

SKRIPSI

ANALISIS JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH PADA PLTMH  
BINTANG ASIH SETELAH KAPASITAS PEMBANGKIT DI TINGKATKAN

*Diajukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat – syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana pada fakultas teknik program studi teknik elektro  
universitas muhammadiyah sumatera utara*

Disusun Oleh:

**Imam Riki Hamdanu Sitorus**

NPM: 1307220054



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH PADA  
PLTMH BINTANG ASIH SETELAH KAPASITAS DAYA  
PEMBANGKITAN DI TINGKATKAN

*Diajukan Guna Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

**IMAM RIKI HAMDANU SITORUS**

NPM. 1307220018

Disetujui Oleh :

Pembimbing 1



Ir. Abdul Aziz H, MM

Pembimbing 2



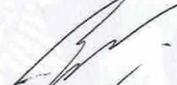
Rimbawati, S.T, M.T

Penguji 1



Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc

Penguji 2



M. Syafril, S.T, M.T

Diketahui Oleh :

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017

## ABSTRAK

*Penerapan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di desa-desa umumnya masih belum banyak di dukung dengan sistem perancangan yang baik. Hal ini menyebabkan timbul nya berbagai masalah, diantara permasalahan tersebut seperti jatuh tegangan akibat rugi-rugi daya pada saluran serta sistem pendistribusian yang masih buruk. Kasus seperti ini terjadi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro di desa rumah sumbul dusun bintang asih kecamatan tiga juhar. Tegangan yang terdapat pada rumah pelanggan mengalami penurunan nilai tegangan (drop voltage) dan tegangan yang terdistribusi ke beban tidak merata. Berkaitan dengan hal tersebut penelitian ini akan melakukan analisis distribusi saat pembangkit menggunakan kincir dan analisis saat pembangkit menggunakan turbin serta bagaimana setelah kapasitas pembangkit ditingkatkan. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa nilai daya pembangkitan oleh sistem kincir hanya mampu sebesar 577,152 watt dengan menggunakan generator berkapasitas 10kVA. Setelah sistem pembangkitan menggunakan turbin daya yang terbangkitkan menjadi 2.224,32 watt. Selanjutnya nilai regulasi drop tegangan yang terjadi pada pendistribusian langsung saat menggunakan kincir pada beban saat menggunakan sebesar 4,421% dan sesudah sistem pembangkitan dan distribusi dirubah menjadi sistem grid nilai drop tegangan yang masuk pada beban menjadi 0,968%.*

**Kata kunci: Jaringan Distribusi PLTMH, Beban Tidak Merata, Regulasi Tegangan.**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Tidak ada kata lain untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT kecuali ucapan syukur atas segala nikmat dengan curahan kasih sayang-Nya atas selesainya Penelitian ini dengan baik dengan judul “ANALISIS JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH PADA PLTMH BINTANG ASIH SETELAH KAPASITAS DAYA PEMBANGKITAN DI TINGKATKAN ”.

Penulisan Penelitian ini dimaksudkan guna melengkapi sebagian persyaratan meraih gelar sarjana di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara jurusan Teknik Elektro.

Di dalam menyusun Penelitian ini penulis tidak dapat melupakan jasa orang-orang yang telah ikut berperan serta sehingga Penelitian ini dapat selesai. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua saya yakni Bapak Samsul Bahri Sitorus dan Ibu Mariani yang selalu mendoakan saya.
2. Kedua orang tua angkat saya yakni Bapak Aidil Putra dan Ibu Rimbawati S.T,M.T yang selalu meberikan support dan pengarahan hingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Drs. Agussani, M.AP. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Rahmatullah, ST. M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST. MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Partonan Harahap, ST. MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Ir. Abdul Azis H, MM, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan serta meluangkan waktu kepada saya dalam menyelesaikan Penelitian.
8. Ibu Rimbawati, ST. MT, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan serta meluangkan waktu kepada saya dalam menyelesaikan Penelitian.
9. Bapak Zulfadli Palawi S.T. M.T selaku direktur CV. MEDCON-E selaku kontraktor engineer kontrol yang memberikan pengarahan dalam melakukan penelitian.
10. Bapak Rohimin dan Bapak Man selaku warga Bintang Asih yang selalu menyediakan tempat tinggal serta konsumsi saat saya melakukan penelitian dilapangan.
11. Dan juga kepada setiap orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu terlebih kepada orang yang penulis sayangi, atas dukungan dan doanya sehingga Penelitian ini dapat selesai.

Penulis menyadari bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga masih banyak hal yang perlu dikaji lebih lanjut untuk pengembangan penelitian di bidang ini. Akhirnya penulis berharap semoga Penelitian ini memperkaya khasanah ilmu pengetahuan di bidang Sistem Tenaga Listrik Khususnya Teknik Tegangan Tinggi.

Wassalamua'alaikum Wr. Wb.

Medan, 14 September 2017

Penulis

Imam Riki Hamdanu Sitorus

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 Sistem Jaringan Tenaga Listrik .....	10
2.3 Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	13
2.3.1 Gardu Induk (GI).....	13
2.3.2 Jaringan Distribusi Primer .....	13
2.3.3 Gardu Distribusi Atau Trafo Distribusi.....	17
2.3.4 Jaringan Distribusi Sekunder .....	18
2.4 Permasalahan Pada Jaringan Distrbusi Tegangan Rendah.....	21
2.4.1 Susut Energi Listrik.....	21
2.4.2 Drop Tegangan.....	26

2.4.3 Rugi-Rugi Pada Penghantar .....	28
2.5 Karakteristik Jaringan Distribusi. ....	29
2.6 Daya Listrik.....	32
2.6.1 Elemen Rangkaian Listrik .....	35
2.6.2 Impedansi .....	38
2.6.3 Penghantar listrik.....	39

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Lokasi Penelitian.....	42
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	43
3.3 Jalannya Penelitian.....	43
3.4 Flowchart Penelitian.....	46

### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Perhitungan Dan Hasil .....	47
4.1.1 Analisis Tahanan Kabel .....	47
4.1.2 Analisis Daya Dan Beban .....	48
4.1.3 Analisis Regulasi Drop Tegangan Beban.....	51
4.1.4 Persentase Tegangan Pada Beban Sebelum Dan Sesudah Tegangan Di Tingkatkan Serta Sistem Distribusi Dirubah .....	54

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran.....	56

### **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar.2.1 Contoh Sistem Pembangkit Listrik .....	10
Gambar.2.2 Sistem Tenaga Listrik.....	12
Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Radial.....	14
Gambar 2.4 Konfigurasi Tie Line ( Hantaran Penghubung ).....	15
Gambar 2.5 Gambar Rekonfigurasi Jaringan Loop .....	16
Gambar 2.6 Konfigurasi Sistem Spindel.....	16
Gambar 2.7. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung.....	19
Gambar 2.8. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Tidak Langsung .....	20
Gambar 2.9 Segitiga Daya .....	33
Gambar 3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro(PLTMH) di Dusun Bintang Asih.....	40
Gambar 3.2 Denah Distribusi Beban .....	40
Gambar 3.3 Flowchart Penyusunan Tugas Akhir .....	44
Gambar 4.1 Jaringan Distribusi PLTMH Bintang Asih Setelah Di Perbaiki .....	47
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Beban Dan Regulasi Drop Tegangan Sebelum Dilakukan Peningkatan. ....	50
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Beban Dan Regulasi Drop Tegangan Sesudah Dilakukan Peningkatan Tegangan. ....	51
Gambar 4.4 Grafik perbandingan Tegangan Serta Perbandingan Setelah Dan Sebelum Daya Ditingkatkan .....	53

## Daftar Tabel

Tabel 2.1 Hambatan Bahan Penghantar .....	39
Tabel 3.1 Analisis Data Sebelum Kapasitas Daya Ditingkatkan .....	42
Tabel 3.2 Analisis Data Sesudah Kapasitas Daya Ditingkatkan .....	43
Tabel 4.1 Analisis Regulasi Tegangan Sebelum Dilakukan Peningkatan .....	49
Tabel. 4.2 Analisis Regulasi Tegangan Setelah Dilakukan Peningkatan.....	50

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan masyarakat saat ini. Karena segala aktivitas yang berkaitan dengan kebutuhan sehari-hari tidak terlepas dari kebutuhan akan energi listrik. Hal ini yang membuat energi listrik menjadi kebutuhan pokok yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat saat ini. Untuk mengatasi kebutuhan energi listrik tersebut, pihak pemerintah juga sudah memikirkannya antara lain melalui pembangunan pembangkit tenaga listrik berskala besar dan kecil. Dengan mengelola dan meningkatkan sumber daya alam yang dapat di pergunakan sebagai pembangkitan energi listrik. Sehingga energi listrik dapat disalurkan keseluruh wilayah melalui jaringan transmisi dan jaringan distribusi.

Jaringan distribusi merupakan bagian terakhir penyaluran energi listrik dari seluruh sistem tenaga listrik. Oleh sebab itu jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat. Sistem distribusi di kelompokkan menjadi dua yaitu, distribusi tegangan menengah (*distribusi Primer*) yang berkapasitas 20 kV dan distribusi tegangan rendah (*distribusi sekunder*) yang berkapasitas 220/380 V. Tegangan rendah umumnya digunakan pada perumahan atau industri kecil. Kabel penghantar untuk mendistribusikan daya listrik biasanya menggunakan jenis kabel *twisted* (NFA2X) dengan diameter penghantar  $50\text{mm}^2 - 70\text{mm}^2$ .

Dalam sistem distribusi tenaga listrik tegangan rendah sering terjadi gangguan – gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya pendistribusian tenaga listrik kekonsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik menyimpang dari kondisi normal yang berakibat munculnya berbagai masalah. Berbagai Permasalahan yang sering muncul pada sistem distribusi energi listrik seperti, drop tegangan yang menyebabkan tegangan listrik menjadi menurun, susut daya yang diakibatkan pembagian beban tidak merata .

Hal demikian juga yang terjadi pada jaringan distribusi tegangan rendah pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) di Bintang Asih. Dalam jaringan distribusi PLTMH Bintang Asih tersebut, banyak nya permasalahan yang mengakibatkan gangguan pendistribusian menjadi menyimpang dari kondisi normal yang seharusnya.

PLTMH Bintang Asih terletak di Kabupaten Deli Serdang, Kecamatan Stm Hulu Desa Rumah Sumbul. Pembangkit tersebut saat ini berkapasitas 600VA dengan beban sebanyak 21 rumah penduduk. Hal ini mengakibatkan daya hanya dapat digunakan sebagai penerangan di malam hari saja. Berdasarkan observasi pada tempat tersebut kapasitas dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro Bintang Asih seharusnya dapat melebihi dari 600 VA akan tetapi akibat dari sistem pendistribusian yang tidak baik, dan juga di perparah banyak nya gangguan yang muncul, menjadikan pembangkit tersebut beroperasi secara tidak optimal.

Sehingga atas dasar inilah perlu dilakukan analisis sistem distribusi pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Bintang Asih, agar mendapatkan hasil

data yang dapat digunakan sebagai acuan apabila akan dilakukan peningkatan daya pada

pembangkit. Penelitian ini berisi pembahasan yang menganalisis sistem pendistribusian dari pembangkitan hingga ke konsumen (beban), setelah dan sebelum daya pada pembangkit di tingkatkan.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka permasalahan yang akan diamati adalah sebagai berikut

1. Seberapa besar tegangan dan daya yang terdistribusi ke beban setelah dan sebelum kapasitas pembangkitan ditingkatkan
2. Seberapa besar drop tegangan yang teregulasi pada sisi distribusi.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Masalah yang akan dibahas dalam Penelitian ini adalah:

1. Studi dilakukan pada sistem jaringan distribusi tegangan rendah pada PLTMH Bintang Asih sebelum dan sesudah dilakukan penaikan daya pembangkitan.
2. Analisis hanya menghitung daya pembangkitan, susut daya listrik yang dibangkitkan sebelum dan sesudah kapasitas daya ditingkatkan, efisiensi pembangkitan sebelum dan sesudah kapasitas daya ditingkatkan, serta regulasi drop tegangan pada setiap beban sebelum dan sesudah kapasitas daya ditingkatkan.

3. Data yang digunakan merupakan data yang didapat dari hasil observasi pengukuran lapangan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui besarnya daya yang dibangkitkan oleh PLTMH Bintang Asih menggunakan sistem kincir saat kapasitas pembangkitan belum ditingkatkan dan turbin setelah kapasitas daya ditingkatkan.
2. Mengetahui perbedaan regulasi drop tegangan yang didistribusikan sebelum dan sesudah kapasitas daya ditingkatkan.

#### **1.5. Sistematika Penulisan**

Skripsi yang disusun memiliki sistematika sebagai berikut:

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini diuraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

##### **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori dasar yang menjelaskan tentang sistem tenaga listrik, komponen jaringan distribusi tenaga listrik, sistem jaringan distribusi, permasalahan distribusi tegangan rendah, susut daya listrik, drop tegangan rugi-rugi penghantar dan karakteristik jaringan .

##### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang gambaran dan penjelasan metode yang digunakan untuk penelitian.

##### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang hasil analisis daya pembangkitan, susut daya listrik, perbandingan daya listrik, rugi-rugi daya listrik, regulasi drop tegangan pada sisi beban, efisiensi pembangkitan dan efisiensi regulasi drop tegangan pada sisi beban sebelum dan sesudah daya di tingkatkan.

## BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan penulis tentang hasil analisis jaringan distribusi tegangan rendah pada pltmh bintang asih sebelum dan sesudah kapasitas daya pembangkitan di tingkatkan.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Wangan Aji dibangun tahun 2006 dalam rangka mempromosikan pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan saluran irigasi sungai Wangan Aji dan dikoneksikan ke sistem jaringan tegangan menengah PLN. Pembangunan mikrohidro bertujuan untuk memperbaiki daya listrik PLN dalam melayani kebutuhan listrik konsumen yang terus meningkat setiap tahun. Pemrakarsa pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Wangan Aji adalah Koperasi Energi Indonesia (*KOPENINDO*) dengan bantuan dana bergulir dari *Asian Development Bank (ADB)*.

Merujuk Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 31 Tahun 2009 tentang harga pembelian listrik oleh PT PLN (Persero) dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan skala kecil dan menengah atau kelebihan tenaga listrik. Peraturan tersebut memberikan kesempatan pada pihak (Swasta dan BUMD) membangun mikrohidro sebagai basis usaha dengan menjual energi listriknya kepada PT PLN (*on grid*) dengan harga yang layak, tidak memerlukan negosiasi dengan PT PLN (Persero) serta tidak perlu izin Menteri. Kebijakan pemerintah ini diharapkan para pengembang yang tertarik untuk membangun mikrohidro.

Mikrohidro Wangan Aji dirancang untuk menghasilkan daya sebesar 140 kW, dengan pola operasi pembangkit selama 24 jam sehari, kemudian seluruh

hasil produksi energi listrik dimasukkan ke jaringan tegangan menengah PLN dan dijual dengan harga Rp 656 setiap kWh. PLTMH Wangan Aji selalu merencanakan sistem operasinya untuk mendapatkan produksi listrik yang maksimal sesuai target, namun disetiap pembangkit pada umumnya akan mengalami banyak kendala yang menghambat proses produksi sehingga terjadi penurunan hasil produksi. Mengingat betapa pentingnya proses keberlanjutan produksi PLTMH dimasa yang akan datang maka perlu penanganan yang baik.(Nugroha, 2014).

Salah satu sumber energi alternatif dari energi terbarukan (renewable energi) yang mulai dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga air, dalam hal ini PLTA mikrohidro dan PLTA skala mini. Pembangkit-pembangkit tersebut dapat diinterkoneksi dengan saluran distribusi (*grid*), sehingga dapat menjadi pembangkit energi listrik skala kecil tersebar atau pembangkit tersebar. Di Kabupaten Malang telah dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Air skala Mini (PLTM) di Kecamatan Ampelgading, dengan kapasitas 10 MW. PLTM ini selanjutnya diinterkoneksi dengan salah satu bus tegangan menengah 20 kV, dari gardu induk (GI) Turen, yang merupakan salah satu Gardu Induk yang ada dalam wilayah APJ Malang, yang mendapat suplai daya dari Gardu Induk Kebonagung melalui saluran transmisi 70 kV, yang selanjutnya GI Turen berfungsi untuk mensuplai daya beban pada 10 penyulang. Terinterkoneksinya PLTM Ampelgading dengan Gardu Induk Turen, menyebabkan PLTM tersebut berfungsi sebagai pembangkit tersebar atau *Distributed Generation* (DG) yang berdampak pada stabilitas sistem. Dalam proses interkoneksi antara DG dan jaringan distribusi, pemanfaatan sejumlah kecil unit DG dengan kapasitas daya

yang kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik besar yang terpusat, tidak akan mempengaruhi pengoperasian dari jaringan dan karenanya dampak DG dapat diabaikan. Namun, ketika jaringan terinterkoneksi dengan sejumlah besar unit DG, dengan kapasitas yang lebih besar, maka DG akan mempengaruhi stabilitas sistem daya secara keseluruhan, khususnya stabilitas transien. Demikian pula sebaliknya, adanya variasi beban dan gangguan yang terjadi pada sistem yang terinterkoneksi dengan DG, akan mempengaruhi stabilitas serta respon transien dari DG. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas interkoneksi sistem daya di GI Turen berdasarkan analisis aliran daya sebelum dan setelah interkoneksi, stabilitas tegangan, sudut rotor dan frekuensi generator akibat gangguan pada GI dengan adanya interkoneksi dari PLTMH. (Suyono, 2012)

CHECK DAM V Kali Jari dibangun di desa Gadungan, Kecamatan Gandusari, Kabupaten Blitar. Fungsi utama bangunan ini adalah sebagai pengendali sedimen, namun untuk mengoptimalkan manfaat bangunan, pada Check Dam V Kali Jari telah dilengkapi sarana irigasi yang dapat mengairi sawah seluas 50 ha dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) dengan kapasitas keluaran sebesar 15 kVA. PLTM digunakan untuk melayani kebutuhan energi listrik Dusun Jari. Penyaluran daya dari pembangkit ke Dusun Jari menggunakan jaringan tegangan rendah. Bentuk jaringan distribusi menggunakan sistem distribusi radial.

Energi listrik di pedesaan pada umumnya digunakan untuk penerangan. Pada saat ini beban listrik yang digunakan di Dusun Jari telah berkembang tetapi penambahan daya pada tiap fasa tidak merata sehingga kondisi beban tersebut menyebabkan ketidak seimbangan di setiap fasa. Karena jarak yang cukup jauh

antara pembangkit dengan Dusun Jari, ujung saluran distribusi mengalami jatuh tegangan cukup tinggi, sehingga tegangan yang diterima oleh konsumen di bawah tegangan yang ditetapkan. Dalam makalah ini dibahas upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas listrik PLTM Kali Jari Kabupaten Blitar, yaitu mengatur kembali pembebanan setiap fasa untuk mendapatkan kondisi operasi seimbang dan menaikkan tegangan kerja. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi rugi daya nyata pada saluran serta kemungkinan penggunaan transformator tiga fasa yang ditempatkan di ujung saluran sebelum mencapai beban pertama. (Siddiq, 2010)

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Bagian ini sangat menunjang penyaluran tenaga listrik ke konsumen, untuk itu diperlukan pengoperasian dan pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik yang memadai. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen, jaringan distribusi tenaga listrik terbagi atas dua, yaitu jaringan distribusi tenaga listrik primer yang menggunakan tegangan 20000 Volt atau 20 kV (Tegangan Menengah = TM) dan jaringan distribusi tenaga listrik sekunder, menggunakan tegangan 220/380 Volt (Tegangan Rendah = TR). Pada penyaluran tenaga listrik, keandalan jaringan distribusi harus benar-benar diperhatikan, karena dalam jaringan distribusi sangatlah besar kemungkinan terjadinya jatuh tegangan dan susut daya pada kawat penghantar serta susut daya yang terjadi pada transformator distribusi. Oleh karena itu diperlukan perhatian terhadap aspek-aspek teknis dan non-teknis dalam peningkatan keandalan atau kualitas jaringan distribusi. (Malik, 2009).

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Jaringan Tenaga listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

#### A. Sistem Pembangkitan

Pusat pembangkit tenaga listrik (electric power station) biasanya terletak jauh dari pusat-pusat beban dimana energi listrik digunakan. Biasanya pembangkitan energi listrik, menggunakan sistem Tenaga penggerak energi listrik, seperti :

:Tenaga Uap (PLTU), Tenaga Panas Bumi, Tenaga Gas (PLTG), Tenaga Diesel (PLTD), Tenaga Nuklir (PLTN) ,Tenaga Air (PLTA), dan lain



sebagainya.

Gambar.2.1 Contoh Sistem Pembangkit Listrik

## B. Sistem Transmisi

Energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit listrik yang jauh disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi menuju gardu induk (GI). Oleh karena itu dalam penyaluran tenaga listrik yang dibangkitkan diperlukan kawat-kawat atau saluran transmisi. Karena tegangan yang dibangkitkan oleh generator pada umumnya rendah, maka tegangan ini biasanya dinaikkan dengan pertolongan transformator daya ke tingkat yang lebih tinggi antara 30 KV - 500 KV (negara-negara maju sudah ada yang mencapai 1 MV).

Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini, selain untuk memperbesar daya hantar dari saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, juga untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan pada gardu induk (GI), dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah, misalnya dari 500 KV ke 150 KV, atau dari 150 KV ke 70 KV. Kemudian penurunan kedua dilakukan pada gardu induk distribusi dari 150 KV ke 20 KV atau dari 70 KV ke 20 KV.

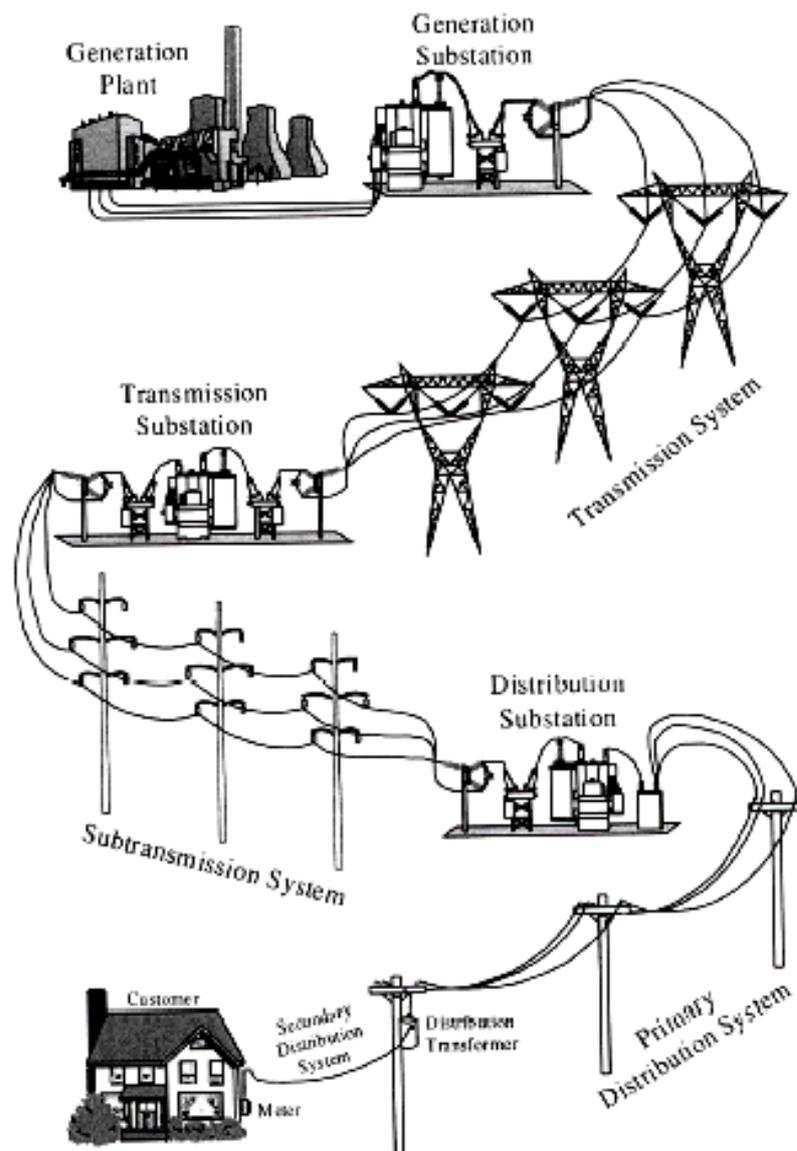
## C. Sistem Distribusi

Energi listrik dari gardu-gardu induk akan disalurkan oleh sistem distribusi sampai kepada konsumen. Melalui jaringan distribusi tegangan 20 KV, sistem jaringan distribusi tegangan 20KV ini disebut tegangan distribusi primer, sedang untuk tegangan rendah sebesar 110V/220V/380V. Ketiga bagian utama (pembangkitan, transmisi, dan distribusi) tersebut menjadi bagian

penting dan harus saling mendukung untuk mencapai tujuan utama sistem tenaga listrik yaitu penyaluran energy listrik kepada konsumen.

#### D. Beban

Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.



Gambar.2.2 Sistem Tenaga Listrik

## **2.3 Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik**

Sistem distribusi merupakan keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (seperti gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik.

### **2.3.1 Gardu Induk (GI)**

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dan umumnya terletak di pingiran kota. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer.

### **2.3.2 Jaringan Distribusi Primer**

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk ( GI ) ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV

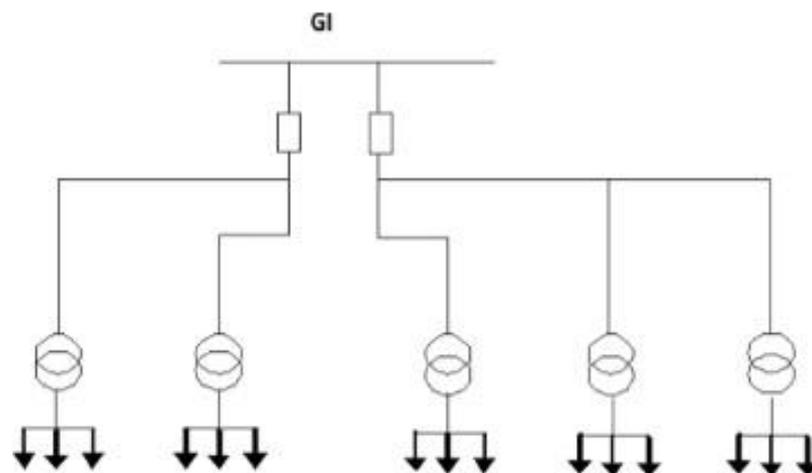
akan terjadi gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya, terdapat konsumen perumahan dan konsumen dunia industri.

Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen. Pada jaringan distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu :

**a) Sistem Radial**

Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 2.3 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

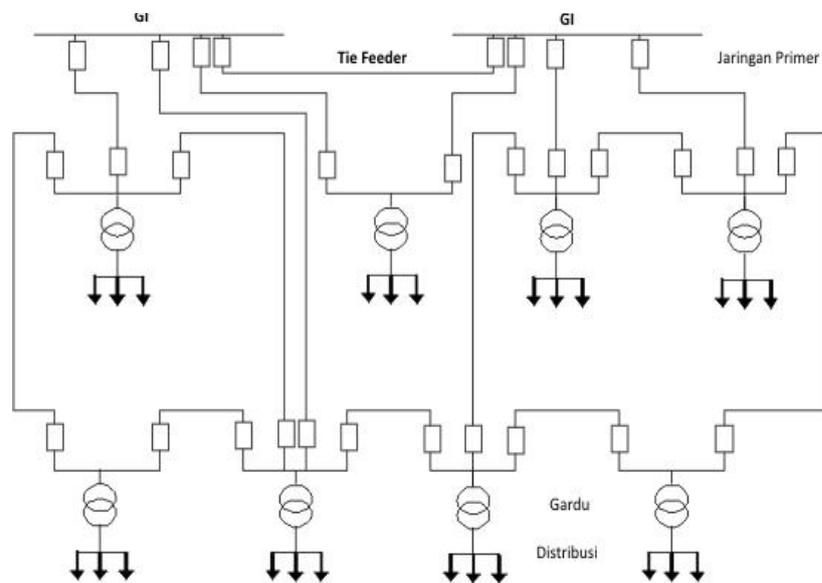


Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Radial

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

#### b) Sistem Hantaran Penghubung ( Tie Line )

Sistem distribusi Tie Line seperti Gambar 2.4. umumnya digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).

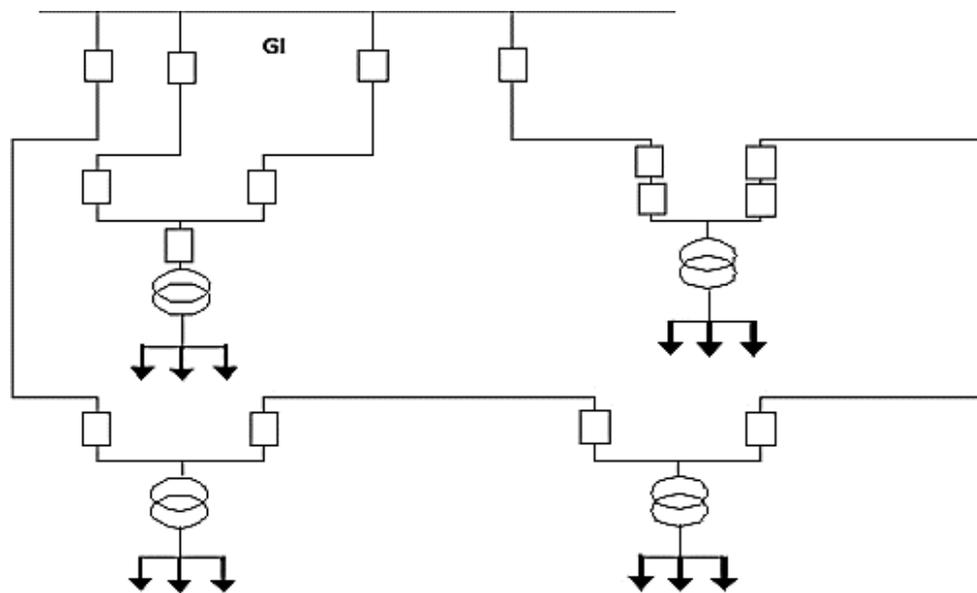


Gambar 2.4 Konfigurasi Tie Line ( Hantaran Penghubung )

Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, dan setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

### c) Sistem Loop

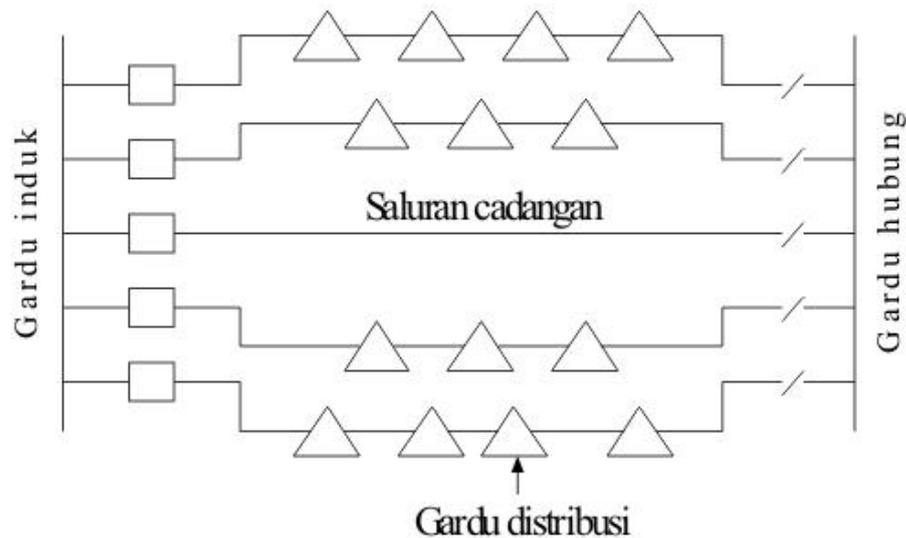
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) seperti Gambar 2.5. dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik



Gambar 2.5 Gambar Rekonfigurasi Jaringan Loop

### d) Sistem Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.6. adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



Gambar 2.6 Konfigurasi Sistem Spindel

Pada sebuah sistem spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem spindel berfungsi sebagai sistem radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM)

### 2.3.3 Gardu Distribusi atau Trafo Distribusi

Gardu distribusi ( Trafo distribusi ) berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada transformator distribusi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Gardu

distribusi ( trafo distribusi ) dapat berupa transformator satu fasa dan juga berupa transformator tiga fasa.

#### **2.3.4 Jaringan Distribusi Sekunder**

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 380/220 V untuk sistem baru. Tegangan untuk jaringan distribusi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

##### **A. Tegangan Menengah (TM)**

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk negara Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran energi listrik dari GI menuju gardu-gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

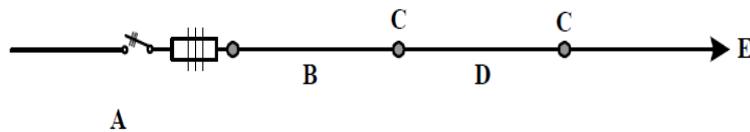
##### **B. Tegangan Rendah (TR)**

Tegangan rendah adalah tegangan dengan nilai di bawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyalurannya dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi netral. Indonesia sendiri menggunakan tegangan rendah 380/220 V dimana tegangan 380 V merupakan besar tegangan antar fasa dan tegangan 220 V merupakan tegangan fasa-netral.

Tegangan 20 KV ini disebut tegangan distribusi primer, sedang untuk tegangan rendah sebesar 110V/220V/380V. Jaringan listrik tegangan rendah menurut penaikan dan pengisian tegangan ada 2 buah macam, yaitu:

### 1. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung.

Jaringan distribusi tegangan rendah langsung yaitu Jaringan distribusi tegangan rendah yang ditarik dan diisi tegangan langsung dan pembangkit tenaga listrik tanpa melalui transformator. Adapun cara pemasangan sistem Jaringan distribusi tegangan rendah langsung seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.7. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung.

Keterangan:

A : Pemutus dan Pengaman Tegangan 220/380 V

B: Kabel Tanah Tegangan Rendah.

C: Tiang Jaringan

D : Kawat Jaringan Konsuraen.

E: Pemakai / Konsumen

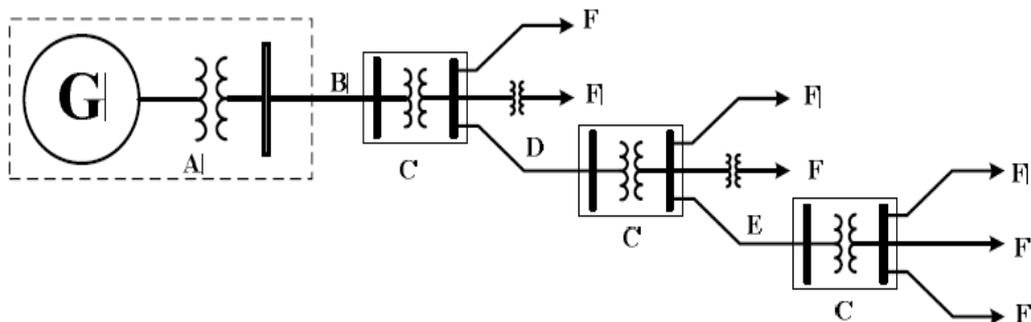
Tegangan Jaringan tersebut biasanya hanya menghasilkan kapasitas kecil dan digunakan untuk keperluan lokal.

### 2. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Tak Langsung.

Jaringan distribusi tegangan rendah tak langsung adalah jaringan distribusi tegangan rendah yang ditarik dan diisi dengan tegangan setelah melalui suatu

transformator penaik tegangan (*step up*). Generator yang ada dipembangkit tenaga listrik biasanya menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6 - 20 KV yang kemudian dengan transformator tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150 - 500 KV.

Saluran tegangan tinggi (STT) menyalurkan tenaga listrik menuju pusat penerima selanjutnya tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan subtransmisi 70 KV pada gardu induk (GI) tenaga listrik yang diterima kemudian disalurkan menuju transformator distribusi (TD) dalam bentuk tegangan menengah 20 KV. Melalui transformator distribusi yang tersebar di berbagai pusat-pusat beban, tegangan primer ini kemudian diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V yang akhirnya diterima pihak pemakai/konsumen. Bentuk secara diagram blok dapat diperjelas seperti gambar dibawah :



Gambar 2.8. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Tidak Langsung

Keterangan :

- A. Pembangkit tenaga listrik (Generator, Transformator Step Up)
- B. Saluran Tegangan Tinggi (STT), yaitu Tegangan 150 - 500 KV
- C. Gardu Induk (GI)

- D. Saluran Sutransmisi (SST) yaitu 70 KV
- E. Saluran Distribusi Primer (SDP) yaitu Tegangan Menengah 20 KV.
- F. Beban
- G. Generator

## 2.4 Permasalahan Pada Jaringan Distrbusi Tegangan Rendah

Dalam distribusi tegangan rendah ada beberapa permasalahan-permasalahan yang sering timbul. pendistribusian yang timbul pada aliran tenaga listrik dapat menyebabkan terganggunya aliran daya listrik.

### 2.4.1 Susut Energi Listrik

Susut energi adalah bekurangnya pasokan energi listrik yang dikirim oleh sumber pengirim kepada konsumen/beban. Dalam hal ini pihak penyedia tenaga listrik mengalami keugian yang besar. Susut daya jaringan listrik yang biasanya terjadi dalam sistem transmisinya hal ini dinyatakan dinyatakan dalam persamaan:

Dalam jarak pendek

$$P_L = 3 I^2 R L \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$P_L$  = hilang daya (watt)

$R$  = tahanan kawat per fasa ( $\Omega$ /Km)

$L$  = panjang saluran (Km)

Sedangkan untuk mengetahui besarnya nilai susut daya listrik dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_L = P_s - P_R \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$P_L$  = daya yang hilang (KW)

$P_s$  = daya yang dikirim (KW)

$P_R$  = daya yang diterima ( KW)

Susut daya listrik merupakan persoalan krusial yang dihadapi oleh PLN dan belum dapat sepenuhnya terpecahkan. Pemadaman bergilir kemudian dilakukan untuk menghindarkan sistem mengalami pemadaman total (totally black out). Persoalan kualitas daya merupakan persoalan lain yang diantaranya disebabkan oleh kekurangan pasokan daya listrik.

Persoalan ini meliputi profil tegangan yang buruk, frekuensi tegangan yang tidak stabil serta distorsi harmonik yang berlebihan. Ketika kontinuitas pasokan masih merupakan persoalan, hal-hal yang berkaitan dengan persoalan kualitas daya untuk sementara dapat "diabaikan" yang kemudian mengherankan adalah ketika data di lapangan menunjukkan bahwa kapasitas pembangkit yang tersedia lebih dari cukup untuk memikul beban yang ada. Kesimpulan yang sementara bisa ditarik adalah bahwa terjadi susut daya yang cukup besar di jaringan. Kesimpulan ini diperkuat dengan data di lapangan bahwa susut daya di jaringan cukup besar melebihi estimasi yang ditetapkan. Kerugian finansial akibat susut daya ini merupakan hal yang tidak bisa dihindarkan. Ada beberapa persoalan yang menyebabkan terjadinya penyusutan daya antara lain penyusutan daya listrik secara teknis dan penyusutan daya listrik secara non teknis.

### **A. Penyusutan Daya Secara Teknis.**

Penyusutan secara teknis biasanya disebabkan adanya kesalahan pada sistem kelistrikannya antara lain :

a) Adanya kerusakan pada peralatan mekanik listrik yang berada di Pembangkit ataupun PLN antara lain :

- Kerusakan yang terjadi pada peralatan mekanik yang berada di pusat pembangkit seperti: kerusakan pada generator, turbin, kincir air dan sebagainya.
- Kerusakan yang terjadi pada jaringan Transmisi seperti terlalu jauhnya jarak pembangkit dari konsumen dan terjadi kerusakan pada saluran kabelnya.
- Adanya pemakaian peralatan dan konstruksi jaringan (komponen) yang tidak memenuhi syarat atau sudah berumur sehingga menimbulkan kerusakan pada peralatan.
- Kerusakan pada peralatan komponen pendukung jaringan seperti kerusakan pada alat ukur.

b) Kesalahan manusia atau human error.

- Kesalahan yang terjadi pada PLN yaitu kesalahan dalam pembacaan alat ukur.
- Kurangnya perhatian terhadap hasil pekerjaan penyambungan kawat penghantar atau penyadapan dan pemasangan sepatu kabel yang kurang baik, dimana nilai tahanan ( $R$ ) pada titik sambungan atau penyadapan dan sepatu kabel menjadi lebih tinggi dari yang seharusnya.

- Kurangnya perhatian terhadap hasil pekerjaan pemasangan atau pemeliharaan jaringan yang kurang baik. Kondisi penghantar, isolator, tiang listrik, jarak aman dan sebagainya tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan sehingga kemungkinan terjadinya kebocoran arus, korona yang melebihi batas standar sampai terhentinya pasokan tenaga listrik akan menjadi cukup besar.
- Adanya pemakaian bahan alat listrik yang kurang baik atau tidak memenuhi standar sehingga memudahkan alat yang dipergunakan cepat rusak atau dapat menimbulkan impedansi yang lebih tinggi.
- Adanya pemakaian konstruksi jaringan dan peralatannya (komponen) yang tidak memenuhi syarat sehingga dapat menimbulkan kerugian.

## **B. Penyusutan Daya Secara Non Teknis.**

Penyusutan daya secara non teknis disebabkan oleh adanya kesalahan di luar sistim kelistrikannya antara lain :

- Bencana alam seperti : Banjir, gempa, angin topan dll.
- Kondisi fisik, psikis dan religi SDM.
- Kondisi sarana dan prasarana pekerjaan.
- Kondisi pengetahuan dan ketrampilan.
- Adanya kesalahan yang dilakukan oleh konsumen seperti pencurian daya dan penggunaan energi listrik secara sembarangan.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik dan mengurangi kerugian daya. Upaya dilakukan di sisi pembangkitan dan juga di pihak PLN antara lain :

a) Pihak Pembangkit dan gardu induk

- Program perbaikan sambungan, sadapan, sepatu kabel dan kawat/penghubungnya pada instalasi jaringan.
- Program pemeliharaan/ perbaikan trafo (bergaransi).
- Program pembebanan trafo dan perubahan tap trafo.
- Program pemasangan kapasitor shunt pada sisi sekunder trafo daya dan pada penyulang (feeder) pada jaringan.
- Program penjadwalan optimal pembangkit beserta peralatannya secara berkala.

b) Pihak PLN

- Melakukan alokasi optimal daya reaktif untuk menekan rugi-rugi daya penyaluran dan mempertahankan profil.
- Melakukan pengaturan optimal aliran daya listrik (optimal power flow) untuk menurunkan rugi daya penyaluran.
- Mengoptimalkan kapasitas pembangkitan.
- Program perubahan tegangan rendah (PTR) dari tegangan 110/127 V menjadi 220/380 V, dimana pada daya yang sama arus beban akan menjadi lebih kecil.

- Program perbaikan faktor kerja ( $\cos \phi$ ) beban menjadi 0,9. Dengan faktor kerja 0,9 pada daya yang sama arus akan menjadi lebih kecil dibanding beban yang mempunyai faktor kerja kurang dari 0,9.
- Program pemilihan komponen peralatan yang berkualitas dan tepat guna.
- Program pemasangan trafo sesopan dan tindak lanjutnya.
- Program pemeliharaan peralatannya secara berkala.
- Melakukan pengecekan pada jaringan instalasi listrik kepada konsumen.

Selain upaya yang di lakukan pada sisi pembangkitan dan PLN ada juga beberapa upaya lain yang tidak kalah penting untuk meningkatkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik dan mengurangi kerugian daya. Upaya-upaya tersebut berada pada titik konsumen atau beban, di antarlain upaya tersebut adalah:

1. Menggunakan daya listrik untuk keperluan rumah tangga secara efisiensi serta memenuhi standart dan ketentuan yang diberikan PLN.
2. Tidak melakukan pemakaian energi listrik secara tidak sah (mencuri).

#### **2.4.2 Drop Tegangan**

Jaringan tegangan rendah yang terlalu panjang akan menimbulkan drop tegangan, dimana selisih tegangan pada sisi kirim dengan tegangan pada sisi terima . Masyarakat yang berada di daerah yang jauh dari kabel utama distribusi cenderung menerima tegangan yang nilainya lebih kecil dari pada di daerah yang dekat dengan kabel utama distribusi. Menurut SPLN 1:1995, toleransi tegangan Saluran Pelayanan (SP) adalah +5%. dari tegangan standar tegangan rendah pada sisi pangkal dan -10% pada sisi ujung. Hal ini terjadi akibat Besar arus yang mengalir di sepanjang kabel pilin tegangan

rendah (Low Voltage Tweested Cable = LVTC) tidaklah sama, karena beban hanya mengalir pada titik-titik penghubung kabel distribusinya saja. Jadi dapat dikatakan bahwa besar arus pada titik yang mengalir pertama lebih besar dari besar arus di tiang kedua dan seterusnya semakin kecil hingga tiang terakhir. Sementara besarnya rugi-rugi yang terjadi di sepanjang jaringan adalah kuadrat arus dikali tahanan total kabel jaringan. Karena besar arus berbeda-beda di sepanjang jaringan, maka sangat sulit menghitung drop tegangan keseluruhan dari kawat tersebut. Akibat dari beban terdistribusi tidak merata, panjang saluran penghantar terlalu jauh, maka jumlah ketiga arus fasa tidak lagi sama dengan nol, karena beban tidak setimbang sehingga pada kawat netral akan timbul arus yang mengalir dari penghantar netral ke elektronoda bumi (*grounding rod*), sehingga timbul drop tegangan pada saluran penghantar dan rugi-rugi daya pada penghantar tersebut.

$$V_d = V_s - V_r \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$V_d$  = jatuh tegangan (volt)

$V_s$  = tegangan penerima dari sumber (Volt)

$V_r$  = tegangan penerima di sisi sumber ( volt)

Drop tegangan terjadi pada saluran adalah

$$\Delta V = \frac{\rho \times L \times I \times \cos \phi}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

$\Delta V$	= drop tegangan (Volt)
I	= Arus (ampere)
L	= panjang saluran (m)
P	= tahanan jenis (rho)
cos phi	= faktor daya
A	= luas penampang

Untuk jaringan distribusi tegangan rendah nilai reaktansi kecil sehingga diabaikan. Dalam hal ini kabel *Twisted Insulate Cable* resistansi penghantarnya dengan mengacu pada SPLN 42-10:1993.

Untuk menentukan efisiensi regulasi tegangan pada beban sistem turbin air PLTMH dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta_{sistem} = \frac{P_g}{P_h} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Sedangkan regulasi tegangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$V_s$  = Tegangan ujung pengirim (volt)

$V_r$  = Tegangan ujung penerima (volt)

### 2.4.3 Rugi-rugi pada penghantar

Rugi rugi pada penghantar tidak dapat dihilangkan karena setiap penghantar mempunyai nilai tahanan jenis yang menyebabkan adanya daya terserap pada penghantar. Besarnya rugi-rugi energi pada pengahantar tersebut di tentukan dengan rumus :

$$P_c = I^2 \times R \times l \dots\dots\dots (2.7)$$

Dan kerugian energi dihitung setiap jam, maka besarnya adalah

$$P_c = I^2 \times R \times L \times H \text{ (Watt hours) } \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- P<sub>c</sub> = rugi-rugi pada energi (Watt)
- P<sub>cH</sub> = rugi energi listrik (kWh)
- I = arus yang mengalir pada penghantar (ampere)
- R = tahanan murni pada penghantar (ohm)/Km
- L = panjang penghantar (Km)
- H = waktu/jumlah jam

## 2.5 Karakteristik Jaringan Distribusi.

Untuk daya yang sama, maka daya yang digunakan untuk menyalurkan akan naik dikarenakan rugi-rugi transmisi turun apabila tegangan transmisi ditinggikan. Namun, peninggian tegangan transmisi berarti juga menaikkan isolasi dan biaya peralatan dan gardu induk. Oleh karena itu pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan (reliability), biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan-tegangan yang sekarang ada. Di Indonesia, pemerintah telah menyeragamkan deretan tegangan tinggi sebagai berikut:

Tegangan nominal (KV) : (30) - 66 - 150 - 220 - 380 - 500.

Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (KV): (36) - 72,5 - 170 - 245 - 420 - 525.

Tegangan nominal 30 KV hanya diperkenankan untuk daerah asuhan dimana tegangan distribusi 20 KV tidak dipergunakan. Penentuan deretan tegangan diatas disesuaikan dengan rekomendasi *International Electrotechnical Commission* (IEC). Menurut TIM PLN (SPLN 12/1978) yang dikutip oleh Purwanto.

A.(1998:6) Sistem jaringan distribusi tenaga listrik harus memenuhi karakteristik sebagai berikut :

1. Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun hal-hal yang direncanakan. Biasanya kontinuitas pelayanan terbaik diprioritaskan pada beban-beban yang dianggap vital dan sama sekali tidak dikehendaki mengalami pemadaman sekalipun dalam waktu yang relatif singkat.
2. Kualitas daya yang baik, antara lain meliputi: kapasitas daya yang memadai, tegangan yang selalu konstan dan frekuensi yang selalu konstan untuk arus bolak-balik.
3. Luasan dan penyebaran daerah bebun yang dilayani seimbang. Khususnya untuk sistem tiga fasa, faktor keseimbangan atau kesimetrisan beban pada masing-masing fasa juga perlu diperhatikan.
4. Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan daerah beban. Perencanaan sistem distribusi yang baik, tidak hanya bertitik tolak pada kesatuan beban yang sesaat, tetapi perlu diperhitungkan pula secara teliti kemungkinan pengembangan beban yang harus dilayani, bukan saja dalam hal penambahan kapasitas dayanya, tetapi dalam hal perluasan jaringan yang harus dilayani.
5. Kondisi dan situasi lingkungan, faktor ini merupakan pertimbangan dalam perencanaan untuk lingkungan bersangkutan, misalnya tentang konduktornya, konfigurasinya, tata letaknya dan pertimbangan dari segi estetika atau keindahannya.

6. Pertimbangan ekonomi, faktor ini menyangkut perhitungan atau untung ruginya ditinjau dari segi ekonomis dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

Sedangkan menurut TCM PLN 1978 ( SPLN 12/1978 : 6 ) sistem jaringan distribusi tenaga listrik untuk 20 KV tiga fasa empat kawat mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

1. Netral yang ditanahkan disepanjang jaringan
2. Dilakukan pentanahan langsung.
3. Pentanahan dilakukan disepanjang jaringan
4. Penghantar netral yang ada merupakan penghantar jaringan tegangan menengah maupun penghantar netral jaringan tegangan rendah.
5. Transformator Menggunakan Transformator 1 fasa yang dihubungkan antara fasa dan netral bersama sehingga kebutuhan akan aliran tiga fasa dipenuhi oleh susunan tiga fasa. Transformator distribusi satu fasa lebih praktis dan dipasang dengan 4 saluran penghantar, pada sisi kumparan sekunder dapat dihubungkan seri paralel, yang berfungsi untuk memperoleh tegangan 220 Volt/ 380 Volt. Dewasa ini hubungan dari seri paralel maupun seri pada sisi sekunder transformator distribusi satu fasa dilakukan dalam tangki transformator.

Dengan demikian karakteristik jaringan distribusi tenaga listrik adalah jaringan itu mempunyai kontinuitas dan kualitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, netral dan pentanahan yang dilakukan disepanjang jaringan, hubungan transformator distribusi secara praktis dan dipasang dengan 4 saluran penghantar, pada sisi kumparan sekunder dapat dihubungkan seri paralel, yang

berfungsi untuk memperoleh tegangan 220/380 Volt serta memperhatikan kondisi dan situasi lingkungan dan pertimbangan ekonomi dalam hal pengembangan jaringan distribusi.

## 2.6 Daya Listrik

Daya adalah laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Dengan kata lain, daya atau *power* listrik adalah laju transfer energi listrik atau besarnya energi listrik yang berubah per detik. Sehingga, dalam perhitungan matematis, daya atau power dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

$\cos \phi$  = faktor daya

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik, yaitu daya nyata atau daya aktif, daya reaktif serta daya semu atau daya kompleks. Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya atau putaran pada motor listrik. Daya nyata dihasilkan oleh beban beban listrik yang bersifat resistif murni. Besarnya daya aktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt, di mana :

$$P = I^2 \times R \dots\dots\dots (2.10)$$

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

$P = \text{Daya (Watt)}$

$I = \text{Arus Listrik (A)}$

$R = \text{Tahanan (Ohm)}$

$V = \text{Tegangan (volt)}$

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (Volt Ampere Reaktan) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktansi. Terdapat dua jenis beban reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang biasa digunakan untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, lift, eskalator, kompresor, konveyor dan lain-lain.

Beban-beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. Contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor. Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi di :

$$Q = I^2 \cdot X \dots\dots\dots(2.12)$$

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

$Q = \text{daya (VAR)}$

$X = \text{reaktansi total (Ohm)}$

$X_L = \text{reaktansi induktif (Ohm)}$

$X_C = \text{reaktansi kapasitif (Ohm)}$

Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif, di mana :

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2.14)$$

(2.13) Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (Volt Ampere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban di mana :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.15)$$

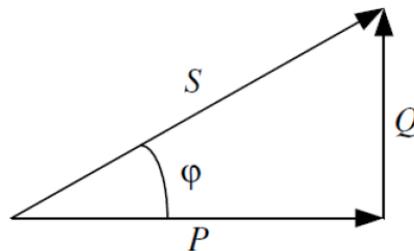
Keterangan :

$S$  = Daya kompleks (VA)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus listrik (A)

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif  $P$ , daya reaktif  $Q$  serta daya kompleks  $S$ , dinyatakan dengan sebuah segitiga, yang disebut segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 2.9 Segitiga Daya

Segitiga daya digambarkan pada **Gambar 2.9**. Untuk beberapa beban yang dihubungkan paralel,  $P$  total adalah jumlah daya rata-rata dari semua beban, yang harus digambarkan pada sumbu mendatar untuk analisis grafis. Untuk beban

induktif,  $Q$  digambarkan vertikal ke atas karena bertanda positif. Suatu beban kapasitif akan mempunyai daya reaktif negatif, dan  $Q$  digambarkan vertikal ke bawah. Dari gambar segitiga daya tersebut, hubungan antara ketiga daya listrik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$S = P^2 + Q^2 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$P = S \cos\phi \dots\dots\dots (2.17)$$

$$P = VI \cos\phi \dots\dots\dots (2.18)$$

$$Q = S \sin\phi \dots\dots\dots (2.19)$$

$$Q = VI \sin\phi \dots\dots\dots (2.20)$$

### 2.6.1 Elemen Rangkaian Listrik

Elemen listrik terdiri dari elemen aktif dan elemen pasif.

- Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi, Rangkaian Listrik yang akan dibahas pada elemen aktif adalah sumber tegangan dan sumber arus. Pada pembahasan selanjutnya kita akan membicarakan semua yang berkaitan dengan elemen atau komponen ideal. Yang dimaksud dengan kondisi ideal disini adalah bahwa sesuatunya berdasarkan dari sifat karakteristik dari elemen atau komponen tersebut dan tidak terpengaruh oleh lingkungan luar. Jadi untuk elemen listrik seperti sumber tegangan, sumber arus, kompone R, L, dan C pada mata kuliah ini diasumsikan semuanya dalam kondisi ideal.

## 1. Sumber Tegangan (*Voltage Source*)

Sumber tegangan ideal adalah suatu sumber yang menghasilkan tegangan yang tetap, tidak tergantung pada arus yang mengalir pada sumber tersebut, meskipun tegangan tersebut merupakan fungsi dari  $t$ . Sifat lain : Mempunyai nilai resistansi dalam  $R_d = 0$  (sumber tegangan ideal)

### a) Sumber Tegangan Bebas/ *Independent Voltage Source*

Sumber yang menghasilkan tegangan tetap tetapi mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangannya tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya, artinya nilai tersebut berasal dari sumber tegangan dia sendiri.

### b) Sumber Tegangan Tidak Bebas/ *Dependent Voltage Source*

Mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangan bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.

## 2. Sumber Arus (*Current Source*)

Sumber arus ideal adalah sumber yang menghasilkan arus yang tetap, tidak bergantung pada tegangan dari sumber arus tersebut. Sifat lain : Mempunyai nilai resistansi dalam  $R_d = \infty$  (sumber arus ideal)

### a. Sumber Arus Bebas/ *Independent Current Source*

Mempunyai sifat khusus yaitu harga arus tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya. Simbol :

### b. Sumber Arus Tidak Bebas/ *Dependent Current Source*

Mempunyai sifat khusus yaitu harga arus bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.

- **Elemen Pasif**

1. Resistor (R)

Sering juga disebut dengan tahanan, hambatan, penghantar, atau resistansi dimana resistor mempunyai fungsi sebagai penghambat arus, pembagi arus, dan pembagi tegangan. Nilai resistor tergantung dari hambatan jenis bahan resistor itu sendiri (tergantung dari bahan pembuatnya), panjang dari resistor itu sendiri dan luas penampang dari resistor itu sendiri.

Secara matematis :

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

$\rho$  = hambatan jenis

$l$  = panjang dari resistor

$A$  = luas penampang

$R$  = Satuan dari resistor : Ohm ( $\Omega$ )

1. Kapasitor (C)

Sering juga disebut dengan kondensator atau kapasitansi. Mempunyai fungsi untuk membatasi arus DC yang mengalir pada kapasitor tersebut, dan dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Nilai suatu kapasitor tergantung dari nilai permitivitas bahan pembuat kapasitor, luas penampang dari kapasitor tersebut dan jarak antara dua keping penyusun dari kapasitor tersebut. Secara matematis :

$$C = \epsilon \frac{d}{A} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

$\epsilon$  = permitivitas bahan

A = luas penampang bahan

d = jarak dua keping

C = Satuan dari kapasitor : Farad (F)

Jika sebuah kapasitor dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung kapaistor tersebut akan muncul beda potensial atau tegangan.

### 3. Induktor/ Induktansi/ Lilitan/ Kumparan (L)

Seringkali disebut sebagai induktansi, lilitan, kumparan, atau belitan. Pada induktor mempunyai sifat dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Satuan dari induktor : Henry (H) Arus yang mengalir pada induktor akan menghasilkan fluksi magnetik ( $\phi$ ) yang membentuk loop yang melingkupi kumparan. Jika ada N lilitan, maka total fluksi adalah :

$$\lambda = L \cdot I \dots\dots\dots(2.23)$$

$$L = \frac{\lambda}{I} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$v = \frac{d\lambda}{dt} l = \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.25)$$

### 2.6.2 Impedansi

Impedansi adalah ukuran tolakakn terhadap arus bolak-balik. Satuannya adalah ohm untuk menghitung impedansi harus diketahui nilai dari seluruh hambatan serta impedansi dari seluruh induktor dan kapasitor yang akan memberikan penolakan yang bervariasi terhadap arus tergantung pada

perubahan arus sehingga dapat menghitung nilai impedansi dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z = R, X_L, X_C \dots\dots\dots(2.26)$$

Pada persamaan diatas digunakan apabila hanya diketahui satu dari komponen pasif tersebut yang lain.

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} \dots\dots\dots(2.27)$$

Persamaan diatas apabila diketahui antara R dan X.

$$Z = \sqrt{(R^2 + (X_L - X_C)^2)} \dots\dots\dots(2.28)$$

Persamaan diatas apabila seluruh komponen aktif diketahui.

Keterangan :

Z = impedansi (ohm)

R = resistansi (ohm)

$X_L$  = reaktansi induktif (henri)

$X_C$  = reaktansi kapasitif (farad)

### 2.6.3 Penghantar listrik

Definisi Penghantar Penghantar ialah suatu benda yang berbentuk logam ataupun non logam yang dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik lain. Penghantar dapat berupa kabel (penghantar dengan selubung isolasi) atau kawat (penghantar tanpa isolasi).

#### 1. Konduktor

Konduktor adalah zat yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Konduktor dapat berupa zat padat, zat cair, gas terion, dielektrik tak sempurna, dan bahkan ruang hampa udara di sekitar katoda yang memancarkan ion akibat panas. Karena sifatnya yang konduktif maka zat

penghantar ini disebut konduktor. Konduktor yang baik adalah yang memiliki tahanan jenis yang kecil. Pada umumnya logam bersifat konduktif. Emas, perak, tembaga, aluminium, zink, besi berturut-turut memiliki tahanan jenis semakin besar. Di dalam banyak penghantar, pembawa muatannya adalah elektron. Emas adalah penghantar yang sangat baik, tetapi karena harganya sangat mahal, maka secara ekonomis tembaga dan aluminium paling banyak digunakan sebagai penghantar. Jenis Bahan Konduktor Bahan-bahan yang digunakan sebagai konduktor harus memenuhi persyaratan berikut :

- A. Konduktifitasnya cukup baik
- B. Koefisien muai panjangnya kecil
- C. Modulus kenyalnya (modulus elastisitas) cukup besar

## 2. Isolator

Suatu penghantar listrik yang buruk disebut isolator. Pada jarak atom dalam kisi yang diperlihatkan oleh gambar 2.2(a), celah energi yang lebar ini memisahkan daerah pita konduksi yang penuh dari pita konduksi yang kosong. Energi yang dapat diberikan kepada elektron, oleh medan listrik yang ada, terlalu kecil untuk memindahkan elektron dari pita yang berisi ke pita yang kosong. Oleh karena itu elektron tidak dapat memperoleh energi yang mencukupi, maka penghantaran tidak mungkin berlangsung.

Resistifitas Listrik Resistifitas listrik adalah kemampuan suatu bahan dalam menahan arus listrik. Resistifitas listrik dinyatakan sebagai :

$R = \text{Tahanan Jenis Bahan } (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$

$L = \text{Panjang Bahan (m)}$

$A = \text{Luas Penampang Bahan (mm}^2\text{)}$

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.30)$$

Setiap bahan penghantar mempunyai nilai – nilai tahanan yang berbeda-beda seperti pada Tabel. 2.1 dibawah ini yang merupakan nilai – nilai tahanan dari beberapa penghantar listrik ;

Tabel. 2.1 Hambatan Bahan Penghantar

Bahan	Hambatan jenis $\rho$ ( $\Omega/m$ )
Konduktor	
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$
Emas	$2,44 \times 10^{-8}$
Alumunium	$2,65 \times 10^{-8}$
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Air raksa	$98 \times 10^{-8}$
Nikrom	$100 \times 10^{-8}$

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

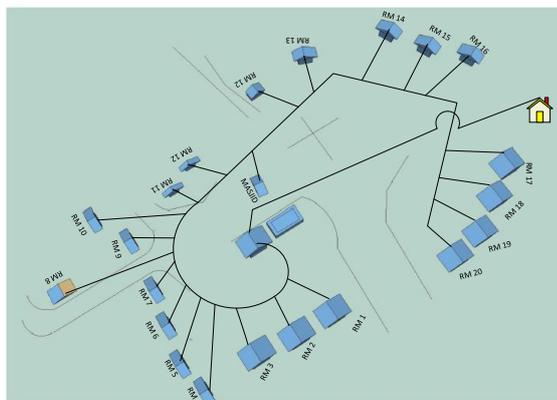
#### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada jaringan distribusi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Dusun Bintang Asih Desa Rumah Sumbul Kecamatan STM Hulu Kabupaten Deli Serdang. Dan pada Gambar 3.1 dibawah ini bentuk awal pembangkit listrik yang masih menggunakan sistem kincir.



Gambar 3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Dusun Bintang Asih.

Pembangkit tersebut melayani 20 rumah dan 1 rumah ibadah namun dalam pendistribusiannya masih buruk, dan pada Gambar 3.2 dibawah ini merupakan sistem pendistribusian yang digunakan pada PLTMH Bintang Asih.



Gambar 3.2 Denah Distribusi Beban Sebelu Sistem Dirubah

### 3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

a. Tang Ampere Digital

Merek	: VIP
Nomor seri	: 16046F22006P
Pengukuran arus berkisar	: 600 A
Pengukuran tegangan	: 750 V

b. Multimeter Digital

Merek	: SANWA
Pengukuran arus berkisar	: 0,25 ampere (AC) & (DC)
Pengukuran tegangan	: 750 v (AC) & 1000 v (DC)
Pengukuran Resistensi	:100k $\Omega$
Frekuensi	: 5Hz-100kHz

### 3.3 Jalannya Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) yang berada di Dusun Bintang Asih Desa Rumah Sumbul Kecamatan STM Hulu Kabupaten Deli Serdang. Adapun pengambilan data-data yang dilakukan pada PLTMH sebelum daya pembangkitan ditingkatkan dan sesudah daya pembangkitan ditingkatkan dan pada penggunaan sistem pendistribusiannya di lokasi tersebut menggunakan sistem langsung.

Berdasarkan hasil pengambilan data pengukuran yang dilakukan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro Bintang Asih adalah sebagai berikut :

### A. Pada Generator Sebelum Kapasitas Daya Pembangkit Ditingkatkan.

Pada Tabel 3.1 menunjukkan tegangan yang di distribusikan pada masing-masing beban dan arus yang mengalir pada masing-masing beban sebelum kapasitas daya ditingkatkan.

Tabel 3.1 Data Pengukuran Pada Pembangkit Sebelum Ditingkatkan.

	Tegangan (V)	Arus (I)	Frekuensi (F)	Jarak	Cos P
Generator	120 V	6,68 amp	16,2 Hz	2Km	0,72
Avr	100 V	4,50 amp	50 Hz	1Km	
Rumah 1	103 V	0,31 amp	50 Hz		
Rumah 2	92 V	0,23 amp	50 Hz		
Rumah 3	100 V	0,23 amp	50 Hz		
Rumah 4	89 V	0,20 amp	50 Hz		
Rumah 5	100 V	0,25 amp	50 Hz		
Rumah 6	41 V	0,6 amp	50 Hz		
Rumah 7	101 V	0,28 amp	50 Hz		
Rumah 8	101 V	0,2 amp	50 Hz		
Rumah 9	102 V	0,29 amp	50 Hz		
Rumah 10	92 V	0,26 amp	50 Hz		
Rumah 11	87 V	0,3 amp	50 Hz		
Rumah 12	95 V	0,12 amp	50 Hz		
Rumah 13	86 V	0,31 amp	50 Hz		
Rumah 14	94 V	0,18 amp	50 Hz		
Rumah 15	84 V	0,24 amp	50 Hz		
Rumah 16	112 V	0,29 amp	50 Hz		
Rumah 17	107 V	0,13 amp	50 Hz		
Rumah 18	100 V	0,13 amp	50 Hz		
Rumah 19	97 V	0,56 amp	50 Hz		
Rumah 20	95 V	0,14 amp	50 Hz		
Rumah 21	103V	0,25 amp	50 Hz		

### B. Pada Generator Sesudah kapasitas Daya Pembangkit Ditingkatkan.

Pada Tabel 3.2 menunjukkan tegangan yang di distribusikan pada masing masing beban dan arus yang mengalir pada masing-masing beban sesudah kapasitas daya ditingkatkan.

Tabel 3.2 Data Pengukuran Pada Pembangkit Sesudah Ditingkatkan.

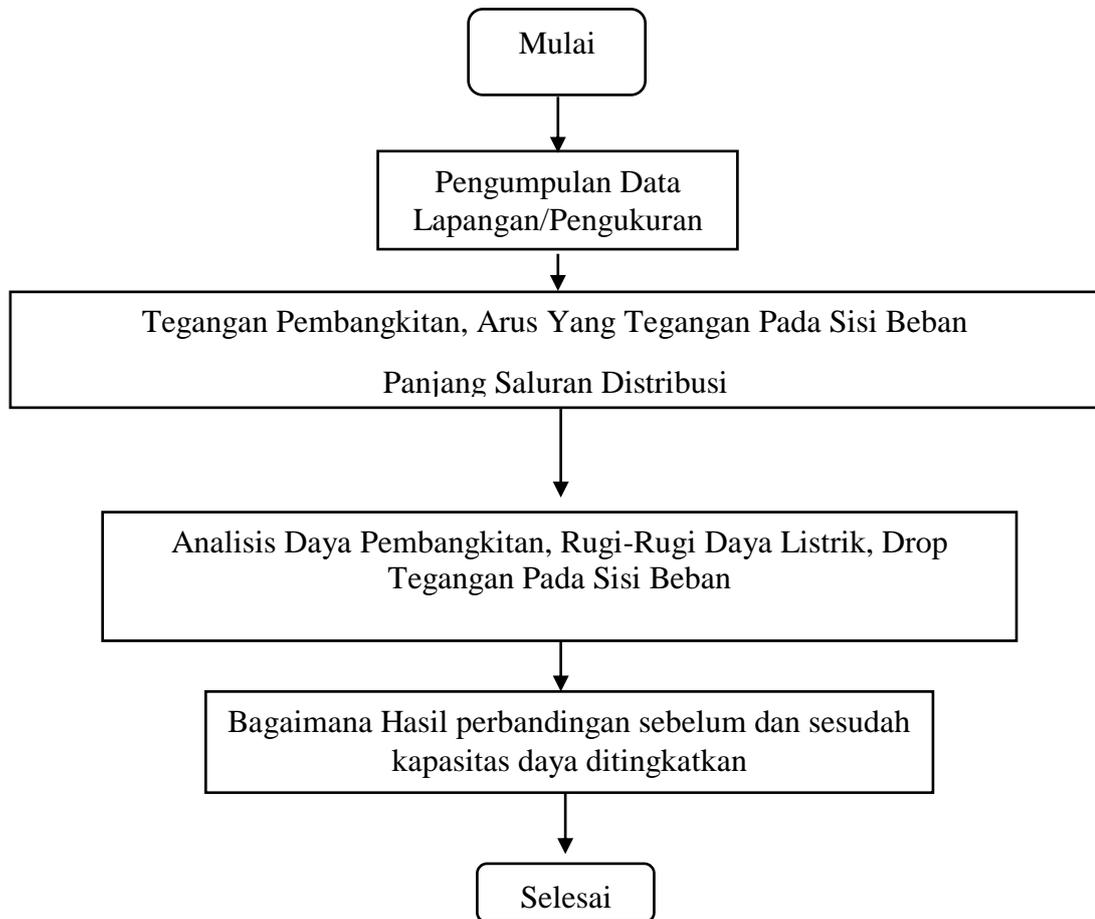
	Tegangan (V)	Arus (I)	Frekuensi (F)	Jarak (A)	Cos phi
Generator	225 V	10,63amp	50 Hz	2 Km	0,93
Avr	220 V	9,57 amp	50 Hz	1 Km	
Rumah 1	220 V	0,31 amp	50 Hz		
Rumah 2	213 V	0,39 amp	50 Hz		
Rumah 3	209 V	0,71 amp	50 Hz		
Rumah 4	220 V	0,28 amp	50 Hz		
Rumah 5	203 V	0,49 amp	50 Hz		
Rumah 6	214 V	0,66 amp	50 Hz		
Rumah 7	210 V	0,41 amp	50 Hz		
Rumah 8	211 V	0,50 amp	50 Hz		
Rumah 9	209 V	0,47 amp	50 Hz		
Rumah 10	214V	0,26 amp	50 Hz		
Rumah 11	220V	0,3 amp	50 Hz		
Rumah 12	219V	0,12 amp	50 Hz		
Rumah 13	216V	0,34 amp	50 Hz		
Rumah 14	218V	0,12 amp	50 Hz		
Rumah 15	209V	0,46 amp	50 Hz		
Rumah 16	212V	0,29 amp	50 Hz		
Rumah 17	219V	0,13 amp	50 Hz		
Rumah 18	209V	0,62 amp	50 Hz		
Rumah 19	207V	0,56 amp	50 Hz		
Rumah 20	210V	0,14 amp	50 Hz		
Rumah 21	207V	0,11 amp	50 Hz		

Selanjutnya data pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 menjadi landasan analisis untuk menentukan besarnya nilai daya yang dibangkitkan dan besarnya drop

tegangan yang terdistribusi ke beban sesuai dengan Persamaan pada (2.9) dan (2.6). kemudian untuk jalannya penelitian dapat kita lihat pada diagram alir berikut ini:

### 3.4 Flowchart Penelitian

Prosedur penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 *Flowchart* Penyusunan Tugas Akhir

## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Dan Hasil

##### 4.1.1 Perhitungan Tahanan Kabel

Pada pendistribusian tenaga listrik PLTMH Bintang Asih panjangnya jalur distribusi 2 Km = 2000 M menggunakan kabel bahan aluminium dengan nilai rho ( $\rho$ ) =  $2,65 \times 10^{-8}$  dan nilai spesifikasi kabel 2 x 16 mm. Dari hasil data dilapangan tersebut akan dilakukan analisis besar tahanan pada kabel distribusi dan drop tegangan pada saluran dengan menggunakan Persamaan (2.30) dan Persamaan (2.4) sebagai berikut:

- $d = 2 \times 16 \text{ mm} = 32 \text{ mm} \rightarrow r = 16 \text{ mm} \times 10^{-3}$   
 $= \pi r^2 = 3,14 \times (16 \text{ mm} \times 10^{-3})^2 = 803,84 \times 10^{-6} = 80 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
- $R = 2,65 \times 10^{-8} \times 2000 / 80 \times 10^{-5} = 66,25 \times 10^{-3} \Omega$

Drop tegangan yang terjadi saat menggunakan kincir.

- $$\Delta V = \frac{(66,25 \times 10^{-3} \Omega) \times (2000 \text{ m}) \times (6,68 \text{ ampere}) \times (\cos 0,72)}{80 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$
$$= 7.965 \times 10^{-3} \text{ volt}$$

Drop tegangan yang terjadi sesudah sistem dirubah

- $$\Delta V = \frac{(66,25 \times 10^{-3} \Omega) \times (2000 \text{ m}) \times (10,63 \text{ ampere}) \times (\cos 0,72)}{80 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$
$$= 0,000163 \text{ volt}$$

Selanjutnya hasil dari perhitungan tahanan kabel akan dilakukan perhitungan rugi-rugi energi pada penghantar dengan menggunakan Persamaan (2.7) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pada kincir } P_c &= 6,68^2 \times 66,25 \times 10^{-3} \times 2 \\ &= 4.488,093 \times 10^{-3} = 5,912 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\text{Pada turbin } P_c = 10,63^2 \times 66,25 \times 10^{-3} \times 2 = 14,972 \text{ watt}$$

Pada perhitungan tahanan pada kabel mendapatkan hasil dari nilai tahanan kabel sebesar  $66,25 \times 10^{-3} \Omega$  sepanjang 2 Km jalur distribusi tenaga listrik PLTMH Bintang Asih. Dan rugi-rugi pada penghantar saat menggunakan sistem kincir sebesar 4 Watt dan setelah menggunakan turbi rugi-rugi pada penghantar menjadi sebesar 14 watt.

#### 4.1.2 Perhitungan Daya Dan Beban

Setelah melakukan penelitian dan mendapat hasil data pengukuran dilapangan, selanjutnya penulis akan melakukan analisis nilai ( $P_s$ ) Daya yang disalurkan dengan persamaan pada (2.9).

Berdasarkan hasil data pengukuran dilapangan besar Tegangan yang disalurkan ( $V_s$ ) sebesar 120 Volt, Arus pembangkitan ( $I_s$ ) sebesar 6,68 Ampere dan ( $\cos 0,72$ ) maka dapat dihitung besarnya daya yang disalurkan oleh pembangkit ( $P_s$ ) menuju beban dan menghitung besarnya resistansi pada beban berdasarkan Persamaan pada (2.9) dan (2.11) :

$$P_s = (120 \text{ volt}) \times (6,68 \text{ ampere}) \times (\cos 0,72)$$

$$P_s = 577,152 \text{ watt}$$

$$R_{\text{beban}} = \frac{120}{6,68} = 17,96 \text{ ohm}$$

Hasil perhitungan tersebut menjadi data ukuran nilai daya yang disalurkan pada beban ( $P_s$ ), sebelum daya tersalurkan ke masing-masing beban GGL harus melewati AVR terlebih dahulu sebelum terdistribusi ke masing masing beban. Sehingga data pengukuran tegangan pada AVR sebesar 100 v]olt dan arus yang mengalir pada AVR sebesar 4,50 ampere. Maka dapat dihitung besarnya daya yang terdistribusi oleh AVR berdasarkan persamaan pada (2.9) sebagai berikut :

$$P_r = (100 \text{ Volt}) \times (4,50 \text{ ampere}) = 450 \text{ watt}$$

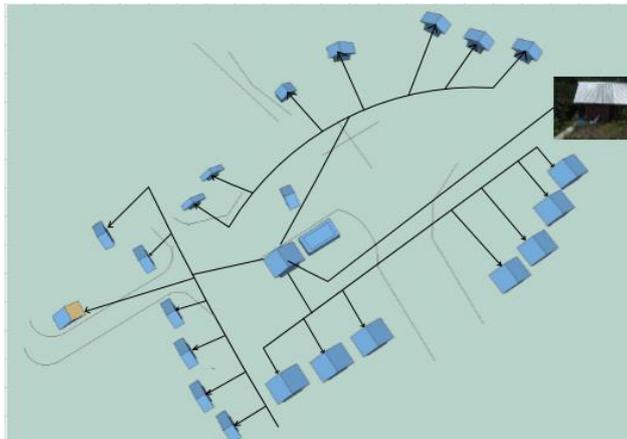
Dari perhitungan diatas didapatkan data sebagai acuan untuk melakukan perhitungan besarnya rugi-rugi daya yang terjadi sepanjang saluran dengan menggunakan Persamaan (2.2) dengan besarnya daya yang disalurkan  $P_s = 577,152$  watt – besarnya daya yang terdistribusi pada AVR sebesar  $P_r = 450$  watt berdasarkan persamaan pada (2.2) didapat sebagai berikut :

$$P_{\text{susut}} = (P_s) \text{ daya yang disalurkan} - (P_r) \text{ daya pada sisi penerima/ AVR}$$

$$P_{\text{susut}} = P_s 577,152 \text{ watt} - P_r 450 \text{ watt} = 127,152 \text{ watt}$$

Dan besarnya jatuh tegangan yang terjadi dari awal titik penyaluran menuju ke dusun Bintang Asih dengan menggunakan parameter pada [2.3] dengan data tegangan sebesar  $v_s = 120$  volt –  $v_r = 100$  volt menghasilkan nilai jatuh tegangan sebesar 20 volt.

Setelah kapasitas pembangkitan ditingkatkan, besar Tegangan yang disalurkan ( $P_s$ ) menjadi sebesar 225 volt, Arus beban ( $I_s$ ) sebesar 10,63 Ampere dan  $(\cos 0,93)$  maka dapat dihitung besarnya daya yang disalurkan oleh pembangkit ( $P_s$ ) menuju beban dan menghitung besarnya resistansi pada beban berdasarkan persamaan pada (2.9) dan (2.11) sebagai berikut :



Gambar 4.1 Gambar Jaringan Distribusi PLTMH Bintang Asih Setelah Di Perbaiki

$$P_s = (V_p) \times (I_s)$$

$$P_s = (225 \text{ volt}) \times (10,63 \text{ ampere}) \times (\cos 0,93) = 2,224.32 \text{ watt}$$

$$R_{\text{beban}} = \frac{225}{10,63} = 21,16 \text{ ohm}$$

Hasil perhitungan tersebut menjadi ukuran daya yang disalurkan pada beban ( $P_s$ ), sebelum daya tersalurkan ke masing-masing beban GGL harus melewati AVR pada titik penyalur ke masing masing beban. Sehingga data pengukuran tegangan pada AVR sebesar 220 volt dan arus yang mengalir pada AVR sebesar 9,57 ampere. Maka dapat dihitung besarnya daya yang terdistribusi oleh AVR berdasarkan persamaan pada (2.9) sebagai berikut :

$$P_r = (V_r) \times (I_r)$$

$$P_r = (220 \text{ Volt}) \times (9,57 \text{ ampere}) = 2.105 \text{ watt}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan data untuk mengetahui besarnya rugi-rugi daya yang terjadi sepanjang saluran dengan menggunakan Persamaan (2.2) dengan besarnya daya yang disalurkan  $P_s = 2.498,05 \text{ watt}$  – besarnya daya yang terdistribusi pada AVR sebesar  $P_r = 2.490,4 \text{ watt}$  berdasarkan persamaan pada (2.2) didapat sebagai berikut :

$$P_{\text{susut}} = (P_s) \text{ daya yang disalurkan} - (P_r) \text{ daya pada sisi penerima/ AVR}$$

$$P_{\text{susut}} = P_s \ 2,224.32 \text{ watt} - P_r \ 2.105 \text{ watt}$$

$$P_{\text{susut}} = 118,92 \text{ watt}$$

Dan besarnya jatuh tegangan yang terjadi dari awal titik penyaluran menuju ke dusun Bintang Asih dengan menggunakan parameter pada [2.3] dan data tegangan sebesar  $v_s = 225 \text{ volt}$  –  $v_r = 220 \text{ volt}$  menghasilkan nilai jatuh tegangan sebesar 5 volt.

### 4.1.3 Analisis Regulasi Drop Tegangan Beban

Apabila ditinjau dari segi penyaluran daya listrik, pembangkit ini hanya menyalurkan energi listrik  $\pm$  20 rumah penduduk dan 1 rumah ibadah dengan jarak pendistribusian  $\pm$  650 m<sup>3</sup>.

Dari data pada tabel 3.1 akan dilakuka analisis regulasi drop tegangan pada masing-masing beban dengan persamaan pada 2.6 yang sebagai berikut:

$$\text{Rugi tegangan rumah } (\Delta V_1) = 120 \text{ Volt} - 103 \text{ Volt} = 17 \text{ Volt}$$

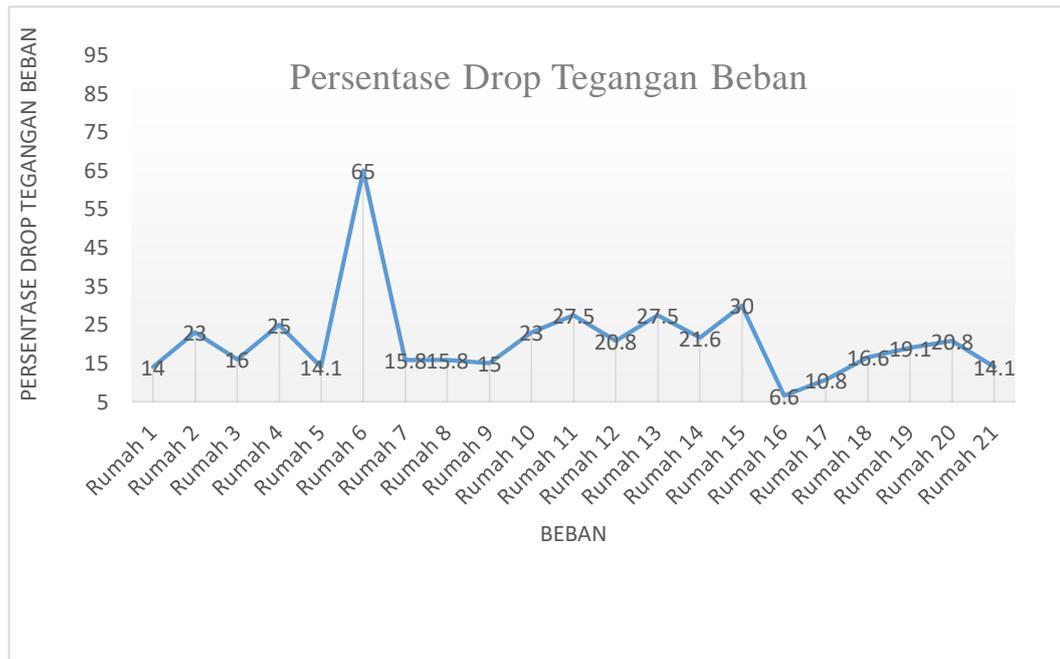
$$V_{\text{reg rumah}} = \frac{17}{120} \times 100\% = 14 \%$$

Dengan menggunakan persamaan 2.6 dan tabel 3.1 dan 3.2 sebagai data untuk mendapatkan analisis presentase regulasi drop tegangan dengan hasil analisis sebagai berikut ;

Tabel. 4.1 Analisis regulasi tegangan sebelum dilakukan peningkatan.

<b>Drop Tegangan Yang Teregulasi Pada Beban sebelum Di Tingkatkan</b>			
No	Beban	Tegangan (V)	Persentasi regulasi (%)
1	Rumah 1	103 Volt	14 (%)
2	Rumah 2	92 Volt	23 (%)
3	Rumah 3	100 Volt	16 (%)
4	Rumah 4	89 Volt	25 (%)
5	Rumah 5	103 Volt	14,1 (%)
6	Rumah 6	41 Volt	65 (%)
7	Rumah 7	101 Volt	15,8 (%)
8	Rumah 8	101 Volt	15,8 (%)
9	Rumah 9	102 Volt	15 (%)
10	Rumah 10	92 Volt	23 (%)
11	Rumah 11	87 Volt	27,5 (%)
12	Rumah 12	95 Volt	20,8 (%)
13	Rumah 13	86 Volt	27,5 (%)
14	Rumah 14	94 Volt	21,6 (%)
15	Rumah 15	84 Volt	30 (%)
16	Rumah 16	112 Volt	6,6 (%)
17	Rumah 17	107 Volt	10,8 (%)
18	Rumah 18	100 Volt	16,6 (%)
19	Rumah 19	97 Volt	19,1 (%)
20	Rumah 20	95 Volt	20,8 (%)
21	Rumah 21	103 Volt	14,1 (%)

Dari hasil analisis diatas daat diperoleh persentase garfik sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Beban Dan Regulasi Drop Tegangan Sebelum dilakukan peningkatan.

Berdasarkan pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa regulasi tegangan sebelum kapasitas tegangan ditingkatkan, dengan hasil perbedaan regulasi drop tegangan pada setiap beban. Kemudian dari data pada tabel 3.2 akan dilakukan analisis regulasi drop tegangan pada masing-masing beban dengan persamaan pada 2.6 yang sebagai berikut:

Tabel. 4.2 Analisis regulasi tegangan setelah dilakukan peningkatan

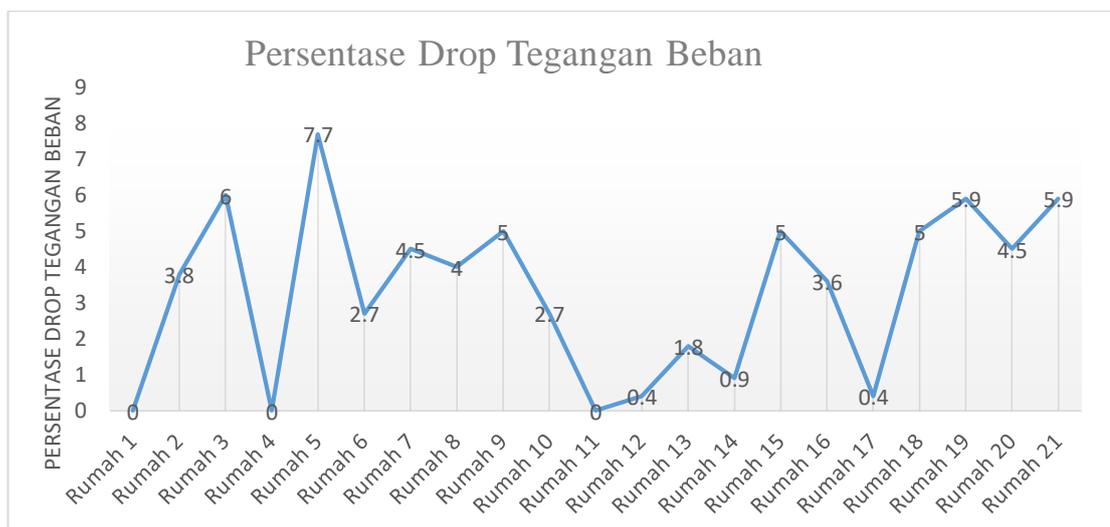
### Regulasi Tegangan Pada Beban Sesudah Daya Di Tingkatkan

Tabel. 4.2 Analisis regulasi tegangan setelah dilakukan peningkatan

Drop Tegangan Yang Teregulasi Pada Beban Sesudah Daya Di Tingkatkan			
No	Beban	Tegangan (V)	Persentasi regulasi (%)
1	Rumah 1	220 Volt	0 (%)
2	Rumah 2	213 Volt	3,8 (%)
3	Rumah 3	209 Volt	6 (%)
4	Rumah 4	220 Volt	0 (%)
5	Rumah 5	203 Volt	7,7 (%)

6	Rumah 6	214 Volt	2,7 (%)
7	Rumah 7	210 Volt	4,5 (%)
8	Rumah 8	211 Volt	4 (%)
9	Rumah 9	209 Volt	5 (%)
10	Rumah 10	214 Volt	2,7 (%)
11	Rumah 11	220 Volt	0 (%)
12	Rumah 12	219 Volt	0,4 (%)
13	Rumah 13	216 Volt	1,8 (%)
14	Rumah 14	218 Volt	0,9 (%)
15	Rumah 15	209 Volt	5 (%)
16	Rumah 16	212 Volt	3,6 (%)
17	Rumah 17	219 Volt	0,4 (%)
18	Rumah 18	209 Volt	5 (%)
19	Rumah 19	207 Volt	5,9 (%)
20	Rumah 20	210 Volt	4,5 (%)
21	Rumah 21	207 Volt	5,9 (%)

Dari hasil analisis diatas daat diperoleh persentase garfik sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Beban Dan Regulasi Drop Tegangan Sesudah Dilakukan Peningkatan Tegangan.

Berdasarkan pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa regulasi tegangan sesudah kapasitas daya ditingkatkan dengan hasil perbedaan regulasi drop tegangan yang terjadi tidak kurang dari 8 volt, dibandingkan sebelum kapasitas pembangkitan

ditingkatkan regulasi drop tegangan pada setiap beban mencapai lebih dari 20 volt.

#### 4.1.4 Persentase Tegangan Pada Beban Sebelum Dan Sesudah Tegangan Di Tingkatkan Serta Sistem Distribusi Dirubah.

Untuk mendapatkan hasil perbandingan sistem kincir saat kapasitas pembangkitan belum ditingkatkan dan turbin setelah kapasitas ditingkatkan dengan membandingkan antara tabel hasil perhitungan sebagai berikut:

1. Analisis persentase regulasi drop tegangan pada beban sebelum ditingkatkan

$$V \%_{\text{reg}} = \text{Reg}\%_{\text{rumah1}} + \text{Reg}\%_{\text{rumah2}} + \text{Reg}\%_{\text{rumah3}} \dots\dots\dots n$$

$$\begin{aligned} \%_{\text{reg}} &= 14\% + 23\% + 16\% + 25\% + 14.1\% + 65\% + 15.8\% + 15.8\% \\ &\quad + 15\% + 23\% + 27.5\% + 20.8\% + 27.5\% + 21.6\% + 30\% + \\ &\quad 6.6\% + 10.8\% + 16.6\% + 19.1\% + 20.8\% + 14.1\% = 3.938\% \end{aligned}$$

$$V_{\text{reg}} = \frac{69.8\%}{100\%} = 4,421\%$$

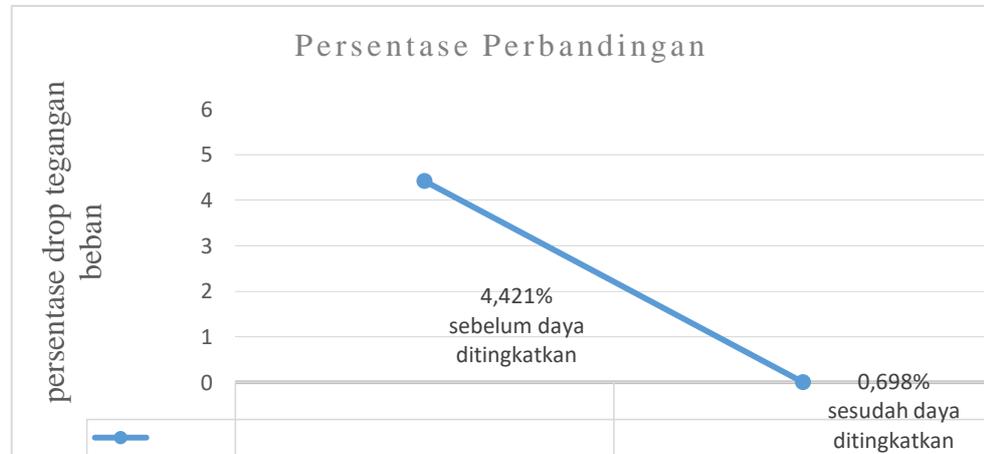
2. Analisis presentase regulasi drop tegangan pada beban sesudah ditingkatkan.

$$V \%_{\text{reg}} = \text{Reg}\%_{\text{rumah1}} + \text{Reg}\%_{\text{rumah2}} + \text{Reg}\%_{\text{rumah3}} \dots\dots\dots n$$

$$\begin{aligned} \%_{\text{reg}} &= 0\% + 3.8\% + 6\% + 0\% + 7.7\% + 2.7\% + 4.5\% + 4\% \\ &\quad + 5\% + 2.7\% + 0\% + 0.4\% + 1.8\% + 6.6\% + 0.9\% + \\ &\quad 5\% + 3.6\% + 0.4\% + 5\% + 5.9\% + 4.5\% + 5.9\% = 69.8\% \end{aligned}$$

$$V_{\text{reg}} = \frac{69.8\%}{100\%} = 0.698\%$$

Setelah hasil analisis persentase dari perbandingan antara sistem kincir saat kapasitas pembangkitan belum ditingkatkan dan turbin setelah kapasitas pembangkitan ditingkatkan didapatkan persentase perbandingan sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik perbandingan Tegangan Serta Perbandingan Setelah Dan Sebelum Daya Ditingkatkan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Daya yang dibangkitkan oleh Pembangkit listrik Mikrohydro (PLTMH) Bintang Asih saat menggunakan sistem kincir hanya mampu membangkitkan daya listrik sebesar 577,152 watt dan daya yang terdistribusi ke beban sebesar 450 watt. Pada penggunaan sistem pembangkitan dengan turbin dan kapasitas pembangkitan ditingkatkan menghasilkan besarnya daya yang dibangkitkan menjadi 2.224,32 watt dan daya yang terdistribusi ke beban sebesar 2.105 watt .
2. Dari hasil analisis pada **4.1.2** dan **4.1.3** didapatkan persentase perbandingan data saat menggunakan sistem kincir drop tegangan yang teregulasi sebesar 4,421 %. Kemudian saat menggunakan sistem pembangkitan menggunakan turbin sebesar 0,698% .

#### **5.2 Saran**

1. Bagi penelitian selanjutnya yang akan meneliti pada pembangkit listrik mikrohidro sebaiknya lebih memfokuskan pada cara meminimalisir terjadinya masalah drop tegangan yang sering terjadi pada bagian pendistribusian.



## DAFTAR PUSTAKA

- Hadi Suyono, Rini Nur Hasanah, Teguh Utomo, Dan Markus D. Letik (2012) analisis stabilitas sistem daya pada interkoneksi pltmh ampelgading di gardu induk turen Jurnal EECCIS.*
- Henrey Daniel Dalam (2013) analisis susut energi pada sistem jaringan distribusi dipt. pln apj yogyakarta upj wonosari unit semanu. Prodi Teknik Elektro UTY Yogyakarta.*
- Heru Nugroho, Sunaryo (2014), evaluasi pengoperasian pembangkit listrik tenaga mikrohidro di wangan aji kabupaten wonosobo. Program Studi Teknik Elektronika Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ) Wonosobo Program Studi Teknik Manufaktur Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ) Wonosobo.*
- Mahfudz Shidiq (2010), penurunan jatuh tegangan dan rugi daya pada sistem tenaga listrik mikrohidro. Jurnal EECCIS Vol. IV, No. 1.*
- Muh. Nasir Malik (2009), analisis loses jaringan distribusi primer pada penyulang adhyaksa makassar. Jurusan Pendidikan Teknik Elektro UNM*
- Waluyo, Soenarjo, dan Andi Ali Akbar (2007), perhitungan susut daya pada sistem distribusi tegangan menengah saluran udara dan kabel, jurnal sains dan teknologi emas, Vol. 17, No. 3.*



