	19:00	20	17,5A
11	19:00	20	15,9A	19:00	20	15,9A	19:00	20	15,9A
12	19:00	20	14,7A	19:00	20	14,7A	19:00	20	14,7A
13	18:40	20	17,2A	18:40	20	17,2A	18:40	20	17,2A
14	19:00	20	17,5A	19:00	20	17,5A	19:00	20	17,5A
15	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A
16	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A
17	19:00	20	17,4A	19:00	20	17,A	19:00	20	17,4A
18	19:00	20	16,5A	19:00	20	16,5A	19:00	20	16,5A
19	19:00	20	16,1A	19:00	20	16,1A	19:00	20	16,1A
20	19:00	20	15,8A	19:00	20	15,8A	19:00	20	15,8A
21	19:00	20	15,4A	19:00	20	15,4A	19:00	20	15,4A
22	19:00	20	15,2A	19:00	20	15,2A	19:00	20	15,2A
23	19:00	20	15,4A	19:00	20	15,4A	19:00	20	15,4A
24	19:00	20	14,8A	19:00	20	14,8A	19:00	20	14,8A
25	19:00	20	16,8A	19:00	20	16,8A	19:00	20	16,8A
26	19:00	20	17,1A	19:00	20	17,1A	19:00	20	17,1A
27	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A	19:00	20	17,2A
28	19:00	20	17,4A	19:00	20	17,4A	19:00	20	17,4A
29	19:00	20	17,3A	19:00	20	17,3A	19:00	20	17,3A
30	19:30	20	17,5A	19:30	20	17,5A	19:30	20	17,5A
31	19:00	20	18,2A	19:00	20	18,2A	19:00	20	18,2A

Sumber : MPH bado-bado *substation* 20 kV

Dari table 2 diatas didapatkan beban puncak harian saat penelitian, dari table tersebut dapat dilihat nilai arus tinggi *line* terjadi pada tanggal 31 Mei 2021 yaitu sebesar 18,2A sedangkan untuk arus terendah terdapat pada tanggal 12 Mei 2021 yaitu sebesar 14,7A



## 4.2 Perhitungan Rugi-rugi Daya Secara Manual

### 4.2.1 Perhitungan Resistansi Total penghantar

Nilai resistansi (R) yang diperoleh adalah setiap 1 kilometer, sehingga resistansi total penghantar yang terdapat pada saluran distribusi MPH ke *Substation* yang berjarak 5.933 km, dapat dicari dengan persamaan (2.1), dimana jenis penghantar yang digunakan adalah N2XSEBY 3 x 35mm<sup>2</sup> dengan nilai resistansi 0,0668Ω/km seperti yang terdapat pada tabel 1 sehingga resistansi total dapat diperoleh:

$$R_{total} = R \times l$$

$$R_{total} = 0,0668 \text{ } \Omega/\text{Km} \times 5.933 \text{ km}$$

$$R_{total} = 0.396324 \text{ } \Omega$$

### 4.2.2 Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Berdasarkan data beban puncak saluran distribusi pada tabel 4.2, rugi-rugi daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2). Berikut merupakan contoh perhitungan rugi-rugi daya pada *line substation* 3, 2 dan 4 dengan arus tertinggi sebesar 18,2A yang terjadi pada tanggal 31 Mei 2021 dan arus terendah 14,7A yang terjadi pada tanggal 12 Mei 2021.

Tanggal 31 Mei 2021

#### **Substation 3**

$$P_{losses} = 3I^2 R_{total}$$

$$P_{losses} = 3 \times (18,2)^2 \times 0.396324 \text{ } \Omega = 393.835 \text{ Watt}$$

$$P_{losses} = 0.39383 \text{ kW}$$

**Substation 2**

$$P_{losses} = 3I^2 R_{total}$$

$$P_{losses} = 3 \times (18,2)^2 \times 0.396324 \Omega = 393.835 \text{ Watt}$$

$$P_{losses} = 0.39383 \text{ kW}$$

**Substation 4**

$$P_{losses} = 3I^2 R_{total}$$

$$P_{losses} = 3 \times (18,2)^2 \times 0.396324 \Omega = 393.835 \text{ Watt}$$

$$P_{losses} = 0.39383 \text{ kW}$$

$$P_{losses} \text{ Total} = P_{losses} \text{ substation 3} + P_{losses} \text{ substation 2} + P_{losses}$$

**substation 4**

$$P_{losses} \text{ total } 0.39383 + 0.39383 + 0.39383$$

$$P_{losses} \text{ Total} = 1.18149 \text{ kW}$$

Tanggal 12 Mei 2021

**Substation 3**

$$P_{losses} = 3I^2 R_{total}$$

$$P_{losses} = 3 \times (14,7)^2 \times 0.396324 \Omega = 256.924 \text{ Watt}$$

$$P_{losses} = 0.25692 \text{ kW}$$

**Substation 2**

$$P_{losses} = 3I^2 R_{total}$$

$$P_{losses} = 3 \times (14,7)^2 \times 0.396324 \Omega = 256.924 \text{ Watt}$$

$$P_{losses} = 0.25692 \text{ kW}$$

#### **Substation 4**

$$P_{losses} = 3I^2 R_{total}$$

$$P_{losses} = 3 \times (14,7)^2 \times 0.396324 \Omega = 256.924 \text{ Watt}$$

$$P_{losses} = 0.25692 \text{ kW}$$

$$P_{losses} \text{ Total} = P_{losses} \text{ substation 3} + P_{losses} \text{ substation 2} + P_{losses}$$

#### **substation 3**

$$P_{losses} \text{ total } 0.25692 + 0.25692 + 0.25692$$

$$P_{losses} \text{ total} = 0.77076 \text{ kW}$$

Perhitungan rugi-rugi daya dilakukan sesuai jumlah data yaitu selama satu bulan pada saat beban puncak. Adapun hasil perhitungan manual rugi-rugi daya perhari selama satu bulan pada *Line Substation* 3,2 dan 4 serta total rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi ditunjukkan pada tabel 3 berikut

Tabel 3. Hasil perhitungan Manual Rugi-rugi Daya

TGL	Line Substation 3		Line Substation 2		Line Substation 4		Total Losses Daya (kW)
	I ()	Plosses (kW)	I ()	Plosses (kW)	I()	Plosses (kW)	
A	B	C	D	E	F	G	H
1	15,8	0,29681	15,8	0,29681	15,8	0,29681	0,89043
2	15,2	0,2747	15,2	0,2747	15,2	0,2747	0,8241
3	15,9	0,30058	15,9	0,30058	15,9	0,30058	0,90174
4	14,8	0,26043	14,8	0,26043	14,8	0,26043	0,78129
5	17,1	0,34766	17,1	0,34766	17,1	0,34766	1,04298
6	16,4	0,31978	16,4	0,31978	16,4	0,31978	0,95934
7	17,2	0,35174	17,2	0,35174	17,2	0,35174	1,05522
8	17,3	0,35584	17,3	0,35584	17,3	0,35584	1,06752
9	17,8	0,37671	17,8	0,37671	17,8	0,37671	1,13013
10	17,5	0,36412	17,5	0,36412	17,5	0,36412	1,09236
11	15,9	0,38095	15,9	0,38095	15,9	0,38095	1,14285
12	14,7	0,25692	14,7	0,25692	14,7	0,25692	0,77076
13	17,2	0,35174	17,2	0,35174	17,2	0,35174	1,05522
14	17,5	0,36412	17,5	0,36412	17,5	0,36412	1,09236
15	17,2	0,35174	17,2	0,35174	17,2	0,35174	1,05522
16	17,2	0,35174	17,2	0,35174	17,2	0,35174	1,05522
17	17,4	0,35997	17,4	0,35997	17,4	0,35997	1,07991
18	16,5	0,32369	16,5	0,32369	16,5	0,32369	0,97107
19	16,1	0,30819	16,1	0,30819	16,1	0,30819	0,92457
20	15,8	0,29681	15,8	0,29681	15,8	0,29681	0,89043
21	15,4	0,28197	15,4	0,28197	15,4	0,28197	0,84591
22	15,2	0,2747	15,2	0,2747	15,2	0,2747	0,8241
23	15,4	0,28197	15,4	0,28197	15,4	0,28197	0,84591
24	14,8	0,26043	14,8	0,26043	14,8	0,26043	0,78129
25	16,8	0,33557	16,8	0,33557	16,8	0,33557	1,00671
26	17,1	0,34766	17,1	0,34766	17,1	0,34766	1,04298
27	17,2	0,35174	17,2	0,35174	17,2	0,35174	1,05522
28	17,4	0,35997	17,4	0,35997	17,4	0,35997	1,07991
29	17,3	0,35584	17,3	0,35584	17,3	0,35584	1,06752
30	17,5	0,36412	17,5	0,36412	17,5	0,36412	1,09236
31	18,2	0,39383	18,2	0,39383	18,2	0,39383	1,18149
<b>Total</b>		<b>10,20204</b>	<b>Total</b>	<b>10,20204</b>	<b>Total</b>	<b>10,20204</b>	<b>30,60612</b>

Dengan memperhatikan table 3 dapat dilihat bahwa terjadi rugi-rugi daya terbesar pada tanggal 31 Mei 2021 sebesar 0.39383 kW dan rugi-rugi daya terkecil terjadi pada tanggal 12 Mei 2021 sebesar 0.25692 kW. Adapun total rugi-rugi daya perhari pada tanggal 31 Mei sebesar 1.18149 kW dan total rugi-rugi daya pada tanggal 12 Mei sebesar 0.77076 kW. Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang ada pada penghantar maka rugi-rugi daya akan semakin besar pula, hal ini dikarenakan pada penghantar terdapat resistansi dimana resistansi dari suatu penghantar menjadi salah satu penyebab terjadinya rugi-rugi daya pada saluran. Jika arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi energi panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi.

#### 4.2.3 Perhitungan Susut Energi

Berdasarkan hasil perhitungan rugi-rugi daya, nilai susut dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.3) dimana waktu dari beban puncak yang tercatat pada *main power house* yaitu selama 4 jam dimulai dari pukul 18.00 sampai dengan pukul 22.00. Berikut perhitungan susut energi pada salah satu beban puncak yang terjadi pada tanggal 31 Mei 2021. (Setyawan, 2018).

$$E = p_{\text{losses total}} \times t$$

$$E = 1.18149 \text{ kW} \times 4 \text{ jam}$$

$$E = 4.72596 \text{ kWh}$$

Hasil perhitungan susut energi selama satu bulan pada beban puncak akibat adanya rugi-rugi daya pada saluran distribusi ditunjukkan pada tabel 4 berikut:



Tabel 4. Hasil perhitungan Susut Energi

Tanggal	Total rugi- rugi daya/ hari(kW)	Susut Energi (kWh)
A	B	C
1	0.89043	3.56172
2	0.82410	3.29640
3	0.90174	3.60696
4	0.78129	3.12516
5	1.04298	4.17192
6	0.95934	3.83736
7	1.05522	4.22088
8	1.06752	4.27008
9	1.13013	4.52052
10	1.09236	4.36944
11	1.14285	4.57140
12	0.77076	3.08304
13	1.05522	4.22088
14	1.09236	4.36944
15	1.05522	4.22088
16	1.05522	4.22088
17	1.07991	4.31964
18	0.97107	3.88428
19	0.92457	3.69828
20	0.89043	3.56172
21	0.84591	3.38364
22	0.82410	3.29640
23	0.84591	3.38364
24	0.78129	3.12516
25	1.00671	4.02684
26	1.04298	4.17192
27	1.05522	4.22088
28	1.07991	4.31964
29	1.06752	4.27008
30	1.09236	4.36944
31	1.18149	4.72596
<b>Total</b>	<b>30.60612</b>	<b>122.42448</b>

Dengan memperhatikan table 4 dapat dilihat bahwa susut energi terbesar terjadi pada tanggal 31 Mei 2021 sebesar 4.72596 kWh dan susut energi terkecil pada tanggal 12 Mei 2021 sebesar 3.08304 kWh, dengan total susut energi pada saat beban puncak bulan Mei 2021 sebesar 122.42448 kWh. Dimana factor yang menentukan besarnya susut pada jaringan tegangan menengah adalah jenis atau ukuran saluran yang digunakan, panjang suplai energi listrik, dan besaran waktu pembebanan. Adanya susut energi yang terjadi pada saluran distribusi ini dapat menyebabkan kerugian finansial pada PT. (Persero) Angkasa Pura 1.

#### 4.2.4 Mengitung Kerugian Finansial

Kerugian yang diderita PT. (Persero) Angkasa Pura 1 beberapa tahun belakangan ini selain disebabkan tidak adanya penyesuaian TDL (Tarif Dasar Listrik) juga disebabkan adanya ketidak efisienan dalam pengelolaanya, khususnya pengendalian terhadap susut (*losses*) energi listrik yang mengakibatkan hilangnya kesempatan perusahaan untuk memperoleh pendapatan akibat energi yang didistribusikan (Diyah Rosmawati, 2009). Hilangnya daya pada saluran transmisi mengakibatkan kerugian finansial bagi perusahaan pemasok listrik (Angkasa Pura 1). Untuk mengetahui besarnya kerugian finansial PT. (Persero) Angkasa Pura 1 yang disebabkan oleh adanya rugi-rugi daya dapat dilakukan dengan melihat tarif tenaga listrik (TTL) pada bulan Mei tahun 2021. TTL yang disediakan oleh wd sebanyak 3 golongan tarif, R3 di antaranya mengikuti mekanisme atau penyesuaian tarif. Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh Angkasa pura1 mengacu pada Peraturan Menteri (Permen) Per ESDM No.28 tahun 2016 dengan Perubahan No.03 tahun 2020 Pengaturan menteri ini juga

mengatur tentang Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik bagi 3 golongan tarif, yaitu tarif golongan B3, B3 dan R2 dimana tarif tenaga listrik untuk peralatan tegangan menengah dengan daya 5.540.000 VA dengan tarif waktu beban puncak Rp 1.553,67/kWh seperti yang terlihat pada lampiran 1 halaman

Penulis menghitung kerugian finansial yang terjadi pada saluran transmisi antara MPH bado-bado ke substation 3,2 dan 4 menggunakan persamaan (2.4). Berikut salah satu perhitungan kerugian biaya akibat adanya susut energi yang terjadi pada saluran distribusi.

Tanggal 31 Mei 2021

$$\text{Biaya Listrik} = E \times TTL$$

$$\text{Biaya Listrik} = 4.725,96 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1553.67/\text{kWh}$$

$$\text{Biaya Listrik} = \text{Rp. } 7.342.582$$

Perhitungan kerugian biaya listrik dilakukan sesuai jumlah data yaitu selama sebulan. Adapun hasil kerugian biaya listrik dapat dilihat pada table 5 berikut

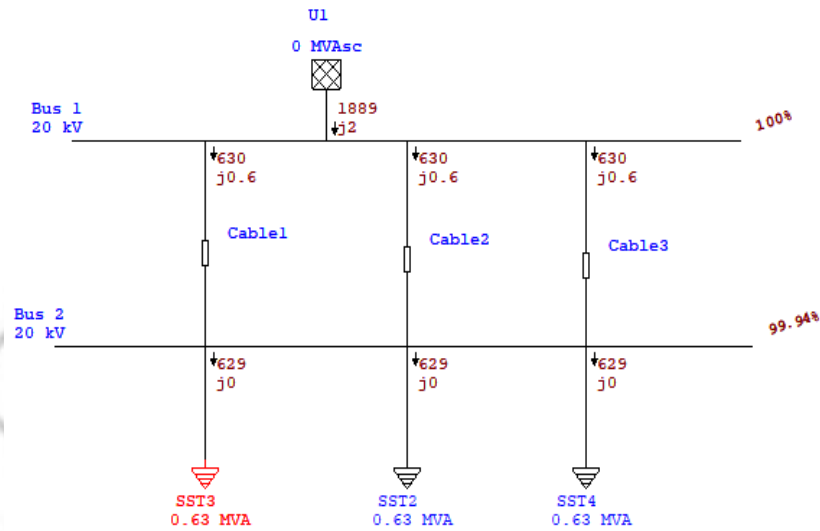
Tabel 5. Perhitungan Kerugian Biaya listrik

Tanggal	Susut Energi (kWh)	Kerugian Biaya (Rp)
A	B	C
1	3,56172	5.533.738
2	3,2964	5.121.518
3	3,60696	5.604.026
4	3,12516	4.855.467
5	4,17192	6.481.787
6	3,83736	5.961.991
7	4,22088	6.557.855
8	4,27008	6.634.295
9	4,52052	7.023.396
10	4,36944	6.788.668
11	4,5714	7.102.447
12	3,08304	4.790.027
13	4,22088	6.557.855
14	4,36944	6.788.668
15	4,22088	6.557.855
16	4,22088	6.557.855
17	4,31964	6.711.295
18	3,88428	6.034.889
19	3,69828	5.745.907
20	3,56172	5.533.738
21	3,38364	5.257.060
22	3,2964	5.121.518
23	3,38364	5.257.060
24	3,12516	4.855.467
25	4,02684	6.256.381
26	4,17192	6.481.787
27	4,22088	6.557.855
28	4,31964	6.711.295
29	4,27008	6.634.295
30	4,36944	6.788.668
31	4,72596	7.342.582
<b>Total</b>	<b>122,42448</b>	<b>190.207.242</b>

Tabel 5 memperlihatkan bahwa susut energi yang terjadi saat proses pengiriman dari MPH ke *Substation* 3, 2 dan 4 selama satu bulan (31 hari) sebesar 122.42448 kWh. Rugi-rugi daya pada sistem transmisi merupakan hilangnya daya yang berakibatkan kerugian materi. Dana kerugian dapat di lihat dari hilangnya daya dalam satu bulan (kWh) dan di kalikan dengan biaya per kWh pada tarif tenaga listrik, sehingga dapat di ketahui kerugian PT Angkasa pura 1 (Persero) akibat dari susut energi pada saluran transmisi MPH ke *Substation* 3, 2 dan 4 mencapai Rp 190.207.242 dalam satu bulan. Rugi-rugi daya tidak dapat di hindari tetapi dapat di minimalisir dengan adanya perbaikan pada saat beban puncak, sehingga dapat melayani dengan baik ketika terjadi beban puncak / beban lebih. Pelayanan yang baik di sebabkan oleh daya yang di kirim dapat tersalur dengan baik karena minimalnya kerugian daya yang di alami.

#### **4.3 Simulasi Rugi-rugi Daya Menggunakan Software ETAP 12.6.0**

Tujuan ETAP adalah untuk simulasi tenaga listrik, adapun dalam simulasi dibutuhkan data penelitian terdiri atas *single line* diagram dan data spesifikasi saluran transmisi yaitu data impedansi penghantar berupa data resistansi penghantar dan panjang saluran serta data beban puncak saluran udara tegangan menengah selama sebulan. Adapun gambar simulasi dari penyaluran beban MPH ke *Substation* setelah dijalankan dapat dilihat pada gambar 26



Gambar 26 simulasi Rugi-rugi daya

Gambar 26 merupakan simulasi rugi-rugi daya saluran distribusi pada saat beban puncak yang terjadi pada tanggal 31 Mei 2021. Dari simulasi tersebut dapat dilihat parameter, diantaranya penghantar yang terdiri dari 3 *Cable*, bus 20 kV serta *Power Grid* dan Beban. Dalam pembuatan simulasi tersebut ada beberapa langkah atau tahap dalam pembuatan simulasi rugi-rugi daya pada ETAP 12.6.0

1. Pembuatan *line* diagram sesuai dengan single line yang didapatkan.
2. Pengisian parameter pada aplikasi ETAP, diantaranya pengisian data saluran dengan memasukkan nilai resistansi penghantar serta nilai reaktansi penghantar, pengisian jenis penghantar yang digunakan, pengisian luas penampang penghantar serta pengisian panjang penghantar sesuai dengan data saluran yang diperoleh, pengisian beban, ampere sesuai dengan data beban puncak yang diperoleh, dan pengisian parameter *power grid* dimana *power grid* yang digunakan terhubung dengan bus 20 kV.

3. Setelah semua selesai, menjalankan simulasi untuk mengetahui hasil rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi.

Adapun hasil simulasi rugi-rugi daya pada ETAP setelah dijalankan dapat dilihat pada gambar 27

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	08-23-2021
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Losses Skripsi		Config.:	Normal

**Branch Losses Summary Report**

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Cable1	0.630	0.001	-0.629	0.000	0.4	0.6	100.0	99.9	0.06
Cable2	0.630	0.001	-0.629	0.000	0.4	0.6	100.0	99.9	0.06
Cable3	0.630	0.001	-0.629	0.000	0.4	0.6	100.0	99.9	0.06
					1.1	1.8			

Gambar 27 Hasil simulasi rugi-rugi daya pada ETAP 12.6.0

Gambar 27 merupakan hasil simulasi rugi-rugi daya saluran transmisi pada saat beban puncak yang terjadi pada tanggal 31 Mei 2021. Dari hasil simulasi tersebut, didapatkan total rugi-rugi daya pada saluran distribusi sebesar 1.1 kW, dimana rugi-rugi daya pada *cable 1* sebesar 0.4 kW, *cable 2* sebesar 0.4 kW dan *cable 3* sebesar 0.4 kW. Adapun hasil simulasi rugi-rugi menggunakan Software ETAP 12.6.0 selama 31 hari dapat dilihat pada table 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya menggunakan ETAP 12.6.0

Tanggal	LINE 1	LINE 2	LINE 3	Total losses(MW)
	Plosses(kW)	Plosses(kW)	Plosses(kW)	
A	B	C	D	E
1	0,3	0,3	0,3	0,8
2	0,3	0,3	0,3	0,8
3	0,3	0,3	0,3	0,9
4	0,2	0,2	0,2	0,7
5	0,3	0,3	0,3	1,0
6	0,3	0,3	0,3	0,9
7	0,3	0,3	0,3	1,0
8	0,3	0,3	0,3	1,0
9	0,4	0,4	0,4	1,1
10	0,3	0,3	0,3	1,0
11	0,3	0,3	0,3	0,9
12	0,2	0,2	0,2	0,7
13	0,3	0,3	0,3	1,0
14	0,3	0,3	0,3	1,0
15	0,3	0,3	0,3	1,0
16	0,3	0,3	0,3	1,0
17	0,3	0,3	0,3	1,0
18	0,3	0,3	0,3	0,9
19	0,3	0,3	0,3	0,9
20	0,3	0,3	0,3	0,8
21	0,3	0,3	0,3	0,8
22	0,3	0,3	0,3	0,8
23	0,3	0,3	0,3	0,8
24	0,2	0,2	0,2	0,7
25	0,3	0,3	0,3	1,0
26	0,3	0,3	0,3	1,0
27	0,3	0,3	0,3	1,0
28	0,3	0,3	0,3	1,0
29	0,3	0,3	0,3	1,0
30	0,3	0,3	0,3	1,0
31	0,4	0,4	0,4	1,1
<b>Total</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>28,6</b>



Berdasarkan table 6 dapat dilihat dari hasil simulasi rugi-rugi daya pada saluran distribusi MPH ke *Substation* 3,2 dan 4 terbesar terjadi pada tanggal 31 Mei 2021 sebesar 0,4 kW dan rugi-rugi daya terkecil terjadi pada tanggal 12 Mei 2021 sebesar 0,2 kW. Adapun total rugi-rugi daya pada tanggal 31 Mei yaitu 1,1 kW dan pada tanggal 12 Mei total rugi-rugi daya sebesar 0,7 kW dengan jumlah total rugi-rugi daya yang terjadi selama sebulan yaitu sebesar 28,6 kW.



#### 4.4 Perbandingan hasil perhitungan Manual dengan Simulasi dan Error software ETAP

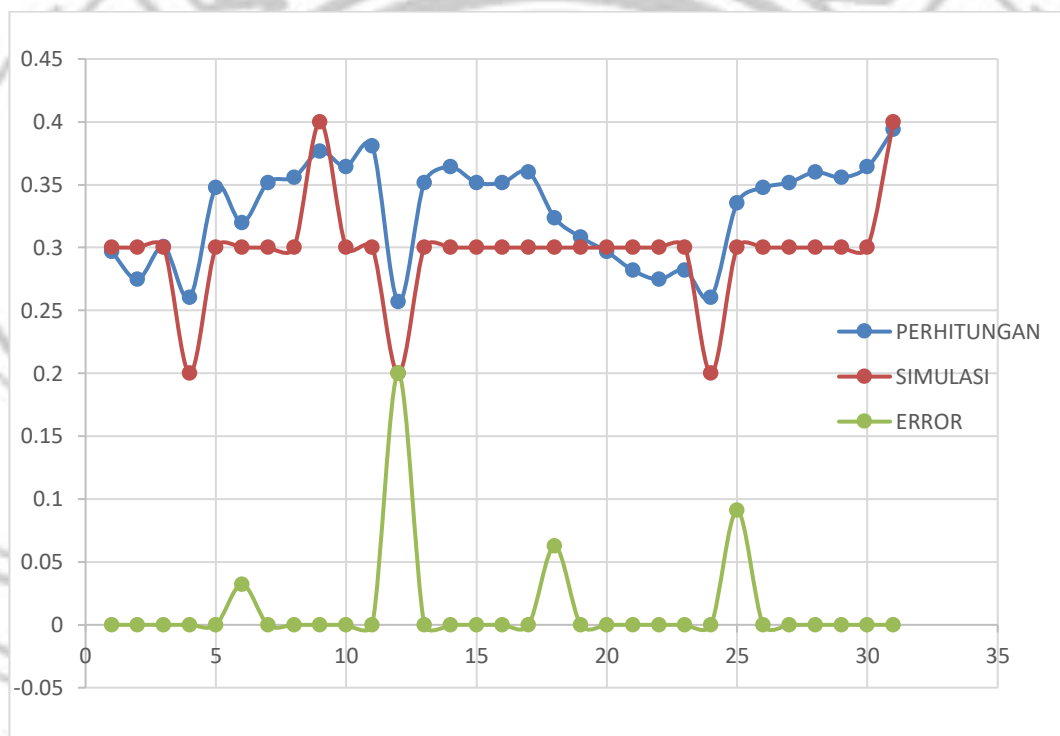
Hasil perhitungan manual akan dibandingkan dengan simulasi rugi-rugi daya, dan Error dapat dilihat pada table 7 berikut :

Tabel 7. Perbandingan hasil perhitungan manual dengan simulasi ETAP 12.6.0

T gl	LINE 1			T gl	LINE 2			T gl	LINE 3		
	Perhitun gan	Simulas i	Error		Perhitun gan	Simulas i	Error		Perhitun gan	Simulas i	Error
M ei	Plosses( MW)	Plosses( MW)	Plosses( MW)	M ei	Plosses( MW)	Plosses( MW)	Plosses( MW)	M ei	Plosses( MW)	Plosses( MW)	Plosses( MW)
A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	0.29681	0.3	3,4%	1	0.29681	0.3	3,4%	1	0.29681	0.3	3,4%
2	0.2747	0.3	11,11%	2	0.2747	0.3	11,11%	2	0.2747	0.3	11,11%
3	0.30058	0.3	0%	3	0.30058	0.3	0%	3	0.30058	0.3	0%
4	0.26043	0.2	23,07%	4	0.26043	0.2	23,07%	4	0.26043	0.2	23,07%
5	0.34766	0.3	11,76%	5	0.34766	0.3	11,76%	5	0.34766	0.3	11,76%
6	0.31978	0.3	3.22%	6	0.31978	0.3	3.22%	6	0.31978	0.3	3.22%
7	0.35174	0.3	14,28%	7	0.35174	0.3	14,28%	7	0.35174	0.3	14,28%
8	0.35584	0.3	14,28%	8	0.35584	0.3	14,28%	8	0.35584	0.3	14,28%
9	0.37671	0.4	8,10%	9	0.37671	0.4	8,10%	9	0.37671	0.4	8,10%
10	0.36412	0.3	16,66%	10	0.36412	0.3	16,66%	10	0.36412	0.3	16,66%
11	0.38095	0.3	21,05%	11	0.38095	0.3	21,05%	11	0.38095	0.3	21,05%
12	0.25692	0.2	20%	12	0.25692	0.2	20%	12	0.25692	0.2	20%
13	0.35174	0.3	14,28%	13	0.35174	0.3	14,28%	13	0.35174	0.3	14,28%
14	0.36412	0.3	16,66%	14	0.36412	0.3	16,66%	14	0.36412	0.3	16,66%
15	0.35174	0.3	14,28%	15	0.35174	0.3	14,28%	15	0.35174	0.3	14,28%
16	0.35174	0.3	14,28%	16	0.35174	0.3	14,28%	16	0.35174	0.3	14,28%
17	0.35997	0.3	14,28%	17	0.35997	0.3	14,28%	17	0.35997	0.3	14,28%
18	0.32369	0.3	6.25%	18	0.32369	0.3	6.25%	18	0.32369	0.3	6.25%
19	0.30819	0.3	0%	19	0.30819	0.3	0%	19	0.30819	0.3	0%
20	0.29681	0.3	3,4%	20	0.29681	0.3	3,4%	20	0.29681	0.3	3,4%
21	0.28197	0.3	7,14%	21	0.28197	0.3	7,14%	21	0.28197	0.3	7,14%
22	0.2747	0.3	11,11%	22	0.2747	0.3	11,11%	22	0.2747	0.3	11,11%
23	0.28197	0.3	7,14%	23	0.28197	0.3	7,14%	23	0.28197	0.3	7,14%
24	0.26043	0.2	23,07%	24	0.26043	0.2	23,07%	24	0.26043	0.2	23,07%
25	0.33557	0.3	9.09%	25	0.33557	0.3	9.09%	25	0.33557	0.3	9.09%
26	0.34766	0.3	11,76%	26	0.34766	0.3	11,76%	26	0.34766	0.3	11,76%
27	0.35174	0.3	14,28%	27	0.35174	0.3	14,28%	27	0.35174	0.3	14,28%
28	0.35997	0.3	14,28%	28	0.35997	0.3	14,28%	28	0.35997	0.3	14,28%
29	0.35584	0.3	14,28%	29	0.35584	0.3	14,28%	29	0.35584	0.3	14,28%

30	0.36412	0.30	16,66%	30	0.36412	0.30	16,66%	30	0.36412	0.30	16,66%
31	0.39383	0.4	2,56%	31	0.39383	0.4	2,56%	31	0.39383	0.4	2,56%
<b>Total</b>	<b>10.20204</b>	<b>9.2</b>	<b>0.3856</b>	<b>Total</b>	<b>10.20204</b>	<b>9.2</b>	<b>0.3856</b>	<b>Total</b>	<b>10.20204</b>	<b>9.2</b>	<b>0.3856</b>

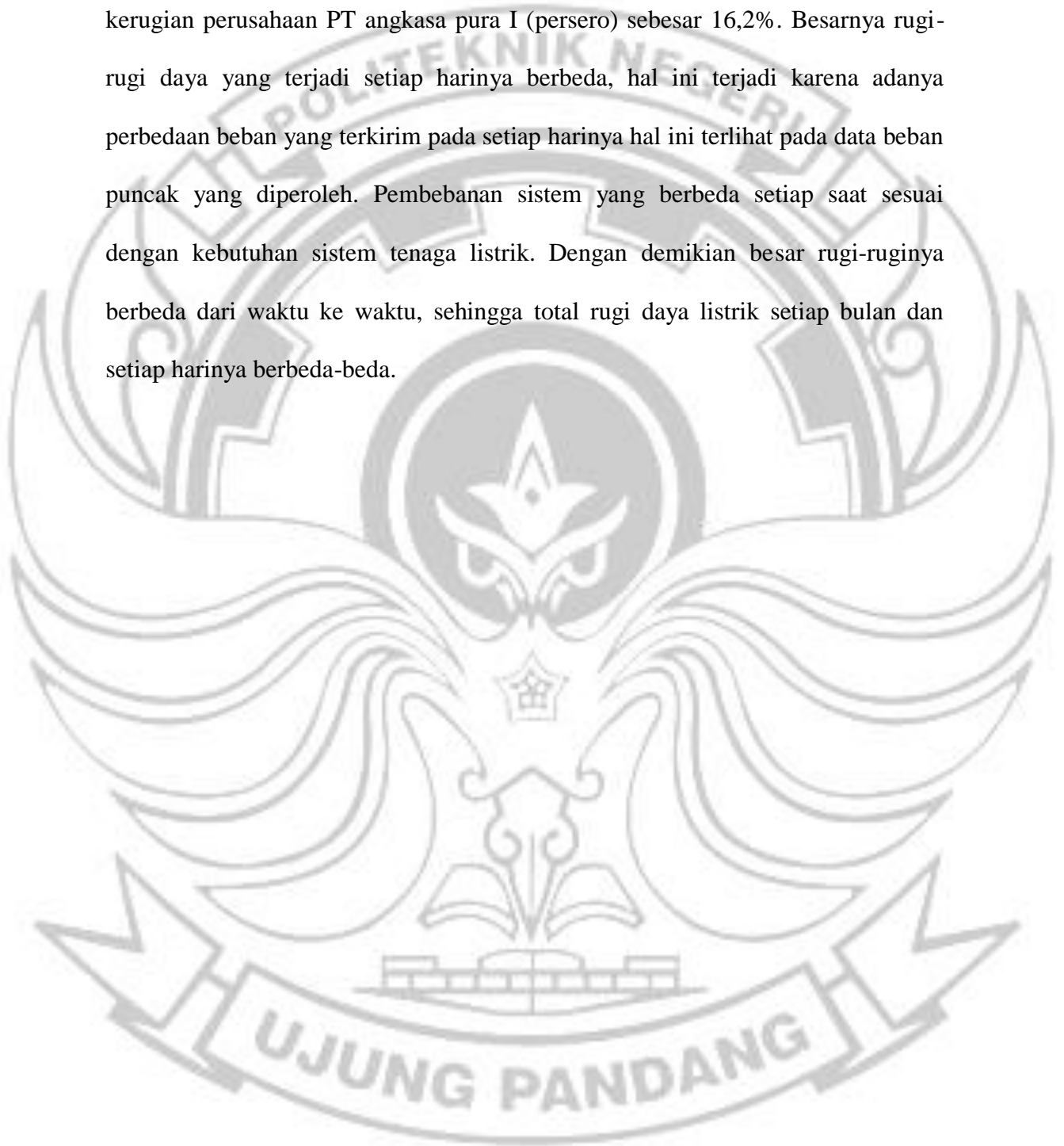
Adapun Diagram hasil perbandingan perhitungan, Simulasi, Error dapat dilihat pada Gambar 28



Gambar 28. Diagram hasil perbandingan Perhitungan, Simulasi, dan Error

Berdasarkan tabel 7 dapat dilihat perbandingan hasil perhitungan manual dengan simulasi dimana pada perhitungan simulasi menghasilkan nilai rugi-rugi daya lebih kecil yaitu 9,2 kW bila dibandingkan dengan hasil perhitungan manual rugi-rugi daya dengan nilai 10,20204 kW, dan total Error yaitu 0.3856. Dimana total hasil dari rugi-rugi daya untuk simulasi sebesar 28,6 kW sedangkan hasil total dari perhitungan manual yaitu 30,60612. Hasil total tersebut merupakan hasil rugi-rugi daya selama 31 satu hari pada beban puncak. Dari hasil jumlah rupiah

tarif tenaga listrik pada bulan Mei 2021 lampiran 2 sebesar Rp 1.171.777.914 dibandingkan Rupiah rugi-rugi total daya sebesar Rp 190.207.242 sehingga kerugian perusahaan PT angkasa pura I (persero) sebesar 16,2%. Besarnya rugi-rugi daya yang terjadi setiap harinya berbeda, hal ini terjadi karena adanya perbedaan beban yang terkirim pada setiap harinya hal ini terlihat pada data beban puncak yang diperoleh. Pembebanan sistem yang berbeda setiap saat sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik. Dengan demikian besar rugi-ruginya berbeda dari waktu ke waktu, sehingga total rugi daya listrik setiap bulan dan setiap harinya berbeda-beda.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil perhitungan rugi-rugi daya dan susut energi pada saluran transmisi tegangan menengah 20 kV pada *Substation* 3, 2 dan 4 yang terjadi pada saat beban puncak bulan Mei 2021, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besar rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan menengah 20 kV *Substation* 3, 2 dan 4 pada saat beban puncak selama sebulan (Mei 2021) secara manual sebesar 10,20204 kW sedangkan besar rugi-rugi daya dengan simulasi ETAP 12.6.0 sebesar 9,2 kW.
2. Perbandingan hasil perhitungan manual dengan simulasi dan error menunjukkan bahwa perhitungan simulasi menghasilkan nilai rugi-rugi daya lebih kecil yaitu 9,2 kW bila dibandingkan dengan hasil perhitungan manual rugi- rugi daya dengan nilai 10,20204 kW dan hasil error dengan nilai 0.3856 Dimana total hasil dari rugi-rugi daya untuk simulasi sebesar 28,6 kW sedangkan hasil total dari pehitungan manual yaitu 30,60612.
3. Besar susut energi pada saluran transmisi MPH ke *substation* 3, 2 dan 4 dalam satu bulan pada saat beban puncak sebesar 122,42448 kWh dengan kerugian finansial yang di tanggung pihak PT Angkasa Pura I (Persero) pada bulan Mei 2021 yaitu sebesar Rp 190.207.242 Dari hasil jumlah rupiah tarif tenaga listrik pada bulan Mei 2021 lampiran 2 sebesar Rp 1.171.777.914 dibandingkan

Rupiah rugi-rugi total daya sebesar Rp 190.207.242 sehingga kerugian perusahaan PT Angkasa pura I (persero) sebesar 16,2%

## 5.2 Saran

1. Bagi peneliti selanjutnya yaitu dalam meneliti kerugian daya pada saluran transmisi tegangan menengah 20 kV sebaiknya dalam pengumpulan data diambil data untuk beberapa bulan, sehingga dapat dilihat secara detail penurunan dan kenaikan kerugian daya yang terjadi. Maka untuk pengambilan tindakan akan lebih efektif
2. Bagi perusahaan perlunya menjaga tingkat kontinuitas daya listrik dengan cara ditingkatkannya pengawasan dan pemeliharaan secara rutin pada peralatan di gardu induk termasuk saluran transmisi dan trafo gardu induk agar *losses* dan susut energi dapat di minimalisir sehingga kerugian finansial dapat berkurang.

## DAFTAR PUSTAKA

Shiddiq, U. (2018). *Skripsi Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Menengah 20 KV Pada Gardu Induk Palur Gondangrejo.*

Arismunandar, A. Dr. (2004). *Teknik Tenaga Listrik Jilid II: Saluran Transmisi.* Jakarta: Pradnya Paramita.

Aprilia Erlita, *Transformator (2015)*

Pulungan, Ali Basrah, Sukardi dan Dahlan Prinando Tambun. 2012. *Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Di Wilayah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang PT. PLN (Persero) Cabang Padang.* Jurnal Nasional Teknik Elektro No.1 Vol:1 September 2012, ISSN: 2302-2949.

Achmaddwiki, *Transformator dan Sistem Distribusi Daya (2014)*

Daman suswanto *Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2014)*

Syamsudin, Z., Suyanto, H., & Elektro, T. (2018). *ANALISIS SUSUT ENERGI PADA TEGANGAN RENDAH DI WILAYAH PT. PLN (PERSERO) AREA BULUNGAN.* 5(2), 51–61.

[armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/](http://armanbacktrak5.wordpress.com/2017/02/12/kubikel-20-kv/)

[adoc.pub/bab-iii-dasar-teoric33b7091d84e576502e78f52eb76ae5e58467.html](http://adoc.pub/bab-iii-dasar-teoric33b7091d84e576502e78f52eb76ae5e58467.html)

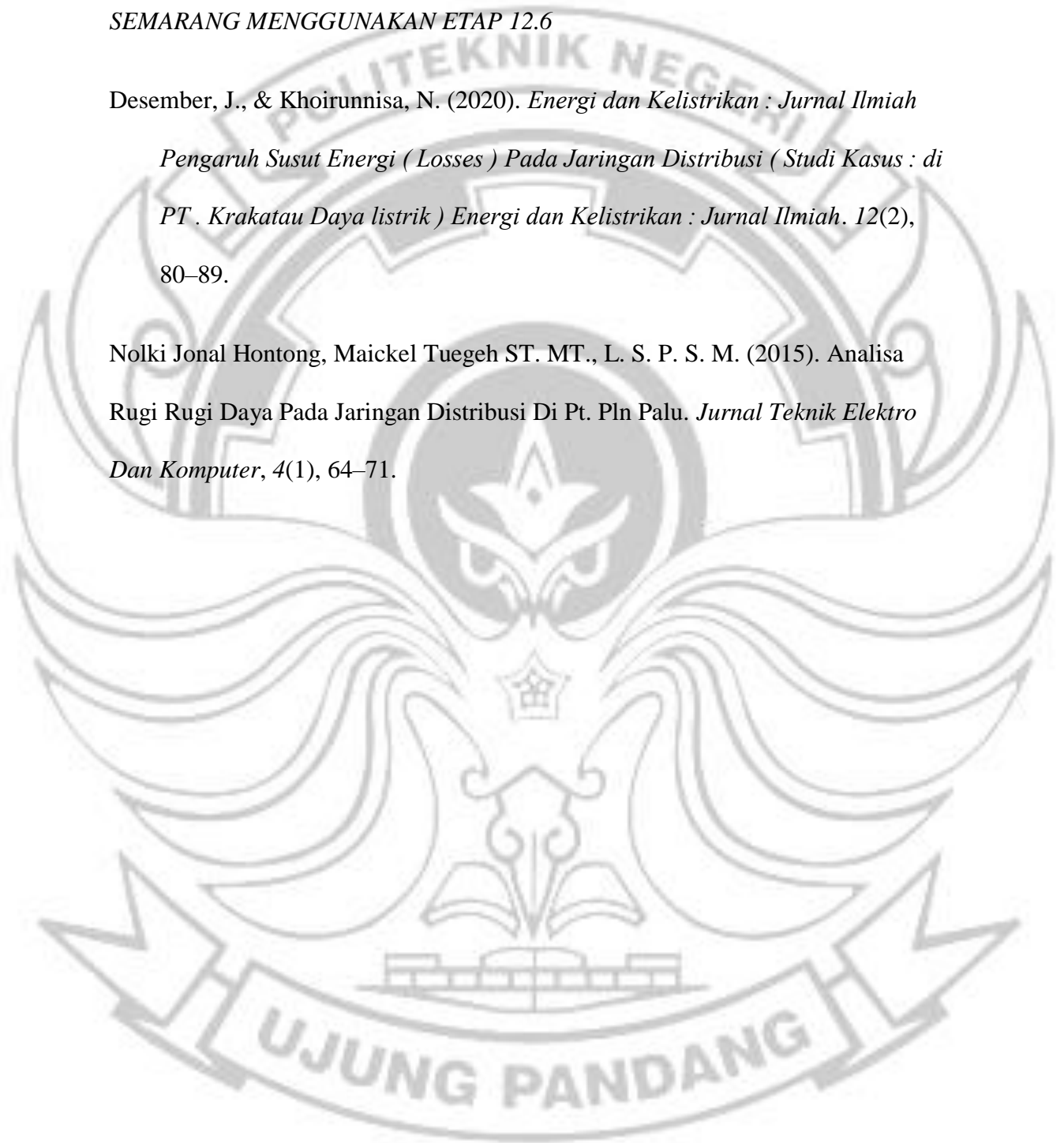
Multa, L., Restu, M. E., & Aridani, P. (2013). *Modul Pengantar ETAP. Modul Pelatihan ETAP, 58.*

Setyawan, R. D. (2018). *Skripsi Analisa susut energi penggunaan penghantar tacsr pada jaringan transmisi tegangan menengah 20 kv pada gardu induk Palur – Solobaru dengan ETAP 12.6.*

NUR CAHYO, (2018) *ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM TENAGA LISTRIK PT.INDOFOOD CBP SUKSES MAKMUR, TBK DIVISI FOOD SEASONING SEMARANG MENGGUNAKAN ETAP 12.6*

Desember, J., & Khoirunnisa, N. (2020). *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Pengaruh Susut Energi ( Losses ) Pada Jaringan Distribusi ( Studi Kasus : di PT . Krakatau Daya listrik ) Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah. 12(2), 80–89.*

Nolki Jonal Hontong, Maickel Tuegeh ST. MT., L. S. P. S. M. (2015). *Analisa Rugi Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di Pt. Pln Palu. Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer, 4(1), 64–71.*





L

A

M

P

I

R

A



## Lampiran 1 Tarif Tenaga Listrik

### RINCIAN REKENING

Rekening 05-2021 / No : 221801404062-0521

PT. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO)

Jl. Trunojoyo Blok M 1 / 135, Melawai  
Kebayoran Baru - Jakarta Selatan  
NPWP : 01.001.829.3-051.000



ID Pelanggan : 321801404062  
Nama Pelanggan : ANGKASAPURA I GD MAT  
Alamat Pelanggan : JL BANDARA BARU 0 RT.000 RW.00

**Total Yang Harus Dibayarkan\* Rp 1.288.955.705**

**Total Tagihan\*\* Rp 1.288.955.705**

NPWP : 00.000.000.0-000.000  
Nama Sesuai NPWP :  
Alamat Sesuai NPWP :

Subsidi\*\*\* : Rp0  
Jatuh Tempo : 20 Mei2021  
Status : BELUM LUNAS -(11)

NIK :  
Golongan Tarif : B3 / 5.540.000 VA  
Faktor Kall Meter : 6.000 / 6.000

**Tunggakan Bulan Sebelumnya** Rp 0

**Pembayaran dapat dilakukan melalui**

**Ciollan**  
BP (Biaya Penyambungan) Rp 0  
UJL (Uang Jaminan Langgan) Rp 0  
Angsuran Lainnya Rp 0

PLN Mobile  
Mitra PLN (Bank, POS dan Mitra Lainnya)

**Informasi Pengaduan**  
Call Center 123

**Biaya Beban / EMIN** Rp 0

**Kontak Kami**

**Rincian Tagihan Bulan Berjalan**

Email pln123@pln.co.id  
Twitter @pln123  
Facebook PLN 123  
Instagram pln123\_official

	LWBP	WBP	kVArh
Stand Akhir (01-05-2021)	9.875,310	2.166,860	4.219,870
Stand Awal (01-04-2021)	9.723,090	2.142,640	4.158,390
kWh LWBP : 913.320	Tarif LWBP : Rp 1.035,78		
kWh WBP : 145.320	Tarif WBP : Rp 1.553,67		
kVArh : 0	Tarif kVArh : Rp 1.114,74		

Rupiah TTL Terpakai Rp 1.171.777.914  
Rupiah Kompensasi\*\*\*\* Rp 0  
**Rupiah TTL minus Kompensasi** Rp 1.171.777.914  
PPN\*\*\*\*\* (10%) Rp 117.177.791  
PPJ\*\*\*\*\* (10%) Rp 117.177.791



Rupiah 50% Relaksasi Rp 0

**Rupiah Jasa Layanan dan Keandalan, sewa trafo, paralel, dll ins. Tax** Rp 0

**Total Tagihan** Rp 1.288.955.705 |

#### Electricity For Better Life

Pastikan Instalasi Anda Memiliki Sertifikat Laki Operasi.  
Demikian Konyamanan Anda Bayarlah Rekening Anda Tepat Waktu.

#### Perundangan & Aturan

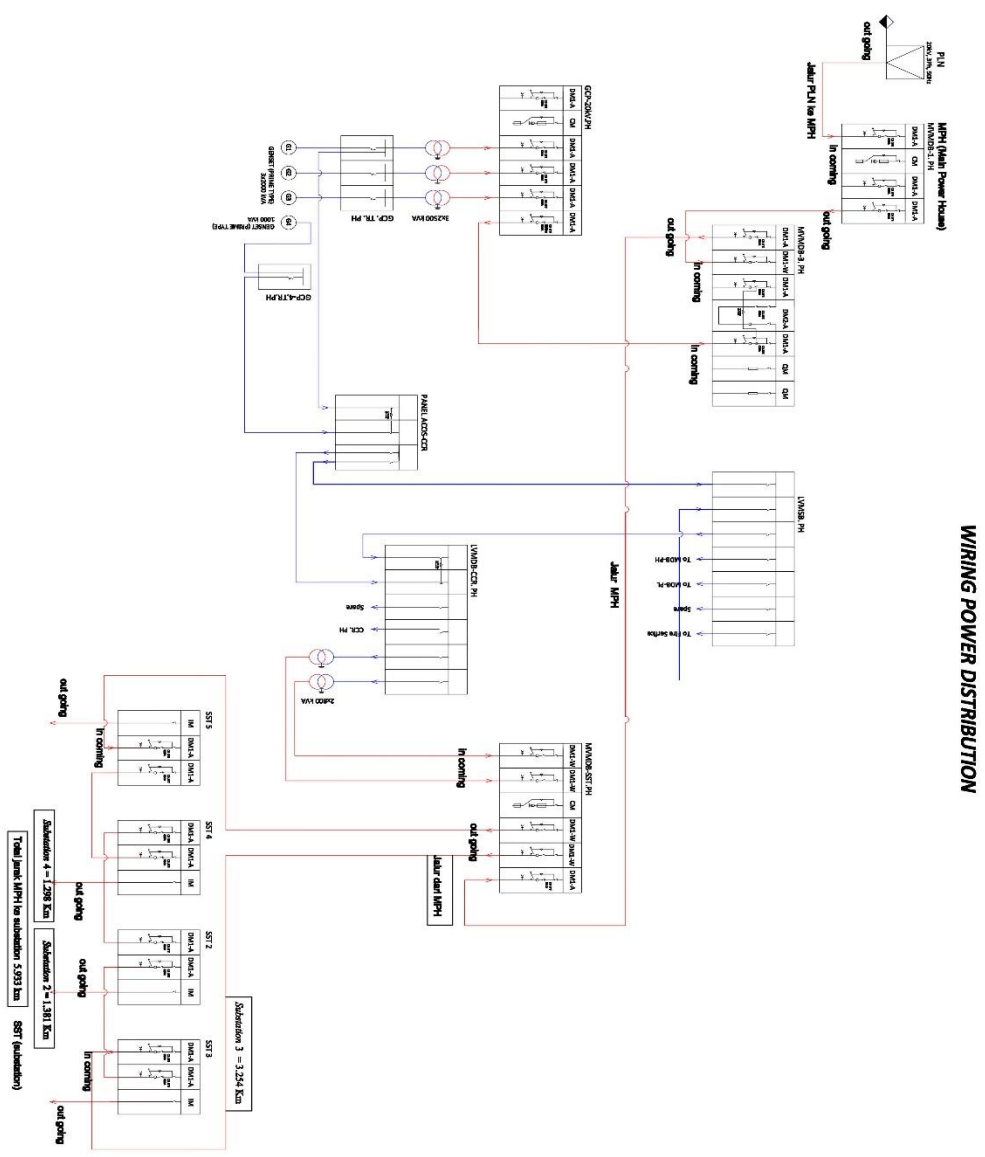
Per ESDM No.28 tahun 2016 dengan Perubahan No.03 tahun 2020.  
PMK 174/PMK.02/2019 & Per ESDM 29 tahun 2016, perubahan terakhir No.17/2019.

WBP : Waktu Beban Puncak (18:00 - 22:00)  
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak  
kVArh : Energi daya reaktif  
P2TL : Perentihan Pemakaian Tenaga Listrik  
TTL : Tarif Tenaga Listrik

#### Keterangan

\* ) Total tagihan ditambahkan jumlah tunggakan bulan lalu jika ada.  
\*\* ) Total tagihan belum termasuk biaya meteral dan biaya keterlambatan pembayaran jika ada.  
\*\*\* ) Perkiraan Subsidi/Kompensasi yang di terima di hitung berdasarkan BPP Kesekonomian.  
\*\*\*\* ) Kompensasi TMP.  
\*\*\*\*\* ) PPN DIBEBASKAN SESUAI PP NOMOR 48 TAHUN 2020, kecuali Pelanggan R3/diatas 6800 VA.  
\*\*\*\*\* ) PPJ (Pajak Penerangan Jalan) Penda.  
Rupiah TTL Terpakai sudah termasuk stimulus/relaksasi

## Lampiran 2 Single Line Diagram 20 kV Main Power House






Catatan: \*) pilih dengan melingkari huruf a atau b

LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN  
UJIAN SIDANG SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Tri Wahyudi Listin

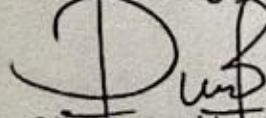
NIM : 421 20 066

Catatan/Daftar Revisi Penguji:

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Ir.Syarifuddin, M.T.	Tela trafo dileuglupa	
2.	Purwito, S.T., M.T.		
3.	Ahmad Rosyid, S.T., M.T.	- Perbaiki perhitungan dan analisis	
4.	Musfirah Putri Lukman, S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Perbaikan diperbaiki sesuai SYD</li><li>- Bahasa yg digunakan harus benar</li><li>- Tiba cara tulisan harus lengkap ilmiah</li><li>- Lengkapi referensi untuk setiap uraian</li><li>- Tugasan pustaka, literatur kelengkapan dll.</li><li>- Lengkapi cover untuk Analisis perband. Ngram.</li></ul>	

Makassar, 30-8-21

Sekretaris Penguji



Musfirah Putri Lukman, S.T., M.T.  
Purwito, S.T., M.T.

NIP. 19660719 199003 1 001

19880909 201903 2 017.