ANALISA ALIRAN DAYA TERHADAP PERTUMBUHAN BEBAN PER TAHUN DAN USAHA PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA PADA PENYULANG LINTAU GARDU INDUK SALAK

TUGAS AKHIR

Karya Ilmiah sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

Oleh

Yasirwan Adil
1710952005

Pembimbing
Muhammad Nasir Sonni, Ph.D
NIP. 19700820 199803 1 003

Program Studi Sarjana
Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Andalas
2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir

Analisa Aliran Daya terhadap Pertumbuhan Beban Pertahun dan Usaha Perbaikan ProfilTegangan dan Rugi-rugi Daya pada Penyulang Lintau Gardu Induk Salak

Oleh

Yasirwan Adil
1710952005

Departemen Teknik Elektro Fakultas TeknikUniversitas Andalas

Disetujui pada Tanggal : 5 Januari 2023

Pembimbing,

Muhammad Nasir Sonni, Ph.D.
NIP. 19700820 199803 1 003

Mengetahui:
Ketua Departemen Teknik Elektro,

Dr. Eng. Muhammad Ilhamdi Rusydi
NIP. 198205222005011002

HALAMAN PENGHARGAAN

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Allah Swt. dengan segala rahmat serta karunia-Nya yang memberikan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kepada kedua orang tua yang selama ini telah memberi dorongan dan semangat serta kasih sayangnya kepada penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Kepada Muhammad Nasir Sonni, Ph.D selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
4. Ibu Melda Latif, M.T dan Bapak Andi Pawawoi, M.T selaku penguji dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir ini.

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa tugas akhir yang berjudul,

Analisa Aliran Daya Terhadap Pertumbuhan Beban per Tahun dan Usaha Perbaikan Profil Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Penyulang Lintau Gardu Induk Salak,

ditulis untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas. Tugas Akhir ini bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah dipublikasikan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana dilingkungan Universitas Andalas maupun di Perguruan Tinggi atau instansi lainnya.

Padang, 28 Desember 2022

(Yasirwan Adil)
NIM 1710953025

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Yasirwan Adil, Dilahirkan di Piladang pada tanggal 20 Oktober 1998. Anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Eddi Harnum dan Ibu Erlina. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Islam Raudhatul Jannah Payakumbuh pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Islam Raudhatul Jannah Payakumbuh hingga tahun 2013. Pada tahun 2016 penulis menamatkan pendidikan di SMA Islam Raudhatul Jannah. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri, tepatnya di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Judul	Analisa aliran daya terhadap pertumbuhan beban pertahun dan usaha perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang lintau gardu induk Salak.	Yasirwan Adil
Program Studi	Teknik Elektro	1710952005
Fakultas Teknik Universitas Andalas		

Abstrak

Analisa aliran daya dalam sistem tenaga digunakan untuk mendapatkan informasi berupa parameter yang dibutuhkan untuk mengevaluasi kerja sistem dan menganalisa kondisi dari pembangkitan hingga pembebanan. meningkatnya penggunaan energi listrik pada suatu sistem menyebabkan meningkatnya nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha perbaikan aliran daya agar kualitas listrik yang disalurkan ke pelanggan akan lebih baik. Disamping itu perbaikan aliran daya pada sistem distribusi juga dapat mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada proses pendistribusian energi listrik. Ada banyak metode dalam perbaikan aliran daya, pada penelitian ini akan digunakan beberapa metode perbaikan aliran daya yaitu pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang. Usaha perbaikan aliran daya pada penelitian ini dibagi ke dalam beberapa skema meggunakan 3 metode ini beserta variasi gabungan antara 3 metode tersebut. Skema dengan kenaikan persentase rata-rata tegangan paling besar adalah gabungan metode pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang dengan kenaikan persentase rata-rata tegangan sebesar 6,796%. Sedangkan skema yang mengurangi rugi-rugi daya paling besar adalah gabungan metode pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian kabel penyulang dengan nilai rugi-rugi daya sebesar 225 kW.

Kata Kunci: Analisa aliran daya, Tap changer, Kapasitor *bank*, Konduktor

Tittle	*Loadflow analysis on annual load growth and effort to improve the voltage profile and the losses on Lintau feeder Salak substation*	Yasirwan Adil
Mayor	*Electrical Engineering*	1710952005
Engineering Faculty *Andalas University*		

Abstract

Loadflow analysis in power system is used to get the parameters in order to evaluate the work of the system and also to analyze the condition of the system from power plan to load. The increasing use of the electrical energy in a system escalates the value of voltage drop and power losses. Therefore it is necessary to improve the loadflow so that the quality of electricity that supplied to customers will be finer. Furthermore, improving the loadflow in the distribution system might as well reduce the power losses that occur on the process of distributing electrical energy. There are many ways to improve the loadflow, in this research several methods will be used such as setting the tap changer, installing capacitor banks and replacing the conductors. The attempt to improve the loadflow in this research is divided into several schemes by using the combination of these three methods. The scheme with the highest increasement of average voltage pecentage is the one with tap changer setting, installing capacitor bank, and replacing the conductors with increasement of voltage percentage of 6.796%. The scheme with the lowest value of power losses is the one with installing capacitor bank and replacing the conductor with power loss value of 225 kW.

Keyword: *Loadflow analysis, Tap changer, capasitor bank, Conductor*

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI ..... **i**

DAFTAR GAMBAR ..... **iv**

DAFTAR TABEL ..... **v**

DAFTAR ISTILAH ..... **ix**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **viii**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 3

BAB II DASAR TEORI **4**

2.1 Sistem Tenaga Listrik 4
2.2 Sistem Distribusi 4
2.3 Klasifikasi Saluran Distribusi 5
2.3.1 Jaringan Distribusi Primer 5
2.3.2 Jaringan Distribusi Sekunder 7
2.4 Studi Aliran Daya 8
2.5 Daya 9
2.5.1 Daya Aktif 9
2.5.2 Daya Reaktif 10
2.5.3 Daya Semu 10
2.6 Faktor Daya 10
2.7 Jatuh Tegangan 11
2.8 Rugi-rugi daya 12
2.9 Penghantar 13
2.10 *Tap changer* 13
2.11 Kapasitor *bank* 14
2.11.1 Metode penentuan lokasi pemasangan kapasitor bank menggunakan metode jarak 16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **18**

3.1 Rancangan penelitian 18
3.2 Diagram alir penelitian 19

BAB IV HASIL DAN ANALISA 22
4.1 Data Jaringan 22
4.2 Analisa aliran daya pada kondisi awal 26
4.3 Analisa kenaikan beban pertahun 28
4.3.1 Dasar kenaikan beban pertahun 28
4.3.2 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban tahun pada pertama 28
4.3.3 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban tahun kedua 30
4.3.4 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban tahun ketiga 32
4.3.5 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban tahun empat 34
4.3.6 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban pada tahun kelima 36
4.3.7 Analisa aliran daya akibat keanaikan beban pada tahun keenam 38
4.4 Skema-skema perbaikan aliran daya 41
4.4.1 Pengaturan *tap changer* 42
4.4.2 Pemasangan kapasitor *bank* 46
4.4.3 Penggantian konduktor 53
4.4.4 Pengaturan *Tap changer* dan Pemasangan kapasitor *bank* 61
4.4.5 Pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor 63
4.4.6 Pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor 65
4.4.7 Pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor 67
4.5 Perbandingan setiap skema perbaikan aliran daya 69

BAB V PENUTUP 71
5.1 Kesimpulan 71
5.2 Saran 72

Daftar Pustaka 73

LAMPIRAN 75

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kemudahan, kelancaran dan petunjuk bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Analisa Aliran Daya Terhadap Pertumbuhan Beban per Tahun dan Usaha Perbaikan Profil Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Penyulang Lintau Gardu Induk Salak".

Penulis menyadari tugas akhir ini dapat diselesaikan atas bantuan, bimbingan danmotivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muhammad Ilhamdi Rusydi, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Universitas Andalas.
2. Bapak Heru Dibyo Laksono, M.T, selaku Kepala Prodi Strata-1 Departemen Teknik Elektro Univeritas Andalas
3. Bapak Muhammad Nasir Sonni, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan meluangkan waktu dalam membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Melda Latif, M.T dan Bapak Andi Pawawoi, M.T, selaku dosen penguji yang telah mengarahkan penulis dalam penelitian.
5. Kedua orang tua yang telah memberikan dorongan dan semangat serta kasih sayangnya kepada penulis dalam menyusun tugas akhir ini
6. Uda, Uni, Teman-teman, dan adik-adik Asisten Laboratorium Dasar Teknik Elektro (LDTE) yang memberikan dukungan, bantuan dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman angkatan 2017 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas.
8. Seluruh Anggota HMTE-FT UNAND yang telah memberikan pelajaran dan pengalaman kepada penulis.
9. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.Penulis berharap semoga tugas akhir ini bias memberikan manfaat serta menambah pengetahuan dan wawasan bagi semua pihak.

Padang, 28 Desember 2021

Penulis

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jaringan distribusi Primer [5] 5
Gambar 2. 2 Konfigurasi Jaringan distribusi Radial [5] 6
Gambar 2. 3 Konfigurasi Jaringan Loop [5] 7
Gambar 2. 4 Konfigurasi Jaringan Spindel [5] 7
Gambar 2. 5 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder [5] 8
Gambar 2. 6 Segitiga Daya [10] 10
Gambar 2. 7 Diagram fasor transmisi daya ke beban [11] 11
Gambar 2. 8 *Tap changer* (1) Diverter switch (2) Selector switch [7] 14
Gambar 2. 9 Penempatan kapasitor *Bank* menggunakan metode jarak [5] 16
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 19
Gambar 4. 1 Single Line Diagram Penyulang Lintau 23
Gambar 4. 2 Grafik Persentase Rata-rata Tegangan di Penyulang Lintau Tahun 2021-2027 40
Gambar 4. 3 Grafik Rugi-rugi Daya pada Penyulang Lintau tahun 2021-2027 ... 41

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data kapasitas dan beban gardu pada penyulang Lintau 24
Tabel 4. 2 Data panjang kabel dan jenis konduktor yang digunakan pada penyulan Lintau..... 25
Tabel 4. 3 Profil Tegangan Penyulang lintau pada kondisi awal (tahun 2021) 27
Tabel 4. 4 Daya dan faktor daya pada kondisi awal penyulang lintau..... 28
Tabel 4. 5 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun pertama (tahun 2022)..... 29
Tabel 4. 6 Perbandingan tegangan penyulang Lintau tahun 2021 dan 2022 30
Tabel 4. 7 Perbandingan daya pada penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun pertama 30
Tabel 4. 8 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban pada tahun kedua (tahun 2023) 30
Tabel 4. 9 Perbandingan tegagan tahun penyulang Lintau tahun 2021-2023..... 31
Tabel 4. 10 Perbandingan daya pada penyulang lintau tahun 2021-2023 32
Tabel 4. 11 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun ketiga (tahun 2024)..... 32
Tabel 4. 12 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2024 33
Tabel 4. 13 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahu 2021-2024 34
Tabel 4. 14 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun keempat (tahun 2025) 34
Tabel 4. 15 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2024 35
Tabel 4. 16 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahu 2021-2025 35
Tabel 4. 17 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun kelima (tahun 2026)..... 36
Tabel 4. 18 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2026 37
Tabel 4. 19 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahu 2021-2026 38
Tabel 4. 20 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun keenam (tahun 2027)..... 38
Tabel 4. 21 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2027 39
Tabel 4. 22 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahun 2021-2027 40

Tabel 4. 23 Profil tegangan pada penyulang lintau sebelum dan setelah dilakukan pengaturan *tap changer* tahap pertama 42
Tabel 4. 24 Profil tegangan pada penyulang Lintau sebelum dan setelah dilakukan pengaturan tap changer tahap kedua 44
Tabel 4. 25 Perbandingan tegangan dan rugi-rugi daya setelah pengaturan tap changer 46
Tabel 4. 26 Profil tegangan sebulum dan setelah pemasangan 1 buah kapasitor *bank* 47
Tabel 4. 27 Profil tegangan sebelum dan setelah pasang 2 buah kapasitor *bank*.. 49
Tabel 4. 28 Profil tegangan penyulang lintau sebelum dan setelah dipasng 3 buah kapasitor 51
Tabel 4. 29 Perbandingan pemasangan 1, 2 dan 3 buah kapasitor *bank* 53
Tabel 4. 30 Data konduktor AAAC yang digunakan [19] 54
Tabel 4. 31 Profil tegangan penyulang Lintau sebelum dan sesudah mengguankan konduktor AAAC 95 mm^2 54
Tabel 4. 32 Profil tegangan penyulang lintau sebelum dan sesudah menggunakan konduktor AAAC 120 mm^2 56
Tabel 4. 33 Profil tegangan pernyulang lintau sebelum dan sesudah menggunakan konduktor AAAC 150 mm^2 58
Tabel 4. 34 Perbandingan tegangan dan rugi-rugi daya terhadap variasi luas penampang konduktor 60
Tabel 4. 35 Profil tegangan penyulang Lintau sebelum dan setelah dilakukan pengaturan tap changer dan pemasangan kapasitor *bank* 61
Tabel 4. 36 Profil tegangan penyulang Lintau setelah dilakukan pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor. 63
Tabel 4. 37 Profil tegangan penyulang lintau setelah pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor 65
Tabel 4. 38 Profil tegangan Penyulang lintau setelah dilakukan pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor penyulang 67
Tabel 4. 39 Perbandingan Rata-rata tegangan dan rugi-rugi daya seluruh skema perbaikan aliran daya 69

DAFTAR SIMBOL

P	Daya Aktif
Q	Daya reaktif
S	Daya semu
V	Tegangan
I	Arus
Z	Impedansi
Cosφ	Faktor daya

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 75

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

DAFTAR ISTILAH

Tap changer	Mekanisme dalam transformator yang memungkinkan mengubah perbandingan lilitan untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih baik.
Kapasitor *bank*	Kumpulan kapasitor yang tersusun secara paralel yang berfungsi untuk memperbaiki aliran daya pada suatu sistem.
Konduktor	Suatu material yang mudah menghantarkan arus listrik.
Losses	Sejumlah energi listrik yang hilang dalam proses transmisi dan distribusi.
Loadflow analysis	Studi yang dilakukan untuk mengetahui kondisi sistem tenaga listrik dalam keadaan pengoperasian normal.
Voltage drop	Penurunan tegangan listrik pada ujung rangkaian akibat proses transmisi dan distribusi.
Single line diagram	Sebuah diagram yang merepresentasikan komponen-komponen sistem tenaga listrik.
Undervoltage	Gangguan kelistrikan yang terjadi ketika nilai tegangan jatuh melewati nilai tegangan nominal yang diizinkan.

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

DAFTAR SINGKATAN

GI	Gardu Induk
PLN	Perusahaan Listrik Negara
SPLN	Standar Perusahaan Listrik Negara
RUPTL	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
kW	Kilo Watt
kVA	Kilo Volt Ampere
kVAR	Kilo Volt Amper Reaktif
AAAC	*All Alloy Alumunium Conductor*

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem dalam bidang kelistrikan yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke beban atau pelanggan. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen yaitu pembangkit, saluran transmisi dan saluran distribusi dimana saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke gardu induk, sedangkan saluran distribusi berfungsi untuk menyalurkan atau mendistribusikan energi listrik dari gardu induk ke pelanggan [1]. Sistem distribusi sendiri terbagi atas dua yaitu, saluran distribusi tegangan menengah yang menggunakan tegangan 20 kV dan sistem distribusi tegangan rendah yang menggunakan tegangan 220/380 V.

Sistem distribusi merupakan bagian yang berhubungan langsung dengan pelanggan oleh sebab itu kualitas listrik yang diterima pelanggan dipengaruhi oleh kondisi jaringan distribusi itu sendiri. Dalam proses pendistribusian akan terjadi *drop* tegangan dan rugi-rugi daya yang disebabkan adanya tahanan pada penghantar. Besar dari *drop* tegangan dan rugi-rugi daya dipengaruhi dari beberapa faktor yaitu panjang saluran, jenis konduktor yang digunakan pada saluran, kapasitas trafo, tipe beban, faktor daya dan jumlah daya yang terpasang serta pemakaian beban-beban induktif yang menyebabkan kebutuhan beban reaktif meningkat.

Meningkatnya usaha di bidang industri yang banyak menggunakan beban yang bersifat induktif menyebabkan kebutuhan daya reaktif meningkat. Peningkatan kebutuhan daya reaktif menyebabkan terjadinya *drop* tegangan yang akan menyebabkan kurang efektif suatu sistem distribusi. Buruknya pendistribusian daya listrik pada suatu sistem distribusi ditinjau dari kualitas tegangan yang diterima konsumen. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk nilai *drop* suatu tegangan menurut Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi adalah -10% dan +5% dari nilai nominal [2].

Berdasarkan data dari PLN UP3 Payakumbuh, PLN UP3 Payakumbuh menyuplai daya ke 222.671 pelanggan pada bulan september 2021 dengan total konsumsi daya perbulan sebesar 29.544.398 kWh dengan susut energi sebesar 5.5%. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) pada tahun 2021 sampai 2030 di proyeksikan 2 skenario pertumbuhan beban di Sumatera Barat dengan tujuan untuk menaikkan permintaan listrik pada tahun-tahun berikutnya. Dua skenario itu adalah skenario optimis dan moderat. Skenario optimis pertumbuhan beban di Sumatera Barat diproyeksikan sebesar

7,62% pertahun sedangkan skenario moderat pertumbuhan beban diproyeksikan sebesar 6,97% pertahun [3].

Semakin bertambahnya beban pada suatu sistem distribusi maka jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem akan semakin bertambah. Untuk mengatasi permasalahan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang semakin bertambah, terdapat beberapa cara untuk memperbaiki *drop* tegangan dan rugi rugi daya pada suatu sistem distribusi, adapun cara yang biasa digunakan adalah dengan memperbesar luas penampang, pelimpahan beban ke penyulang lain, pemasangan *tap changer* dan pemasangan kapasitor *bank*.

Berdasarkan hal tersebut penulis melakukan penelitian dengan mengambil kasus "Analisa aliran daya terhadap pertumbuhan beban pertahun dan usaha perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau gardu induk Salak". Pada penelitian ini akan dianalisa aliran daya terhadap penambahan beban pertahun dan akan dilakukan usaha dalam memperbaiki profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi penyulang Lintau gardu induk Salak. Usaha perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya akan menggunakan 3 metode yaitu penambahan kapasitor *bank*, pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor kabel penyulang. Hasil dari kedua metode akan dianalisa serta dibandingkan untuk mencari metode mana yang lebih baik dalam memperbaiki sistem distribusi pada penyulang Lintau.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana aliran daya pada sistem distribusi 20 kV penyulang Lintau, Gardu Induk Salak pada tahun 2021.
2. Bagaimana aliran daya pada sistem distribusi 20 kV di penyulang Lintau, Gardu Induk Salak setelah terjadi kenaikan beban pertahun.
3. Bagaimana aliran daya pada sistem distribusi 20 kV di penyulang Lintau, Gardu Induk Salak setelah dilakukan perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya dengan metode pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang.

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam menjawab permasalahan di atas, maka perlu beberapa tujuan yang harus dicapai. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 kV GI Salak penyulang Lintau pada tahun 2021.
2. Mengetahui jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 kV penyulang Lintau GI Salak setelah terjadi kenaikan beban pertahun.

3. Mengetahui jatuh tegangan dan rugi-rugi daya setelah dilakukan perbaikan aliran daya menggunakan metode pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batas masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.
2. Simulasi menggunakan sistem distribusi di penyulang Lintau, Gardu Induk Salak.
3. Simulasi tidak memperhatikan keadaan pembebanan pada trafo distribusi.
4. Parameter yang dianalisa yaitu jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai pengaruh pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang dalam perbaikan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun dengan sistematika yang memuat mengenai isi bab-bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini, jenis data yang digunakan, pemodelan, langkah-langkah, komponen dan perangkat yang digunakan dalam literatur dan pengolahan data hasil simulasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini dilakukan analisa serta penjelasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menampilkan data-data yang telah diolah.

BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan yang diperoleh selama penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Untuk keperluan penyediaan energi listrik diperlukan berbagai peralatan listrik yang digunakan untuk mengalirkan daya dari pembangkit ke konsumen. Peralatan ini saling terhubung satu sama lain membertuk sebuah sistem yaitu sistem tenaga listrik

Sistem tenaga lsitrik secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi [1]. Pada sistem pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil, hidro, panas bumi, dan energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi listrik 3 fasa. Melalui trafo *step-up*, energi listrik dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. Peningkatan beban bertujuan untuk mengurangi arus pada saluran transmisi yang artinya dapat mengurangi *losses.*

Setelah energi listrik mencapai pusat beban, tegangan kembali diturunkan menggunakan transformator *step-down* yang terdapat pada gardu induk. Kemudian distribusikan ke beban menggunakan saluran distribusi yang bertegangan menengah atau disebut juga tegangan distribusi primer. Tegangan menengah yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV dan 6 kV. Daya didistribusikan dari gardu induk menuju gardu distribusi.

Setelah daya mencapai gardu distribusi, tegangan diturunkan menjadi tegangan rendah atau disebut juga tenganan distribusi sekunder. Tegangan diturunkan menggunakan trafo *step-down* menjadi 380V/220V. Daya selanjutnya di salurkan ke konsumen menggunakan tegangan rendah [3]. Syarat yang harus dipenuhi pada suatu sistem tenaga listrik yaitu:

- Dapat memenuhi daya yang diperlukan konsumen.
- Tegangan stabil.
- Frekuensi stabil.
- Menyediakan listrik dengan harga wajar.
- Aman, andal dan ramah linkungan.

2.2 Sistem Distribusi

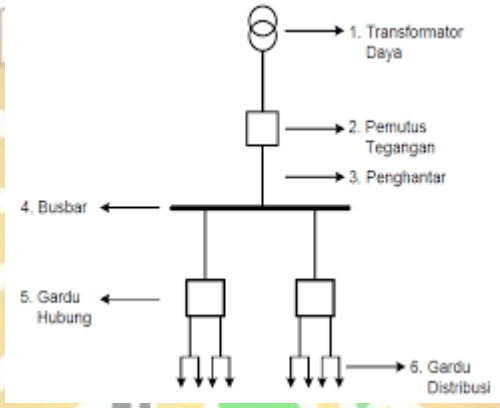
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar sampai ke konsumen. Energi listrik yang disalurkan ke gardu induk (GI) akan diturunkan tegangannya menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer. Umumnya tegangan distrubusi primer yang dipakai adalah 6 kV, 12 kV dan 20 kV. Setelah itu tegangan diturunkan menjadi tegangan rendah 380V/220V yang disalurkan melalui jaringan distribusi sekunder kepada konsumen.

2.3 Klasifikasi Saluran Distribusi

Sistem distribusi terbagi atas 2 bagian, yaitu saluran distribusi primer yang juga dapat disebut saluran distribusi menengah dan saluran distribusi sekunder yang juga dapat disebut jaringan tegangan rendah [5].

2.3.1 Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer atau jaringan tegangan menengah digunakan untuk menghantarkan energi listrik dari gardu induk ke pusat beban dengan menggunakan level tegangan menengah sebesar 20 kV untuk standar tegangan menengah di Indonesia. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara maupun saluran bawah tanah tergantung kondisi lingkungan. Gambar 2.1 berikut merupakan contoh jaringan distribusi primer.



Gambar 2. 1 Jaringan distribusi Primer [5]

Jaringan distribusi primer terdiri dari beberapa komponen [7], yaitu:

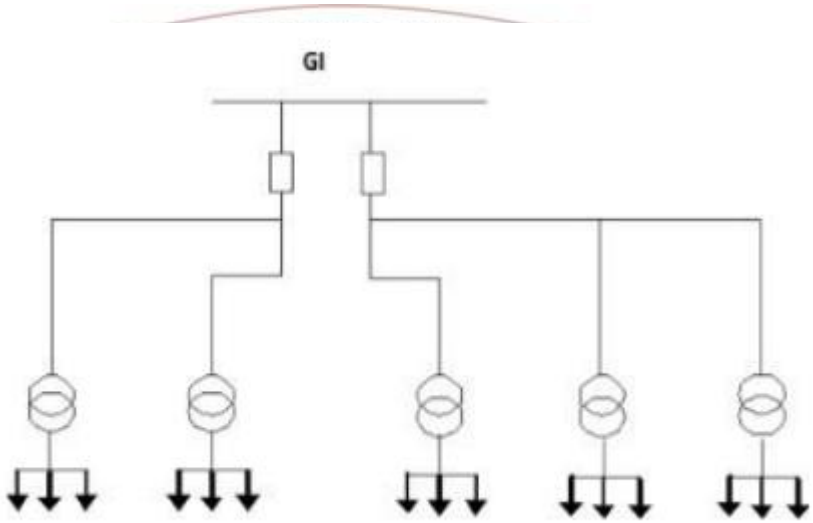
a. Transformator daya, berfungsi sebagai penurun tegangan
b. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pemutus tegangan jika terjadi gangguan.
c. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung antar komponen sistem distribusi.
d. Busbar, berfungsi sebagai titik pertemuan antara trafo daya dan peralatan lain.
e. Gardu hubung, berfungsi mengalirkan daya ke gardu-gardu lain tanpa mengubah tegangan.
f. Gardu distribusi, berfungsi menurunkan tegangan menjadi tegangan rendah.

Pada jaringan distribusi primer terdapat 3 tipe konfigurasi. Diantaranya konfigurasi radial, konfigurasi *loop* dan konfigurasi spindel [7].

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

2.3.1.1 Jaringan Distribusi Radial

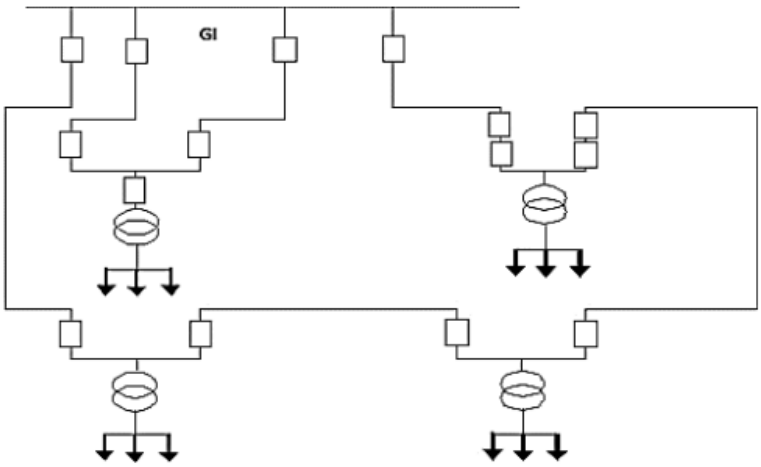
Gambar 2.1 merupakan jaringan distribusi primer tipe radial. Konfigurasi radial merupakan interkoneksi antara gardu distribusi yang saling terhubung seri disuplai oleh sebuah gardu induk. Dalam penyulang tersebut terdapat beberapa gardu distribusi dan satu buah GI yang membuat arah tegangannya hanya satu arah. Konfigurasi ini adalah konfigurasi yang paling sederhana dan mudah pengoperasiannya. Konfigurasi ini mempunyai kelemahan jika GI yang menyuplai daya untuk penyulang mengalami gangguan maka seluruh penyulang akan mengalami pemadaman [7]. Gambar 2.2 berikut merupakan gambar jaringan distribusi radial.



Gambar 2. 2 Konfigurasi Jaringan distribusi Radial [5]

2.3.1.2 Jaringan distribusi *Loop*

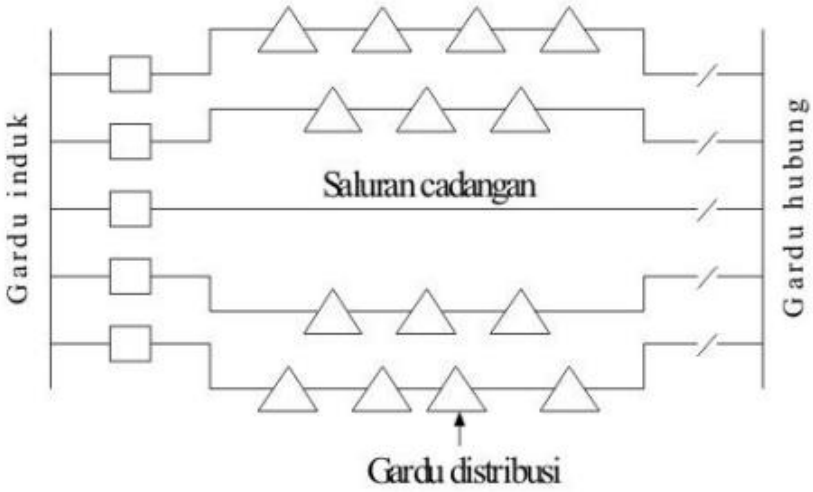
Konfigurasi *loop* merupakan interkonesi antar gardu distribusi yang terhubung membentuk lingkaran tertutup. Konfigurasi ini dapat menggunakan lebih dari satu sumber dari gardu induk. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah ketika satu gardu induk mengalami gangguan penyulang akan tetap mendapat pasokan daya dari gardu induk yang lain tanpa perlu dilakukan pemadaman pada penyulang. Gardu induk yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa perlu dilakukan pemadaman [7]. Gambar 2.3 berikut merupakan gambar konfigurasi jaringan distribusi *loop*.



Gambar 2. 3 Konfigurasi jaringan *loop* [5].

2.3.1.1 Jaringan distribusi Spindel

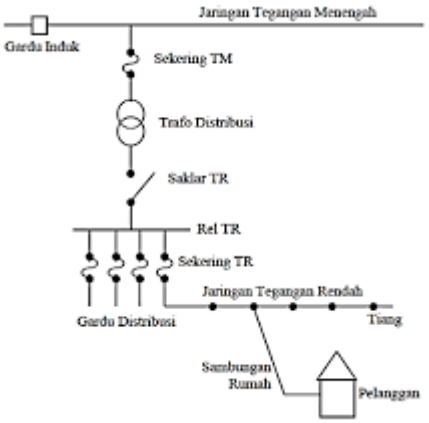
Konfigurasi spindel merupakan interkonesi antar gardu distribusi yang kedua ujungnya dihubungkan oleh busbar gardu induk dan gardu hubung. Pada konfigurasi ini terdapat penyulang ekspres yang berfungsi sebagai penyulang cadangan yang menyuplai daya ke beban deka terjadi gangguan pada salah satu penyulang[6]. Gambar 2.4 berikut merupakan konfigurasi jaringan distribusi jaringan spindel.



Gambar 2. 4 Konfigurasi Jaringan Spindel [5].

2.3.2 Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah berfungsi untuk mengalirkan energi listrik dari gardu distribusi ke konsumen menggunakan level tegangan rendah yang sebesar 220 V untuk satu fasa dan 380 V untuk 3 fasa. Jaringan ini dapat berupa saluran bawah tanah dan saluran udara [5]. Gambar 2.5 berikut merupakan jaringan sistem distribusi sekunder.



Gambar 2. 5 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder [5]

2.4 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan studi yang di berguna untuk mendapatkan informasi tentang aliran daya dalam sebuah sistem tenaga listrik dalam kondisi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi kerja sistem dan menganalisa kondisi dari pembangkitan hingga pembebanan. [9]

Studi aliran daya merukanan studi yang penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dan juga dapat menentukan operasi terbaik pada sistem yang sudah ada. Karna seiring bertambahnya konsumen kebutuhan energi listrik juga akan terjadi kenaikan beban sehingga perlu dilakukan perubahan pada unit-unit pembangkit dan perubahan pada saluran transmisi maupun saluran distribusi.

Studi aliran daya befungsi untuk [9]:

1. Perencanaan dan pengembangan jaringan, studi aliran daya dapat memberi informasi jika ada pembebanan, pembangkit dan jaringan yang baru. Sangat bermanfaat untuk perencanaan suatu sistem baru.
2. Penentuan pembebanan terhadap peralatan sistem listrik, studi aliran daya dapan memberi informasi tentang kondisi pembebanan pada masa yang akan datang akibat perkembangan konsumsi listrik.
3. Penentuan kondisi operasi terbaik sistem tenaga listrik.
4. Memberikan data masukan bagi perhitungan gangguan dan studi stabilitas.

Analisa alran daya memerlukan representasi dan pemodelan komponen sistem tenaga listrik. Seuatu sistem kelistrikan 3 fasa diselesaikan perfasa menggunakan diagram segaris yang menggambarkan sistem tersebut. Dalam diagram segaris terdpat semua informasi yang diperlukan

Masalah dalam studi aliran daya mencangkup perhitungan aliran dan tegangan pada bus tertentu. Dalam sistem aliran daya terdapat 3 jenis bus, yaitu [9]:

1. *Slack* bus atau *swing* bus atau bus referensi.
2. *Voltage controlled* bus atau bus generator.

3. *Load* bus atau bus beban.

Pada setiap bus terdapat 4 besaran, yaitu:

1. Daya aktif (P)
2. Daya reaktif (Q)
3. Harga saklar tegangan (V)
4. Sudut fasa tegangan (θ)

Pada setiap bus hanya 2 macam besaran yang ditentukan, sedangkan besaran yang lain merupakan hasil perhitungan, besaran yang ditentukan pada masing-masing jenis bus adalah [9]:

1. *Slack* bus; harga skalar tegangan dan sudut fasa tegangan
2. *Voltage* bus; daya aktif dan tegangan
3. *Load* bus; daya aktif dan daya reaktif

Untuk menghitung besaran yang tidak ditetapkan pada suatu sistem tenaga listrik dapat dicari menggunakan rumus berikut:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i \quad (2.1)$$

atau

$$\boldsymbol{I_i = \frac{Pi+jQi}{Vi}} \quad (2.2)$$

Dimana P_i = Daya aktif pada bus i
Q_i = Daya reaktif pada bus i
V_i = Tegangan pada bus i
I_i = Arus pada bus i

2.5 Daya

Daya dan energi adalah dua hal yang berbeda; daya listrik merupakan hasil perkalian tegangan dan arus dengan satuan watt sedangkan energi listrik merupakan perkalian daya dan waktu dengan satuan joule/s [10].

$$P = i.v \quad (2.3)$$

Dimana P = Daya (watt)
I = Arus (ampere)
V = Tegangan (v)

pada arus AC, terdapat tiga jenis daya pada beban yang memiliki impedansi, yaitu [10]:

2.5.1 Daya Aktif

Daya aktif atau daya nyata merupakan daya yang dikonsumsi oleh beban resistif. Satuan daya aktif adalah Watt. Persamaan daya aktif sebagai berikut:

$$P = V.I.\cos\varphi \quad (2.4)$$

Dimana P = daya aktif (watt)
V = Tegangan (volt)
I = Arus (ampere)

2.5.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan beban induktif untuk pembentukan medan magnet. Contoh penggunaan daya reaktif adalah pada motor, transformator dan berbagai peralatan yang menggunakan lilitan. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reaktif).

$$Q = V.I.\sin\varphi \qquad (2.6)$$

Dimana Q = Daya reaktif (VAR)
V = Tegangan (volt)
I = Arus (ampere)

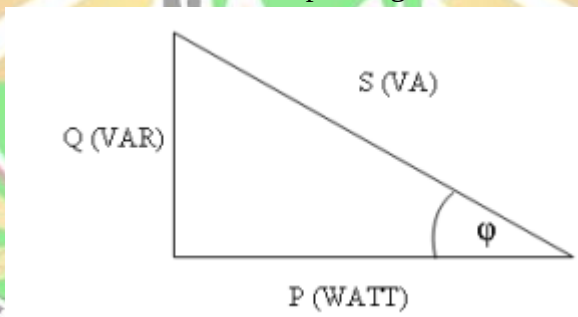
2.5.3 Daya Semu

Daya semu adalah daya dari hasil perkalian Arus dan tegangan. Daya ini juga merupakan penjumlahan dari daya aktif dan daya reaktif secara vektoris. Satuan dari daya ini adalah VA (Volt Ampere).

$$S = V.I \qquad (2.8)$$

Dimana P = Daya aktif (watt)
V = Tegangan (volt)
I = Arus (ampere)

Dari tiga jenis daya di atas yaitu P, Q dan S. terdapat hubungan yang disebut segitiga daya. Gambar 2.6 berikut ini merupakan gambar dari segitiga daya.



Gambar 2. 6 Segitiga Daya [10].

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin besar daya reaktif maka sudut fasa antara daya aktif dan daya semu akan semakin meningkat. Sudut yang ada diantara daya aktif dan daya semu disebut juga faktor daya atau $\cos\varphi$.

2.6 Faktor Daya

Faktor daya atau juga dapat disebut cosφ merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya juga dapat diartikan sebagai perbandingan arus yang dapat menghasilkan kerja dalam suatu rangkaian dengan total arus yang masuk ke dalam rangkaian.

Faktor daya merupakan indikator dalam menilai baik buruknya kualitas daya listrik dalam hal konsumsi daya reaktif. Peningkatan daya reaktif membuat nilai faktor daya semakin kecil. Daya reaktif yang semakin besar menyebabkan

daya semu yang dialirkan ke beban menjadi semakin besar. Hal ini dapat menurunkan efisiensi dari suatu sistem distribusi [11].

Hubungan antara faktor daya dengan daya semu dan daya aktif dapat dilihat di persamaan berikut:

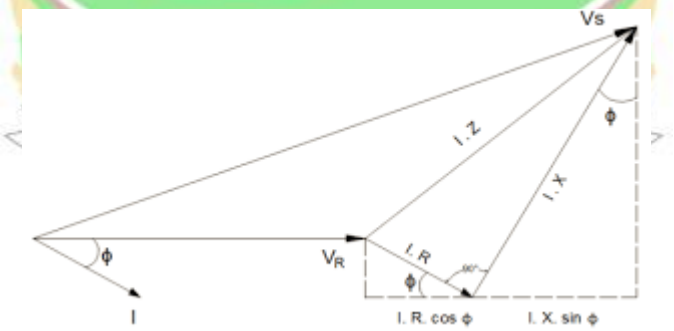
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \tag{2.10}$$

Dimana Cosφ = Faktor daya
P = Daya aktif
S = Daya semu

Faktor daya juga merupakan indikasi tegangan mendahului atau tertinggal dari arus. Efisiensi faktor daya adalah yang bernilai mendekati 1 [12]. Jika faktor daya kecil artinya daya aktif yang digunakan akan menjadi kecil dan daya reaktif yang digunakan akan semakin besar. Jika faktor daya semakin kecil maka akan berdampak pada mutu listrik seperti rugi-rugi daya, jatuh tegangan dan penggunaan daya reaktif yang membesar.

2.7 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan selisih nilai antara tegangan ujung kirim (*sending end*) dan tegangan ujung penerima (*receiving end*) [13]. Jatuh tegangan terjadi akibat pengaruh hambatan dan reaktansi pada saluran, perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan serta besar arus beban. Jatuh tegangan pada saluran bolak balik tergantung pada impedansi, beban dan jarak. besar jatuh tegangan dapat dihitung berdasarkan pada gambar 2.7, diagram fasor tegangan jaringan distribusi [10].



Gambar 2. 7 Diagram fasor transmisi daya ke beban [11].

Penurunan tegangan yang diperbolehkan berdasarkan standar yang dibuat PLN dibeberapa titik jaringan distribusi SUTM = 5% dari tegangan kerja bagi sistem jaringan radial, trafo distribusi = 3% dari tegangan kerja, saluran tegangan rendah = 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban dan sambungan rumah = 1% dari tegangan kerja [2].

Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengaliri tahanan kawat. Tegangan jatuh pada penghantar akan berbanding lurus dengan besar arus yang

memalui penghantar. Tegangan jatuh merupakan penyebab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Adapun persamaan dari tegnagan jatuh adalah sebagai berikut [13] :

$$\Delta V = V_s - V_r \tag{2.11}$$

Dimana ΔV = *drop* tegangan (Volt)
V_s = tegangan pengiriman di sisi sumber (Volt)
V_r = tegangan penerima di sisi beban (Volt)

Untuk megetahui apakah tegangan pada suatu lokasi masih dalam batas standar presentase *drop* pelayanan, maka bisa dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \tag{2.12}$$

Terdapat beberapa faktor yang dapa mempengaruhi besar kecilnya jatuh tegangan yaitu sebagai berikut [14]:

1. Arus terlalu besar
2. Impedansi
3. Beban melebihi kapasitas *supply*

2.8 Rugi-rugi daya

Rugi rugi daya adalah daya listrik yang sampai ke ujung saluran akan berkurang dari pembangkit. Dalam proses pengiriman daya akan melewati beberapa peralatan sehingga ketika daya mencapai beban akan terjadi rugi-rugi daya.

Secara garis besar rugi-rugi daya dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu *non-technical* Losses yang terjadi karena kerusakan pada pemasangan alat atau material kariangan. Dan *technical* Losses yang disebabkan oleh karekteristik alat atau jenis material. Besar rugi-rugi daya pada suatu saluran dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [15] :

$$P\ Loss = 3 \times I^2 R \tag{2.13}$$

Dimana P Loss = Rugi-rugi pada saluran (Watt)
I = Panjang saluran (km)
R = Resistansi saluran per fasa (Ohm)
I = Arus yang mengalir per fasa (Ampere)

2.9 Penghantar

Penghantar merupakan bahan yang digunakan menghantarkan daya listrik pada suatu sistem dari pembangkit ke beban. Pemilihan konduktor yang digunakan pada jaringan bergantung pada besar daya ke beban yang akan di kirimkan. Semakin besar daya yang akan dikirimkan maka ukuran penampang suatu konduktor seharusnya akan semakin besar.

Tahanan jenis merupakan salah satu faktor yang menentukan besar resistansi dalam suatu penghantar, selain itu luas penampang dan panjang kawat juga menjadi faktor yang mempengaruhi besar resistansi suatu penghantar [16]:

$$R = \frac{\rho l}{A} \tag{2.14}$$

Dimana R = Resistansi saluran (Ohm)
ρ = Resistivitas bahan (ohm-meter)
l = Panjang penghantar (meter)
A = Luas penghantar (m^2)

2.10 *Tap changer*

Pengaturan *tap changer* merupakan salah satu cara dalam memperbaiki tegangan dalam sistem distribusi. Dengan menggunakan *tap changer* kita dapat mengatur rasio lilitan primer dan sekunder, dengan itu tegangan sekunder dari suatu trafo dapat stabil sesuai dengan tegangan nominalnya. Hal ini dapat dilihat dengan persemaan berikut [17].

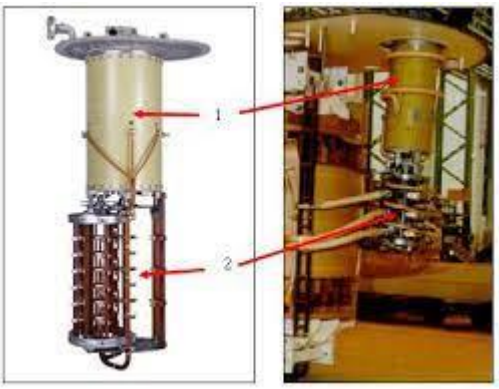
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{2.15}$$

Dimana E_1 = Tegangan pada sisi primer
E_2 = Tegangan pada sisi Sekunder
N_1 = Jumlah lilitan pada sisi primer
N_2 = Jumlah lilitan pada sisi sekunder

Proses perubahan ratio belitan dapat dilakukan saat trafo berbeban (*on load tap changer*) atau ketikan trafo tidak berbeban (*off load tap changer*). Suatu tap changer terdiri dari beberapa komponen, yaitu [7]:

a. Selector switch
b. Diverter Switch
c. Tahanan Transisi

Gambar 2.8 berikut merupakan foto dari tap changer.



Gambar 2. 8 *Tap changer* (1) Diverter switch (2) Selector switch **[7]**

Pengoperasian *tap changer* ada pada panel control dan motor drive unit. Bagian-bagian panel control dan motor drive adalah:

1. Motor ac 3 fasa yang berfungsi untuk menggerakkan mekanik untuk mengganti tap.
2. Kontraktor, ada 3 jenis kontraktor yang digunakan pada panel kontrol yaitu,
   a. Kontraktor utama, berfungsi sebagai *supply* tegangan ke motor tiga fasa dan sebagai *limit switch* ketika tap sudah berada di posisi yang benar
   b. Kontraktor kedua dan ketiga, berfungsi sebagai pembalik fasa untuk mengubah arah motor kiri atau kekanan.
3. MCB, berfungsi untuk megamankan alat dari jumlah arus yang besar.
4. Display mekanik *counter* dan posisi tap, berfungsi sebagai penampil untuk menunjukkan kondisi *tap changer* saat bekerja.
5. *Selector switch*, digunakan untuk memilih jenis pengontrolan *remote* atau local. Pengontrolan *remote* dilakukan melalui panel pada gardu induk, dan pengontrolan local dilakukan langsung di trafo.
6. Engkol manual, berfungsi untuk memindahkan tap secara manual.

Tap changer ada yang dapat dilakukan pengaturan ketika berbeban dan ketika tidak berbeban. Berikut ini jenis tap trafo berdasarkan ada atau tidaknya pembebanan [7]:

1. *Offload Tap changer*, dapat bekerja ketika sekitranya tidak ada pembebanan sehingga ketika pengoperasian akan terjadi pemadaman disekitar daerah kerja trafo.
2. *Onload Tap changer*, dapat bekerja pada saat kondisi pembebanan sehingga ketika pengoperasian tidak diperlukan pemadaman.

2.11 Kapasitor *Bank*

Kapasitor *Bank* adalah komponen yang dipasang pada suatu sistem untuk memperbaiki kualitas daya listrik seperti memperbaiki tegangan, meningkatkan

faktor daya dan mengurangi rugi-rugi. Kapasitor *Bank* tersusun dari beberapa kapasitor yang di pasang paralel untuk mendapatkan kapasitansi tertentu [5].

Pemasangan kapasitor juga akan memberi pengaruh berbeda pada jaringan, ada 2 cara pemansangan kapasitor pada sebuah jaringan [12]:

1. Kapasitor Paralel (shunt)

   Kapasitor shunt adalah kapasitor yang dipasasng paralel dengan saluran distribusi yang bertujuan untuk memasok daya reaktif untuk beban induktif.

2. Kapasitor Seri

   Kapasitor yang dihubungkan seri dengan impedansi, maka kapasitor akan berperan sebagai impedansi negatif sehingga akan menekan jauh *drop* tegangan yang diakibatkan oleh reaksi induktif dari suatu sistem. Pemasangan kapasitor secara seri akan menaikan tegangan dan juga dapat memeperbaiki faktor daya.

Untuk memperbaiki *drop* tegangan, kapasitor berperan untuk mengkompenasi daya reaktif yang akan meningkatkan level tegangan jaringan. Persamaan *drop* tegangan dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$\Delta V = I(R.\cos\varphi + X\sin\varphi) \quad (2.16)$$

Dimana I = Arus beban (Ampere)
R = Tahanan Rangkaian (Ohm)
X = Reaktansi rangkaian (Ohm)

Dari persamaan, nilai jatuh tegangan bergantung pada beberapa faktor, yaitu daya aktif, dan impedansi. Pengaturan daya aktif berkaitan dengan frequensi sistem, sedangkan daya reaktif berkaiatan dengan tegangan pada sistem.

Untuk memperbaiki faktor daya kapasitor dipasang secara paralel yang nantinya akan berperan sebagai penyuplai daya reaktif, oleh karena itu pemakaian daya reaktif pada suatu sistem akan berkurang.

Faktor daya sebelum diperbaiki:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P}{S} \quad (2.17)$$

atau

$$\tan\varphi_1 = \frac{Q}{P} \quad (2.18)$$

Faktor daya yang diinginkan:

$$\cos\varphi_2 = \frac{P}{S} \quad (2.19)$$

atau

$$\tan\varphi_2 = \frac{Q}{P} \quad (2.20)$$

Jadi besar nilai kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$Q_c = P(\tan\varphi_1 + \tan\varphi_2) \quad (2.21)$$

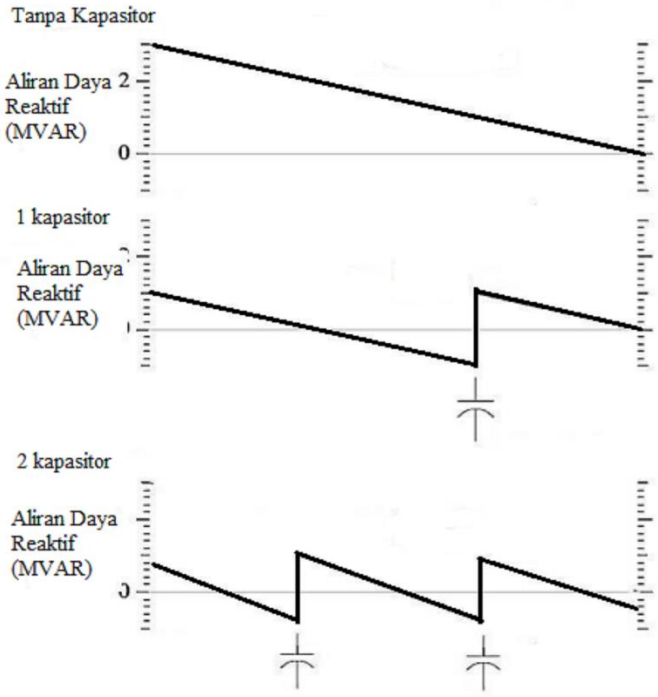
$$Qc = Q_1 - Q_2 \quad (2.22)$$

2.11.1 Metode penentuan lokasi pemasangan kapasitor bank menggunakan metode jarak

Pemasangan kapasitor *Bank* pada sistem bertujuan untuk memperbaiki faktor daya pada sistem itu sendiri. Lokasi paling optimal dalam penempatan kapasitor *Bank* adalah pada lokasi yang mendekati pusat beban pada suatu sistem. Namun pada kenyataannya pola konsumen pada setiap sistem bervariasi. Oleh sebab itu dalam menentukan pusat beban pada suatu sistem perlu dilakukan pendekatan untuk mengidentifikasi letak pusat beban pada suatu sistem distribusi. Ada banyak metode yang dapat dilakukan dalam mengetahui pusat beban, salah satunya adalah teori metode jarak [5].

Metode jarak atau bisa disebut "2/3 rule" dikembangkan oleh neagle dan samson agar distribusi daya reaktif yang dihasilkan kapasitor *bank* bisa merata ke seluruh beban. Berdasarkan teori ini penempatan kapasitor *bank* yang optimal adalah pada jarak 2/3 dari gardu ke ujung penyulang. Penempatan ini diangagp optimal karena 1/3 dari panjang penyulang dari sumber akan mendapat suplai daya reaktif dari sumber dan 2/3 panjang jaringan berikutnya daya reaktif akan disuplai oleh kapasitor *bank*.

Untuk penggunaan lebih dari satu kapasitor, penentuan lokasi menggunakan rumus 2n/(2n+1) dimana n adalah jumlah kapasitor *bank* yang dipakai. Contohnya pada pemasangan 2 buah kapasitor *bank*, berdasarkan teori metode jarak, kapasitor *bank* yang optimal berada pada jarak 2/5 dan 4/5 dari panjang penyulang.



Gambar 2. 9 Penempatan kapasitor *Bank* menggunakan metode jarak [5].

Gambar 2.9 menjelaskan bahwa tanpa menggunakan kapasitor *bank* daya reaktif yang disuplai sumber akan Terus berkurang hingga tidak bisa menyuplai daya reaktif untuk beban yang terletak di ujung penyulang. Sedangkan ketika di tambahkan kapasitor *bank* suplai daya reaktif akan dibantu oleh kapasitor *bank* sehingga pendistribusian daya reaktif akan lebih merata ke seluruh beban pada sistem.

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan penelitian

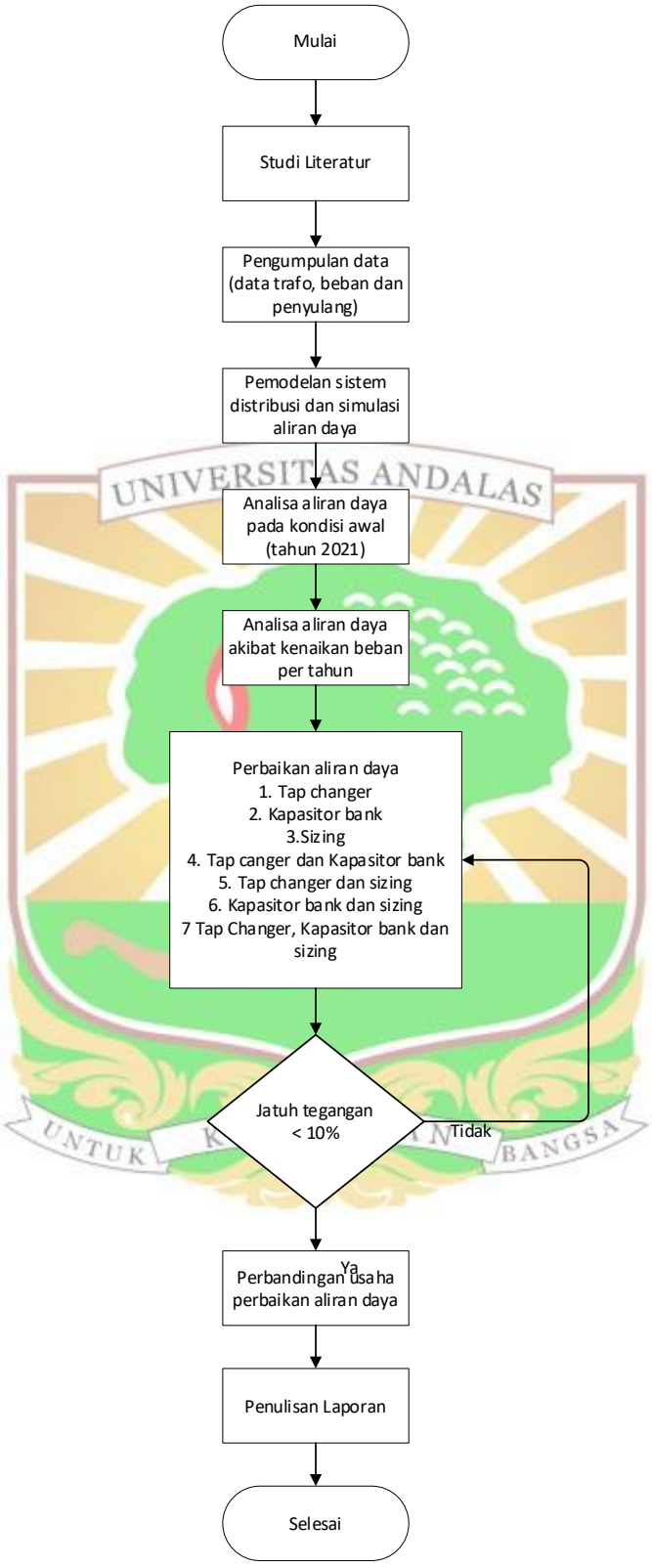
Pada penelitian ini akan dilakukan analisa aliran daya pada sistem distribusi 20 kV penyulang Lintau gardu induk Salak pada tahun 2021, lalu akan dinilai apakah keadaan aliran daya pada kondisi awal penyulang lintau memenuhi syarat yang telah ditetapkan PLN yaitu tegangan pada setiap bus bernilai di atas 90% dan dibawah 110% dari tegangan nominal. Setelah itu akan dilakukan penambahan beban sebesar 7% pertahun hingga total beban pada sistem mencapai nilai 150% dari total beban pada kondisi awal. Penambahan beban pertahun pada sistem akan dinalisia pengaruhnya terhadap kondisi aliran daya pada sistem. Parameter yang akan dianalisa adalah profil tegangan pada level tegangan rendah 380V dan rugi-rugi daya.

Setelah dilakukan analisa kondisi awal dan penambahan beban pertahun, maka akan dipilih satu kondisi yang mengalami drop tegangan paling besar. Pada kondisi tersebut akan dilakukan usaha perbaikan aliran daya menggunakan 3 metode dan gabungan antara ketiga metode tersebut. Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang. Berikut ini adalah skema yang akan disimulasikan pada penelitian ini.

a. Pengaturan *tap changer*.
b. Pemasangan kapasitor *bank.*
c. Penggantian konduktor.
d. Pengaturan *tap changer* dan pemasangan kapasitor *bank* (mengguanakan kondisi terbaik masing masing metode).
e. Pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor (menggunakan kondisi terbaik masing-masing motode).
f. Pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian kabel penyulang (mengguankan kondisi terbaik masing-masing metode).
g. Pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor. (menggunakan kondisi terbaik masing-masing penuyulang)

Dari beberapa skema di atas akan di ambil kesimpulan skema mana yang dapat mengurangi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terbaik dengan syarat setiap bus pada sistem distribusi penyulang lintau memiliki persentase tegangan lebih dari 90%.

3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Diagram alir ini menjelaskan tentang bagaimana jalannya penelitian ini dari awal hingga akhir, dengan uraian sebagai berikut:

1. Penentuan judul

   Berdasarkan permasalahan pada latar belakang maka ditentukan judul yang digunakan yaitu "Analisa aliran daya terhadap pertumbuhan beban pertahun dan usaha perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang lintau gardu induk Salak".

2. Studi literatur

   Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian melalui buku-buku dan jurnal dan mempelajari *software* ETAP 12.6 untuk mendapatkan informasi aliran daya, cara mengatur *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian kondukor kabel penyulang.

3. Pengumpulan data

   Dalam penelitian ini diperlukan data yang mana di dapat dari PT. PLN (Persero) UP3 Payakumbuh. Adapun data-data yang digunakan sebagai berikut:

   a. Data transformator daya.
   b. Data penyulang (panjang penyulang, jenis konduktor pada kabel saluran).
   c. Data pembebanan.

4. Pemodelan diagram segaris dan simulasi aliran daya

   Proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan simulasi pada *software.* Dari data yang telah didapat kemudian dibuat pemodelan diagram segaris menggunakan *software* ETAP 12.6. Diagram segaris yang telah dibuat disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6.

5. Analisa aliran daya pada kondisi awal tahun 2021

   Analisa dilakukan dengan melihat hasil *loadflow* di *loadflow report manager* pada *software* ETAP 12.6. pada langkah ini dapat dilihat pada titik mana saja terjadi *drop* tegangan yang melebihi batas dan besar rugi-rugi daya pada sistem.

6. Analisa aliran daya akibat kenaikan beban pertahun

   Analisa dilakukan untuk mengetahui keadaan sistem akibat kenaikan beban pertahun dengan memperhatikan nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

7. Usaha perbaikan aliran daya

   Simulasi perbaikan aliran daya dilakukan dengan menguji masing masing metode dan gabungan metode yang ada berupa pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang. Pada tahap ini akan didapat nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya di masing-masing skema. Jika pada tahap ini sudah

didapatkan metoda yang memenuhi syarat yaitu nilai jatuh tegangan maka penelitian akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya, jika belum akan dilakukan kembali usaha perbaikan aliran daya.

8. Analisa perbandingan dan kesimpulan

   Hasil yang didapat dari pengaturan *tap changer*, penambahan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang akan dibandingkan sehingga dapat ditarik kesimpulan dari semua analisa.

9. Penulisan laporan

   Pada tahap ini dilakukan penulisan laporan hasil dari penelitian yang telah di laksanakan. Laporan ini berisi hasil simulasi dari berbagai kondisi yang akan diteliti. Data-data yang termasuk kedalam laporan adalah data jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada kondisi awal, kenaikan beban pertahun dan usaha perbaikan daya.

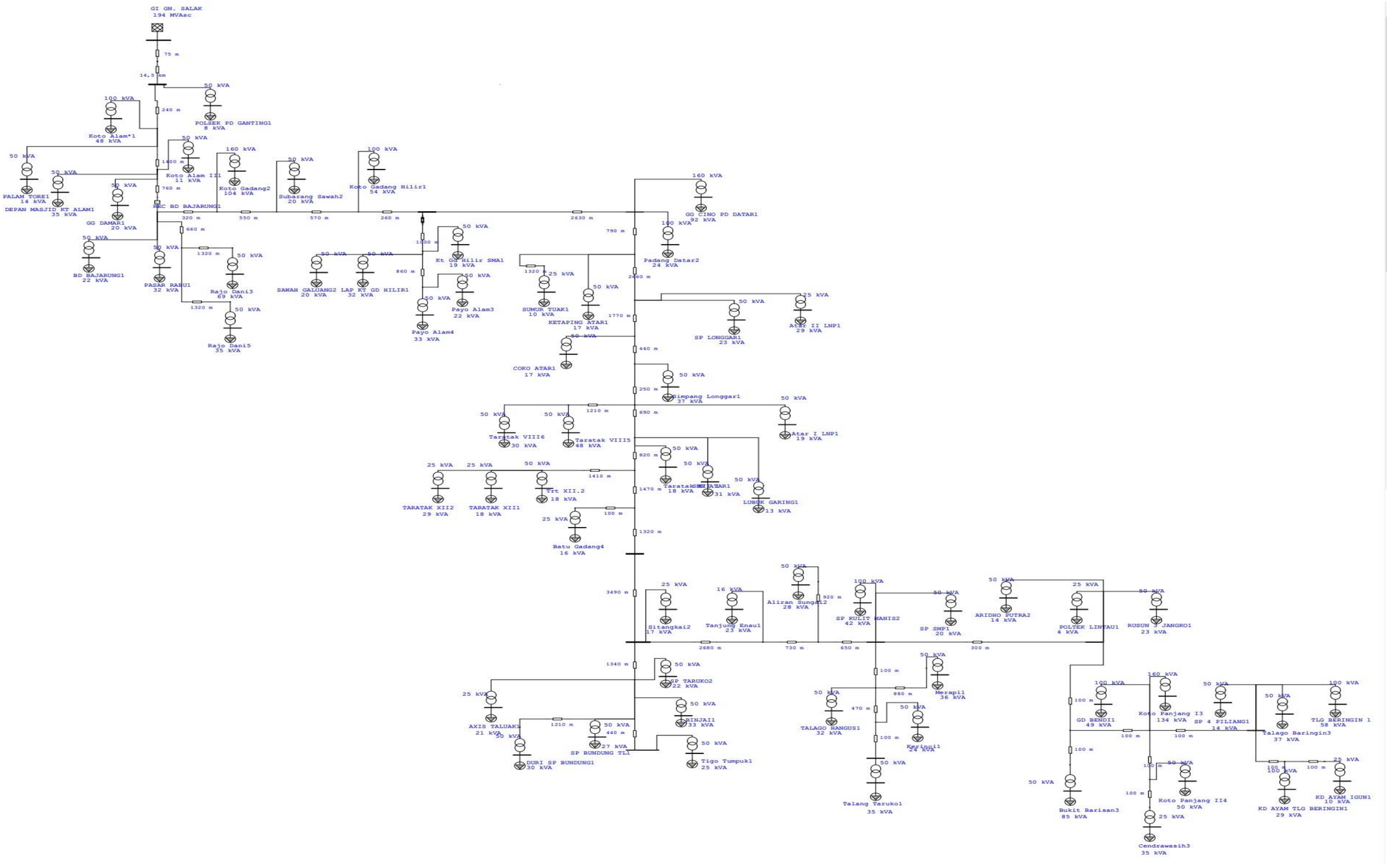
UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Data Jaringan

Jaringan yang menjadi topik dalam penelitian ini adalah jaringan distribusi 20 kV pada gardu induk (GI) Salak yang berlokasi di Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto, Sumatra Barat. Penyulang yang akan digunakan pada penelitian adalah penyulang Lintau. Penyulang ini mendapat pasokan daya dari gardu induk Gunung Salak yang tersambung menggunakan konduktor AAAC berdiameter 95mm^2 sepanjang 14,5 km pada bus Polsek PD ganting 1. Gambar 4.1 merupakan gambar single line diagram dari penyulang Lintau.

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA



Gambar 4. 1. Single line diagram penyulang Lintau

Pada penyulang Lintau terdapat 64 gardu distribusi yang digunakan untuk mendistribusikan daya ke pelanggan. Kapasitas trafo dristribusi, beban dan cos phi beban pada penyulang lintau tahun 2021 dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Data kapasitas dan beban gardu pada penyulang Lintau

No	Gardu	%Pf	Kapasitas (kVA)	Beban (kVA)	% Beban
1	T-G07.LTU	96,0	160	134	83,75
2	T-G08.LTU	96,0	50	22	44
3	T-G08.LTU2	96,0	50	33	66
4	T-G08.LTU3	96,0	50	27	54
5	T-G09.LTU	96,0	50	35	70
6	T-G10.LTU	96,0	50	24	48
7	T-G12.LTU	96,0	100	85	85
8	T-G13.LTU	96,0	50	36	72
9	T-G15.LTU	96,0	50	25	50
10	T-G16.LTU	96,0	25	17	68
11	T-G16.LTU2	96,0	25	4	16
12	T-G17.LTU	96,0	50	28	56
13	T-G17.LTU2	96,0	50	32	64
14	T-G17.LTU3	95,0	50	20	40
15	T-G17.LTU4	96,0	50	14	28
16	T-G17.LTU6	96,0	50	23	46
17	T-G22.LTU	96,0	50	20	40
18	T-G22.LTU2	96,0	50	8	16
19	T-G22.LTU3	96,0	50	35	70
20	T-G22.LTU4	96,0	50	14	28
21	T-G22.LTU5	96,0	50	20	40
22	T-G22.LTU6	85,0	50	22	44
23	T-G22.LTU7	96,0	50	32	64
24	T-G25.LTU	96,0	100	50	50
25	T-G25.LTU4	96,0	100	29	29
26	T-G25.LTU5	96,0	50	14	28
27	T-G26.LTU	96,0	50	35	70
28	T-G27.LTU	96,0	50	37	74
29	T-G56.LTU	96,0	160	104	65
30	T-G56.LTU2	96,0	160	92	57,5
31	T-G57.LTU	96,0	100	48	48
32	T-G58.LTU	95,0	100	54	54
33	T-G59.LTU	96,0	100	24	24
34	T-G59.LTU2	95,0	100	42	42
35	T-G59.LTU4	96,0	100	49	49
36	T-G59.LTU5	95,0	100	58	58
37	T-G59.LTU6	96,0	50	30	60
38	T-G60.LTU	95,0	50	19	38
39	T-G61.LTU	96,0	50	19	38
40	T-G62.LTU	96,0	50	29	58
41	T-G63.LTU	96,0	50	48	96
42	T-G63.LTU2	96,0	50	30	60
43	T-G63.LTU4	96,0	50	31	62
44	T-G63.LTU5	96,0	50	13	26
45	T-G63.LTU7	96,0	50	30	60
46	T-G64.LTU	96,0	50	18	36

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

No	Gardu	%Pf	Kapasitas (kVA)	Beban (kVA)	% Beban
47	T-G65.LTU	96,0	100	69	69
48	T-G65.LTU10	96,0	50	17	34
49	T-G65.LTU2	96,0	50	35	70
50	T-G65.LTU3	96,0	25	10	40
51	T-G65.LTU5	96,0	50	32	64
52	T-G65.LTU6	96,0	50	20	40
53	T-G65.LTU8	96,0	50	17	34
54	T-G65.LTU9	96,0	50	23	46
55	T-G66.LTU	96,0	50	23	46
56	T-G72.LTU	96,0	25	16	64
57	T-G72.LTU2	96,0	25	18	72
58	T-G72.LTU3	96,0	50	29	58
59	T-G72.LTU6	96,0	25	21	84
60	T-G73.LTU	96,0	50	18	36
61	T-G75.LTU	96,0	50	22	44
62	T-G75.LTU2	96,0	50	33	66
63	T-G76.LTU	96,0	50	37	74
64	T-G81.LTU	96,0	50	11	22
Total			**3596**	**2064**	**57,4**

Berdasarkan tabel 4.1 penyulang lintau mendisribusikan daya ke pelanggan dengan total daya sebesar 2 MVA dengan penyulang sepanjang 54,8 km. sebagian besar konduktor yang digunakan penyulang ini adalah konduktor berjenis AAAC (*All Alumuniun Alloy Conductor*) dengan luas penampang 70 mm^2. Data Jenis konduktor dan panjang konduktor pada penyulang Lintau ada pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Data panjang kabel dan jenis konduktor yang digunakan pada penyulan Lintau

No	Dari	Menuju	Panjang Konduktor (m)	Jenis Konduktor	Luas Penampang (mm^2)
1	GI salak	Bus 99	14575	AAAC	95
2	Bus 99	Bus 100	240	AAAC	70
3	Bus 100	Bus 101	1400	AAAC	70
4	Bus 101	Bus 102	760	AAAC	70
5	Bus 102	Bus 105	660	AAAC	70
6	Bus 105	Bus 9	1320	AAAC	70
7	Bus 105	Bus 10	1320	AAAC	70
8	Bus 102	Bus 103	320	AAAC	70
9	Bus 103	Bus 104	550	AAAC	70
10	Bus 104	Bus 106	570	AAAC	70
11	Bus 106	Bus 107	260	AAAC	70
12	Bus 107	Bus 108	1000	AAAC	70
13	Bus 108	Bus 109	860	AAAC	70
14	Bus 107	Bus 107b	420	AAAC	70
15	Bus 107b	Bus 110	2210	AAAC	70
16	Bus 110	Bus 111	790	AAAC	70
17	Bus 111	Bus 112	1320	AAAC	70
18	Bus 111	Bus 113	2660	AAAC	70
19	Bus 113	Bus 114	1770	AAAC	70

No	Dari	Menuju	Panjang Konduktor (m)	Jenis Konduktor	Luas Penampang (mm^2)
20	Bus 114	Bus 115	440	AAAC	70
21	Bus 115	Bus 116	250	AAAC	70
22	Bus 116	Bus 116b	1210	AAAC	70
23	Bus 116	Bus 117	690	AAAC	70
24	Bus 117	Bus 118	820	AAAC	70
25	Bus 118	Bus 119	1410	AAAC	70
26	Bus 118	Bus 120	1470	AAAC	70
27	Bus 120	Bus 120b	100	AAAC	70
28	Bus 120	Bus 121	1340	AAAC	70
29	Bus 121	Bus 122	3490	AAAC	70
30	Bus 122	Bus 123	1340	AAAC	70
31	Bus 123	Bus 124	1210	AAAC	70
32	Bus 123	Bus 125	440	AAAC	70
33	Bus 122	Bus 126	2680	AAAC	70
35	Bus 126	Bus 127	730	AAAC	70
36	Bus 127	Bus 127b	920	AAAC	70
37	Bus 127	Bus 128	650	AAAC	70
38	Bus 128	Bus 129	100	AAAC	70
39	Bus 129	Bus 130	880	AAAC	70
40	Bus 129	Bus 131	470	AAAC	70
41	Bus 131	Bus 132	100	AAAC	70
42	Bus 128	Bus 133	300	AAAC	70
43	Bus 133	Bus 134	100	AAAC	70
44	Bus 134	Bus 135	100	AAAC	70
45	Bus 134	Bus 136	100	AAAC	70
46	Bus 136	Bus 137	100	AAAC	70
47	Bus 137	Bus 137b	100	AAAC	70
48	Bus 136	Bus 138	100	AAAC	70
49	Bus 138	Bus 139	100	AAAC	70
50	Bus 139	Bus 140	100	AAAC	70
	Total		**54845**		

4.2 Analisa aliran daya pada kondisi awal

Analisa aliran daya pada penelitian ini disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6. Kondisi awal penyulang Lintau merupakan kondisi pada tahun 2021. Langkah pertama adalah membuat pemodelan *single line diagram* penyulang Lintau. Langkah selanjutnya *single line diagram* yang telah dibuat lalu diinputkan dengan data-data yang tersedia berupa data trafo, data beban, cos phi beban, jenis konduktor dan panjang kabel. Langkah selanjutnya dengan mer running *single line diagram* dan melihat hasilnya pada *load flow report*. Tabel 4.3 merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan penyulang lintau pada kondisi awal tahun 2021 pada level tegangan rendah 380V.

Tabel 4. 3 Profil Tegangan Penyulang lintau pada kondisi awal (tahun 2021)

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 1	99,585		Bus 34	95,706	
Bus 2	98,693		Bus 35	96,622	
Bus 3	99,208		Bus 36	95,263	
Bus 4	98,974		Bus 37	94,584	
Bus 5	97,737		Bus 38	94,050	
Bus 6	98,512		Bus 39	95,222	
Bus 7	98,206		Bus 40	94,661	
Bus 8	97,690		Bus 41	94,814	
Bus 9	95,746		Bus 42	94,967	
Bus 10	97,519		Bus 43	95,069	
Bus 11	97,776		Bus 44	92,296	
Bus 12	98,104		Bus 45	94,527	
Bus 13	97,615		Bus 46	94,867	
Bus 14	97,913		Bus 47	94,885	
Bus 15	97,282		Bus 48	94,102	
Bus 16	97,899		Bus 49	94,253	
Bus 17	97,791		Bus 50	94,714	
Bus 18	97,225		Bus 51	94,159	
Bus 19	97,105		Bus 52	95,492	
Bus 20	97,795		Bus 53	94,705	
Bus 21	97,393		Bus 54	95,177	
Bus 22	97,237		Bus 55	94,653	
Bus 23	93,891		Bus 56	94,008	
Bus 24	96,602		Bus 57	91,563	
Bus 25	96,601		Bus 58	93,357	
Bus 26	95,505		Bus 59	92,212	
Bus 27	96,383		Bus 60	95,187	
Bus 28	94,826		Bus 61	94,027	
Bus 29	95,746		Bus 62	94,422	
Bus 30	96,366		Bus 63	95,162	
Bus 31	96,354		Bus 64	94,880	
Bus 32	95,369				
Bus 33	94,097		**Rata-rata**	**95,849**	

Berdasarkan tabel 4.3 tegangan pada semua bus di level tegangan rendah 380V berada pada nilai yang masih di anggap baik berdasarkan ketetapan Standar Perusahaan Umum Negara (SPLN) tahun 1989, yaitu nilai tegangan pada sistem masih berada pada rentang -10% sampai dengan +5%. Pada kondisi ini profil tegangan sistem dianggap cukup baik dan tidak diperlukan untuk melakukan perbaikan aliran daya pada sistem ini. Tabel 4.4 menunjukkan hasil simulasi berupa data daya dan faktor daya.

Tabel 4. 4 Daya dan faktor daya pada kondisi awal penyulang lintau

Load-MW	Load-Mvar	Generation-MW	Generation-Mvar	Loss-MW	Loss-MW	PF (%)
1,964	0,678	1,964	0,678	0,128	0,128	94,53

Berdasarkan Tabel 4.4 Total daya yang dipasok oleh sumber ke penyulang lintau adalah sebesar 1,964 MW dan 0,678 Mvar, sedangkan Losses pada sistem adalah sebesar 0,128 MW dan 0,128 Mvar. faktor daya pada sistem adalah sebesar 94,53%.

4.3 Analisa kenaikan beban pertahun

4.3.1 Dasar kenaikan beban pertahun

Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (persero) tahun 2021 tentang perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik di wilayah PLN untuk 10 tahun yang akan datang, dikatakan perkembangan penjualan energi di Sumatera Barat dari tahun 2012 sampai 2020 berkembang dengan presentase sebesar 4,83%. Namun pada tahun 2021 sampai dengan 2030 PLN memproyeksikan 2 kemungkinan pertumbuhan konsumsi listrik di sumatera barat dengan mempertimbangkan pertumbuahan ekonomi yang tertekan pada awal 2020 yang disebabkan pandemi COVID-19. Ada 2 sknerio yang dapat men-*demand drive listrik* yaitu skenario pertama, "optimis" sebesar 7,61% pertahun dan skenario kedua "moderat" sebesar 6,97% pertahun. [16].

Berdasarkan data daya tersambung dari PT. PLN UP3 Payakumbuh pada tahun 2021 yang terdapat pada lampiran 1, pada bulan januari beban yang tersambung sebesar adalah 239,544,240 VA. Persentase pertumbuhan beban sebesar selama setahun adalah sebesar 6,08%. Berdasarkan data pertumbuhan beban di Wilayah Sumatera Barat dan data daya PT. PLN UP3 payakumbuh, maka pada penelitian ini akan diasumsikan pertumbuhan beban pada penyulang Lintau sebesar 7% pertahun.

Pada penelitian ini beban akan dinaikan 7% pertahun hingga beban mencapai nilai 150% dari beban pada kondisi awal, penambahan beban dimulai dari tahun 2022 untuk kenaikan beban tahun pertama sampai tahun 2027 untuk kenaikan beban ke-enam dengan persentase kenaikan berturut-turut 107%, 114,5%, 122,5%, 131%, 140,1% dan 149,9% dari nilai beban pada kondisi awal.

4.3.2 Analisa aliran daya akibat kenaikan bebam tahun pada pertama

Berdasarkan penjelasan pada subbab sebelumnya, pada tahun pertama yaitu tahun 2022, beban pada penyulang lintau akan dinaikan sebesar 7%, beban akan

menjadi sebesar 107% dari beban pada kondisi awal. Tabel 4.5 berikut merupakan hasil simulasi setelah kenaikan beban sebesar 107% dari kondisi awal berupa profil tegangan pada level tegangan rendah 380V di penyulang Lintau.

Tabel 4. 5 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun pertama (tahun 2022)

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 1	99,277		Bus 34	95,090	
Bus 2	98,324		Bus 35	96,068	
Bus 3	98,874		Bus 36	94,568	
Bus 4	98,624		Bus 37	93,842	
Bus 5	97,301		Bus 38	93,272	
Bus 6	98,130		Bus 39	94,524	
Bus 7	97,802		Bus 40	93,925	
Bus 8	97,251		Bus 41	94,089	
Bus 9	95,171		Bus 42	94,252	
Bus 10	97,068		Bus 43	94,361	
Bus 11	97,343		Bus 44	91,397	
Bus 12	97,693		Bus 45	93,783	
Bus 13	97,172		Bus 46	94,143	
Bus 14	97,489		Bus 47	94,164	
Bus 15	96,814		Bus 48	93,327	
Bus 16	97,475		Bus 49	93,490	
Bus 17	97,359		Bus 50	93,981	
Bus 18	96,755		Bus 51	93,389	
Bus 19	96,625		Bus 52	94,811	
Bus 20	97,363		Bus 53	93,972	
Bus 21	96,933		Bus 54	94,475	
Bus 22	96,767		Bus 55	93,915	
Bus 23	93,186		Bus 56	93,225	
Bus 24	96,088		Bus 57	90,501	
Bus 25	96,086		Bus 58	92,531	
Bus 26	94,915		Bus 59	91,306	
Bus 27	95,854		Bus 60	94,486	
Bus 28	94,260		Bus 61	93,248	
Bus 29	95,243		Bus 62	93,668	
Bus 30	95,795		Bus 63	94,459	
Bus 31	95,653		Bus 64	94,157	
Bus 32	94,599				
Bus 33	93,241		**Rata-rata**	**95,234**	

Berdasarkan tabel 4.5 setelah beban dinaikan sebesar sebesar 107% dari kondisi awal, profil tegangan pada sistem masih berada pada rentang nilai tegangan yang masih di toleransi berdasarkan ketetapan PLN. Nilai persentase rata-rata tegangan pada kondisi mengalami penurunan sebesar 0,616% dari keadaan awal

yaitu dari 95,849% menjadi 95,234%. Tabel 4.6 menampilkan perbandingan tegangan pada kondisi awal dan setelah Kenaikan beban tahun pertama.

Tabel 4. 6 Perbandingan tegangan penyulang Lintau tahun 2021 dan 2022

Tahun	Rata-rata tegangan (%)	Penuruan tegangan (%)	Keterangan
2021	95,849	-	
2022	95,234	0,616	

Jika ditinjau dari rugi-rugi daya, pada kenaikan beban pada tahun pertama sistem mengalami rugi-rugi daya sebesar 0,147 MW dan 0,150 Mvar dari total daya dari sumber sebesar 2.096 kW dan 0,734 Mvar. faktor daya pada sistem pada kondisi ini adalah 94,37%. Tabel 4.7 berikut merupakan perbandingan daya pada tahun 2021 dan 2022

Tabel 4. 7 Perbandingan daya pada penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun pertama

Tahun	Load-MW	Load-Mvar	Generation-MW	Generation-Mvar	Loss-MW	Loss-Mvar	PF (%)
2021	1,964	0,678	1,964	0,678	0,128	0,128	94,53
2022	2,096	0,734	2,096	0,734	0,147	0,150	94,39

Berdasarkan tabel 4.7 daya pada tahun 2022 setelah beban dinaikan sebesar 107%, daya dari sumber meningkat sebesar 0,132 MW dan 0,056 Mvar menjadi 2,096 MW dan 0,734 Mvar. rugi-rugi daya pada kondisi ini juga meningkat sebesar 0,019 Mwdan 0,022 Mvar menjadi 0,147 MW dan 0,15 Mvar. faktor daya pada kondisi ini meningkat sebesar 0,14% menjadi 94,39.

4.3.3 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban tahun kedua

Pada tahun kedua beban akan dinaikan sebesar 7% dari nila beban pada satu tahun sebelumnya, artinya beban pada tahun kedua akan dinaikan sebesar 114,5% dari beban pada kondisi awal. Tabel 4.8 berikut merupakan data profil tegangan pada level tegangan 380V setelah beban dinaikan sebesar 114,5% dari kondisi awal.

Tabel 4. 8 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban pada tahun kedua (tahun 2023)

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 1	98,932		Bus 34	94,448	
Bus 2	97,916		Bus 35	95,488	
Bus 3	98,502		Bus 36	93,888	
Bus 4	98,232		Bus 37	93,109	

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 5	96,824		Bus 38	92,502	
Bus 6	97,706		Bus 39	93,834	
Bus 7	97,356		Bus 40	93,197	
Bus 8	96,768		Bus 41	93,373	
Bus 9	94,552		Bus 42	93,545	
Bus 10	96,428		Bus 43	93,661	
Bus 11	96,865		Bus 44	90,504	
Bus 12	97,237		Bus 45	93,042	
Bus 13	96,681		Bus 46	93,423	
Bus 14	97,018		Bus 47	93,446	
Bus 15	96,300		Bus 48	92,556	
Bus 16	97,003		Bus 49	92,731	
Bus 17	96,880		Bus 50	93,251	
Bus 18	96,237		Bus 51	92,623	
Bus 19	96,092		Bus 52	94,133	
Bus 20	96,878		Bus 53	93,242	
Bus 21	96,419		Bus 54	93,777	
Bus 22	96,242		Bus 55	93,180	
Bus 23	92,420		Bus 56	92,446	
Bus 24	95,160		Bus 57	88,963	*Undervoltage*
Bus 25	95,509		Bus 58	91,708	
Bus 26	94,262		Bus 59	90,404	
Bus 27	95,260		Bus 60	93,788	
Bus 28	93,565		Bus 61	92,472	
Bus 29	94,611		Bus 62	92,917	
Bus 30	95,197		Bus 63	93,759	
Bus 31	95,045		Bus 64	93,437	
Bus 32	93,922		**Rata-rata**	**94,584**	
Bus 33	92,478				

Berdasarkan tabel 4.8 setelah beban dinaikan sebesar 114,5% dari beban pada konsisi awal. Pada tahun kedua terjadi penurunan persentase tengangan sebesar 1,266% dari kondisi awal. persentase rata-rata tegangan pada kondisi ini menjadi 94,584%. Pada kondisi ini terdapat 1 bus yang memiliki tenganga dibawah 90% yaitu pada bus 57 sebesar 88,963% dari tegangan nominal 380V. Tabel 4.9 berikut menampilkan perbandingan tegangan dari tahun 2021 sampai 2024.

Tabel 4. 9 Perbandingan tegagan tahun penyulang Lintau tahun 2021-2023

Tahun	Rata-rata tegangan (%)	Penuruan tegangan (%)	Keterangan
2021	95,849	-	
2022	95,234	0,616	
2023	94,584	1,266	1 bus *undervoltage*

Jika ditinjau dari rugi-rugi daya, pada kenaikan beban tahun kedua, sistem mengalami rugi-rugi sebesar 0,169 MW dan 0,177 Mvar dengan total daya dari sumber sebesar 2,243 MW dan 0,798 Mvar. Tabel 4.10 menampilkan perbandingan daya pada penyulang Lintau dari tahun 2021 sampai 2023.

Tabel 4. 10 Perbandingan daya pada penyulang lintau tahun 2021-2023

Tahun	Load-MW	Load-Mvar	Generation-MW	Generation-Mvar	Loss-MW	Loss-Mvar	PF (%)
2021	1,964	0,678	1,964	0,678	0,128	0,128	94,53
2022	2,096	0,734	2,096	0,734	0,147	0,150	94,39
2023	2,243	0,798	2,243	0,798	0,169	0,177	94,22

Berdasarkan tabel 4.10, setelah beban dinaikan sebesar 114,5% rugi-rugi daya pada sistem meningkat sebesar 22 kW dan 27 kvar dari tahun sebelumnya. Faktor daya pada sistem menurun sebesar 0,17% dari tahun sebelumnya menjadi 94,22%.

4.3.4 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban tahun ketiga

Pada tahun ketiga beban akan dinaikan sebesar 7% dari kondisi tahun sebelumnya, maka beban pada tahun ketiga akan menjadi sebesar 122,5% dari beban pada kondisi awal. Tabel 4.11 berikut merupakan profil tegangan level rendah 380V pada penyulang lintau.

Tabel 4. 11 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun ketiga (tahun 2024)

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 1	98,578		Bus 34	93,782	
Bus 2	97,492		Bus 35	94,893	
Bus 3	98,118		Bus 36	93,180	
Bus 4	97,830		Bus 37	92,342	
Bus 5	96,324		Bus 38	91,694	
Bus 6	97,267		Bus 39	93,118	
Bus 7	96,893		Bus 40	92,437	
Bus 8	96,265		Bus 41	92,626	
Bus 9	93,893		Bus 42	92,809	
Bus 10	95,911		Bus 43	92,933	
Bus 11	96,368		Bus 44	89,555	*Undervoltage*
Bus 12	96,766		Bus 45	92,269	
Bus 13	96,172		Bus 46	92,673	
Bus 14	96,532		Bus 47	92,699	
Bus 15	95,764		Bus 48	91,747	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 16	96,516		Bus 49	91,935	
Bus 17	96,385		Bus 50	92,491	
Bus 18	95,697		Bus 51	91,820	
Bus 19	95,542		Bus 52	93,431	
Bus 20	96,382		Bus 53	92,481	
Bus 21	95,891		Bus 54	93,051	
Bus 22	95,702		Bus 55	92,413	
Bus 23	91,612		Bus 56	91,627	
Bus 24	94,922		Bus 57	87,424	*Undervoltage*
Bus 25	94,916		Bus 58	90,841	
Bus 26	93,584		Bus 59	89,444	*Undervoltage*
Bus 27	94,651		Bus 60	93,063	
Bus 28	92,840		Bus 61	91,659	
Bus 29	93,957		Bus 62	92,131	
Bus 30	94,582		Bus 63	93,031	
Bus 31	94,418		Bus 64	92,688	
Bus 32	93,216		**Rata-rata**	**93,921**	
Bus 33	91,674				

Berdasarkan tabel 4.11, setelah beban dinaikan sebesar 122,5% dari kondisi awal terjadi penurunan persentasi rata-rata tegangan menjadi 93,921%. Nilai persentase tegangan rata-rata menurun sebesar 1,298% dari persentase tegangan rata-rata pada kondisi awal dan turun sebesar 0,662% dari persentase tegangan rata-rata dari tahun sebelumnya. Jika ditinjau pada masing-masing bus yang bertegangan 380V, terdapat 3 bus yang mengalami drop tegangan lebih dari 10%. Bus yang mengalami drop tegangan lebih dari 10% adalah bus 44, bus 57 dan bus 59 dengan nilai tegangan berturut-turut 89,555%, 87,424% dan 89,444%. Tabel 4.12 menampilkan perbandingan tegangan pada penyulang lintau dari tahun 2021 sampai 2024.

Tabel 4. 12 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2024

Tahun	Rata-rata tegangan (%)	Penuruan tegangan (%)	Keterangan
2021	95,849	-	
2022	95,234	0,616	
2023	94,584	1,266	1 bus *undervoltage*
2024	93,921	1,928	3 bus *undervoltage*

Jika ditinjau dari rugi-rugi daya, pada kondisi kenaikan beban tahun ketiga terjadi rugi-rugi daya sebesar 193 kW dan 206 kVAR dari total daya dari sumber sebesar 2.391 kW dan 0,864 kvar. tabel 4.13 menampilkan perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahun 2021 sampai 2024.

Tabel 4. 13 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahu 2021-2024

Tahun	Load-MW	Load-Mvar	Generation-MW	Generation-Mvar	Loss-MW	Loss-Mvar	PF (%)
2021	1,964	0,678	1,964	0,678	0,128	0,128	94,53
2022	2,096	0,734	2,096	0,734	0,147	0,150	94,39
2023	2,243	0,798	2,243	0,798	0,169	0,177	94,22
2024	2,391	0,864	2,391	0,864	0,193	0,206	94,05

Berdasarkan tabel 4.13, setelah beban dinaikan sebesar 122,5% rugi-rugi daya pada sistem meningkat sebesar 24 kW dan 29 kvar dari tahun sebelumnya. Faktor daya pada sistem menurun sebesar 0,17% dari tahun sebelumnya menjadi 94,05%.

4.3.5 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban tahun empat

Pada tahun keempat beban akan dinaikan sebesar 7% dari tahun sebelumnya menjadi 131% dari presentase beban pada kondisi awal. tabel 4.14 menampilkan hasil simulasi aliran daya berupa data persentase tegangan pada bus tengan rendah 380V pada penyulang Lintau.

Tabel 4. 14 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun keempat (tahun 2025)

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 1	98,284		Bus 34	93,237	
Bus 2	97,129		Bus 35	94,419	
Bus 3	97,796		Bus 36	92,606	
Bus 4	97,495		Bus 37	91,734	
Bus 5	95,891		Bus 38	91,044	
Bus 6	96,895		Bus 39	92,560	
Bus 7	96,500		Bus 40	91,835	
Bus 8	95,831		Bus 41	92,037	
Bus 9	93,303		Bus 42	92,231	
Bus 10	95,427		Bus 43	92,364	
Bus 11	95,942		Bus 44	88,777	*Undervoltage*
Bus 12	96,369		Bus 45	91,673	
Bus 13	95,739		Bus 46	92,104	
Bus 14	96,124		Bus 47	92,133	
Bus 15	95,305		Bus 48	91,119	
Bus 16	96,106		Bus 49	91,321	
Bus 17	95,967		Bus 50	91,911	
Bus 18	95,234		Bus 51	91,198	
Bus 19	95,081		Bus 52	92,912	
Bus 20	95,975		Bus 53	91,902	
Bus 21	95,456		Bus 54	92,509	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 22	95,255		Bus 55	91,829	
Bus 23	90,907		Bus 56	90,992	
Bus 24	94,436		Bus 57	88,096	*Undervoltage*
Bus 25	94,438		Bus 58	90,156	
Bus 26	93,003		Bus 59	88,667	*Undervoltage*
Bus 27	94,158		Bus 60	92,521	
Bus 28	92,231		Bus 61	91,028	
Bus 29	93,421		Bus 62	91,529	
Bus 30	94,088		Bus 63	92,488	
Bus 31	93,917		Bus 64	92,122	
Bus 32	92,636		**Rata-rata**	**93,412**	
Bus 33	90,994				

Berdasarkan tabel 4.14 setelah beban pada sistem dinaikan sebesar 131% dari beban pada kondisi awal. Persentase rata-rata dari sistem menurun menjadi 93,412% dari tegangan nominal. Sistem mengalami penurunan sebesar 0,509% dari tahun sebelumnya dan pengalami penurunan sebesar 2,437% dari kondisi awal.

Kondisi beban dinaikan sebesar 131% dari kondisi awal menyebabkan 3 bus tegangan rendah pada sistem ini mengalami penurunan tegangan yang melebihi batas toleransi dari ketetapan PLN. Bus yang mengalami penurunan tegangan yang melebihi batas toleransi adalah bus 44 dengan persentase tegangan 88,777%, bus 57 dengan tegangan 88,096% dan bus 59 dengan persentase tegangan 88,667%. Tabel 4.15 berikut menampilkan perbandingan persentase tegangan pada penyulang lintau tahun 2021 sampai 2025

Tabel 4. 15 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2024

Tahun	Rata-rata tegangan (%)	Penuruan tegangan (%)	Keterangan
2021	95,849	-	
2022	95,234	0,616	
2023	94,584	1,266	1 bus *undervoltage*
2024	93,921	1,928	3 bus *undervoltage*
2025	93,412	3,213	3 bus *undervoltage*

Rugi-rugi daya yang terjadi pada kondisi ini adalah sebesar 212 kW dari total daya dari sumber sebesar 2.514 kW. Persentase rugi-rugi daya pada kondisi ini meningkat sebesar 0,341% dari tahun sebelumnya menjadi 8,424%. Tabel 4.16 berikut menampilkan perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang lintau tahun 2021 sampai 2025.

Tabel 4. 16 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahu 2021-2025

Tahun	Load-MW	Load-Mvar	Generation-MW	Generation-Mvar	Loss-MW	Loss-Mvar	PF (%)
2021	1,964	0,678	1,964	0,678	0,128	0,128	94,53
2022	2,096	0,734	2,096	0,734	0,147	0,150	94,39
2023	2,243	0,798	2,243	0,798	0,169	0,177	94,22
2024	2,391	0,864	2,391	0,864	0,193	0,206	94,05
2025	2,514	0,916	2,514	0,916	0,212	0,227	93,95

Berdasarkan tabel 4.16, setelah beban dinaikan sebesar 131% rugi-rugi daya pada sistem meningkat sebesar 18 kW dan 21 kVAR dari tahun sebelumnya. Faktor daya pada sistem menurun sebesar 0,17% dari tahun sebelumnya menjadi 94,22%.

4.3.6 Analisa aliran daya akibat kenaikan beban pada tahun kelima

Pada tahun kelima beban dinaikan sebesar 7% dari kondisi tahun sebelumnya. Beban pada tahun kelima menjadi sebesar 141% dari beban pada kondisi awal. tabel 4.17 menampilkan hasil simulasi jaringan penyulang Lintau pada tahun kelima berupa persentase tegangan pada setiap bus level tegangan rendah 380V.

Tabel 4. 17 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun kelima (tahun 2026)

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 1	97,860		Bus 34	92,445	
Bus 2	96,618		Bus 35	93,715	
Bus 3	97,335		Bus 36	91,767	
Bus 4	97,012		Bus 37	90,834	
Bus 5	95,287		Bus 38	90,091	
Bus 6	96,368		Bus 39	91,722	
Bus 7	95,943		Bus 40	90,942	
Bus 8	95,223		Bus 41	91,161	
Bus 9	92,500		Bus 42	91,368	
Bus 10	94,803		Bus 43	91,511	
Bus 11	95,343		Bus 44	87,654	*undervoltage*
Bus 12	95,804		Bus 45	90,772	
Bus 13	95,127		Bus 46	91,234	
Bus 14	95,541		Bus 47	91,267	
Bus 15	94,660		Bus 48	90,176	
Bus 16	95,521		Bus 49	90,394	
Bus 17	95,372		Bus 50	91,027	
Bus 18	94,584		Bus 51	90,262	
Bus 19	94,420		Bus 52	92,103	
Bus 20	95,383		Bus 53	91,019	
Bus 21	94,825		Bus 54	91,670	
Bus 22	94,608		Bus 55	90,938	

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 23	89,927		Bus 56	90,037	
Bus 24	93,731		Bus 57	87,131	*undervoltage*
Bus 25	93,734		Bus 58	89,140	*undervoltage*
Bus 26	92,212		Bus 59	87,535	*undervoltage*
Bus 27	93,434		Bus 60	91,683	
Bus 28	91,363		Bus 61	90,080	
Bus 29	92,642		Bus 62	90,615	
Bus 30	93,360		Bus 63	91,647	
Bus 31	93,175		Bus 64	91,253	
Bus 32	91,796		**Rata-rata**	**92,636**	
Bus 33	90,031				

Berdasarkan table 4.17 setelah beban dinaikan sebesar 141% dari beban pada kondisi awal persentase rata-rata tegangan menurun sebesar 3,213% dari persentase tegangan pada kondisi awal dan menurun sebesar 0,776% dari tahun sebelumnya. Tegangan pada kondisi ini menjadi sebesar 92,636% dari tegangan nominal yaitu 0.4kV.

Dilihat dari masing masing bus pada level tegangan rendah 380V, terdapat 4 bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10%. Bus yang mengalami drop tegangan adalah bus 44 dengan persentase tegangan 87,654%, bus 57 dengan persentase tegangan 87,131%, bus 58 dengan persentase tegangan 89,140% dan bus 59 dengan persentase tegangan 87,535% dari tegangan nominal. Tabel 4.18 berikut menampilkan perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang Lintau tahun 2021 sampai 2026.

Tabel 4. 18 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2026

Tahun	Rata-rata tegangan (%)	Penuruan tegangan (%)	Keterangan
2021	95,849	-	
2022	95,234	0,616	
2023	94,584	1,266	1 bus *undervoltage*
2024	93,921	1,928	3 bus *undervoltage*
2025	93,412	2,437	3 bus *undervoltage*
2026	92,636	3,213	4 bus *undervoltage*

Rugi-rugi daya yang terjadi pada kondisi ini sebesar 243 kW dari total daya dari sumber sebesar 2.690 kW. Persentase rugi-rugi daya pada kondisi ini naik sebesar 0,610% dari kondisi tahun sebelumnya menjadi 9,034%. Tabel 4.19 berikut menampilkan perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang lintau tahun 2021 sampai 2026.

Tabel 4. 19 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahu 2021-2026

Tahun	Load-MW	Load-Mvar	Generation-MW	Generation-Mvar	Loss-MW	Loss-Mvar	PF (%)
2021	1,964	0,678	1,964	0,678	0,128	0,128	94,53
2022	2,096	0,734	2,096	0,734	0,147	0,150	94,39
2023	2,243	0,798	2,243	0,798	0,169	0,177	94,22
2024	2,391	0,864	2,391	0,864	0,193	0,206	94,05
2025	2,514	0,916	2,514	0,916	0,212	0,227	93,95
2026	2,690	0,997	2,690	0,997	0,243	0,264	93,77

Berdasarkan tabel 4.19, setelah beban dinaikan sebesar 140% rugi-rugi daya pada sistem meningkat sebesar 31 kW dari tahun sebelumnya. Faktor daya pada sistem menurun sebesar 0,18% dari tahun sebelumnya menjadi 93,77%.

4.3.7 Analisa aliran daya akibat keanaikan beban pada tahun ke-enam

Pada tahun keenam beban dinaikan sebesar 7% dari kondisi awal, maka pada tahun keenam beban akan menjadi 149,9% dari besar beban pada kondisi awal. tabel 4.20 menampilkan hasil simulasi jaringan penyulang lintau pada tahun keenam pada setiap bus level tegangan rendah 380V.

Tabel 4. 20 Profil tegangan penyulang Lintau setelah kenaikan beban tahun keenam (tahun 2027)

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 1	97,417		Bus 34	91,610	
Bus 2	96,087		Bus 35	92,968	
Bus 3	96,855		Bus 36	90,880	
Bus 4	96,508		Bus 37	89,877	*Undervoltage*
Bus 5	94,661		Bus 38	89,081	*Undervoltage*
Bus 6	95,819		Bus 39	90,827	
Bus 7	95,364		Bus 40	89,994	*Undervoltage*
Bus 8	94,593		Bus 41	90,229	
Bus 9	91,675		Bus 42	90,449	
Bus 10	94,337		Bus 43	90,602	
Bus 11	94,720		Bus 44	86,470	*Undervoltage*
Bus 12	95,214		Bus 45	89,809	*Undervoltage*
Bus 13	94,489		Bus 46	90,300	
Bus 14	94,931		Bus 47	90,337	
Bus 15	93,988		Bus 48	89,169	*Undervoltage*
Bus 16	94,911		Bus 49	89,405	*Undervoltage*
Bus 17	94,751		Bus 50	90,080	
Bus 18	93,908		Bus 51	89,264	*Undervoltage*
Bus 19	93,729		Bus 52	91,229	
Bus 20	94,759		Bus 53	90,072	
Bus 21	94,162	*Undervoltage*	Bus 54	90,768	

Bus	% Tegangan	Keterangan	Bus	% Tegangan	Keterangan
Bus 22	93,930		Bus 55	89,982	*Undervoltage*
Bus 23	88,909		Bus 56	89,017	*Undervoltage*
Bus 24	92,988		Bus 57	85,375	*Undervoltage*
Bus 25	92,989		Bus 58	88,060	*Undervoltage*
Bus 26	91,361		Bus 59	86,340	*Undervoltage*
Bus 27	92,668		Bus 60	90,780	
Bus 28	90,454		Bus 61	89,068	*Undervoltage*
Bus 29	91,822		Bus 62	89,637	*Undervoltage*
Bus 30	92,588		Bus 63	90,742	
Bus 31	92,389		Bus 64	90,319	
Bus 32	90,911		**Rata-rata**	**91,807**	
Bus 33	89,023				

Berdasarkan tabel 4.20 setelah beban dinaikan sebesar 149,9% dari kondisi awal persentase tegangan rata-rata menurun sebesar 4,007% dari kondisi awal dan menurun sebesar 0,794% dari tahun sebelumnya. Persentase tegangan rata-rata pada kondisi jaringan penyulang Lintau pada tahun kelima adalah sebesar 91,843% dari tegangan nominal 380V.

Ditinjau dari masing-masing bus pada level tegangan rendah 380V, terdapat 17 bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10%. Bus yang mengalami drop tengangan yang melebihi 10% adalah bus 33, bus 37, bus 38, bus 44, bus 45, bus 48, bus 49, bus 51, bus 56, bus 57, bus 58, bus 59, bus 61 dan bus 62 dengan persentase tegangan berturut-turut 89,054%, 89,920%, 89,125%, 86,518%, 89,859%, 89,220%, 89,456%, 89,315%, 89,069%, 86,153%, 88,112%, 86,392%, 89,120% dan 89,689%. Tabel 4.21 berikut menampilkan perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang Lintau tahun 2021 sampai 2026.

Tabel 4. 21 Perbandingan rata-rata tegangan pada penyulang lintau tahun 2021-2027

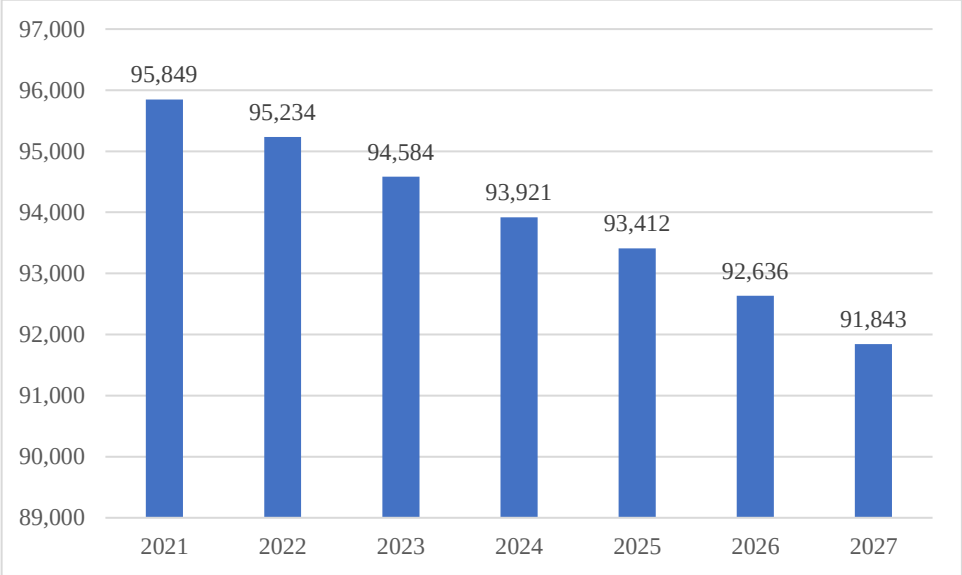
Tahun	Rata-rata tegangan (%)	Penuruan tegangan (%)	Keterangan
2021	95,849	-	
2022	95,234	0,616	
2023	94,584	1,266	1 bus *undervoltage*
2024	93,921	1,928	3 bus *undervoltage*
2025	93,412	2,437	3 bus *undervoltage*
2026	92,636	3,213	4 bus *undervoltage*
2027	91,843	4,007	17 bus *undervoltage*

Rugi-rugi daya yang terjadi pada kondisi ini adalah sebesar 277 kW dari total daya dari sumber sebesar 2.870 kW. Persentase rugi-rugi daya pada kondisi ini meningkat sebesar 0,621% menjadi 9,656%. Tabel 4.22 berikut menampilkan perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang lintau tahun 2021 sampai 2026.

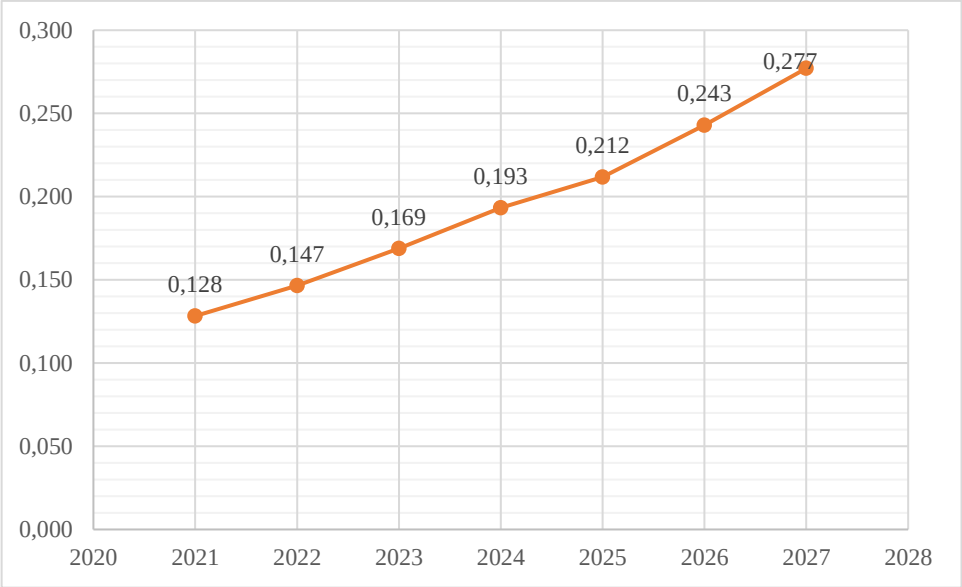
Tabel 4. 22 Perbandingan rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahun 2021-2027

Tahun	Generation (MW)	Generation (Mvar)	Losses (MW)	Losses (%)
2021	1,964	0,678	0,128	6,517
2022	2,096	0,734	0,147	7,013
2023	2,243	0,798	0,169	7,535
2024	2,391	0,864	0,193	8,072
2025	2,514	0,916	0,212	8,433
2026	2,690	0,997	0,243	9,033
2027	2,870	1,081	0,277	9,652

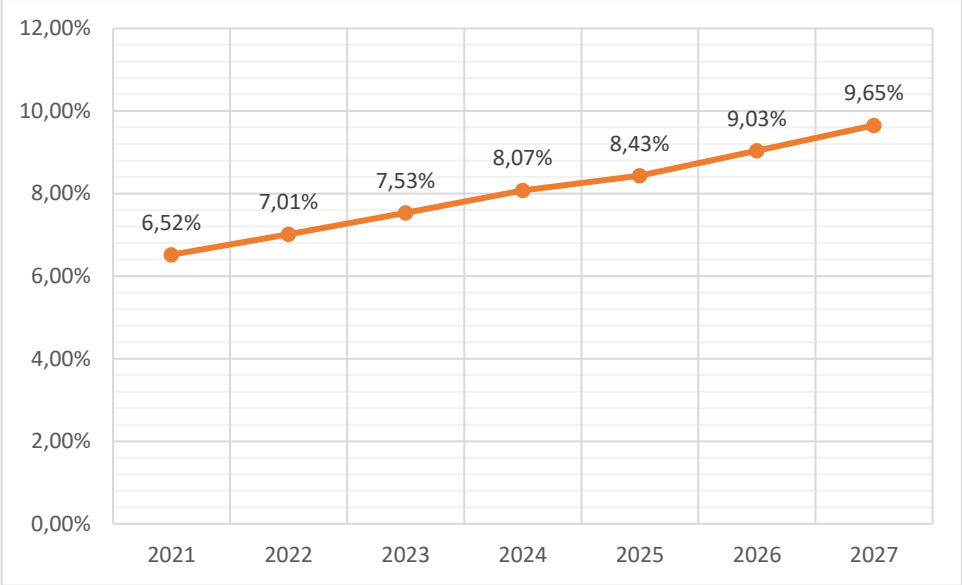
Berdasarkan tabel 4.22, setelah beban dinaikan sebesar 150% rugi-rugi daya pada sistem meningkat sebesar 34 kW dari tahun sebelumnya. Setelah dilakukan simulasi kenaikan beban pertahun hingga tahun keenam, dapat dilihat bahwa nilai persentase drop tegangan dan rugi-rugi daya menurun meningkat setiap tahun. Gambar 4.2 merupakan grafik yamg memperlihatkan penurunan persentase tegangan pada penyulang lintau dari tahun 2021 sampai 2027 dan Gambar 4.3 dan gambar 4.4 merupakan grafik rugi rugi daya dan persentase rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang lintau dari tahun 2021 sampai 2027.



Gambar 4. 2 Grafik persentase rata-tata tegangan di penyulang Lintau tahun 2021-2027



Gambar 4. 3 Grafik rugi-rugi daya pada penyulang Lintau tahun 2021-2027



Gambar 4. 4 Persentase rugi-rugi daya penyulang Lintau tahun 2021-2027

4.4 Skema-skema perbaikan aliran daya

Perbaikan daya akan dilakukan pada kondisi kenaikan beban pada tahun keenam karena pada tahun keenam merupakan kondisi aliran daya pada penyulang lintau yang terburuk dibandingkan tahun yang lain. Pada kondisi kenaikan beban tahun keenam terjadi rata-rata drop tegangan sebesar 8,157% dan rugi-rugi daya sebesar 277 kW. Maka dari itu akan dilakukan usaha untuk memperbaiki aluran daya pada sistem ini.

Penelitian ini menggunakan 3 metode dalam usaha perbaikan aliran daya pada jaringan penyulang Lintau, yaitu menggunakan pengaturan tap trafo, pemasangan kapasitor *bank* dan mengganti konduktor yang dipakai pada kabel penyulang. Penggunakan 3 metode ini dengan cara menerapkan masing masing

metode satu persatu pada sistem yang perlu dilakukan perbaikan untuk mencari kondisi terbaik pada masing masing metode. Setelah didapat kondisi terbaik pada masing-masing metode. Selanjutnya 3 metode ini akan di kombinasikan berdasarkan kondisi terbaik pada masing-masing metode.

Usaha perbaikan daya akan dilakukan dengan beberapa skema yang merupakan variasi dari kombinasi ketiga metode. Berikut adalah skema-skema yang digunakan dalam usaha perbaikan aliran daya pada penelitian ini.

a. Pengaturan *tap changer*.
b. Pemasangan kapasitor *bank*.
c. Mengganti konduktor.
d. Pengaturan *tap changer* dan pemasangan kapasitor *bank* (menggunakan kondisi terbaik pada masing-masing metode).
e. Pengaturan *tap changer* dan mengganti konduktor (menggunakan kondisi terbaik pada masing-masing metode).
f. Pemasangan kapasitor *bank* dan mengganti konduktor kabel penyulang (menggunakan kondisi terbaik pada masing-masing metode).
g. Pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor. (mengguanakan kondisi terbaik pada masing-masing motede)

4.4.1 Pengaturan *tap changer*

Pengaturan tap changer pada penelitian ini dilakukan dalam 2 tahap. Tahap pertama dengan menaikan sebesar 1 tap pada setiap trafo distribusi step down penyulang Lintau kemudian disimulasikan dan di dapat hasil simulasi berupa persentase tegangan dan rugi-rugi daya. Tahap kedua, dengan meninjau hasil simulasi pengaturan *tap changer* pada tahap pertama. Jika masih terdapat bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10% maka trafo *step down* pada bus tersebut akan dinaikan pengaturannya menjadi 2 tap lalu disimulasikan. Jika hasil dari simulasi masih terdapat bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10% maka trafo dengan bus tersebut akan di naikkan menjadi 3 tap, dan akan dilakukan berulang sampai rata -rata tegangan pada setiap bus di atas 90%. Tabel 4.23 berikut merupakan hasil simulasi setelah pengaturan tap changer pada tahap pertama.

Tabel 4. 23 Profil tegangan pada penyulang lintau sebelum dan setelah dilakukan pengaturan *tap changer* tahap pertama

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Tap (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	99,626	2,5	2,209	
Bus 2	96,087	98,216	2,5	2,128	
Bus 3	96,855	99,030	2,5	2,176	
Bus 4	96,508	98,665	2,5	2,156	
Bus 5	94,661	96,707	2,5	2,046	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Tap (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 6	95,819	97,933	2,5	2,115	
Bus 7	95,364	97,452	2,5	2,088	
Bus 8	94,593	96,636	2,5	2,042	
Bus 9	91,675	93,546	2,5	1,871	
Bus 10	94,337	96,365	2,5	2,027	
Bus 11	94,720	96,768	2,5	2,047	
Bus 12	95,214	97,293	2,5	2,080	
Bus 13	94,489	96,524	2,5	2,035	
Bus 14	94,931	96,995	2,5	2,063	
Bus 15	93,988	95,996	2,5	2,007	
Bus 16	94,911	96,973	2,5	2,062	
Bus 17	94,751	96,802	2,5	2,051	
Bus 18	93,908	95,908	2,5	2,000	
Bus 19	93,729	95,720	2,5	1,991	
Bus 20	94,759	96,813	2,5	2,054	
Bus 21	94,162	96,180	2,5	2,019	
Bus 22	93,930	95,935	2,5	2,005	
Bus 23	88,909	90,655	2,5	1,747	
Bus 24	92,989	94,938	2,5	1,950	
Bus 25	91,361	94,940	2,5	1,951	
Bus 26	92,668	93,214	2,5	1,853	
Bus 27	90,454	94,599	2,5	1,931	
Bus 28	91,822	92,250	2,5	1,797	
Bus 29	92,588	93,701	2,5	1,878	
Bus 30	92,389	94,514	2,5	1,926	
Bus 31	90,911	94,305	2,5	1,916	
Bus 32	89,023	92,747	2,5	1,835	
Bus 33	91,610	90,747	2,5	1,724	
Bus 34	92,968	93,476	2,5	1,866	
Bus 35	90,880	94,916	2,5	1,948	
Bus 36	89,877	92,710	2,5	1,830	
Bus 37	89,081	91,648	2,5	1,771	
Bus 38	90,827	90,808	2,5	1,727	
Bus 39	89,994	92,652	2,5	1,825	
Bus 40	90,229	91,770	2,5	1,776	
Bus 41	90,449	92,016	2,5	1,787	
Bus 42	90,602	92,252	2,5	1,803	
Bus 43	86,470	92,413	2,5	1,811	
Bus 44	89,809	88,044	2,5	1,574	*Undervoltage*
Bus 45	90,300	91,572	2,5	1,762	
Bus 46	90,337	92,096	2,5	1,796	
Bus 47	89,169	92,131	2,5	1,794	
Bus 48	89,405	90,897	2,5	1,728	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Tap (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 49	90,080	91,143	2,5	1,738	
Bus 50	89,264	91,860	2,5	1,780	
Bus 51	91,229	90,993	2,5	1,730	
Bus 52	90,072	93,077	2,5	1,849	
Bus 53	90,768	91,850	2,5	1,778	
Bus 54	89,982	92,587	2,5	1,820	
Bus 55	89,017	91,760	2,5	1,778	
Bus 56	85,375	90,736	2,5	1,719	
Bus 57	88,060	86,884	2,5	1,508	*Undervoltage*
Bus 58	86,340	89,723	2,5	1,663	*Undervoltage*
Bus 59	90,780	87,909	2,5	1,569	*Undervoltage*
Bus 60	89,068	92,602	2,5	1,822	
Bus 61	89,637	90,786	2,5	1,718	
Bus 62	90,742	91,395	2,5	1,758	
Bus 63	94,162	92,561	2,5	1,820	
Bus 64	90,319	92,116	2,5	1,797	
Rata-rata	**91,807**	**93,689**		**1,882**	

Berdasarkan tabel 4.23, setelah di lakukan pengaturan tap changer dengan menaikan sebesar 1 tap atau 2,5%, tegangan rata-rata meningkat sebesar 1,882% menjadi 93,689%. Setelah dilakukan pengaturan *tap changer* masih terdapat bus yang mengalami *drop* tegangan melebihi 10%. Bus yang masih mengalami drop tegangan melebihi 10% adalah bus 44, bus 57, bus 58 dan bus 59 dengan persentase tegangan berturut-turut 88,04%, 86,884%, 89,723% dan 87,909%.

Rugi-rugi daya yang ada ketika pengaturan *tap changer* 2,5% adalah sebesar 297 kW dari total daya sebesar 2.962 kW, angka ini meningkat dari kondisi awal. karena pada kondisi ini masih terdapat bus yang memiliki drop tegangan melebihi 10% maka pengaturan tap changer akan dilanjutkan ke tahap 2, yaitu menaikan tap pada tafo yang busnya mengalami *drop* tegangan melebihi 10%. Tabel 4.24 berikut merupakan hasil simulasi pengaturan tap changer tahap dua berupa data persentase tegangan pada setiap bus tegangan 380V.

Tabel 4. 24 Profil tegangan pada penyulang Lintau sebelum dan setelah dilakukan pengaturan tap changer tahap kedua

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Tap (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	99,592	2,5	2,175	
Bus 2	96,087	98,181	2,5	2,094	
Bus 3	96,855	98,996	2,5	2,141	
Bus 4	96,508	98,627	2,5	2,118	
Bus 5	94,661	96,669	2,5	2,008	
Bus 6	95,819	97,896	2,5	2,077	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Tap (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 7	95,364	97,412	2,5	2,048	
Bus 8	94,593	96,596	2,5	2,003	
Bus 9	91,675	93,507	2,5	1,832	
Bus 10	94,337	96,325	2,5	1,988	
Bus 11	94,720	96,727	2,5	2,007	
Bus 12	95,214	97,252	2,5	2,038	
Bus 13	94,489	96,481	2,5	1,992	
Bus 14	94,931	96,951	2,5	2,019	
Bus 15	93,988	95,952	2,5	1,964	
Bus 16	94,911	96,929	2,5	2,018	
Bus 17	94,751	96,758	2,5	2,007	
Bus 18	93,908	95,865	2,5	1,957	
Bus 19	93,729	95,670	2,5	1,941	
Bus 20	94,759	96,763	2,5	2,004	
Bus 21	94,162	96,128	2,5	1,967	
Bus 22	93,930	95,883	2,5	1,953	
Bus 23	88,909	90,597	2,5	1,688	
Bus 24	92,988	94,880	2,5	1,892	
Bus 25	92,989	94,877	2,5	1,888	
Bus 26	91,361	93,151	2,5	1,790	
Bus 27	92,668	94,535	2,5	1,866	
Bus 28	90,454	92,187	2,5	1,733	
Bus 29	91,822	93,636	2,5	1,814	
Bus 30	92,588	94,448	2,5	1,860	
Bus 31	92,389	94,237	2,5	1,848	
Bus 32	90,911	92,679	2,5	1,767	
Bus 33	89,023	90,680	2,5	1,657	
Bus 34	91,610	93,411	2,5	1,800	
Bus 35	92,968	94,850	2,5	1,882	
Bus 36	90,880	92,639	2,5	1,759	
Bus 37	89,877	91,565	2,5	1,688	
Bus 38	89,081	90,726	2,5	1,644	
Bus 39	90,827	92,569	2,5	1,742	
Bus 40	89,994	91,687	2,5	1,693	
Bus 41	90,229	91,933	2,5	1,704	
Bus 42	90,449	92,169	2,5	1,720	
Bus 43	90,602	92,330	2,5	1,728	
Bus 44	86,470	92,315	7,5	5,845	
Bus 45	89,809	91,481	2,5	1,671	
Bus 46	90,300	92,003	2,5	1,703	
Bus 47	90,337	92,039	2,5	1,702	
Bus 48	89,169	90,805	2,5	1,636	
Bus 49	89,405	91,051	2,5	1,646	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Tap (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 50	90,080	91,768	2,5	1,688	
Bus 51	89,264	90,901	2,5	1,638	
Bus 52	91,229	92,984	2,5	1,755	
Bus 53	90,072	91,757	2,5	1,685	
Bus 54	90,768	92,494	2,5	1,727	
Bus 55	89,982	91,667	2,5	1,684	
Bus 56	89,017	90,643	2,5	1,626	
Bus 57	85,375	91,073	7,5	5,698	
Bus 58	88,060	91,679	5	3,619	
Bus 59	86,340	92,178	7,5	5,838	
Bus 60	90,780	92,508	2,5	1,728	
Bus 61	89,068	90,693	2,5	1,625	
Bus 62	89,637	91,302	2,5	1,665	
Bus 63	90,742	92,468	2,5	1,726	
Bus 64	90,319	92,023	2,5	1,703	
Rata-rata	**91,807**	**93,856**		**2,049**	

Berdasarkan tabel 4.24 setelah dilakukan pengaturan *tap changer* tahap kedua dengan menaikan tap changer pada bus yang masih mengalami *drop* tegangan lebih dari 10%, yaitu pada bus 44, bus 57, bus 58 dan bus 59 sebesar 5%. rata-rata persentase tegangan menjadi 93,856% naik sebesar 2,049% dari kondisi sebelum dilakukan pengaturan tap changer. Tegangan pada setiap bus tegangan rendah pada sistem telah melebihi 90%, maka pada kondisi ini sudah dianggap memenuhi syarat untuk perbaikan tegangan.

Rugi-rugi daya pada kondisi ini 301 kW dari total daya yang mengalir dari pembangkit sebesar 2.977 kW yang artinya rugi-rugi daya setelah pengaturan tap changer mengalami kenaikan dari keadaan sebelumnya. Tabel 4.25 berikut merupakan perbandingan rata-rata tegangan dan rugi-rugi daya setelah dilakukan pengaturan *tap changer* tahap pertama dan tahap kedua.

Tabel 4. 25 Perbandingan tegangan dan rugi-rugi daya setelah pengaturan tap changer

Tahap	Rata-rata tegangan (%)	Rata-rata Kenaikan Tegangan (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Rugi-rugi daya (%)	Keterangan
1	93,689	1,882	297	10,027	4 bus *undervoltage*
2	93,856	2,049	301	10,111	-

4.4.2 Pemasangan kapasitor bank

Pemasangan kapasitor *bank* pada penelitian ini akan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu dengan menggunakan 1 kapasitor *bank*, 2 kapsitor *bank* dan 3 kapasitor *bank*. Kapasitor *bank* akan dipasang pada salah satu bus bertegangan 20

kV dengan penempatannya menggunakan metode jarak. Pemasangan kapasitor *bank* pada penelitian ini bertujuan untuk membuat faktor daya pada sestem menjadi mendekati 1 sehingga *drop* tegangan dan rugi-rugi daya dapat di kurangi sescara maksimal. Untuk mendapatkan faktor daya mendekati 1 maka akan digunakan kapasitor *bank* dengan kapasitas yang sama atau mendekati kebutuhan daya reaktif pada sistem.

Pada sistem penyulang Lintau, kebutuhan daya reaktif pada kondisi awal adalah sebesar 1.084 kvar. Maka kapasitas kapasitor yang akan digunakan adalah sebesar 1.200 kvar untuk pemasangan 1 kapasitor, 600 kvar untuk pemasangan 2 kapasitor dan 400 kvar untuk pemasangan 3 kapasitor. Ketiga cara pemasangan kapasitor setelah itu akan dibandingkan rata-rata tegangan dan rugi-rugi daya dan akan ditentukan cara pemasangan mana yang lebih baik.

4.4.2.1 Pemasangan 1 kapasitor bank

Pada pemasangan 1 unit kapasitor *bank*, kapasitas kapasitor *bank* yang digunakan adalah kapasitor *bank* 1200 kvar. Penempatan kapasitor *bank* ditentukan menggunakan metode jarak atau "2/3 *rule*". Pada penyulang Lintau lokasi penempatan kapasitor *bank* yang optimal menurut teori metode jarak adalah pada bus 122. Tabel 4.26 berikut merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan setelah pemasangan 1 buah kapasitor *bank* di bus 122.

Tabel 4. 26 Profil tegangan sebulum dan setelah pemasangan 1 buah kapasitor *bank*

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	98,914	1,497	
Bus 2	96,087	97,603	1,515	
Bus 3	96,855	98,375	1,521	
Bus 4	96,508	98,185	1,676	
Bus 5	94,661	96,326	1,665	
Bus 6	95,819	97,490	1,672	
Bus 7	95,364	97,118	1,755	
Bus 8	94,593	96,343	1,750	
Bus 9	91,675	93,409	1,733	
Bus 10	94,337	95,580	1,243	
Bus 11	94,720	96,506	1,786	
Bus 12	95,214	97,067	1,854	
Bus 13	94,489	96,401	1,913	
Bus 14	94,931	96,879	1,947	
Bus 15	93,988	95,929	1,941	
Bus 16	94,911	96,858	1,947	
Bus 17	94,751	96,696	1,945	
Bus 18	93,908	95,846	1,938	
Bus 19	93,729	95,973	2,243	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 20	94,759	97,013	2,254	
Bus 21	94,162	96,503	2,341	
Bus 22	93,930	96,269	2,340	
Bus 23	88,909	91,561	2,652	
Bus 24	92,988	95,635	2,647	
Bus 25	92,989	95,849	2,860	
Bus 26	91,361	94,254	2,893	
Bus 27	92,668	95,606	2,938	
Bus 28	90,454	93,363	2,909	
Bus 29	91,822	94,747	2,925	
Bus 30	92,588	95,609	3,021	
Bus 31	92,389	95,510	3,121	
Bus 32	90,911	94,025	3,113	
Bus 33	89,023	92,115	3,092	
Bus 34	91,610	94,617	3,006	
Bus 35	92,968	95,993	3,024	
Bus 36	90,880	94,166	3,286	
Bus 37	89,877	93,742	3,865	
Bus 38	89,081	92,940	3,859	
Bus 39	90,827	94,703	3,876	
Bus 40	89,994	93,858	3,864	
Bus 41	90,229	94,090	3,861	
Bus 42	90,449	94,319	3,870	
Bus 43	90,602	94,473	3,871	
Bus 44	86,470	90,299	3,828	
Bus 45	89,809	93,669	3,860	
Bus 46	90,300	94,179	3,879	
Bus 47	90,337	94,208	3,871	
Bus 48	89,169	93,028	3,859	
Bus 49	89,405	93,260	3,855	
Bus 50	90,080	93,950	3,870	
Bus 51	89,264	93,116	3,853	
Bus 52	91,229	95,119	3,890	
Bus 53	90,072	93,939	3,867	
Bus 54	90,768	94,647	3,879	
Bus 55	89,982	93,858	3,876	
Bus 56	89,017	92,878	3,861	
Bus 57	85,375	89,924	4,549	*Undervoltage*
Bus 58	88,060	91,905	3,845	
Bus 59	86,340	90,175	3,835	
Bus 60	90,780	94,662	3,883	
Bus 61	89,068	92,918	3,850	
Bus 62	89,637	93,509	3,872	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 63	90,742	94,624	3,882	
Bus 64	90,319	94,199	3,880	
Rata-rata	**91,807**	**94,798**	**2,982**	

Berdasarkan tabel 4.26 setelah dilakukan pemasangan 1 buah kapasitor 1200 kvar, persentase rata-rata pada sistem meningkat 2,982% menjadi 94,798%. Jika dilihat dari masing-masing bus level tegangan rendah, terdapat 1 bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10% yaitu bus 57 dengan persentase tegangan 89,924%. Jika dilihat dari rugi-rugi daya, rugi-rugi daya setelah pemasangan 1 buah kapasitor *Bank* 1200 kvar adalah sebesar 272 kW dari total daya dari pembangkit 2.978 kW dengan persentase rugi daya sebesar 9,123%. Pesentase rugi-rugi daya pada skema ini menurun sebesar 0,533% dari kondisi awal.

4.4.2.2. Pemasangan 2 kapasitor

Pada pemasangan 2 buah kapasitor, kapasitor yang digunakan adalah kapasitor yang berkapasitas 600 kvar. Penempatan kapasitor *bank* yang optimal menurut teori metode jarak adalah pada bus 144 dan bus 126. Tabel 4.27 memperlihatkan hasil simulasi berupa profil tegangan setelah dipasang dua buah kapasitor *bank* 600 kvar di bus 114 dan bus 126.

Tabel 4. 27 Profil tegangan sebelum dan setelah pasang 2 buah kapasitor *bank*

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	98,945	1,528	
Bus 2	96,087	97,634	1,546	
Bus 3	96,855	98,406	1,552	
Bus 4	96,508	98,219	1,710	
Bus 5	94,661	96,360	1,699	
Bus 6	95,819	97,524	1,706	
Bus 7	95,364	97,154	1,790	
Bus 8	94,593	96,379	1,786	
Bus 9	91,675	93,444	1,769	
Bus 10	94,337	95,616	1,278	
Bus 11	94,720	96,542	1,822	
Bus 12	95,214	97,105	1,891	
Bus 13	94,489	96,440	1,951	
Bus 14	94,931	96,918	1,987	
Bus 15	93,988	95,969	1,980	
Bus 16	94,911	96,897	1,987	
Bus 17	94,751	96,735	1,984	
Bus 18	93,908	95,885	1,978	
Bus 19	93,729	96,018	2,288	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 20	94,759	97,058	2,299	
Bus 21	94,162	96,550	2,388	
Bus 22	93,930	96,316	2,386	
Bus 23	88,909	91,613	2,705	
Bus 24	92,988	95,688	2,700	
Bus 25	92,989	95,905	2,916	
Bus 26	91,361	94,284	2,923	
Bus 27	92,668	95,621	2,953	
Bus 28	90,454	93,378	2,924	
Bus 29	91,822	94,762	2,940	
Bus 30	92,588	95,582	2,994	
Bus 31	92,389	95,433	3,044	
Bus 32	90,911	93,949	3,037	
Bus 33	89,023	92,039	3,016	
Bus 34	91,610	94,590	2,980	
Bus 35	92,968	95,966	2,997	
Bus 36	90,880	94,001	3,120	
Bus 37	89,877	93,282	3,405	
Bus 38	89,081	92,481	3,399	
Bus 39	90,827	94,241	3,414	
Bus 40	89,994	93,398	3,404	
Bus 41	90,229	93,630	3,401	
Bus 42	90,449	93,858	3,409	
Bus 43	90,602	94,012	3,410	
Bus 44	86,470	90,005	3,534	
Bus 45	89,809	93,373	3,564	
Bus 46	90,300	93,881	3,581	
Bus 47	90,337	93,911	3,574	
Bus 48	89,169	92,731	3,562	
Bus 49	89,405	92,964	3,559	
Bus 50	90,080	93,652	3,573	
Bus 51	89,264	92,820	3,557	
Bus 52	91,229	94,820	3,592	
Bus 53	90,072	93,642	3,570	
Bus 54	90,768	94,349	3,581	
Bus 55	89,982	93,561	3,578	
Bus 56	89,017	92,581	3,564	
Bus 57	85,375	89,630	4,255	*Undervoltage*
Bus 58	88,060	91,610	3,550	
Bus 59	86,340	89,881	3,541	*Undervoltage*
Bus 60	90,780	94,364	3,584	
Bus 61	89,068	92,622	3,555	
Bus 62	89,637	93,212	3,575	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 63	90,742	94,325	3,584	
Bus 64	90,319	93,901	3,582	
Rata-rata	**91,807**	**94,651**	**2,844**	

Berdasarkan tabel 4.27, setelah pemasangan dua buah kapasitor *bank* 600 kvar di bus 114 dan bus 126, persentase tegangan rata-rata pada kondisi ini naik sebesar 2,844% menjadi 94,651%. Jika di tinjau pada masing-masing bus ada 2 bus yang mengalami drop tegangan lebih dari 10%. Bus yang mengalami *drop* tegangan lebih dari 10% adalah bus 57 dengan persentase tegangan 89,630% dan bus 59 dengan persentase tegangan 89,881%. Rugi-rugi daya pada kondisi ini adalah sebesar 265 kW dari daya sumber 2.996 kW dengan persentase rugi-rugi daya 8,937%.

4.4.2.3 Pemasangan 3 kapasitor bank

Pemasangan 3 kapasitor *bank* menggunakan kapasitor *bank* yang berkapasitas 400 kvar. penentuan loakasi penempatan kapasitor *bank* ditententukan menggunakan teori metode jarak, dimana lokasi penempatan kapasitor *bank* yang optimal menurut teori metode jarak adalah pada bus 113, bus 120 dan bus 126.. tabel 4.28 merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan penyulang lintau setelah dipasang 3 buah kapasitor.

Tabel 4. 28 Profil tegangan penyulang lintau sebelum dan setelah dipasng 3 buah kapasitor

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	98,955	1,539	
Bus 2	96,087	97,645	1,557	
Bus 3	96,855	98,417	1,563	
Bus 4	96,508	98,231	1,722	
Bus 5	94,661	96,372	1,711	
Bus 6	95,819	97,536	1,718	
Bus 7	95,364	97,167	1,803	
Bus 8	94,593	96,391	1,798	
Bus 9	91,675	93,457	1,781	
Bus 10	94,337	95,628	1,291	
Bus 11	94,720	96,555	1,835	
Bus 12	95,214	97,118	1,904	
Bus 13	94,489	96,454	1,965	
Bus 14	94,931	96,932	2,001	
Bus 15	93,988	95,982	1,994	
Bus 16	94,911	96,911	2,001	
Bus 17	94,751	96,749	1,998	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 18	93,908	95,899	1,991	
Bus 19	93,729	96,034	2,304	
Bus 20	94,759	97,074	2,315	
Bus 21	94,162	96,567	2,405	
Bus 22	93,930	96,333	2,403	
Bus 23	88,909	91,632	2,724	
Bus 24	92,988	95,706	2,718	
Bus 25	92,989	95,851	2,862	
Bus 26	91,361	94,240	2,879	
Bus 27	92,668	95,582	2,914	
Bus 28	90,454	93,339	2,885	
Bus 29	91,822	94,723	2,901	
Bus 30	92,588	95,557	2,970	
Bus 31	92,389	95,426	3,037	
Bus 32	90,911	93,941	3,030	
Bus 33	89,023	92,032	3,009	
Bus 34	91,610	94,565	2,955	
Bus 35	92,968	95,941	2,973	
Bus 36	90,880	94,024	3,144	
Bus 37	89,877	93,209	3,333	
Bus 38	89,081	92,408	3,327	
Bus 39	90,827	94,169	3,342	
Bus 40	89,994	93,325	3,332	
Bus 41	90,229	93,558	3,329	
Bus 42	90,449	93,786	3,337	
Bus 43	90,602	93,939	3,337	
Bus 44	86,470	89,879	3,409	*Undervoltage*
Bus 45	89,809	93,247	3,437	
Bus 46	90,300	93,754	3,454	
Bus 47	90,337	93,784	3,447	
Bus 48	89,169	92,605	3,436	
Bus 49	89,405	92,838	3,433	
Bus 50	90,080	93,526	3,446	
Bus 51	89,264	92,694	3,431	
Bus 52	91,229	94,693	3,464	
Bus 53	90,072	93,515	3,443	
Bus 54	90,768	94,222	3,454	
Bus 55	89,982	93,434	3,451	
Bus 56	89,017	92,455	3,438	
Bus 57	85,375	89,506	4,130	*Undervoltage*
Bus 58	88,060	91,484	3,424	
Bus 59	86,340	89,755	3,415	*Undervoltage*
Bus 60	90,780	94,237	3,457	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 61	89,068	92,496	3,429	
Bus 62	89,637	93,085	3,448	
Bus 63	90,742	94,198	3,457	
Bus 64	90,319	93,774	3,455	
Rata-rata	**91,807**	**94,602**	**2,795**	

Berdasarkan tabel 4.38. Setelah pemasangan 3 buah kapasitor berkapasitas masing-masing 400 kVAR di bus 113, bus 120 dan bus 126, persentase tegangan rata-rata pada kondisi ini adalah sebesar 94,602%. Persentase tegangan rata-rata pada kondisi ini naik sebesar 2,796% dari kondisi awal. dari skema pemasangan kapasitor *Bank*, skema ini merupakan skema yang kenaikan persentase tegangan rata-rata terkecil. Pada skema ini masih terdapat 3 bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10% yaitu bus 44, bus 57 dan bus 59 dengan persentase tegangan berturut-turut 89,879%, 89,506% dan 89,506%.

Rugi-rugi daya pada kondisi ini adalah sebesar 264 kW dari total daya dari pembangkit sebesar 2.963 kW. Persentase rugi-rugi daya pada kondisi ini adalah 8,912%. Besar rugi-rugi daya pada kondisi ini merupakan persentase rugi-rugi daya paling rendah dari ketiga variasi pemasangan kapasitor *bank*. Tabel 4.29 berikut menampilkan perbandingan persentase rata-rata tegangan, rata-rata kenaikan tegangan dan rugi-rugi daya pada pemasangan 1 kapasitor, 2 kapasitor dan 3 kapasitor.

Tabel 4. 29 Perbandingan pemasangan 1, 2 dan 3 buah kapasitor *bank*

Jumlah Kapasitor	Rata-rata Tegangan (%)	Kenaikan rata-rata tegangan (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Rugi-rugi daya (%)	Keterangan
1	94,798	2,982	272	9,133	1 bus *undervoltage*
2	94,651	2,844	265	8,845	2 bus *undervoltage*
3	94,602	2,795	264	8,909	3 bus *undervoltage*

4.4.3 Penggantian konduktor

Pada metode penggantian konduktor kabel penyulang, seluruh konduktor yang ada di penyulang Lintau akan diganti dengan luas penampang konduktor yang lebih besar dengan tetap menggunakan jenis konduktor yang sama. Konduktor yang digunakan pada kondisi awal adalah konduktor berjenis AAAC dengan luas penampang 70 mm^2. Penggantian konduktor penyulang ke luas penampang yang lebih bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran.

Tabel 4.30 merupakan data impedansi konduktor AAAC yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 4. 30 Data konduktor AAAC yang digunakan **[19]**

Penampang (mm^2)	Jari-jari (mm)	Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ω/km)	Impedansi urutan nol (Ω/km)
70	4,7193	7	3,4262	0,4608+j0,3572	0,5088+j1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396+j0,3449	0,4876+j1,6324
120	6,1791	19	4,6937	0,2688+j0,3376	0,4168+j1,6251
150	6,9094	19	5,2365	0,2162+j0,3305	0,3631+j1,6180

Dari tabel 4.30 dapat disimpulkan bahwa semakin besar luas penampang suatu konduktor maka impedansinya akan semakin kecil. Mengganti konduktor dengan kondukter yang luas penampangnya lebih besar akan memperkecil rugi-rugi daya dan drop tegangan pada saluran. Pada penelitian ini akan dilakukan penggantian konduktor dari konduktor berjenis AAAC dengan luas penampang 70 mm^2 diganti menjadi konduktor AAAC dengan luas penampang 95 mm^2, 120 mm^2 dan 150 mm^2. Tabel 4.31 berikut merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan penyulang Lintau setelah dilakukan penggantian konduktor dengan luas penampang 95 mm^2.

Tabel 4. 31 Profil tegangan penyulang Lintau sebelum dan sesudah mengguankan konduktor AAAC 95 mm^2

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	97,395	-0,022	
Bus 2	96,087	96,086	-0,001	
Bus 3	96,855	96,853	-0,001	
Bus 4	96,508	96,624	0,116	
Bus 5	94,661	94,776	0,115	
Bus 6	95,819	95,934	0,115	
Bus 7	95,364	95,540	0,176	
Bus 8	94,593	94,769	0,176	
Bus 9	91,675	91,857	0,181	
Bus 10	94,337	94,518	0,181	
Bus 11	94,720	94,920	0,200	
Bus 12	95,214	95,452	0,238	
Bus 13	94,489	94,765	0,276	
Bus 14	94,931	95,231	0,300	
Bus 15	93,988	94,287	0,299	
Bus 16	94,911	95,211	0,300	
Bus 17	94,751	95,053	0,301	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 18	93,908	94,208	0,300	
Bus 19	93,729	94,182	0,453	
Bus 20	94,759	95,214	0,455	
Bus 21	94,162	94,660	0,498	
Bus 22	93,930	94,428	0,498	
Bus 23	88,909	89,552	0,644	*Undervoltage*
Bus 24	92,988	93,630	0,642	
Bus 25	92,989	93,725	0,736	
Bus 26	91,361	92,115	0,754	
Bus 27	92,668	93,439	0,770	
Bus 28	90,454	91,221	0,767	
Bus 29	91,822	92,593	0,771	
Bus 30	92,588	93,390	0,802	
Bus 31	92,389	93,232	0,842	
Bus 32	90,911	91,752	0,841	
Bus 33	89,023	89,858	0,835	*Undervoltage*
Bus 34	91,610	92,409	0,799	
Bus 35	92,968	93,772	0,803	
Bus 36	90,880	91,776	0,895	
Bus 37	89,877	90,964	1,087	
Bus 38	89,081	90,175	1,094	
Bus 39	90,827	91,926	1,099	
Bus 40	89,994	91,089	1,096	
Bus 41	90,229	91,325	1,096	
Bus 42	90,449	91,546	1,097	
Bus 43	90,602	91,700	1,098	
Bus 44	86,470	87,634	1,164	*Undervoltage*
Bus 45	89,809	91,006	1,197	
Bus 46	90,300	91,521	1,222	
Bus 47	90,337	91,556	1,219	
Bus 48	89,169	90,386	1,217	
Bus 49	89,405	90,620	1,215	
Bus 50	90,080	91,300	1,220	
Bus 51	89,264	90,479	1,215	
Bus 52	91,229	92,461	1,232	
Bus 53	90,072	91,297	1,225	
Bus 54	90,768	91,996	1,228	
Bus 55	89,982	91,214	1,231	
Bus 56	89,017	90,244	1,227	
Bus 57	85,375	86,587	1,211	*Undervoltage*
Bus 58	88,060	89,282	1,222	*Undervoltage*
Bus 59	86,340	87,559	1,220	*Undervoltage*
Bus 60	90,780	92,014	1,234	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 61	89,068	90,292	1,224	
Bus 62	89,637	90,868	1,231	
Bus 63	90,742	91,976	1,234	
Bus 64	90,319	91,553	1,233	
Rata-rata	**91,807**	**92,578**	**0,771**	

Berdasarkan tabel 4.31, setelah mengganti konduktor AAAC 70 mm^2 menjadi kondukotr AAAC 95 mm^2, terjadi kenaikan rata-rata persentase tegangan sebesar 0,771% menjadu 92,578%. Jika ditinjau dari masing-masing bus, terdapat 6 bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10%. Bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10% adalah bus 23, bus 33, bus 44, bus 57, bus 58, bus 59 dengan persentase tegangan berturut-turut 89,552%, 89,858%, 87,634%, 86,587%, 89,282% dan 87,559%. Rugi-rugi daya setelah konduktor diganti berkurang menjadi 256 kW dari total daya pembangkit sebesar 2.879 kW dengan besar persentase rugi-rugi 8,896%. Nilai rugi-rugi daya pada kondisi ini menurun dari rugi-rugi daya pada kondisi awal sebesar 277 kW.

Selanjutnya konduktor kabel penyulang akan ganti menjadi konduktor berjenis AAAC dengan luas penampang 120 mm^2. Tabel 4.32 berikut merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan setelah dilakukan penggantian konduktor menjadi konduktor berjenis AAAC dengan diameter 120 mm^2

Tabel 4. 32 Profil tegangan penyulang lintau sebelum dan sesudah menggunakan konduktor AAAC 120 mm^2

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	97,382	-0,035	
Bus 2	96,087	96,085	-0,002	
Bus 3	96,855	96,852	-0,002	
Bus 4	96,508	96,692	0,183	
Bus 5	94,661	94,843	0,182	
Bus 6	95,819	96,002	0,183	
Bus 7	95,364	95,644	0,280	
Bus 8	94,593	94,872	0,279	
Bus 9	91,675	91,963	0,288	
Bus 10	94,337	94,624	0,287	
Bus 11	94,720	95,037	0,316	
Bus 12	95,214	95,592	0,378	
Bus 13	94,489	94,927	0,438	
Bus 14	94,931	95,407	0,476	
Bus 15	93,988	94,462	0,474	
Bus 16	94,911	95,386	0,476	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 17	94,751	95,230	0,478	
Bus 18	93,908	94,385	0,477	
Bus 19	93,729	94,448	0,718	
Bus 20	94,759	95,481	0,722	
Bus 21	94,162	94,952	0,790	
Bus 22	93,930	94,721	0,791	
Bus 23	88,909	89,930	1,022	*Undervoltage*
Bus 24	92,988	94,007	1,019	
Bus 25	92,989	94,157	1,168	
Bus 26	91,361	92,558	1,197	
Bus 27	92,668	93,891	1,223	
Bus 28	90,454	91,671	1,217	
Bus 29	91,822	93,046	1,224	
Bus 30	92,588	93,862	1,274	
Bus 31	92,389	93,727	1,337	
Bus 32	90,911	92,246	1,335	
Bus 33	89,023	90,348	1,325	
Bus 34	91,610	92,878	1,268	
Bus 35	92,968	94,243	1,275	
Bus 36	90,880	92,302	1,421	
Bus 37	89,877	91,602	1,725	
Bus 38	89,081	90,818	1,737	
Bus 39	90,827	92,571	1,744	
Bus 40	89,994	91,733	1,739	
Bus 41	90,229	91,969	1,740	
Bus 42	90,449	92,191	1,742	
Bus 43	90,602	92,345	1,743	
Bus 44	86,470	88,318	1,847	*Undervoltage*
Bus 45	89,809	91,710	1,901	
Bus 46	90,300	92,239	1,940	
Bus 47	90,337	92,273	1,936	
Bus 48	89,169	91,102	1,933	
Bus 49	89,405	91,334	1,929	
Bus 50	90,080	92,018	1,938	
Bus 51	89,264	91,193	1,930	
Bus 52	91,229	93,185	1,956	
Bus 53	90,072	92,016	1,944	
Bus 54	90,768	92,718	1,950	
Bus 55	89,982	91,937	1,955	
Bus 56	89,017	90,965	1,948	
Bus 57	85,375	87,298	1,923	*Undervoltage*
Bus 58	88,060	90,001	1,940	
Bus 59	86,340	88,276	1,936	*Undervoltage*

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 60	90,780	92,739	1,959	
Bus 61	89,068	91,011	1,943	
Bus 62	89,637	91,591	1,954	
Bus 63	90,742	92,701	1,959	
Bus 64	90,319	92,278	1,958	
Rata-rata	**91,843**	**93,031**	**1,224**	

Berdasarkan tabel 4.32 setelah konduktor diganti dengan jenis AAAC dengan luas penampang 120 mm^2. Rata-rata persentase tegangan meningkat sebesar 1,224% dari kondisi awal menjadi 93,031%. Jika ditinjau pada masing-masing bus terdapat 4 bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10%. Bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10% adalah bus 23, bus 44, bus 57 dan bus 59 dengan persentase tegangan berturut-turut 89,930%, 88,318%, 87,298% dan 88,276%. Rugi-rugi daya setelah penggantian konduktor turun menjadi 243 kW dari total daya dari pembangkit sebesar 2.883 kW dengan persentase rugi-rugi daya sebesar 8,413%. Nilai rugi-rugi daya pada kondisi ini menurun dari rugi-rugi daya pada kondisi awal sebesar 277 kW.

Selanjutnya konduktor kabel penyulang akan diganti menjadi konduktor yang berjenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2. Tabel 4.33 merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan penyulang lintau setelah penggantian konduktor menjadi jeni AAAC berdiameter 150 mm^2.

Tabel 4. 33 Profil tegangan pernyulang lintau sebelum dan sesudah menggunakan konduktor AAAC 150 mm^2

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	97,372	-0,045	
Bus 2	96,087	96,085	-0,002	
Bus 3	96,855	96,852	-0,002	
Bus 4	96,508	96,743	0,235	
Bus 5	94,661	94,894	0,233	
Bus 6	95,819	96,053	0,234	
Bus 7	95,364	95,722	0,358	
Bus 8	94,593	94,950	0,357	
Bus 9	91,675	92,043	0,368	
Bus 10	94,337	94,704	0,367	
Bus 11	94,720	95,125	0,405	
Bus 12	95,214	95,697	0,484	
Bus 13	94,489	95,050	0,561	
Bus 14	94,931	95,540	0,609	
Bus 15	93,988	94,595	0,607	
Bus 16	94,911	95,519	0,609	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 17	94,751	95,363	0,612	
Bus 18	93,908	94,518	0,610	
Bus 19	93,729	94,649	0,919	
Bus 20	94,759	95,683	0,924	
Bus 21	94,162	95,173	1,011	
Bus 22	93,930	94,942	1,012	
Bus 23	88,909	90,216	1,307	
Bus 24	92,988	94,292	1,304	
Bus 25	92,989	94,484	1,495	
Bus 26	91,361	92,893	1,532	
Bus 27	92,668	94,233	1,565	
Bus 28	90,454	92,012	1,558	
Bus 29	91,822	93,389	1,567	
Bus 30	92,588	94,218	1,630	
Bus 31	92,389	94,101	1,712	
Bus 32	90,911	92,619	1,708	
Bus 33	89,023	90,719	1,696	
Bus 34	91,610	93,233	1,622	
Bus 35	92,968	94,600	1,632	
Bus 36	90,880	92,699	1,819	
Bus 37	89,877	92,085	2,208	
Bus 38	89,081	91,304	2,223	
Bus 39	90,827	93,060	2,233	
Bus 40	89,994	92,220	2,226	
Bus 41	90,229	92,456	2,228	
Bus 42	90,449	92,678	2,230	
Bus 43	90,602	92,833	2,231	
Bus 44	86,470	88,834	2,364	*Undervoltage*
Bus 45	89,809	92,242	2,432	
Bus 46	90,300	92,782	2,483	
Bus 47	90,337	92,815	2,477	
Bus 48	89,169	91,643	2,474	
Bus 49	89,405	91,873	2,468	
Bus 50	90,080	92,560	2,480	
Bus 51	89,264	91,733	2,470	
Bus 52	91,229	93,732	2,504	
Bus 53	90,072	92,561	2,489	
Bus 54	90,768	93,264	2,497	
Bus 55	89,982	92,485	2,502	
Bus 56	89,017	91,510	2,493	
Bus 57	85,375	87,836	2,461	*Undervoltage*
Bus 58	88,060	90,544	2,483	
Bus 59	86,340	88,818	2,478	*Undervoltage*

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 60	90,780	93,288	2,508	
Bus 61	89,068	91,555	2,487	
Bus 62	89,637	92,138	2,501	
Bus 63	90,742	93,249	2,508	
Bus 64	90,319	92,826	2,507	
Rata-rata	**91,843**	**93,374**	**1,567**	

Berdasarkan tabel 4.33 setelah konduktor diganti dengan jenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2. Rata-rata persentase tegangan meningkat sebesar 1,567% dari kondisi awal menjadi 93,374%. Jika ditinjau pada masing-masing bus terdapat 3 bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10%. Bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10% adalah bus 44, bus 57 dan bus 59 dengan persentase tegangan berturut-turut 88,834%, 87,836% dan 88,818%. Rugi-rugi daya setelah penggantian konduktor turun menjadi 232 kW dari total daya dari pembangkit sebesar 2.886 kW dengan persentase rugi-rugi daya sebesar 8,052%. Nilai rugi-rugi daya pada kondisi ini menurun dari rugi-rugi daya pada kondisi awal sebesar 277 kW.

Tabel 4.34 memperlihatkan perbandingan persentase rata-rata tegangan, rata-rata kenaikan tegangan dan rugi-rugi daya setelah penggantian konduktor kabel penyulang menjadi konduktor AAAC dengan luas penampang 95 mm^2, 120 mm^2 dan 150 mm^2.

Tabel 4. 34 Perbandingan tegangan dan rugi-rugi daya terhadap variasi luas penampang konduktor

Luas Penampang (mm^2)	Rata-rata Tegangan (%)	Kenaikan rata-rata tegangan (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Rugi-rugi daya (%)	Keterangan
95 mm^2	92,578	0,771	256	8,892	6 bus *undervoltage*
120 mm^2	93,031	1,224	243	8,429	4 bus *undervoltage*
150 mm^2	93,374	1,567	232	8,039	3 bus *undervoltage*

Berdasarkan tabel 4.34, penggunaan konduktor AAAC dengan luas penampang 150 mm^2 lebih baik dalam mengurangi drop tegangan dan rugi-rugi daya dengan rata-rata persentase tegangan sebesar 93,374% dan rugi-rugi daya sebesar 232 kW. Pada metode penggantian konduktor ternyata masih ada bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10%, seperti ketika penggunaan konduktor dengan luas penampang 95 mm^2 ada 6 bus yang *undervoltage*, luas penampang 120 mm^2 ada 4 bus yang *undervoltage* dan luas penampang 150 mm^2 ada 3 bus yang

undertage. Metode penggantian konduktor kabel penyulang memiliki rata-rata kenaikan tegangan yang paling kecil dibandingkan metode perbaikan aliran daya yang lain. Meskipun tidak berpengaruh secara signifikan dalam perbaikan teganagan, tetapi metode ini mengurangi rugi-rugi daya paling banyak dibandingkan metode lain.

4.4.4 Pengaturan Tap changer dan Pemasangan kapasitor bank

Usaha perbaikan aliran daya pada skema ini akan menggabungkan metode pengaturan tap changer dan pemasangan kapasitor *bank*. Pengaturan tap changer tap changer yang digunakan pada skema ini adalah pengaturan tap changer yang paling optimal berdasarkan skema sebelumnya. Pemasangan kapasitor *bank* juga digunakan kondisi paling optimal berdasarkan skema sebelumya yaitu dengan memasang satu buah kapasitor *bank* di bus 122. Tabel 4.35 merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan setelah pengaturan tap changer dan pemasangan satu buah kapasitor *bank* di bus 122.

Tabel 4. 35 Profil tegangan penyulang Lintau sebelum dan setelah dilakukan pengaturan tap changer dan pemasangan kapasitor *bank*

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	101,109	3,692	
Bus 2	96,087	99,716	3,628	
Bus 3	96,855	100,536	3,682	
Bus 4	96,508	100,325	3,816	
Bus 5	94,661	98,355	3,694	
Bus 6	95,819	99,589	3,770	
Bus 7	95,364	99,189	3,825	
Bus 8	94,593	98,368	3,775	
Bus 9	91,675	95,261	3,585	
Bus 10	94,337	97,560	3,223	
Bus 11	94,720	98,535	3,815	
Bus 12	95,214	99,129	3,915	
Bus 13	94,489	98,418	3,929	
Bus 14	94,931	98,924	3,992	
Bus 15	93,988	97,918	3,930	
Bus 16	94,911	98,902	3,991	
Bus 17	94,751	98,728	3,977	
Bus 18	93,908	97,828	3,920	
Bus 19	93,729	97,943	4,214	
Bus 20	94,759	99,047	4,288	
Bus 21	94,162	98,502	4,340	
Bus 22	93,930	98,254	4,324	
Bus 23	88,909	93,284	4,375	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 24	92,988	97,564	4,576	
Bus 25	92,989	97,777	4,788	
Bus 26	91,361	96,084	4,723	
Bus 27	92,668	97,514	4,846	
Bus 28	90,454	95,135	4,681	
Bus 29	91,822	96,602	4,780	
Bus 30	92,588	97,512	4,924	
Bus 31	92,389	97,402	5,013	
Bus 32	90,911	95,836	4,924	
Bus 33	89,023	93,813	4,790	
Bus 34	91,610	96,459	4,849	
Bus 35	92,968	97,918	4,949	
Bus 36	90,880	95,971	5,091	
Bus 37	89,877	95,487	5,610	
Bus 38	89,081	94,640	5,559	
Bus 39	90,827	96,502	5,675	
Bus 40	89,994	95,608	5,615	
Bus 41	90,229	95,851	5,622	
Bus 42	90,449	96,096	5,648	
Bus 43	90,602	96,258	5,656	
Bus 44	86,470	96,379	9,909	
Bus 45	89,809	95,398	5,588	
Bus 46	90,300	95,940	5,640	
Bus 47	90,337	95,967	5,630	
Bus 48	89,169	94,719	5,550	
Bus 49	89,405	94,962	5,557	
Bus 50	90,080	95,695	5,615	
Bus 51	89,264	94,810	5,546	
Bus 52	91,229	96,934	5,705	
Bus 53	90,072	95,681	5,609	
Bus 54	90,768	96,432	5,664	
Bus 55	89,982	95,600	5,618	
Bus 56	89,017	94,560	5,543	
Bus 57	85,375	95,948	10,573	
Bus 58	88,060	95,669	7,608	
Bus 59	86,340	96,250	9,910	
Bus 60	90,780	96,449	5,669	
Bus 61	89,068	94,599	5,531	
Bus 62	89,637	95,231	5,594	
Bus 63	90,742	96,408	5,667	
Bus 64	90,319	95,961	5,641	
Rata-rata	**91,807**	**96,891**	**5,084**	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Berdasarkan tabel 4.35, setelah dilakukan pengaturan tap changer dan pemasangan 1 buah kapasitor di bus 122, rata-rata persentase tegangan pada penyulang Lintau meningkat sebesat 5,084% menjadi 96,891%. Pada kondisi ini jika ditinjau dari masing-masing bus, tidak ada bus yang mengalami drop tegangan melebihi 10%. Rugi-rugi daya pada skema ini sebesar 291 kW dari total daya pembangkit sebesar 3.085 kW.

4.4.5 Pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor

Pada skema ini akan dilakukan usaha perbaikan aliran daya menggunakan gabungan metode pengaturan tap changer dan penggantian konduktor. Pengaturan tap changer yang digunakan adalah pengaturan yang paling optimal berdasarkan skema sebelumnya dan juga untuk metode penggantia konduktor digunakan kondisi yang terbaik berdasarkan skema sebelumnya yaitu menggunakan konduktor berjenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2. Tabel 4.36 merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan penyulang lintau setelah dilakukan pengaturan *tap changer* dan penggantian kondukor.

Tabel 4. 36 Profil tegangan penyulang Lintau setelah dilakukan pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor.

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	99,551	2,134	
Bus 2	96,087	98,185	2,097	
Bus 3	96,855	98,999	2,145	
Bus 4	96,508	98,883	2,374	
Bus 5	94,661	96,924	2,263	
Bus 6	95,819	98,151	2,332	
Bus 7	95,364	97,800	2,436	
Bus 8	94,593	96,982	2,389	
Bus 9	91,675	93,904	2,228	
Bus 10	94,337	96,190	1,853	
Bus 11	94,720	97,165	2,444	
Bus 12	95,214	97,773	2,559	
Bus 13	94,489	97,085	2,597	
Bus 14	94,931	97,606	2,675	
Bus 15	93,988	96,605	2,617	
Bus 16	94,911	97,584	2,674	
Bus 17	94,751	97,418	2,666	
Bus 18	93,908	96,521	2,614	
Bus 19	93,729	96,659	2,930	
Bus 20	94,759	97,757	2,998	
Bus 21	94,162	97,217	3,055	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 22	93,930	96,972	3,042	
Bus 23	88,909	92,002	3,094	
Bus 24	92,988	96,283	3,295	
Bus 25	92,989	96,486	3,497	
Bus 26	91,361	94,799	3,438	
Bus 27	92,668	96,219	3,551	
Bus 28	90,454	93,862	3,408	
Bus 29	91,822	95,322	3,500	
Bus 30	92,588	96,203	3,615	
Bus 31	92,389	96,080	3,690	
Bus 32	90,911	94,517	3,605	
Bus 33	89,023	92,504	3,481	
Bus 34	91,610	95,156	3,546	
Bus 35	92,968	96,607	3,639	
Bus 36	90,880	94,597	3,717	
Bus 37	89,877	93,945	4,068	
Bus 38	89,081	93,121	4,039	
Bus 39	90,827	94,975	4,148	
Bus 40	89,994	94,086	4,092	
Bus 41	90,229	94,333	4,104	
Bus 42	90,449	94,572	4,123	
Bus 43	90,602	94,734	4,132	
Bus 44	86,470	94,983	8,513	
Bus 45	89,809	94,105	4,296	
Bus 46	90,300	94,682	4,383	
Bus 47	90,337	94,712	4,375	
Bus 48	89,405	93,473	4,304	
Bus 49	90,080	93,714	4,309	
Bus 50	89,264	94,444	4,364	
Bus 51	91,229	93,566	4,302	
Bus 52	90,072	95,687	4,459	
Bus 53	90,768	94,443	4,371	
Bus 54	89,982	95,189	4,422	
Bus 55	89,017	94,367	4,385	
Bus 56	85,375	93,333	4,316	
Bus 57	88,060	94,674	9,298	
Bus 58	86,340	94,420	6,359	
Bus 59	90,780	94,976	8,636	
Bus 60	89,068	95,216	4,436	
Bus 61	89,637	93,377	4,309	
Bus 62	90,742	94,001	4,364	
Bus 63	90,319	95,175	4,433	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 64	97,417	94,728	4,409	
Rata-rata	**91,807**	**95,556**	**3,749**	

Berdasarkan tabel 4.36, setelah dilakukan pengaturan *tap changer* dan penggantian konduktor kabel penyulang, rata-tata persentase tegangan meningkat sebesar 4,587% dari kondisi awal menjadi 96,394%. Jika di tinjau pada masing-masing bus, tidak ada bus yang mengalami drop tegangan di atas 10%. Rugi-rugi pada kondisi ini menurun menjadi 249 kW dari total daya dari pembangkit sebesar 2.990 kW.

4.4.6 Pemasangan kapasitor bank dan penggantian konduktor

Usaha perbaikan aliran daya pada skema ini menggabungkan metode pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian kabel penyulang. Pemasangan kapasitor *bank* menggunakan kondisi yang terbaik pada skema sebelumnya yaitu mengguankan satu buah kapasitor *bank* berkapasitas 1200 kvar yang diletakkan di bus 122. Penggantian konduktor penyulang pada skema ini menggunakan konduktor berjenis AAAC dengan diameter 150 mm^2. Tabel 4.37 berikut merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan penyulang lintau setelah dipasang kapasitor *bank* dan dilakukan penggantian konduktor.

Tabel 4. 37 Profil tegangan penyulang lintau setelah pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	98,943	1,526	
Bus 2	96,087	97,674	1,586	
Bus 3	96,855	98,446	1,592	
Bus 4	96,508	98,494	1,985	
Bus 5	94,661	96,633	1,972	
Bus 6	95,819	97,799	1,980	
Bus 7	95,364	97,551	2,187	
Bus 8	94,593	96,774	2,181	
Bus 9	91,675	93,850	2,175	
Bus 10	94,337	96,021	1,684	
Bus 11	94,720	96,984	2,264	
Bus 12	95,214	97,624	2,410	
Bus 13	94,489	97,035	2,546	
Bus 14	94,931	97,560	2,628	
Bus 15	93,988	96,608	2,620	
Bus 16	94,911	97,539	2,628	
Bus 17	94,751	97,380	2,629	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 18	93,908	96,528	2,620	
Bus 19	93,729	96,959	3,229	
Bus 20	94,759	98,004	3,245	
Bus 21	94,162	97,580	3,418	
Bus 22	93,930	97,347	3,417	
Bus 23	88,909	92,924	4,015	
Bus 24	92,988	96,997	4,009	
Bus 25	92,989	97,395	4,406	
Bus 26	91,361	95,835	4,474	
Bus 27	92,668	97,220	4,552	
Bus 28	90,454	94,968	4,515	
Bus 29	91,822	96,362	4,540	
Bus 30	92,588	97,285	4,697	
Bus 31	92,389	97,264	4,874	
Bus 32	90,911	95,774	4,863	
Bus 33	89,023	93,851	4,828	
Bus 34	91,610	96,284	4,674	
Bus 35	92,968	97,670	4,702	
Bus 36	90,880	96,019	5,139	
Bus 37	89,877	95,957	6,081	
Bus 38	89,081	95,170	6,089	
Bus 39	90,827	96,943	6,116	
Bus 40	89,994	96,092	6,098	
Bus 41	90,229	96,325	6,097	
Bus 42	90,602	96,557	6,108	
Bus 43	90,602	96,711	6,110	
Bus 44	86,470	92,668	6,197	
Bus 45	89,809	96,110	6,301	
Bus 46	90,300	96,670	6,370	
Bus 47	90,337	96,694	6,357	
Bus 48	89,169	95,509	6,340	
Bus 49	89,405	95,736	6,331	
Bus 50	90,080	96,438	6,358	
Bus 51	89,264	95,594	6,330	
Bus 52	91,229	97,632	6,403	
Bus 53	90,072	96,436	6,364	
Bus 54	90,768	97,152	6,385	
Bus 55	89,982	96,369	6,386	
Bus 56	89,017	95,378	6,361	
Bus 57	85,375	92,394	7,019	
Bus 58	88,060	94,395	6,335	
Bus 59	86,340	92,657	6,318	
Bus 60	90,780	97,179	6,399	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 61	89,068	95,413	6,345	
Bus 62	89,637	96,018	6,381	
Bus 63	90,742	97,140	6,399	
Bus 64	90,319	96,714	6,395	
Rata-rata	**91,807**	**96,394**	**4,587**	

Berdasarkan tabel 4.37 setelah dilakukan pemasangan kapasitor *bank* berkapasitas 1200 kvar di bus 122 dan penggantian konduktor menjadi konduktor berjenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2. rata-rata persentase tegangan pada penyulang lintau meningkat sebesar 4,587% menjadi 96,394%. Pada skema ini tidak ada bus yang mengalami dirp tegangan melebihi 10%. Rugi-rugi daya pada pada skema ini adalah sebesar 225 kW dari total daya dari pembangkit sebesar 2.995 kW.

4.4.7 Pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor

Usaha perbaikan aliran daya pada skema ini menggabungkan ketiga metode yaitu pengaturan *tap changer* pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian kondukor. Pengaturan *tap changer* digunaka kondisi paling optimal berdasarkan kondisi pada skema sebelumnya. Pemasangan kapasitor *bank* menggunakan kondisi tebaik pada skema sebelumnya yaitu menggunakan kapasitor *bank* berkapasitas 1200 kvar yang disambungkan ke bus 122. Sendangkan penggantian konduktor mengguanak konduktor jenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2. Tabel 4.38 berikut merupakan hasil simulasi berupa profil tegangan penyulang lintau setealah dilakukan pengaturan tap changer, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor.

Tabel 4. 38 Profil tegangan Penyulang lintau setelah dilakukan pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor penyulang

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 1	97,417	101,133	3,716	
Bus 2	96,087	99,784	3,697	
Bus 3	96,855	100,605	3,750	
Bus 4	96,508	100,647	4,138	
Bus 5	94,661	98,675	4,014	
Bus 6	95,819	99,910	4,091	
Bus 7	95,364	99,642	4,278	
Bus 8	94,593	98,819	4,226	
Bus 9	91,675	95,723	4,047	
Bus 10	94,337	98,022	3,685	

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 11	94,720	99,037	4,317	
Bus 12	95,214	99,714	4,501	
Bus 13	94,489	99,085	4,596	
Bus 14	94,931	99,641	4,710	
Bus 15	93,988	98,633	4,645	
Bus 16	94,911	99,619	4,708	
Bus 17	94,751	99,449	4,698	
Bus 18	93,908	98,546	4,638	
Bus 19	93,729	98,986	5,257	
Bus 20	94,759	100,096	5,337	
Bus 21	94,162	99,641	5,480	
Bus 22	93,930	99,394	5,464	
Bus 23	88,909	94,727	5,819	
Bus 24	92,988	99,007	6,019	
Bus 25	92,989	99,418	6,429	
Bus 26	91,361	97,761	6,400	
Bus 27	92,668	99,227	6,559	
Bus 28	90,454	96,838	6,384	
Bus 29	91,822	98,316	6,494	
Bus 30	92,588	99,292	6,704	
Bus 31	92,389	99,265	6,876	
Bus 32	90,911	97,693	6,782	
Bus 33	89,023	95,655	6,632	
Bus 34	91,610	98,229	6,619	
Bus 35	92,968	99,700	6,731	
Bus 36	90,880	97,940	7,060	
Bus 37	89,877	97,844	7,967	
Bus 38	89,081	97,012	7,931	
Bus 39	90,827	98,887	8,060	
Bus 40	89,994	97,985	7,991	
Bus 41	90,229	98,230	8,001	
Bus 42	90,449	98,478	8,029	
Bus 43	90,602	98,641	8,039	
Bus 44	86,470	99,018	12,548	
Bus 45	89,809	97,996	8,187	
Bus 46	90,300	98,593	8,293	
Bus 47	90,337	98,615	8,278	
Bus 48	89,169	97,361	8,192	
Bus 49	89,405	97,599	8,194	
Bus 50	90,080	98,345	8,265	
Bus 51	89,264	97,447	8,184	
Bus 52	91,229	99,611	8,382	
Bus 53	90,072	98,341	8,269	

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Bus	Tegangan sebelum (%)	Tegangan sesudah (%)	Kenaikan (%)	Keterangan
Bus 54	90,768	99,100	8,333	
Bus 55	89,982	98,274	8,291	
Bus 56	89,017	97,222	8,205	
Bus 57	85,375	98,700	13,324	
Bus 58	88,060	98,380	10,319	
Bus 59	86,340	99,016	12,676	
Bus 60	90,780	99,130	8,350	
Bus 61	89,068	97,255	8,187	
Bus 62	89,637	97,903	8,266	
Bus 63	90,742	99,089	8,347	
Bus 64	90,319	98,639	8,320	
Rata-rata	**91,807**	**98,603**	**6,796**	

Berdasarkan tabel 4.38 setelah dilakukan pengaturan tap changer, pemasangan kapsitor *bank* dan penggantian konduktor, rata-rata persentase tegangan pada penyulang Lintau naik 6,796% dari kondisi awal menjadi 98,603%. Jika ditinjau pada masing masing bus, tidak ada bus yang mengalami drop teganagn melebihi 10%. Rugi-rugi daya yang terjadi pada kondisi ini adalah sebesar 242 kW dari total daya pembangkit sebesar 3.105 kW.

4.5 Perbandingan setiap skema perbaikan aliran daya

Setelah dilakukan simulasi semua skema, setelah itu akan dibandingkan rata-rata tegangan dan rugi-rugi daya setiap skema dan dipilih skema yang terbaik dalam memperkecil rata-rata tegangan dan rugi-rugi daya dengan syarat seluruh persentase tegangan di atas 90%. Tabel 4.39 memperlihatkan perbandingan rata-rata persentase tegangan dan rugi-rugi daya seluruh skema perbaikan aliran daya.

Tabel 4. 39 Perbandingan Rata-rata tegangan dan rugi-rugi daya seluruh skema perbaikan aliran daya

Skema	Metode	Rata-rata Tegangan (%)	Kenaikan tegangan (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Rugi-rugi daya (%)	Keterangan
Kondisi awal	-	91,843	-	277		
1	Tap changer	93,856	2,049	301	10,111	
2	Kapasitor *Bank* (1 x 1200 kvar)	94,602	2,795	264	8,909	1 bus *undervoltage*

Skema	Metode	Rata-rata Tegangan (%)	Kenaikan tegangan (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Rugi-rugi daya (%)	Keterangan
3	Penggantian konduktor (150 mm^2)	93,374	1,567	232	8,309	3 bus *undervoltage*
4	Tap changer dan kapasitor *Bank* (1 x 1200 kvar)	96,891	5,084	291	9,433	
5	Tap changer dan penggantian konduktor (150 mm^2)	95,556	3,749	249	8,328	
6	Kapasitor *Bank* (1 x 1200 kvar) dan penggantian konduktor (150 mm^2)	96,394	4,587	225	7,513	
7	Tap changer, Kapasitor *Bank* (1 x 1200 kvar) dan penggantian konduktor (150 mm^2)	98,603	6,796	242	7,794	

Berdasarkan tabel 4.36, skema terbaik untuk menaikan tegangan adalah skema 7 metode Pengaturan tap changer, pemasangan kapasitor *bank* 1200 kvar di bus 122 dan penggantian konduktor kabel penyulang menjadi konduktor jenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2 dengan persentase kenaikan tegangan rata-rata sebesar 6,796% dan rata-rata tegangan sebesar 98,603%. Sedangkan skema untuk memperkecil rugi-rugi daya adalah skema 6 metode pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel menjadi konduktor berjenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2.

UNIVERSITAS ANDALAS

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Kondisi aliran daya panyulang lintau pada tahun 2021 dikategorikan baik dengan rata-rata persentase tegangan sebesar 95,849% dan rugi-rugi daya sebesar 128 kW dengan persentase sebesar 6,530% tanpa ada bus yang mengalami kondisi *undervoltage.*
2. Kenaikan beban pada penyulang Lintau hingga menyebabkan penurunan tegangan dari 95,849% pada tahun 2021 menjadi 91,843% dari tegangan nominal pada tahun 2027.
3. Pengaturan *tap changer* pada seluruh trafo distribusi 20/380V dapat menaikan persentase tegangan sebesar 2,049% dari 91,843% menjadi 93,856%. Sedangkan rugi-rugi daya meningkat dari 277 kW menjadi 301 kW dengan persentase 10,111%.
4. Lokasi pemasangan kapasitor *bank* terbaik pada penyulang Lintau adalah pada bus 122 dengan kapasitas kapasotor *bank* sebesar 1200 kvar. setelah pemasangan kapasitor persentase tegangan pada sistem meningkat dari 91,843% menjadi 94,602%, sedangkan rugi-rugi daya menurun dari 277 kW pada kondisi awal menjadi 264 kW dengan persentase sebesar 8,909%.
5. Penggantian konduktor kabel penyulang menjadi konduktor AAAC dengan diameter 150mm^2 dapat meningkatkan rata-rata persentase tegangan pada penyulangan Lintau sebesar 1,567% dari kondisi awal 91,843% menjadi 93,374% dan dapat memperkecil rugi-rugi daya dari 277 kW pada kondisi awal menjadi 232 kW denganpersentase sebesar 8,309%.
6. Skema pada penelitian ini yang dapat meningkatkan rata-rata persentase tegangan paling besar adalah skema 7, yaitu gabungan pengaturan *tap changer*, pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian konduktor kabel penyulang dengan kenaikan rata-rata persentase tegangan sebesar 6,796%.
7. Skema pada penelitian ini yang dapat menurunkan rugi-rugi daya paling besar adalah skema 6, yaitu gabungan pemasangan kapasitor *bank* dan penggantian kabel penyulang dengan rugi-rugi daya sebesar 225 kW dengan persentase sebesar 7,513%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini masih memiliki kekurangan seperti bagaimana metode pemilihan lokasi pemasangan kapasitor pada penelitian ini. Ada metode pemilihan lokasi pemasangan kapasitor yang lebih baik sehingga pemasangan kapasitor dapat mengurangi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dengan lebih maksimal.

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Daftar Pustaka

[1] John J. Grainger, William D. Stevenson, "Analisa Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat," Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993.

[2] S. 1, "Tegangan-Tegangan Standar Perusahaan Umum Listrik Negara," PT. PLN (Persero), Jakarta, 1978.

[3] P. PLN, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL)," Jakarta, 2021.

[4] F. A. Saputra, "Analisa Perbaikan Kualitas Tegangan dan Rugi-Rugi Daya pada Penulang Sudirman, Gardu Indik Simpang Haru Menggunakan Capasitor Bank dan Tap Changer," Universitas Andalas, Padang, 2016.

[5] N. Aqlima, "Analisa Perbaikan Jatuh Tegangan pada Feeder Sudirman, Gardu Induk Simpang Haru Menggunakan Capasitor Bank dan Memperbesar Luas Penampang Penghantar," Universitas Andalas, Padang, 2018.

[6] I. R. H. Sitorus, "Analisis Jaringan Distribusi Tegangan Rendah pada PLTMH Bintang Asih Setelah Kapasitas Pembangkit Ditingkatkan," Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2017.

[7] R. Frayedo, "Evaluasi Penambahan Kapasitor Bank dan Pengaturan Tap Changer untuk Perbaikan Profil Tegangan Listrik Feeder Banuaran Dengan Simulator ETAP," Universitas Andalas, Padang, 2020.

[8] R. D. Cahyo, "Studi Perbaikan Kulaitas Tegangan dan Rugi-Rugi Daya pada Penyulang Pupur dan Bedak Menggunakan Bank Kapasitor, Trafo Pengubah TAP dan Penggantian Kabel Penyulang," Universitas Indonesia, Jakarta, 2007.

[9] Reri Afrianita, Heru Dibyo Laksono, "Studi Aliran Daya Mneggunakan Metoda Newton Raphson (Aplikasi PT. PLN Sumbar-Riau 150 kV)," vol. 2, p. 27, 2007.

[10] W. Hidayat, "Analisa Aliran Daya Sumbagteng Setelah Penambahan PLTU Teluk Sirih," Universitas Andalas, Padang, 2012.

[11] Hongki Jonal Hontong, Maickel Tuegeh ST. MT., Lily S. Patras ST. MT, "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN Palu," *E-Journal Teknik Elekro dan Komputer,* vol. 8402, p. 2301, 2015.

[12] A. A. Zulhedi, "Analisa Penempatan Kapasitor Bank Mneggunakan Metode Fuzzy Logic Untuk Perbaikan Jatuh Tegangan," Universitas Sumatra Utara, Medan, 2019.

[13] Ahmad Rofii, Rijon ferdinand, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank Dalam Upaya Perbaikan Faktor Daya," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 3, p. 39, 2018.

[14] Dendi Kongah. Muh, Sarjan, Baso Mukhlis, "Analisa Pembebanan Transformator Gardu Selatan Kampus Universitas Tadulako," *Jurnal MEKTRIK*, vol. 1, p. 1, 2014.

[15] F. M. Mariz, "Optimasi Penentuan TAP Trafo dan Pengguanan Kapasitor Bank Untuk Mengurangi Jatuh Tegangan pada Penyulang Flamboyan UP3 Bekasi PT. PLN (persero)," Institut Teknologi PLN, Jakarta, 2020.

[16] T. Ahlul Arif Maulana, Rakhmad Syafutra Lubis, Ira Devi Sara, "Analisa Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi Primer 20 kV pada Penyulang Ulee Kareng PT. PLN (Persero) Banda Aceh," *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro*, vol. 1, pp. 82-89, 2019.

[17] D. F. Kamalia, "Analisis Susut Energi (Losses) Jaringan Tegangan Menengah (20 kV) di PT. PLN (Persero) Rayon Klakah Area Jember," Universitas Muhammadiayah Makassar, Makassar, 2018.

[18] Akbar Abadi, Syafii, "Analisa Perbaikan Profil Tegangan Sistem Tenaga Listrik Sumbar Menggunakan Kapasaitor Bank dan TAP Transformator," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 4, pp. 2302 - 2949, 2015.

[19] S. 6. "Petunjuk dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah," Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985.

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

LAMPIRAN

Lampiran A.1

PT PLN (PERSERO)

UIW SUMATERA BARAT

UP3 PAYAKUMBUH

DAYA (VA) TERSAMBUNG

TAHUN : 2021

TARIF	Dec-20	DAYA (VA)											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S.1 / 220 VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S.2 / 450 VA I	475,65	474,75	474,75	474,3	473,4	472,05	469,8	470,25	469,35	468	467,1	463,95	462,15
S.2 / 900 VA I	2,821,500	2,820,600	2,814,300	2,823,300	2,814,300	2,807,100	2,799,000	2,808,900	2,820,600	2,818,800	2,824,200	2,835,900	2,844,900
S.2 / 1.300 VA	1,062,100	1,072,500	1,098,500	1,112,800	1,107,600	1,112,800	1,128,400	1,134,900	1,141,400	1,149,200	1,147,900	1,155,700	1,160,900

S.2 / 2.200 VA	919,6	928,4	939,4	950,4	972,4	1,003,200	1,016,400	1,014,200	1,025,200	1,036,200	1,060,400	1,073,600	1,095,600
S.2 / 3.500 VA s/d 200	5,749,100	5,795,900	5,819,200	5,889,400	6,049,300	6,104,100	6,129,800	6,165,600	6,188,700	6,267,400	6,309,100	6,350,400	6,413,800
S.3 / 200 KVA	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000	1,175,000
JUMLAH S	12,202,950	12,267,150	12,321,150	12,425,200	12,592,000	12,674,250	12,718,400	12,768,850	12,820,250	12,914,600	12,983,700	13,054,550	13,152,350
R.1 / 450 VA I	19,152,450	19,140,750	19,162,350	19,179,450	19,176,750	19,156,950	19,105,650	19,079,100	19,046,700	18,985,950	18,947,700	18,914,400	18,895,500
R.1 / 900 VA I	36,454,500	36,504,000	36,549,900	36,732,600	36,790,200	36,902,700	36,957,600	37,177,200	38,025,900	38,892,600	39,074,400	38,953,800	38,860,200
R.1M / 900 VA I	75,272,400	75,327,300	75,283,200	75,464,100	75,454,200	75,564,000	75,571,200	75,981,600	75,707,100	75,172,500	75,462,300	76,154,400	76,654,800
R.1 / 1.300 VA	20,329,400	20,480,200	20,784,400	21,089,900	21,368,100	21,498,100	21,520,200	21,715,200	21,860,800	21,989,500	22,075,300	22,165,000	22,230,000
R.1 / 2.200 VA	5,946,600	5,977,400	6,008,200	6,074,200	6,146,800	6,234,800	6,318,400	6,375,600	6,461,400	6,604,400	6,738,600	6,795,800	6,846,400
R.2 / 3.500 VA s/d 5.500	3,062,600	3,095,900	3,116,300	3,212,000	3,307,600	3,382,600	3,416,800	3,514,100	3,650,000	3,803,700	4,004,100	4,045,100	4,134,700
R.3 / 6.600 VA keatas I	764	782	761,1	816	839,1	876,5	905,8	913,5	930,7	924,9	941,4	949,1	963,4
JUMLAH R	160,981,950	161,307,550	161,665,450	162,568,250	163,082,750	163,615,650	163,795,650	164,756,300	165,682,600	166,373,550	167,243,800	167,977,600	168,585,000
B.1 / 450 VA I	414,9	413,55	414	414,45	414,45	413,1	409,05	408,6	408,6	408,15	406,8	406,8	406,8

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

B.1 / 900 VA I	10,384,200	10,404,000	10,402,200	10,486,800	10,487,700	10,541,700	10,538,100	10,740,600	10,944,900	10,947,600	11,097,000	11,283,300	11,475,900
B.1 / 1.300 VA	6,133,400	6,292,000	6,537,700	6,782,100	6,919,900	6,981,000	6,983,600	7,133,100	7,265,700	7,241,000	7,270,900	7,325,500	7,381,400
B.1 / 2.200 VA s/d 5.500	13,694,900	13,845,900	14,025,900	14,298,800	14,477,200	14,624,600	14,780,200	15,003,200	15,256,200	15,241,800	15,525,900	15,764,500	15,971,500
B.2 / 6.600 VA s/d 200 k	14,991,200	15,289,700	15,411,700	15,617,200	15,763,900	15,831,000	15,869,500	15,991,600	16,499,900	16,856,400	16,969,600	17,335,000	17,522,200
B.3 / > 200 kVA	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345
JUMLAH B	45,963,600	46,590,150	47,136,500	47,944,350	48,408,150	48,736,400	48,925,450	49,622,100	50,720,300	51,039,950	51,615,200	52,460,100	53,102,800
I.1 / 450 VA I	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
I.1 / 900 VA I	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9,9	9,9	9,9
I.1 / 1.300 VA	3,9	3,9	5,2	5,2	6,5	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	6,5
I.1 / 2.200 VA	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2
I.1 / 3.500 s/d 14 kVA	163,2	163,2	163,2	173,8	173,8	173,8	173,8	173,8	173,8	173,8	173,8	173,8	179,3
I.2 / > 14 kVA s/d 200 kV	4,245,500	4,245,500	4,245,500	4,286,500	4,286,500	4,286,500	4,286,500	4,286,500	4,424,500	4,424,500	4,424,500	4,424,500	4,507,000

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

I.3 / > 200 kVA	6,995,000	6,995,000	6,995,000	6,995,000	6,440,000	6,440,000	6,440,000	6,440,000	6,440,000	6,440,000	6,440,000	6,440,000	6,440,000
I.4 / 30.000 kVA keatas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUMLAH I	11,430,250	11,430,250	11,431,550	11,483,150	10,929,450	10,930,750	10,930,750	10,930,750	11,068,750	11,068,750	11,069,650	11,069,650	11,156,350
P.1 / 450 VA	39,15	39,15	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,25	38,25	38,25	38,25	37,35	36,45
P.1 / 900 VA	301,5	300,6	299,7	298,8	300,6	300,6	300,6	304,2	303,3	300,6	300,6	299,7	299,7
P.1 / 1.300 VA	261,3	261,3	260	261,3	262,6	261,3	261,3	258,7	260	261,3	262,6	265,2	262,6
P.1 / 2.200 VA s/d 5.500	701,1	696,7	706,6	706,6	711,4	713,6	715,8	717,1	719,3	723,7	733,6	735,8	742,6
P.1 / 6.600 VA s/d 200 k	4,111,900	4,206,800	4,210,100	4,251,600	4,258,100	4,260,700	4,260,700	4,172,300	4,172,300	4,172,300	4,180,000	4,270,200	4,315,900
P.2 / > 200 kVA	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
P.3	2,110,440	2,110,440	2,110,440	2,110,440	2,110,440	2,110,440	2,156,640	2,292,740	2,292,740	2,292,740	2,292,740	2,301,540	2,314,740
JUMLAH P	8,005,390	8,094,990	8,105,540	8,147,440	8,161,840	8,165,340	8,213,740	8,263,290	8,265,890	8,268,890	8,287,790	8,389,790	8,451,990
T / > 200 kVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C /TM > 200 kVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	960,1	961,8	960,9	967	965,7	952,5	947,7	954,3	952,1	623,6	624	625,8	624,5
JUMLAH	239,544,240	240,651,890	241,621,090	243,535,390	244,139,890	245,074,890	245,531,690	247,295,590	249,509,890	250,289,340	251,824,140	253,577,490	255,072,990

UNIVERSITAS ANDALAS
UNTUK
KEDJAJAAN
BANGSA