



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Referensi yang terkait dengan Upaya Penekanan Susut Daya dan Jatuh Tegangan dengan Rekonfigurasi Jaringan di Penyulang Jati PT. PLN Rayon Pekanbaru Kota Timur dapat dilihat dari peneliti terdahulu seperti :

Pada penelitian dengan judul “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 KV untuk Perbaikan Profil Tegangan dan Susut Daya Listrik”. Menjelaskan bahwa penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi profil tegangan dan mengurangi susut daya, *feeder* utama 20 KV pada sistem distribusi merupakan dari cabang Kalibakal (GI Kalibakal). Metode yang digunakan adalah rekonfigurasi beban dengan menggunakan *software* ETAP Power Station 4.0 dan analisis data beban listrik yang mengalir pada *feeder* utama di GI Kalibakal. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa profil tegangan, 92,66% di *feeder*5 dan 94,62% di *feeder* 6 dibawah standar. Dengan bantuan dari GI Kalibakal ke 20,5 KV, maka profil tegangan *feeder* 5 naik menjadi 97,21%. Jadi dengan meningkatkan tegangan di GI Kalibakal sebesar 20,5 KV, tegangan nya sudah memenuhi standar [4].

Penelitian lain dengan judul “Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rekonfigurasi Beban pada Panel Utama Prambanan”. Penelitian ini menjelaskan bahwa jatuh tegangan disebabkan jarak antara sumber ke panel Prambanan sebesar 573 m dan pembebanan tiap fasa yang tidak seimbang. Hal ini terlihat adanya perbedaan tegangan tiap fasa, tegangan pada panel Prambanan fasa R-N= 200 volt, fasa S-N= 197 volt, dan T-N= 175 volt dengan arus R= 92 A, S= 110 A, dan T= 147 A. Penelitian ini bertujuan rekonfigurasi beban dan menentukan luas penampang penghantar yang paling kecil dengan nilai jatuh tegangan masih dalam toleransi. Metode yang digunakan adalah rekonfigurasi beban dan penggunaan *software electrical calculations* untuk mensimulasikan jatuh tegangan sistem nyata yang ada dipanel Prambanan. Hasil dari penelitian ini adalah rekonfigurasi beban arus maksimal pada salah satu fasa sebesar 120 A dan luas penampang yang dibutuhkan 150 mm dengan persentase jatuh tegangan sebesar 9,7% atau tegangan terendah pada salah satu fasa sebesar 198,66 volt [5].

Penelitian tentang Studi Perkiraan Susut Teknis dan Alternatif Perbaikan pada Penyulang Kayoman Gardu Induk Sukorejo bertujuan menghitung susut konduktor dan

susut transformator pada penyulang sehingga akan diketahui seberapa besar susut yang disebabkan konduktor dan transformator pada penyulang. Metode yang digunakan untuk mengetahui susut adalah perhitungan secara empiris dan observasi lapangan. Hasil dari penelitian ini adalah besar susut teknis pada penyulang Kayoman 103,23 kW dan susut non teknis sebesar 22,78 kW. Sehingga susut pada penyulang Kayoman adalah 126,02 kW. Selanjutnya dilakukan upaya perbaikan jaringan SUTM sehingga susut konduktor berkurang 41,4% [6].

Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya dan Drop Tegangan bertujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada di lintas timur. Berdasarkan hasil analisa pembahasan dan perhitungan menggunakan Program ETAP 7.5 tegangan terendah pada saluran *feeder* cemara terdapat pada trafo TR/1064 sebesar 16,27 kV sedangkan tegangan terendah *feeder* Langgam pada SP.26 sebesar 19,87 kV dengan rugi-rugi daya sebesar 731,04 kW. Setelah rekonfigurasi maka didapatkan pada *feeder* cemara di trafo TR TR.1102 sebesar 18,70 kV, pada saluran *feeder* Langgam trafo SP sebesar 19,05 kV dan pada saluran pasir putih trafo ST.262 sebesar 18,78 kV dengan rugi daya 410,65 kW. Penghematan rugi daya total diperoleh sebesar 320,39 kW [7].

Optimasi Penyeimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Terhadap Susut Energi (Aplikasi *Feeder* Sikakap) ini bertujuan untuk memelihara keandalan fungsi atau memperpanjang umur dari trafo tersebut dan juga menjaga trafo agar tidak cepat rusak. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi dengan pengumpulan data hasil pengukuran. Sedangkan hasil dari penelitian ini adalah bahwa penyeimbangan beban trafo distribusi akan sangat berpengaruh terhadap biaya pemakaian bahan bakar minyak PLTD Sikakap, dan juga untuk tetap menjaga keseimbangan beban trafo, pemasangan calon pelanggan baru pada trafo harus sesuai dengan pemetaan pelanggan di trafo tersebut, yang pemasangannya harus berurutan tiap-tiap fasa [8].

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa untuk menyeimbangkan beban dengan cara mengurangi susut daya dan jatuh tegangan serta untuk dapat beban terdistribusi dengan baik, maka perlu dilakukan rekonfigurasi beban pada sistem distribusi.

Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu pada



penelitian ini menggunakan studi aliran daya dengan metode Gauss-Seidel dan penyelesaian akhir dengan pendekatan langsung dan survei ke lapangan untuk mengetahui kondisi *real time* beban pada penyulang. Untuk melakukan penyeimbangan beban dengan rekonfigurasi beban sistem distribusi tersebut, pada penelitian ini ditekankan pada susut daya pada jaringan dan jatuh tegangan dengan menganalisis data serta merubah jaringan yang sudah ada menggunakan ETAP 12.6. Penelitian sebelumnya juga menggunakan simulasi yang sama yaitu menggunakan ETAP, akan tetapi pada penelitian ini sebelum dan lsetelah disimulasikan, akan lakukan pendekatan langsung ke lapangan sehingga dapat diperhitungkan terlebih dahulu kondisi beban pada *line* penyulang dan melakukan pengukuran pada waktu beban puncak, sehingga beban dapat diseimbangkan.

2.2 Profil Penyulang Jati

Penyulang Jati ini disuplai dari Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru, dengan luas penyulang 37,92 kms dan total pelanggan 2.486. Penyulang Jati adalah Busbar 1 dari trafo TD 1 60 MVA. Penyulang ini memiliki variasi beban di *load point* berupa beban industri dan rumah tangga. Penyulang Jati memiliki 47 *load point* berupa trafo distribusi [2].

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.3.1 Pengertian Sistem Distribusi tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan daya listrik dari pusat beban listrik yang besar sampai ke konsumen. Fungsi dari distribusi tenaga listrik adalah [9] :

- a. Menyalurkan tenaga listrik sampai kepada pelanggan
- b. Langsung berhubungan dengan pusat-pusat beban (pelanggan) yang melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik dari pembangkit menghasilkan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV dari gardu tersebut kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan tegangan dinaikkan yaitu memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi.

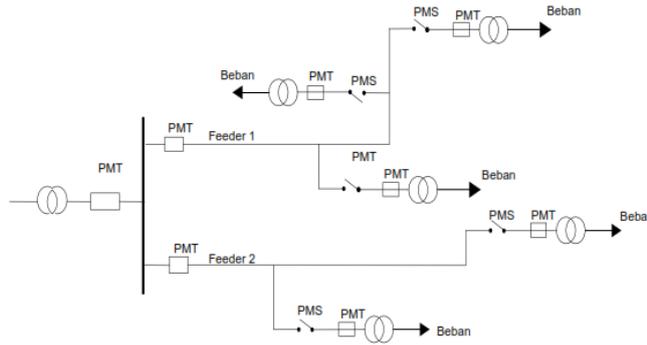
Dari saluran transmisi tersebut, tegangan akan diturunkan kembali untuk

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial [10]

2. Sistem jaringan Distribusi *Ring (Loop)*

Sistem ini memiliki 2 alternatif saluran yang berasal dari satu sumber. Karena bentuk jaringan ini tertutup, maka disebut jaringan “loop”. Bentuk *loop* ada 2 macam, yaitu [9] :

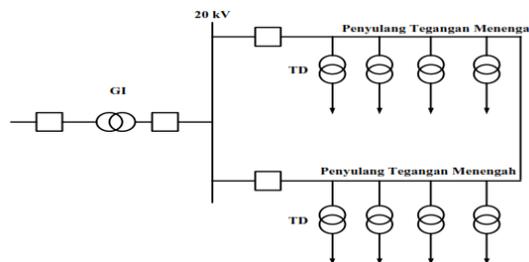
- a. Bentuk *open loop*

Jika dilengkapi dengan *normally-open switch*, itu berarti ketika dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

- b. Bentuk *close loop*

Apabila kondisinya dibuat *normally-close switch*, itu berarti dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Pada konfigurasi ini pasokan daya listrik dari GI lebih terjamin. Hal itu dikarenakan apabila salah satu GI mengalami gangguan, dan GI yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa mengganggu suplai daya ke gardu distribusi. [11]

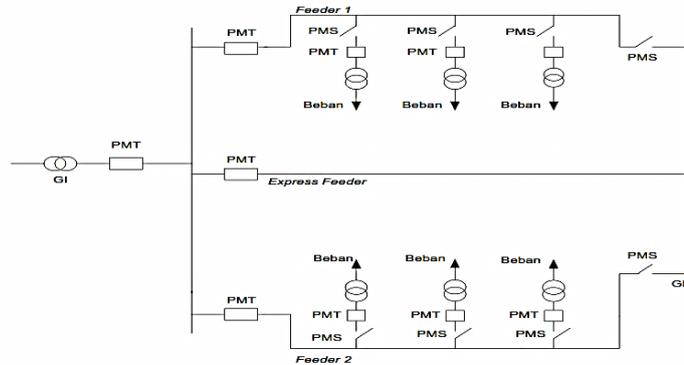


Gambar 2.2 Sistem Jaringan Distribusi Konfigurasi *Loop* [11]

3. Sistem Jaringan Distribusi *Spindel*

Sistem ini merupakan perkembangan dari sistem jaringan distribusi konfigurasi *loop*, pada sistem ini terdapat penambahan saluran utama yang kesemuanya bertemu pada satu titik, dimana titik pertemuan tersebut merupakan Gardu Hubung. Bedanya sistem ini dari sistem *loop* pada sistem *loop* besar ukuran penampang

saluran penghantar harus mampu untuk memikul seluruh beban sedangkan pada sistem *spindle* besar penampang penghantar berdasarkan atas jumlah beban yang paling besar pada saluran utama [11].



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Distribusi *Spindle* [11]

2.4 Kawat Penghantar Jaringan Distribusi

Kawat penghantar digunakan untuk menghantarkan tenaga listrik pada sistem saluran udara dari pusat Pembangkit ke pusat-pusat Beban (*load centre*) secara langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi terlebih dahulu. Kawat penghantar yang digunakan tergantung pada besarnya beban yang dilayani, makin besar beban yang dilayani, maka makin besar pula ukuran penampang kawat penghantar. Dengan luas penampang kawat yang bear maka akan membuat tahanan kawat menjadi kecil [12].

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Logam Penghantar Jaringan [12]

Macam Logam	Berat Jenis	Tahanan Jenis (m/cm)	Titik Cair (°C)	Resistan si (Ω)	Koefisien suhu (°K)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)
Aluminium	2,56	0.03	660	33.3	0.0038	15-23
Tembaga	8,95	0.0175	1083	57.14	0.0037	30-48
Baja	7,85	0.42	1535	10	0.0052	46-90
Perak	10,5	0.018	960	62.5	0.0036	
Kuningan	8,44	0.07	1000	14.28	0.0015	
Emas	19,32	0.022	1063	45.45	0.0035	

2.4.1 Spesifikasi Pemakaian Penghantar

Konstruksi menggunakan penghantar telanjang AAC dan AAAC. Untuk kawat petir (*shield/earth wire*) dipakai penghantar dengan luas penampang 16 mm². Sedangkan kawat ACSR digunakan untuk kondisi geografis tertentu (memerlukan bentangan

melebihi jarak standar untuk memperkecil andongan dan memperkuat gaya mekanis) [22].

Berikut tabel 2.2 Ukuran dan Konstruksi dari Hantaran Aluminium Campuran (AAAC).

Tabel 2.2 Ukuran dan Konstruksi dari Hantaran Aluminium Campuran (AAAC) [10]

Luas Penampang Penghantar		Jumlah kawat diameter kawat n/d1	Diameter hantaran kira-kira d2	Berat Hantaran Kira-kira	Tahanan DC, 20C maksimum
Nominal	Sebenarnya				
mm ²	mm ²	n/mm	mm	kg/km	ohm/km
35	34.36	7/2.5	7.50	94	0.958
50	49.48	7/3.0	9	135	0.665
50	45.70	19/1.75	8.75	126	0.724
70	75.55	11.25	11.25	208	0.438
100	99.30	12.75	12.75	272	0.332
150	157.6	16.25	16.25	434	0.21
150	147.1	15.75	15.75	406	0.225
240	238.8	19/4	20	670	0.137
240	242.5	61/2.25	20.2	657	0.139
300	299.4	61/2.5	22.5	827	0.111
400	431.1	61/3	27	1191	0.077
500	506	61/3.25	29.25	1398	0.66

Untuk menentukan jenis penghantar, harus ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis, seperti tegangan nominalnya, konstruksi (ukuran), dan KHA (kuat hantar arusnya). Konstruksi atau luas penampang dari penghantar juga dapat ditentukan dengan melihat rapat arus nominal suatu penghantar. Penentuan rapat arus ini berhubungan dengan suhu maksimum penghantar. Dan dapat dinyatakan sebagai berikut [15] :

$$S = \frac{I}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan :

S = Rapat Arus (A/mm²)

A = Luas Penampang Kabel (mm²)

I = Arus lewat (A)

Berdasarkan konstruksi dan kuantitasnya juga akan mempengaruhi besarnya nilai hambatan atau resistansi dari penghantar [12].

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (2.2)$$

Keterangan :

R = Nilai Resistansi (Ω)



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

A = Luas Penampang Kabel (m²)

L = Panjang Penghantar (m)

ρ = Resistivitas Bahan (Ω/m)

= 0,175 ohm mm²/m untuk tembaga

= 0,0287 ohm mm²/m untuk aluminium

Secara umum kawat-kawat penghantar terdiri dari kawat pilin untuk menghitung pengaruh dari pilin, panjang kawat dikalikan 1,02 (2% dari faktor koreksi). Tahanan kawat berubah oleh temperatur dalam batas temperature 10°C sampai 100°C, maka tembaga dan aluminium berlaku persamaan.

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1)] \tag{2.3}$$

Keterangan:

R_{t_1} = tahanan pada temperatur t_1

R_{t_2} = tahanan pada temperatur t_2

α_{t_1} = koefisien temperatur dari tahanan pada temperatur t_1 °C

Jadi,

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \tag{2.4}$$

Atau,

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \tag{2.5}$$

Keterangan :

R_{t_2} = tahanan pada temperatur t_2 °C

R_{t_1} = tahanan pada temperatur t_1 °C

T_0 = Temperatur transisi bahan

= 238,5 untuk tembaga dalam °C

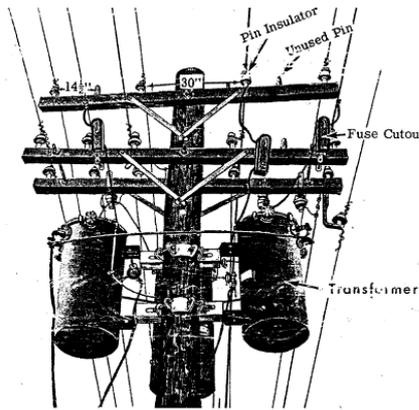
= 288,1 untuk aluminium dalam °C

t_1 = 20°C, suhu terendah pada penghantar telanjang SUTM [10]

= 60°C, suhu tertinggi pada penghantar telanjang SUTM [10]

2.5 Gardu Distribusi

Gardu Distribusi merupakan suatu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan beban dan menghubungkan jaringan ke konsumen atau mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen, baik tegangan menengah maupun tegangan rendah [12].



Gambar 2.4 Konstruksi Gardu Distribusi [12]

Pada Gardu Distribusi terdapat Transformator Distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan rendah atau dikenal dengan trafo penurun tegangan (*step down transformer*), misalnya tegangan 20 kV menjadi 380 v atau 220 v. sedangkan trafo yang digunakan untuk menaikkan tegangan adalah trafo penaik tegangan (*step up transformer*) digunakan pada pusat pembangkit agar tegangan yang akan didistribusikan pada jaringan yang panjang (*long line*) tidak mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*). [12]

2.6 PHB Sisi Tegangan Menengah (PHB-TM)

2.6.1 Pemisah – *Disconnecting Switch (DS)*

Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban [23].

2.6.2 Pemutus beban – *Load Break Switch (LBS)*

Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang kabel masuk atau keluar gardu distribusi. Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS. [23]

2.6.3 Pemutus Tenaga – *Circuit Breaker (CB)*

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam

keadaan normal maupun gangguan hubung singkat [23].

2.7 Karakteristik Beban

Karakteristik beban dibagi menjadi [9]:

a. Karakteristik Beban untuk Industri Besar

Pada Industri besar umumnya bekerja selama 24 jam, sehingga perubahan beban hanya terjadi pada saat jam kerja pagi untuk keperluan kegiatan administrasi.

b. Karakteristik Beban untuk Industri Kecil

Pada industri kecil ini umumnya bekerja hanya pada siang hari,

c. Karakteristik beban Daerah Komersil

Untuk beban daerah komersil beban bervariasi dan beban puncak terjadi antara pukul 17.00 sampai dengan pukul 21.00

Tabel 2.3 Penggolongan tarif tenaga listrik [9]

No.	Kode Tarif	Uraian Pemakaian	Batas Daya
1.	S-1/TR	Untuk keperluan pemakai sangat kecil	s/d 200VA
2.	S-2/TR	Untuk keperluan badan sosial kecil	250VA s/d 2.200VA
3.	S-3/TR	Untuk keperluan badan sosial sedang	2.201VA s/d 200kVA
4.	S-4/TM	Untuk keperluan badan sosial besar	201kVA ke atas
5.	SS-4/TM	Untuk keperluan badan sosial swasta besar yg mengenakan tarif komersil	201kVA ke atas
6.	R-1/TR	Untuk keperluan rumah tangga kecil	250VA s/d 500VA
7.	R-2/TR	Untuk keperluan rumah tangga sedang	501VA s/d 2.200VA
8.	R-3/TR	Untuk keperluan rumah tangga menengah	2.201VA s/d 6.600VA
9.	R-4/TR	Untuk keperluan rumah tangga besar	6.600 VA ke atas
10.	U-1/TR	Untuk keperluan usaha kecil	250VA s/d 2.200VA
11.	U-2/TR	Untuk keperluan usaha sedang	2.201VA s/d 200 kVA
12.	U-3/TM	Untuk keperluan usaha menengah	201 kVA ke atas
13.	U-4/TR	Untuk keperluan sambungan sementara a.l. penerangan pesta (tegangan rendah)	Tergantung permintaan (sesuai kebutuhan)
14.	H-1/TR	Untuk keperluan perhotelan kecil	250VA s/d 99 kVA
15.	H-2/TR	Untuk keperluan perhotelan sedang	100 kVA s/d 200 kVA
16.	H-3/TM	Untuk keperluan perhotelan besar	201 kVA ke atas
17.	I-1/TR	Untuk keperluan industri rumah tangga	450VA s/d 2.200VA
18.	I-2/TR	Untuk keperluan industri kecil	2.201VA s/d 13,9 kVA
19.	I-3/TR	Untuk keperluan industri sedang	14 kVA s/d 200 kVA
20.	I-4/TM	Untuk keperluan industri menengah	201kVA ke atas



21.	I-5/TT	Untuk keperluan industri besar	30.000 kVA ke atas
22.	G-1/TR	Untuk keperluan gedung kantor pemerintah kecil sampai sedang	250VA s/d 200 kVA
23.	G-2/TM	Untuk keperluan gedung kantor pemerintah besar	201kVA ke atas
24.	J/TR	Untuk keperluan penerangan jalan umum	

Catatan: TR = Tegangan Rendah
 TM = Tegangan Menengah
 TT = Tegangan Tinggi

d. Karakteristik Beban Untuk Rumah Tangga

Pemakaian beban untuk pelanggan rumah tangga hampir sama dengan beban untuk komersil, beban puncak terjadi pada pukul 17.00 sampai dengan pukul 21.00. Umumnya pemakaian listrik rumah tangga seperti pada table diatas yaitu dengan tarif R3 dan R4.

e. Karakteristik Beban Untuk Penerangan jalan

Pemakaian beban untuk keperluan penerangan jalan yang tidak memerlukan selama 24 jam, pemakaian keperluan daya listriknya pada penerangan jalan umumnya digunakan mulai pukul 18.00 sampai pukul 06.00.

2.7.1 Faktor Beban

Faktor beban merupakan perbandingan dari nilai kebutuhan rata-rata dengan nilai kebutuhan maksimum. Besarnya faktor beban ditentukan dengan rumus berikut [12]:

$$L_F = \frac{I_{rata-rata}}{I_{puncak}} \tag{2.6}$$

Secara keseluruhan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelayanan distribusi ialah [8]:

a. *Load density* (Kepadatan beban) = $\frac{Besar\ daya}{Luas\ Daerah\ Pelayanan}$ (2.7)

b. *Load Factor* (Faktor beban) = $\frac{Beban\ Rata-rata}{Beban\ Maksimum}$ (2.8)

c. *Demand Factor* (Faktor Kebutuhan) = $\frac{kebutuhan\ beban\ maksimum}{Jumlah\ daya\ yang\ tersedia}$ (2.9)

d. *Diversity Factor* (ketidakserempakan) = $\frac{Jumlah\ beban\ maksimum\ pelanggan}{Beban\ yang\ sesungguhnya\ dari\ seluruhnya}$ (2.10)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



2.8 Susut Daya Pada Jaringan

Secara umum ada 3 hal yang perlu diperhatikan untuk dijaga kualitasnya, yaitu [1]:

- a. Frekuensi (50Hz)
- b. Tegangan (+5% dan -10%)
- c. Keandalan

Susut daya merupakan kehilangan energi pada sektor kelistrikan yang dikatakan sebagai susut energi. Susut adalah jumlah energi yang hilang oleh system yang tidak diserap oleh beban sehingga tidak ditagihkan, dan dianggap energi yang hilang.[1]

$$\text{Rumus susut (total)} = \frac{kWh \text{ Produksi} - kWh \text{ Jual}}{kWh \text{ Produksi}} \quad (2.11)$$

Daya Listrik yang hilang dalam perjalanan baik disaluran transmisi maupun disaluran distribusi disebut dengan rugi-rugi atau losses teknis. Sedangkan losses non teknis lebih banyak disebabkan oleh masalah-masalah yang berkaitan dengan pengukuran pemakaian energi listrik [13].

Susut pada jaringan ditribusi ada 2, yaitu susut teknis dan non teknis. Adapun penyebab terjadinya susut teknis[1] :

- a. Panjang saluran dan luas penampang
- b. Besar penampang penghantar
- c. Kualitas sambungan (connector)
- d. Kebersihan jaringan
- e. Beban tidak seimbang
- f. Pembebanan trafo > 100% (overload)

Sedangkan Penyebab susut daya non teknis antara lain :

- a. Pencurian listrik
- b. Pembacaan meter yang tidak benar
- c. Kesalahan *entry* data *stand* meter
- d. Keterlambatan mutasi pelanggan baru

2.8.1 Susut Daya Teknis

Susut teknis, yaitu energi listrik yang hilang dan tidak dapat disalurkan kepada pelanggan karena disebabkan oleh beberapa faktor teknik.

Rumus susut daya teknis :

$$P = I^2 \cdot R \quad (2.12)$$

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Keterangan :

P = Susut daya pada penghantar (W)

R = Resistansi total penghantar (Ω)

I = Arus beban rata-rata (A)

Rekonfigurasi jaringan distribusi dilakukan untuk meminimisasi daya kompleks sehingga didapatkan persamaan [13] :

$$Loss = R \frac{s}{v} \quad (2.13)$$

Keterangan :

R = Resistansi saluran (Ω)

S = Daya Kompleks (VA)

V = Tegangan (volt)

Dari persamaan di atas dengan menjabarkan daya kompleks maka didapatkan:

$$Loss = R \times \frac{s^2}{p^2 + jQ^2} \quad (2.14)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (watt)

jQ = Daya Reaktif (watt)

Dan untuk susut transformator terdiri dari susut inti besi dan susut tembaga. Besarnya susut inti besi konstan (tidak dipengaruhi pembebanan pada transformator). Besarnya susut tembaga transformator disebabkan resistansi pada kumparan trafo. Rugi-rugi tembaga sebanding dengan kuadrat arus atau kuadrat kVA. Atau rugi-rugi tembaga setengah beban penuh sama dengan seperempat rugi-rugi beban penuh. Besarnya rugi-rugi ini dapat diketahui melalui tes hubung singkat.[13]

Rugi-rugi daya transformator dapat dituliskan dengan persamaan berikut [12]:

Untuk mencari arus nominal pada transformator , maka :

$$I_n = \frac{K_{trans}}{V} (A) \quad (2.15)$$

Tahanan tembaga :

$$R = P_{cu} / I_n^2 (\Omega) \quad (2.16)$$

Susut tembaga :

$$P_{cu} = I^2 R_{cu} \quad (2.17)$$

Susut total transformator :



$$P_{trans} = P_{FE} + P_{cu} \tag{2.18}$$

2.8.2 Susut Daya Non Teknis

Merupakan susut daya yang bukan diakibatkan kesalahan sistem atau teknis, akan tetapi berada pada luar sistem [15].

$$\text{Rumus susut daya non teknis} = \text{Susut daya total} - \text{Susut daya teknis} \tag{2.19}$$

2.9 Daya Listrik

Didalam sistem tenaga listrik, ada 3 jenis daya listrik, yang antara ketiga saling berhubungan dan dipengaruhi oleh besarnya nilai faktor kerja ($\cos \phi$). Sumber listrik arus bolak-balik (AC), memasok daya listrik dalam bentuk daya aktif dan daya reaktif. Daya reaktif ini hanya ada jika bebannya berupa kapasitif atau induktif [13].

2.9.1 Daya Aktif

Daya ini dinyatakan dengan simbol P, dan satuan dari daya aktif ini adalah W atau kW. Besar dari daya aktif ini, dinyatakan dengan rumus [13]:

$$P = V.I \cos \theta \tag{2.20}$$

Keterangan:

- P = Daya Nyata (W)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)
- $\cos \theta$ = Faktor daya

2.9.2 Daya Reaktif

Daya reaktif dinyatakan dengan simbol Q dan satuan dari daya reaktif ini adalah VAR (*Volt Ampere Reaktif*) atau kVAR. Daya ini diperlukan untuk pembentukan medan magnet pada peralatan yang bekerja dengan sistem elektromagnet. [13] daya reaktif dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = V.I \sin \theta \tag{2.21}$$

Keterangan :

- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)
- Q = Daya Reaktif (VAR)
- $\sin \theta$ = Faktor Kerja untuk Daya Reaktif

2.9.3 Daya Semu

Daya semu merupakan daya yang terbentuk dari daya aktif dan reaktif, daya ini disimbolkan dengan S dan satuannya VA. Daya semu merupakan penjumlahan vektor dari daya aktif dan daya reaktif [13].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.22)$$

Atau

$$S = V.I \quad (2.23)$$

Keterangan :

- S = Daya Semu (VA)
- Q = Daya Reaktif (VAR)
- P = Daya Aktif (W)
- I = Arus (A)
- V = Tegangan (V)

2.10 Reaktansi

Reaktansi penghantar untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari induktansi, maka reaktansinya disebut induktif (X_L). Dapat dinyatakan dengan [13] :

$$X_L = 2 \pi f. L \quad (2.24)$$

Keterangan :

- X_L = Reaktansi jaringan (Ω)
- F = Frekuensi (Hz)
- L = Induktansi (H)

2.11 Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)

Jatuh tegangan terjadi karena adanya bagian yang berbeda tegangan didalam suatu sistem daya tersebut dan juga dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan pada ujung penerimaan daya listrik[16].

Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran volt. Besarnya batas jatuh teganga sesuai SPLN no.72 tahun 1987 yaitu +5% dan -10% dari tegangan kerja bagi sistem radial diatas tanah dan sistem simpul [26].

Turunnya tegangan dikarenakan 2 hal[17] :

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- a. I.Rs yaitu rugi-rugi tegangan akibat tahanan pada saluran
 - b. I.X_l yaitu rugi-rugi tegangan akibat reaktansi induktif pada saluran
- Besarnya rugi tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut [17]:

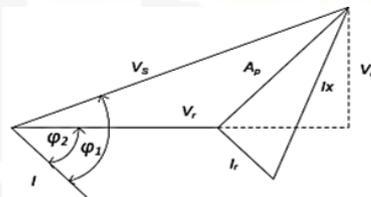
$$\Delta V = I.R \cos \phi + I.X \sin \phi \text{ atau } I s \times (R_s + jX_s)$$

$$\Delta V = I \times Z \tag{2.25}$$

Keterangan :

- ΔV = Jatuh Tegangan (Volt)
- I = Arus yang mengalir (Amper)
- R = Tahanan saluran (Ω)
- X = Reaktansi (Ω)
- ϕ = Sudut dari Faktor Daya Beban
- Z = R + jX Impedansi Saluran

Pada saluran, jatuh tegangan besar arus bolak-balik tergantung dari impedansi saluran serta beban dan faktor daya. Perhitungan jatuh tegangan yang diperlukan tidak hanya untuk menjamin tegangan yang terpasang tetapi juga dapat dipertahankan untuk batasan yang layak. Oleh sebab itu perlu diketahui hubungan fasor antar tegangan dan arus serta reaktansi dan resistansi untuk perhitungan yang akurat [17]



Gambar 2.5 Diagram Fasor hubungan Tegangan dengan R dan X [17]

Rumus jatuh tegangan dan rumus tegangan pada sisi pengiriman (V_s) adalah [19] :

$$V_s = V_r + I R \cos \phi + I X \sin \phi \tag{2.26}$$

$$V_s = V_r + I \times Z \tag{2.27}$$

Keterangan :

- V_s = Tegangan kirim (V)
- V_r = Tegangan terima (V)
- I = Arus yang mengalir (A)
- R = Tahanan Saluran (Ω)
- X = Reaktansi Saluran (Ω)
- ϕ = Sudut dari Faktor Daya Beban

2.12 Studi Aliran Daya

Analisis aliran daya listrik dalam setiap tenaga listrik digunakan untuk menentukan besaran-besaran listrik yang ada pada sistem tenaga listrik, jatuh tegangan, penggunaan beban, hubung singkat, rugi daya, dll. Dalam studi aliran daya perlu sedikit data-data dari generator, transformator, busbar, dan juga beban agar besaran listrik yang lain dapat diketahui [24].

Daya listrik akan selalu menuju ke beban, sehingga disebut aliran daya atau aliran beban. Studi aliran daya listrik sangat diperlukan sebagai perencanaan perluasan sistem tenaga listrik dan juga sebagai dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem tenaga listrik [25].

Ada beberapa metode untuk menyelesaikan studi aliran daya ini, berikut ditampilkan pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Perbedaan Metode Gauss-Seidel, Newton Raphson, dan Fast Decouple [21]

Gauss-Seidel	Newton Raphson	Fast Decouple
Hanya butuh sedikit masukan	butuh banyak nilai masukan dan parameter	butuh banyak nilai masukan dan parameter
pemrograman dan perhitungan relatif mudah	pemrograman dan perhitungan relatif lebih sulit	pemrograman dan perhitungan relatif lebih sulit
sesuai untuk sistem jaringan yang sedikit, lima simpul atau kurang	sesuai untuk sistem jaringan yang banyak, lebih dari lima simpul	sesuai untuk sistem jaringan yang banyak, lebih dari lima simpul
menggunakan teknik iterasi yang relatif singkat	menggunakan teknik <i>first Order Derivative</i>	menggunakan 2 set persamaan, antara sudut tegangan, daya reaktif dan magnitude tegangan
lambat dalam kecepatan perhitungan	cepat dalam perhitungan	cepat dalam perhitungan namun kurang presisi



Pada Penelitian ini menggunakan aliran daya dengan metode gauss-seidel, karena sistem yang digunakan sedikit, kurang dari 5 simpul, dan hanya sedikit masukan yang diperlukan. Perhitungan serta pemrograman pada gauss-seidel relatif lebih mudah dibanding dengan metode yang lain.

2.12.1 Metode Perhitungan Aliran Daya Gauss-Sedel (Metode G-S)

Perhitungan aliran daya dengan metode G-S mempunyai keuntungan-keuntungan [19]:

- (a) Pemrograman dan perhitungan relatif mudah.
- (b) Waktu tiap iterasi singkat
- (c) Sesuai untuk sistem jaringan sedikit, lima simpul atau kurang.

Sedangkan kelemahannya antara lain:

- (a) Pencapaian konvergen lambat.
- (b) Simpul semakin banyak, maka iterasi juga banyak diperlukan. Jumlah iterasi juga akan berubah bila bus referensi diganti dengan bus yang lain.
- (c) Untuk sistem radial tidak dapat mencapai konvergen
- (d) Untuk perhitungan pada sistem jaringan yang banyak tidak sesuai.

Proses perhitungan metode G-S dapat dilakukan dengan bus admitansi (bus Y) atau dengan bus impedansi (bus Z).

Dalam bentuk impedansi, persamaan sistem jaringan tenaga listrik dapat dinyatakan sebagai berikut [20] :

$$E_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (2.28)$$

Keterangan :

E = Tegangan pada bus di jaringan (volt)

Z = Impedansi (Ω)

I = Arus (A)

Penyelesaian aliran dayaan dimulai dengan pembentukan matrik jaringan Z_{bus} . Matrik Z_{bus} untuk jaringan radial dapat disusun dengan menggunakan persamaan [20].

$$Z_{bus} = K z K^t \quad (2.29)$$

Keterangan :

Z_{bus} = Impedansi (Ω)

K = invers matriks

K adalah invers matrik topologi jaringan. Elemen-elemen matrik K dapat diperoleh dengan menggunakan ketentuan-ketentuan sebagai berikut [20]:



- Node referensi dianggap sebagai satu-satunya node sumber.
- Baris menyatakan node, dan kolom menyatakan elemen.
- $k_{ij} = -1$, jika arus yang sampai di node I melewati elemen j.
- $k_{ij} = 0$, jika arus yang sampai di node I tidak melewati node j.

Z adalah matriks diagonal dimana elemen-elemennya adalah impedansi saluran. Jika salah satu bus (node) bukan node tanah dipakai sebagai acuan, maka E_{bus} adalah sebuah vector kolom dimana elemen-elemennya adalah selisih tegangan antara sebuah bus dengan bus acuan. Jika tegangan bus acuan adalah E_r , maka tegangan bus p adalah [20] :

$$E_p = E_r + \sum_{q=1, q \neq r}^n Z_{pq} I_q \quad p = 1, 2, \dots, n \neq r \quad (2.30)$$

Dengan,

$$I_q = \frac{P_q - jQ_q}{E_q} \quad (2.31)$$

Keterangan,

E = tegangan pada bus (volt)

Z = Impedansi (Ω)

I = Arus (A)

j = bentuk imajiner

Q = Daya Reaktif (VAR)

P = Daya Aktif (Watt)

2.12.1 Metode Penyelesaian Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Gauss-Seidel

Berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dibuat langkah-langkah penyelesaian aliran daya metode Gauss-Seidel. Langkah-langkah penyelesaian aliran daya dengan menggunakan metode Gauss-Seidel Z_{bus} adalah sebagai berikut [20]:

- a. Memberikan nilai perkiraan bagi tegangan-tegangan bus.
- b. Menghitung arus-arus bus dengan menggunakan persamaan (2.31)
- c. Menghitung tegangan-tegangan bus dengan menggunakan persamaan (2.30)
- d. Menghitung selisih tegangan yang baru saja diperoleh pada langkah b. dengan menggunakan persamaan [18] :

$$\Delta E_p^k = E_p^{k+1} - E_p^k \quad (2.32)$$

- e. Jika nilai mutlak E_p^k lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan, kemudian lanjut ke langkah e, tetapi jika tidak, kembali ke langkah b.
- f. Tegangan-tegangan bus adalah E_p^{k+1}



Setelah proses iterasi untuk mengetahui tegangan setiap bus selesai, daya yang mengalir pada setiap bus selesai, daya yang mengalir dari setiap saluran dapat dihitung. Arus yang mengalir dari bus p ke bus q adalah [20] :

$$i_{pq} = (E_p - E_q)y_{pq} \quad (2.33)$$

y_{pq} adalah admitansi saluran yang menghubungkan bus p dengan bus q. Daya yang mengalir dari bus p ke bus q adalah [20] :

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* i_{pq} \quad (2.34)$$

Atau,

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* (E_p - E_q)y_{pq} \quad (2.35)$$

Sedangkan daya yang mengalir dari bus q ke bus p adalah [18] :

$$P_{qp} - jQ_{qp} = E_q^* (E_q - E_p)y_{pq} \quad (2.36)$$

Susut daya pada saluran p-q merupakan jumlah aljabar dari persamaan (2.35) dan persamaan (2.36)

2.12.3 Metode Pendekatan Langsung

Tujuan metode aliran daya pendekatan langsung berdasarkan konfigurasi yang sudah dan dengan melihat keadaan beban secara *real time*. Metode pendekatan langsung merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kondisi atau keadaan beban secara *real time* dengan mengacu pada landasan teori. Pada kasus ini, untuk merekonfigurasi jaringan pada penyulang, dilakukan secara berkala dengan melihat langsung keadaan beban pada penyulang. [17]

Di dalam perencanaan perluasan sistem dan rekonfigurasi suatu sistem yaitu dengan melakukan analisis aliran daya ini juga akan dapat diketahui dengan mengetahui kemungkinan dalam hal terjadinya gangguan pada sistem tenaga, misalnya lepas atau hilangnya satu atau lebih sentral pembangkit, saluran transmisi maupun distribusi.

Pada penelitian ini ditekankan metode perhitungan aliran daya Gauss-Sedel. Metode ini masih dianggap sistem yang kapabel dan fleksibel pada sistem tenaga listrik.

2.13 Program ETAP 12.6

ETAP *Power Station* merupakan *software* untuk *power system* yang bekerja berdasarkan perencanaan (*plant/project*). Setiap *plant* harus menyiapkan *modeling* peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. Misalkan generator, transformator, data motor, dan kabel. Sebuah *plant* terdiri



dari beberapa sub-sistem yang membutuhkan komponen khusus dan saling berhubungan

[7].

2.14 Prinsip Dasar Rekonfigurasi

Rekonfigurasi pada sistem distribusi ini secara *radial*, yaitu proses merubah nilai arus maupun impedansi *feeder* atau memindahkan suplai suatu titik beban trafo distribusi dari suatu *feeder* ke *feeder* yang lain. Rekonfigurasi ini dapat merubah parameter dari saluran distribusi. Seperti, impedansi dan arus *feeder*. Akibat dari perubahan kedua parameter tersebut, maka akan turut mengubah dari rugi daya dan jatuh tegangan pada *feeder*. Keseimbangan arus fasa dan keseimbangan arus pada *feeder* serta arus hubung singkat pada ujung *feeder* [10].

Rekonfigurasi pada sistem distribusi ini akan memberikan alternatif perbaikan pada *feeder* dan pada saluran sistem distribusi. Sehingga dapat menentukan konfigurasi dan panjang saluran TM berdasarkan pertimbangan susut daya dan jatuh tegangan. Oleh sebab itu, proses rekonfigurasi ini mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, terutama rugi daya dan jatuh tegangan.

Adapun langkah-langkah dalam melakukan rekonfigurasi adalah :

- a. Menghitung aliran daya pada konfigurasi yang akan direkonfigurasi. Untuk itu bisa dilakukan dengan perhitungan manual maupun dengan *software* yang mendukung. Dalam penelitian ini menggunakan *software* ETAP versi 12.6
- b. Rekonfigurasi dilakukan dengan memindahkan beban-beban *line* pada *feeder* yang berdekatan dengan cara mengubah status LBS (*Load Breaking Switch*) dan mengubah letak posisi dari LBS.
- c. Membandingkan kondisi setelah direkonfigurasi dengan kondisi sebelumnya.
- d. Analisis setiap konfigurasi yang telah direkonfigurasi dengan menghitung kembali susut daya dan jatuh tegangan sehingga didapat nantinya konstruksi jaringan yang lebih optimal.

2.15 Faktor-faktor pada Perencanaan Distribusi

Ada 3 faktor utama dalam perencanaan jaringan sistem distribusi yang sangat penting yang harus diperhatikan yaitu [19]:

- a. Perkiraan beban
- b. Perluasan/pengembangan
- c. Keandalan Sistem

Berdasarkan 3 faktor tersebut maka terdapat beberapa hal yang penting yang akan menentukan dalam perencanaan sistem distribusi antara lain adalah :

- a. Kemudahan modifikasi jaringan
- b. Lokasi dan ukuran gardu distribusi termasuk kapasitas transformator distribusi
- c. Lokasi kapasitor dan regulator
- d. Jenis kawasan yang dilayani gardu (seperti industri, perdagangan, perumahan)
- e. Nilai tegangan dan jatuh tegangan sistem

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

