

BAB II

KRITERIA & METODOLOGI

PT PLN (Persero) Area Berau

2.1. KRITERIA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH

2.2. KRITERIA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

2.3. KRITERIA JARINGAN TEGANGAN

2.4. KRITERIA SAMBUNGAN RUMAH

2.5. METODOLOGI STUDI

BAB II

KRITERIA & METODOLOGI

2.1. Kriteria Jaringan Tegangan Menengah

Jaringan Tegangan Menengah pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik yang dikembangkan saat ini adalah Jaringan Tegangan Menengah 20 kV. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) ini terdiri dari Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM).

a. SUTM

Jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara ini, terutama untuk distribusi tenaga listrik yang beroperasi secara radial, dengan jangkauan luas, biaya murah, dengan keandalan kontinuitas penyaluran minimal tingkat-2.

Untuk mengurangi luasnya dampak pemadaman akibat gangguan, dipasang fasilitas Gardu Hubung, PBO, dan FCO pada posisi tertentu. Pemakaian Saluran Udara sebagai sistem distribusi daerah perkotaan dapat dilakukan dengan memperpendek panjang saluran dan didesain menjadi struktur *"Radial Open Loop"*.

Pemakaian penghantar berisolasi guna mengurangi akibat gangguan tidak menetap dan pemasangan kawat petir dapat meningkatkan tingkat kontinuitas penyaluran. Untuk perencanaan di suatu daerah baru, pemilihan PBO dan FCO merupakan satu kesatuan yang memperhatikan koordinasi proteksi dan optimasi operasi distribusi dan sistem pembumian pada jaringan tersebut.

Pada penyulang utama sistem radial, disisi pangkal harus dipasang PBO dengan setiap percabangan dipasang pemutus FCO khusus untuk sistem dengan pembumian langsung. Untuk sistem pembumian dengan tahanan tidak direkomendasikan penggunaan FCO.

b. SKTM

Mengingat biaya investasi yang mahal dan keunggulannya dibandingkan dengan saluran udara Tegangan Menengah, Saluran Kabel tanah Tegangan Menengah (SKTM) dipakai pada hal-hal khusus:

1. Daerah padat beban tinggi
2. Segi estetika
3. Jenis pelanggan kritis
4. Permintaan khusus

Pada tingkat keandalan kontinuitas sedikitnya tingkat-3, Kabel tanah digunakan untuk pemakaian :

1. Kabel keluar (opstik kabel dari pembangkit / GI ke tiang SUTM)
2. Kabel Tee-Off dari SUTM ke gardu beton

3. Penyeberangan sungai

Konfigurasi jaringan kabel tanah didesain dalam bentuk loop (*Radial Open Loop*), sebaiknya dengan sesama kabel tanah. Apabila "Loop" dengan hanya 1(satu) penyulang, maka pembebanan kabel hanya 50%. Jika sistem memakai penyulang cadangan (*Express Feeder*) dapat dibebani 100% kapasitas kabel.

Adanya masalah faktor perletakan (*laying factor*) akan mengurangi Kemampuan Hantar Arus kabel, sehingga penampang kabel outgoing dari Gardu Induk/ Pusat Pembangkit dipilih setingkat lebih besar dari penampang kabel penyulang operasi. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan pada JTM adalah :

- a. Kerapatan Beban
- b. Konfigurasi Jaringan
- c. Tingkat Keandalan
- d. Drop Tegangan
- e. Susut Jaringan
- f. Jangka Waktu Pengembangan Jaringan Baru
- g. Pembebanan Jaringan

2.1.1. Kerapatan Beban

Dalam mendesain sebuah jaringan listrik, maka sangat baik bila diketahui kerapatan beban dalam MVA/km², sehingga dapat ditentukan jenis penghantar, panjang penghantar dan jumlah penghantar yang akan mensuplai beban tersebut.

Karena di Area Berau masih relatif kecil sistem kelistrikannya, maka kerapatan beban dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu :

- a. Beban Ringan
Daerah/ lokasi mempunyai beban ringan, bila terdapat beban rata-rata di daerah/ lokasi tersebut kurang dari 10 KVA per km².
- b. Beban Sedang
Daerah/ lokasi yang mempunyai beban sedang, bila terdapat beban rata-rata di daerah/ lokasi tersebut antara 10 KVA sampai 100 KVA per km².
- c. Beban Padat
Daerah/ lokasi yang mempunyai beban padat, bila terdapat beban rata-rata di daerah/ lokasi tersebut diatas 100 KVA per km².

2.1.2. Konfigurasi Jaringan

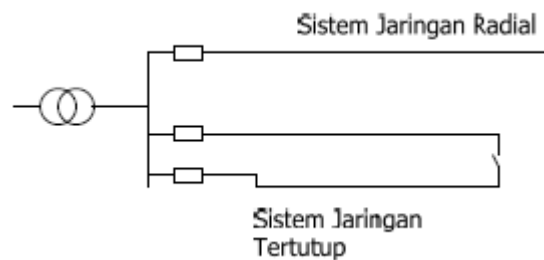
Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi :

1. Jaringan radial

Yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.

2. Jaringan bentuk tertutup

Yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman dapat dikurangi atau bahkan dihindari.



Gambar 2-1 : Gambar Pola Jaringan Distribusi Dasar

2.1.3. Tingkat Keandalan

Tingkat Keandalan kontinuitas penyaluran bagi pemanfaat tenaga listrik adalah berapa lama padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran kembali tenaga listrik. Secara ideal tingkat keandalan kontinuitas penyaluran dibagi atas 3 tingkat :

a. Tingkat 1

Pemadaman dalam orde beberapa jam. Umumnya terjadi pada sistem saluran udara dengan konfigurasi radial.

b. Tingkat 2

Pemadaman dalam orde kurang dari 1 jam. Mengisolasi penyebab gangguan dan pemulihan penyaluran kurang dari 1 jam. Umumnya pada sistem dengan pasokan penyulang cadangan atau sistem loop.

c. Tingkat 3

Pemadaman dalam orde beberapa menit. Umumnya pada sistem yang mempunyai sistem SCADA.

Keputusan untuk mendesain sistem jaringan berdasarkan tingkat keandalan penyaluran tersebut adalah faktor utama yang mendasari memilih suatu bentuk konfigurasi sistem jaringan distribusi dengan memperhatikan aspek pelayanan teknis, jenis pelanggan dan biaya. Pada prinsipnya dengan tidak memperhatikan bentuk konfigurasi jaringan, desain suatu sistem jaringan adalah sisi hulu mempunyai tingkat kontinuitas yang lebih tinggi dari sisi hilir. Lama waktu pemulihan

penyaluran dapat dipersingkat dengan mengurangi akibat dari penyebab gangguan, misalnya pemakaian PBO, SSO, penghantar berisolasi, tree guard atau menambahkan sistem SCADA.

Keandalan jaringan distribusi tenaga listrik tergantung dari :

- Kebersihan ROW
- Panjang jaringan
- Jenis jaringan (SUTM atau SKTM)
- Kualitas komponen-komponen distribusi yang terpasang
- Pengaman/ proteksi yang terpasang
- Cara penanganan gangguan

Untuk menghitung keandalan jaringan dapat digunakan Standar SPLN 59 : 1985 (keandalan pada sistem distribusi 20 kV dan 6 kV) dengan rumus sebagai berikut :

Indek Frekuensi Gangguan Rata-rata (f) :

$$f = \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \cdot \lambda_i \cdot \frac{\text{pemadaman}}{\text{tahun}}$$

dimana :

λ_i = Angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman (indeks dari komponen), seperti Tabel 2-1 berikut ini :

X_i = Panjang penyulang atau unit komponen

C_i = Jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman

n = Banyaknya komponen yang keluar yang menyebabkan pemadaman

Indek Lama Gangguan Rata-rata (d) :

$$d = \sum_{i=1}^n X_i \cdot \lambda_i \left[\sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot T_{ij} \right] \frac{\text{jam}}{\text{tahun}}$$

dimana :

λ_i = Angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman

X_i = Panjang penyulang atau jumlah unit komponen

n_i = Jumlah komponen yang keluar yang menyebabkan pemadaman

m_i = Jumlah dari fungsi kerja yang terlibat dalam pemulihan pelayanan

C_{ij} = Jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman selama langkah demi langkah dari operasi kerja (j = indeks dari operasi kerja)

T_{ij} = Waktu yang diperlukan dalam langkah demi langkah dari operasi kerja pemulihan, seperti

Tabel 2-2 dan Tabel 2-3 berikut ini :

Tabel 2-1 : Tabel Indeks Komponen

KOMPONEN	ANGKA KELUARAN
Saluran Udara	0,2/km/tahun
Kabel saluran bawah tanah	0,07/km/tahun
PMT	0,004/unit/tahun
Sakelar Beban	0,003/unit/tahun
Sakelar Pemisah	0,003/unit/tahun
Penutup Balik	0,005/unit/tahun
Penyambung Kabel	0,001/unit/tahun
Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun
Pelindung Jaringan	0,005/unit/tahun
REL Tegangan Rendah	0,001/unit/tahun

Tabel 2-2 : Tabel Operasi Kerja dan Pemulihan Pelayanan

OPERASI KERJA		WAKTU (JAM)
A	Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke GH	0,5
B	Menerima panggilan adanya pemadaman & waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke alat penutup balik	1
C	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0,16
D	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya untuk sistem Network	0,2
E	Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (hanya untuk sistem Spindel)	0,083
F	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/ menutup pemutus tenaga atau penutup balik	0,25
G	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/ menutup sakelar beban atau sakelar pisah	0,15
H	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kawat penghantar udara	3
I	Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah	5
J	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	10
K	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki/ mengganti PMT, Sakelar Beban, PBO, Sakelar Pemisah	10
L	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel/ jointing untuk kabel kertas	15
M	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel/ jointing untuk kabel XLPE	5
N	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10
O	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan	10
P	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/ memperbaiki bus tegangan rendah	10

Tabel 2-3 : Tabel Operasi Kerja dan Pemulihan Pelayanan Untuk Sistem Spindle dengan Pusat Pengaturan Jaringan Distribusi

OPERASI KERJA		WAKTU (JAM)
A	Waktu yang dibutuhkan oleh operator dari saat mengetahui adanya gangguan diisolir dan pemulihan pelayanan di daerah depan/ belakang gardu tengah	0,1
B	Waktu yang dibutuhkan oleh petugas gangguan dari saat adanya laporan gangguan dan perjalanan ke GI	0,5
C	Waktu yang dibutuhkan oleh petugas gangguan dari saat adanya laporan gangguan dan perjalanan ke gardu tengah	1
D	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0,05
E	Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan	0,083
F	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/ menutup sakelar beban (tidak termasuk sakelar beban di gardu tengah)	0,15
G	Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel	5
H	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	10
I	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki/ mengganti PMT, Sakelar	10
J	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel/ jointing untuk kabel kertas	15
K	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel/ jointing untuk kabel XLPE	5
L	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10

2.1.4. Drop Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan atau jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas +5 % dan batas bawah -10 % dari tegangan nominal. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Panjang sebuah Jaringan Tegangan Menengah dapat didesain dengan mempertimbangkan drop tegangan dan susut teknis jaringan. Untuk mendapatkan nilai drop tegangan dan susut yang dikehendaki perlu memasukkan parameter-parameter antara lain :

- Ukuran (luas penampang) Penghantar
- Beban Nominal Penghantar

c. Panjang Jaringan

Berdasarkan SPLN 72 : 1987 dapat didesain sebuah Jaringan Tegangan Menengah dengan kriteria drop tegangan sebagai berikut :

- a. Drop Tegangan Spindel maksimum 2%
- b. Drop Tegangan Open Loop dan Radial maksimum 5%

Drop tegangan pada sistem 3 fasa 3 kawat untuk beban merata dan seimbang :

$$\% \text{ Drop Voltage} = (P \cdot L \cdot (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta) \cdot 0,5 \cdot 100) / (KV)^2$$

dimana :

% Drop Voltage : Jatuh Tegangan (%)

P : Daya Nominal yang tersalur (MVA)

R : Resistensi Jaringan (Ohm /km)

X : Reaktansi Jaringan (Ohm/km)

L : Panjang jaringan (km)

$\cos \theta$: 0,85

$\sin \theta$: 0,526

KV : Tegangan L-L (20 KV)

Tabel Korelasi panjang jaringan terhadap drop tegangan, seperti Tabel 2-4 s.d Tabel 2-8 berikut ini :

Tabel 2-4 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan A3C 240 mm² Terhadap Drop Tegangan

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			DROP TEGANGAN YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,00	29	20	56,95	85,42	99,66	113,89	128,13	142,37
3,00	87	20	18,98	28,47	33,22	37,96	42,71	47,46
5,00	144	20	11,39	17,08	19,93	22,78	25,63	28,47
7,00	202	20	8,14	12,20	14,24	16,27	18,30	20,34
9,00	260	20	6,33	9,49	11,07	12,65	14,24	15,82
20,16	585	20	2,82	4,24	4,94	5,65	6,36	7,06

Catatan : KHA A3C 240 mm² adalah 585 Ampere

Tabel 2-5 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan A3C 150 mm² Terhadap Drop Tegangan

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			DROP TEGANGAN YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,00	29	20	45,27	67,90	79,22	90,53	101,85	113,17
3,00	87	20	15,09	22,63	26,41	30,18	33,95	37,72
5,00	144	20	9,05	13,58	15,84	18,11	20,37	22,63
7,00	202	20	6,47	9,70	11,32	12,93	14,55	16,17
14,65	425	20	3,09	4,64	5,41	6,18	6,95	7,73

Catatan : KHA A3C 150 mm² adalah 425 AmpereTabel 2-6 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan A3C 70 mm² Terhadap Drop Tegangan

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			DROP TEGANGAN YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,00	29	20	28,05	42,08	49,10	56,11	63,12	70,14
3,00	87	20	9,35	14,03	16,37	18,70	21,04	23,38
5,00	144	20	5,61	8,42	9,82	11,22	12,62	14,03
8,79	255	20	3,19	4,79	5,59	6,39	7,18	7,98

Catatan : KHA A3C 70 mm² adalah 255 AmpereTabel 2-7 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan KTM XLPE 300 mm² Terhadap Drop Tegangan

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			DROP TEGANGAN YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,00	29	20	112,73	169,10	197,28	225,47	253,65	281,83
3,00	87	20	37,58	56,37	65,76	75,16	84,55	93,94
5,00	144	20	22,55	33,82	39,46	45,09	50,73	56,37
7,00	202	20	16,10	24,16	28,18	32,21	36,24	40,26
9,00	260	20	12,53	18,79	21,92	25,05	28,18	31,31
13,72	398	20	8,22	12,33	14,38	16,44	18,49	20,55

Catatan : KHA KTM XLPE 300 mm² adalah 398 Ampere

Tabel 2-8 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan KTM XLPE 240 mm² Terhadap Drop Tegangan

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			DROP TEGANGAN YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,00	29	20	95,10	142,65	166,43	190,20	213,98	237,75
3,00	87	20	31,70	47,55	55,48	63,40	71,33	79,25
5,00	144	20	19,02	28,53	33,29	38,04	42,80	47,55
7,00	202	20	13,59	20,38	23,78	27,17	30,57	33,96
9,00	260	20	10,57	15,85	18,49	21,13	23,78	26,42
12,34	358	20	7,71	11,56	13,49	15,42	17,34	19,27

Catatan : KHA KTM XLPE 240 mm² adalah 358 Ampere

2.1.5. Susut Jaringan

Susut teknis pada sistem 3 fasa 3 kawat untuk beban merata dan seimbang :

$$E \text{ susut teknis} = 3 \cdot (I)^2 \cdot R \cdot L \cdot \text{LLF} \cdot \text{LDF}$$

dimana :

I = Arus beban yang mengalir pada Jaringan (Ampere)

R = Resistansi Jaringan (Ohm/km)

L = Panjang Jaringan (km)

LLF = Loss Load Factor

LDF = Load Density Factor (0,333)

Tabel Korelasi panjang jaringan terhadap susut, seperti Tabel 2-9 s/d Tabel 2-13 berikut ini :

Tabel 2-9 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan A3C 240 mm² Terhadap Susut

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			LOSSES YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
2,00	58	20	70,90	106,36	124,08	141,81	159,53	177,26
4,00	115	20	35,45	53,18	62,04	70,90	79,77	88,63
6,00	173	20	23,63	35,45	41,36	47,27	53,18	59,09
8,00	231	20	17,73	26,59	31,02	35,45	39,88	44,32
10,00	289	20	14,18	21,27	24,82	28,36	31,91	35,45
20,16	585	20	7,03	10,55	12,31	14,07	15,83	17,59

Catatan : KHA A3C 240 mm² adalah 585 Ampere

Tabel 2-10 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan A3C 150 mm² Terhadap Susut

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			LOSSES YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
2,00	58	20	46,41	69,62	81,22	92,82	104,42	116,03
4,00	115	20	23,21	34,81	40,61	46,41	52,21	58,01
6,00	173	20	15,47	23,21	27,07	30,94	34,81	38,68
8,00	231	20	11,60	17,40	20,30	23,21	26,11	29,01
14,65	425	20	6,34	9,51	11,09	12,68	14,26	15,84

Catatan : KHA A3C 150 mm² adalah 425 AmpereTabel 2-11 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan A3C 70 mm² Terhadap Susut

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			LOSSES YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
2,00	58	20	22,24	33,37	38,93	44,49	50,05	55,61
4,00	115	20	11,12	16,68	19,46	22,24	25,03	27,81
8,79	255	20	5,06	7,59	8,86	10,13	11,39	12,66

Catatan : KHA A3C 70 mm² adalah 255 AmpereTabel 2-12 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan KTM XLPE 300 mm² Terhadap Susut

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			LOSSES YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
2,00	58	20	97,24	145,86	170,17	194,48	218,79	243,10
4,00	115	20	48,62	72,93	85,09	97,24	109,40	121,55
6,00	173	20	32,41	48,62	56,72	64,83	72,93	81,03
8,00	231	20	24,31	36,47	42,54	48,62	54,70	60,78
13,79	398	20	14,11	21,16	24,69	28,21	31,74	35,27

Catatan : KHA KTM XLPE 300 mm² adalah 398 AmpereTabel 2-13 : Tabel Korelasi Panjang Jaringan KTM XLPE 240 mm² Terhadap Susut

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTM (KMS)					
			LOSSES YANG DIHARAPKAN (%)					
(MVA)	(A)	(KV)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
2,00	58	20	77,94	116,91	136,40	155,88	175,37	194,85
4,00	115	20	38,97	58,46	68,20	77,94	87,68	97,43
6,00	173	20	25,98	38,97	45,47	51,96	58,46	64,95
8,00	231	20	19,49	29,23	34,10	38,97	43,84	48,71
12,40	358	20	12,57	18,85	22,00	25,14	28,28	31,42

Catatan : KHA KTM XLPE 240 mm² adalah 358 Ampere

Loss Load Factor sebagai koefisien yang diperhitungkan dalam menghitung susut sebagai perbandingan antara rugi-rugi daya rata-rata terhadap rugi daya beban puncak.

$$LLF = 0,15 LF + 0,85 * (LF)^2$$

Dimana LF = Load Factor Sistem Region

2.1.6. Jangka Waktu Pengembangan Jaringan Baru

Dalam membangun instalasi ketenagalistrikan khususnya Jaringan Tegangan Menengah, maka guna efektifitas dan efisiensi dalam pembangunannya harus mempertimbangkan beban dalam 5 tahun mendatang dan dilaksanakan secara bertahap. Hal ini sangat diperlukan agar dana investasi dapat tepat guna dan berhasil guna.

2.1.7. Pembebanan Jaringan

Dalam pengoperasian Jaringan Listrik Tegangan Menengah drop tegangan dan susut teknis harus diperhatikan sesuai standar.

2.2. Kriteria Transformator Distribusi

Transformator Distribusi adalah salah satu sarana pendistribusian tenaga listrik dari tegangan menengah ke tegangan rendah yang mempunyai karakteristik tertentu. Untuk hal tersebut diatas, maka perlu ditentukan kapasitas transformator dan pola pembebanan transformator maksimal 80 %.

2.2.1. Kapasitas Transformator Distribusi

Kapasitas transformator distribusi sesuai dengan SPLN D3.002-1 : 2007. Spesifikasi Transformator Distribusi yg digunakan di Area Berau adalah sebagai berikut 25, 50, 100, 160, dan 200 kVA.

2.2.2. Pembebanan Transformator Distribusi

Pola pembebanan transformator distribusi hendaknya mengikuti SPLN D3.002-1 : 2007 tentang pedoman pembebanan transformator terendam minyak, dan agar didapatkan susut yang minimal pembebanannya sebesar 50% - 60%. Untuk memenuhi kriteria tersebut, maka perlu dicantumkan secara jelas spesifikasi transformator distribusi dalam setiap pengadaannya dan dilaksanakan test sampling sebelum transformator tersebut digunakan dalam operasional. Besaran maksimal dari drop tegangan maupun susut dari tranformator distribusi perlu ditentukan, sehingga dalam pengoperasiannya akan didapat hasil kinerja yang optimal. Drop tegangan maksimum tranformator distribusi disisi sekunder saat beban maksimum adalah 3%.

2.2.3. Korelasi Beban Terhadap Susut Transformator Distribusi

Korelasi beban terhadap susut transformator distribusi dapat dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$\text{LOSSES TRAF0} = (i + c. (Pr)^2).LLF$$

dimana :

I = Rugi Besi Trafo (kW)

c = Rugi Tembaga (kW)

LLF = Load Loss factor

Pr = Pembebanan Transforator rata-rata (%)

Catatan : Rugi Besi dan tembaga diambil dari SPLN 50 : 1997

Losses maksimum pada beban nominal 2,12 % (pada temperatur 75 °C)

Susut transformator distribusi dan korelasi pembebanan terhadap susut transformator distribusi, seperti Tabel 2-14 dan Tabel 2-15 berikut ini :

Tabel 2-14 : Tabel Susut Transformator Distribusi

STANDAR RUGI SESUAI SPLN 50 TAHUN 1997				
NO	DAYA (KVA)	RUGI BESI (KW)	RUGI TEMBAGA (CU) (KW)	LOSSES %
1	25	0,075	0,425	2,12
2	50	0,150	0,800	2,02
3	100	0,300	1,600	2,02
4	160	0,400	2,000	1,60
5	200	0,480	2,500	1,59

Catatan : Suhu belitan Trafo Distribusi 75°

Tabel 2-15 : Tabel Korelasi Pembebanan Terhadap Susut Transformator Distribusi

TABEL PEMBEBANAN TRAF0 DISTRIBUSI TERHADAP SUSUT											
DAYA TRAF0	SUSUT (%)										
	PEMBEBANAN TRAF0										
KVA	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%
25	4,91	2,70	2,08	1,84	1,77	1,78	1,83	1,91	2,00	2,12	2,24
50	4,90	2,68	2,05	1,81	1,72	1,72	1,76	1,83	1,92	2,02	2,13
100	4,90	2,68	2,05	1,81	1,72	1,72	1,76	1,83	1,92	2,02	2,13
160	4,08	2,22	1,68	1,47	1,39	1,38	1,41	1,46	1,53	1,60	1,69
200	3,92	2,14	1,63	1,43	1,36	1,36	1,39	1,44	1,51	1,59	1,67

Catatan : Pembebanan yang menghasilkan susut rendah adalah pada pembebanan 50% s/d 60%

2.3. Kriteria Jaringan Tegangan Rendah

Dalam membuat desain jaringan tegangan rendah yang sebagai pedomannya adalah drop tegangan sebesar 4%. Maksimum drop tegangan tersebut diperhitungkan untuk beban 5 (lima) tahun mendatang, sedangkan besarnya susut jaringan mengikutinya (maksimum 2,5%).

Besarnya penampang penghantar yang digunakan :

- TIC 3x35 + 1x25 mm²
- TIC 3x70 + 1x50 mm²

Nilai drop tegangan dan susut yang dikehendaki dapat dihitung berdasarkan parameter- parameter antara lain :

- Ukuran (luas penampang) Penghantar
- Beban Nominal Penghantar
- Panjang Jaringan

Formula drop tegangan JTR dengan beban merata seimbang :

$$\% \text{ Drop Voltage} = (P \cdot L \cdot (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta) \cdot 0,5 \cdot 100) / (V)^2$$

Dimana :

% Drop Voltage = Jatuh Tegangan (%)

P = Daya Nominal yang tersalur (VA)

L = Panjang Jaringan (km)

R = Resistensi Jaringan (Ohm/km)

X = Reaktansi Jaringan (Ohm/km)

V = Tegangan L-L (400 Volt)

Tabel dan Korelasi panjang JTR terhadap drop tegangan, seperti Tabel 2-12 dan Tabel 2-13 berikut ini:

Tabel 2-16 : Tabel Korelasi Panjang JTR TIC 3x70 + 50 mm² Terhadap Drop Tegangan

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTR (MS)				
			DROP TEGANGAN YANG DIHARAPKAN (%)				
(KVA)	(A)	(V)	2,0	3,0	3,5	4,0	5,0
25,00	36	400	573	859	1002	1145	1432
50,00	72	400	286	429	501	573	716
75,00	108	400	191	286	334	382	477
100,00	144	400	143	215	251	286	358
125,00	180	400	115	172	200	229	286
135,79	196	400	53	79	92	105	132

Catatan : KHA TIC 3x70 + 50 mm² adalah 196 Ampere

Tabel 2.17 : Tabel Korelasi Panjang JTR TIC 3x35 + 25 mm² Terhadap Drop Tegangan

BEBAN PENYULANG		TEGANGAN L-L	PANJANG JTR (MS)				
			DROP TEGANGAN YANG DIHARAPKAN (%)				
(KVA)	(A)	(V)	2,0	3,0	3,5	4,0	5,0
25,00	36	400	309,86	464,79	542,26	619,72	774,65
50,00	72	400	154,93	232,40	271,13	309,86	387,33
75,00	108	400	103,29	154,93	180,75	206,57	258,22
86,60	125	400	44,73	67,09	78,27	89,45	111,81

Catatan : KHA TIC 3x35 + 25 mm² adalah 125 Ampere

Formula susut JTR dengan beban merata seimbang :

$$E \text{ susut teknis} = 3 \cdot (I)^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \cdot 0,333$$

dimana :

I = Arus beban yang mengalir pada Jaringan (Ampere)

R = Resistansi Jaringan (Ohm/km)

L = Panjang Jaringan (km)

LLF = Loss Load Factor

Tabel korelasi panjang JTR terhadap susut, seperti Tabel 2-18 dan Tabel 2-19 berikut ini :

Tabel 2-18 : Tabel Korelasi Panjang JTR TIC 3x70 + 50 mm² Terhadap Susut

BEBAN FEEDER		TEGANGAN L-L	PANJANG JTR (MS)					
			LOSSES YANG DIHARAPKAN (%)					
(KVA)	(A)	(V)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
25	36	400	704	1056	1232	1408	1584	1760
50	72	400	352	528	616	704	792	880
75	108	400	235	352	411	469	528	587
100	144	400	176	264	308	352	396	440
136	196	400	130	194	227	259	292	324

Catatan : KHA TIC 3x70 + 50 mm² adalah 196 Ampere

Tabel 2-19 : Tabel Korelasi Panjang JTR TIC 3x35 + 50 mm² Terhadap Susut

BEBAN FEEDER		TEGANGAN L-L	PANJANG JTR (MS)					
			LOSSES YANG DIHARAPKAN (%)					
(KVA)	(A)	(V)	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
25	36	400	359	539	628	718	808	898
50	72	400	180	269	314	359	404	449
75	108	400	120	180	209	239	269	299
88	127	400	102	153	179	204	230	255

Catatan : KHA TIC 3x35 + 25 mm² adalah 125 Ampere

2.4. Kriteria Sambungan Rumah

Sambungan Rumah adalah titik akhir dari pelayanan listrik kepada konsumen, sehingga potret pelayanan dapat dilihat dari mutu tegangan dan tingkat keandalan dari sisi Sambungan Rumah. Drop tegangan Sambungan Rumah Maksimum 1% (SPLN 72 : 1987) atau Tegangan Pelayanan tidak boleh kurang dari 208 Volt (sesuai SPLN No 1 : 1995). Jumlah sambungan SR Seri maksimal 5 pelanggan dan maksimal panjang total 150 meter.

Formula perhitungan Drop tegangan SR seri adalah :

Drop Tegangan 1 konsumen :

$$\% \text{ Drop Voltage} = 2 * (P * L * (R * \cos \theta + X * \sin \theta) * 100) / (V)^2$$

dimana :

% Drop Voltage = Jatuh Tegangan (%)

P = Daya Nominal yang tersalur (VA)

L = Panjang Jaringan (km)

R = Resistensi Jaringan (Ohm/km)

X = Reaktansi Jaringan (Ohm/km)

V = Tegangan L-N (231 Volt)

Maksimum Sambungan Rumah adalah 5 konsumen berderet.

Drop Tegangan 5 konsumen dan merata :

$$\% \text{ Drop Voltage} = 2 * (P * L * (R * \cos \theta + X * \sin \theta) * Fdv * 100) / (V)^2$$

dimana :

% Drop Voltage = Jatuh Tegangan (%)

P = Daya Nominal yang tersalur (VA)

L = Panjang Jaringan (km)

R = Resistensi Jaringan (Ohm /km)

X = Reaktansi Jaringan (Ohm/km)

V = Tegangan L-N (231 Volt)i

Fdv = Faktor drop tegangan 5 konsumen (0,6) untuk SR Berderet.

Formula perhitungan susut 1 SR seri adalah :

Susut Per konsumen :

$$(S) \text{ watt} = 2 * I^2 * R_L * LLF$$

$$(S) \text{ kwh} = 2 * I^2 * R_L * LLF * t * 10^{-3}$$

Susut untuk 5 Konsumen deret adalah :

$$(S) \text{ watt} = 22 * I^2 * R_L * LLF$$

$$(S) \text{ kwh} = 22 * I^2 * R_L * LLF * t * 10^{-3}$$

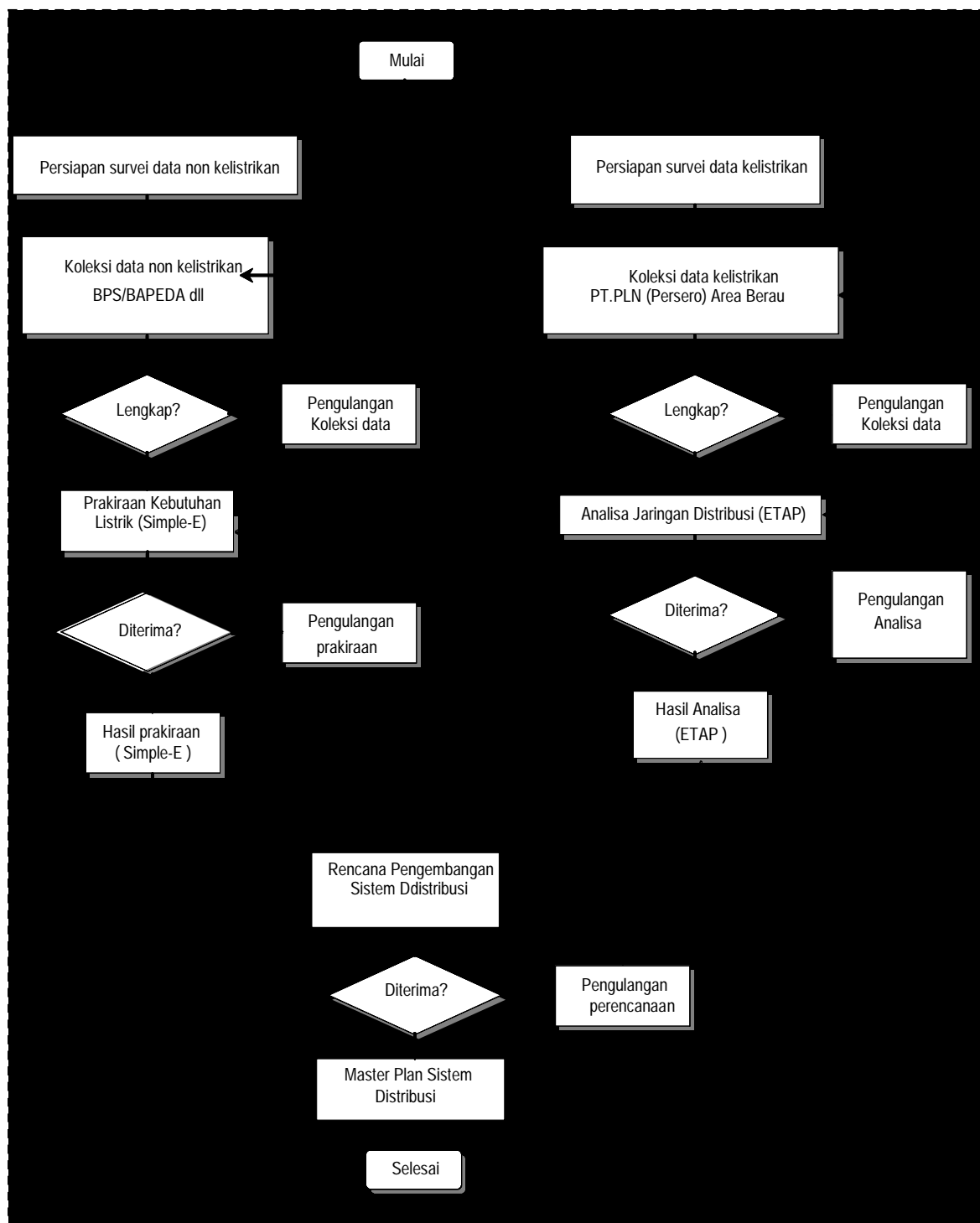
Dimana :

- I = Arus beban rata-rata per konsumen waktu beban puncak
- RL = Tahanan penghantar dgn panjang L rata-rata 35 m
- LLF = Loss Load Factor
- t = Waktu

2.5. Metodologi Studi

Diagram Alir pelaksanaan pekerjaan Master Plan Sistem Distribusi Tenaga Listrik ini dapat dilihat pada Gambar 2-2 dibawah ini. Studi diawali dengan pengumpulan data jaringan kelistrikan dan non jaringan kelistrikan. Data jaringan kelistrikan digunakan untuk analisa jaringan distribusi sedangkan data non jaringan kelistrikan digunakan untuk analisa prakiraan kebutuhan listrik. Hasil analisa jaringan distribusi dan prakiraan kebutuhan listrik digunakan untuk menyusun rencana pengembangan sistem distribusi selanjutnya dijadikan bahan untuk merumuskan Master Plan Sistem Distribusi Tenaga Listrik.

Gambar 2-2 : Gambar Diagram Alir Master Plan



2.5.1. Analisa Jaringan Distribusi

Dalam membuat analisa jaringan distribusi dibatasi pada sistem tegangan menengah 20 kV dan dilakukan dengan menggunakan rangkaian listrik dengan parameter utama berupa jaringan distribusi tegangan menengah, beban trafo distribusi dan tegangan sisi sekunder trafo tenaga di gardu induk

atau sumber lainnya sebagai tegangan standar. Parameter jaringan distribusi meliputi impedansi, resistansi dan reaktansi dari pada penghantar dan transformator yang terpasang.

Untuk komponen lain yang berpotensi mempengaruhi kinerja sistem distribusi, namun sulit dinyatakan secara kuantitatif, dianggap tidak memiliki parameter yang mempengaruhi analisa jaringan. Termasuk dalam hal ini adalah konektor jaringan (sambungan/ percabangan) maupun ketidakseimbangan beban. Untuk kedua hal tersebut analisa dan rekomendasi perbaikannya dilakukan secara kualitatif.

Analisa jaringan distribusi dilakukan dengan menggunakan Aplikasi ETAP untuk setiap penyulang, gardu induk dan sistem se-Area Pelayanan dan Jaringan. Analisa jaringan distribusi yang dihasilkan dari aplikasi ETAP ini diantaranya adalah :

- a. Analisa Aliran Daya
- b. Analisa Short Circuit
- c. Analisa Drop Tegangan
- d. Analisa Susut Distribusi

2.5.2. Prakiraan Kebutuhan Listrik

Prakiraan kebutuhan listrik disusun untuk kurun waktu 10 tahun mendatang. Metodologi yang digunakan dalam penyusunan prakiraan listrik adalah Simple-E, yang menggabungkan beberapa model (ekonometri, kecenderungan dan analitis) dan pendekatan sektoral dengan mengelompokkan pelanggan menjadi empat sektor (rumah tangga, komersil, publik dan industri). Pendekatan penyusunan prakiraan kebutuhan listrik dilakukan dengan menghitung prakiraan secara regional. Prakiraan kebutuhan listrik disusun dengan memperhatikan pertumbuhan masa lalu, kemudian prakiraan di setiap pusat beban dapat dihitung dengan memperhatikan pembebanan sistem.

Secara umum permintaan akan tenaga listrik disuatu daerah dipengaruhi oleh 3 (tiga) faktor utama yaitu :

- a. Pertumbuhan ekonomi.
- b. Program elektrifikasi.
- c. Pengalihan Captive Power menjadi Pelanggan PLN

Faktor pertama adalah pertumbuhan ekonomi yaitu merupakan peningkatan pendapatan masyarakat yang mendorong untuk meningkatkan permintaan atas barang-barang/ peralatan listrik seperti TV, kulkas, AC dan lainnya, sehingga permintaan akan tenaga listrik akan meningkat.

Faktor kedua adalah program elektrifikasi yaitu merupakan program pemerintah yang mendorong pertumbuhan pelanggan rumah tangga yang jumlah pemakaian listriknya secara keseluruhan jumlahnya cukup tinggi. Dengan demikian permintaan akan tenaga listrik akan meningkat.

Faktor ketiga adalah pengalihan captive power menjadi pelanggan PLN, sebagaimana diketahui dengan terbatasnya kemampuan perusahaan listrik dalam hal ini PLN untuk menyambung permintaan listrik terutama untuk pelanggan industri dan komersil maka timbullah yang dinamakan captive power. Faktor ini sangat bergantung pada ketersediaan pasokan PLN disuatu daerah/ sistem kelistrikannya dan juga kemampuan captive untuk menyambung, jadi dalam hal ini tidak berlaku umum.

2.5.3. Rencana Pengembangan Sistem Distribusi

Rencana pengembangan sistem distribusi diantaranya menyusun kebutuhan jaringan distribusi untuk kurun waktu 5 tahun mendatang yang perhitungannya berpedoman pada prakiraan kebutuhan listrik dan hasil analisa jaringan distribusi dengan aplikasi ETAP.

Perhitungan kebutuhan jaringan distribusi untuk jangka panjang atau 5 tahun mendatang dihitung secara total per-tahun yang meliputi kebutuhan SUTM, SKTM, Gardu, JTR, SR dan lain-lain. Sedangkan perhitungan kebutuhan jaringan distribusi untuk jangka pendek atau perencanaan pada tahun pertama dihitung secara rinci yaitu sudah menunjukan dimensi, kapasitas, lokasi dan mengakomodir rencana perubahan konfigurasi jaringan dalam rangka perbaikan sistem secara menyeluruh dengan mempertimbangkan faktor prioritas berdasarkan hasil analisa yang ada.