

Analisis Keberadaan Dan Pengembangan Gardu Induk Distribusi 20 kV Di Kota Pekanbaru

Ferry. M*,Dian Yayan Sukma, Edy Ervianto****

***Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: ferrymanurung_ur@yahoo.com**

ABSTRACT

Substation as a component of power system plays an important role in the continuity of the supply of electric to consumers that continues to increase each year. If the electrical load is borne by the substation is greater than the capacity of the substation, the substation will experience overload which resulted in the supply of electricity to consumers stalled. These condition must be anticipated as early as possible by PT. PLN (Persero) Pekanbaru City Area as the provider of electric energy. In this thesis, the author conducted an analysis the existence and development of 20 KV distribution substation in City of Pekanbaru to evaluate the existing condition which includes loading the transformer and a broad service area on the substation-substation in the city of Pekanbaru then be combined with forecast information peak load growth in every district, the density of the total load and peak load in Pekanbaru

Results in development of substation Garuda Sakti occurred in 2015 with up rating and addition of 1 unit transformer, in 2016 the development with addition 1 unit transformer, in 2019 the development with made planning construction of new substations. Results in development of substation Teluk Lembu in 2020 with the addition 1 unit transformer and in 2023 made planning construction of new substation. With the construction of the new substation will take over most of substation loading on Garuda Sakti and Teluk Lembu.

Keywords : *Load growth forecast, Transformer, Development of substation*

1. PENDAHULUAN

Di era modern seperti sekarang ini, peranan energi listrik sangat vital seiring perkembangan suatu daerah. Kebutuhan akan energi listrik juga dapat dikatakan sebagai tolak ukur kemajuan suatu daerah. Pertumbuhan beban listrik di wilayah Kota Pekanbaru setiap tahun terus mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat pada permintaan kebutuhan akan energi listrik pada masyarakat setiap tahun meningkat dengan pesat. Dari kenyataan tersebut maka perlu direncanakan pengembangan sistem tenaga listrik baik meliputi sumber tenaga listrik, transmisi maupun sistem distribusinya. Salah satu sistem tenaga

listrik yang perlu diadakan peningkatannya adalah gardu induk.

Dengan semakin bertambahnya permintaan konsumen listrik maka semakin besar pula beban listrik yang ditanggung oleh gardu induk. Apabila beban listrik yang ditanggung oleh gardu induk lebih besar dari kapasitas gardu induk, maka gardu induk akan mengalami overload yang berakibat suplai listrik ke konsumen terhenti.

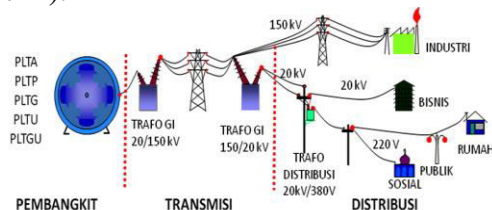
Pada analisa keberadaan dan pengembangan kapasitas gardu induk ini dilakukan dengan menganalisa kondisi eksisting setiap gardu induk distribusi 20 kV yang meliputi pembebanan pada trafo, jatuh tegangan dan susut energi pada jaringan tegangan menengah distribusi 20 kV di wilayah PLN area Pekanbaru.

Kemudian hasil analisa ini akan dikombinasikan dengan informasi prakiraan beban listrik selama 10 tahun kedepan untuk dilakukan pengembangan jaringan. Hal ini dimaksudkan agar pengembangan kapasitas gardu induk yang direncanakan dapat menjangkau pertumbuhan beban dimasa yang akan datang

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem sarana penyampaian tenaga listrik dari (titik) sumber / pembangkit ke (titik) pusat beban / konsumen dapat diartikan secara sederhana sebagai “Sistem Distribusi Tenaga Listrik”. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat, bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Gardu Induk, Saluran Transmisi, Gardu Induk, Saluran Distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik).



Gambar 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

- Sistem Distribusi Langsung
- Sistem Distribusi Tak Langsung

2.2 Pembagian Sistem Distribusi

Terdapat beberapa komponen yang biasa digunakan pada jaringan sistem distribusi tenaga listrik, yaitu:

- Gardu Induk Transmisi
- Saluran Sub Transmisi
- Gardu Induk Sub Transmisi
- Jaringan Distribusi Primer
- Gardu Hubung
- Gardu Distribusi

2.3 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik 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 memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV.

2.3.1 Jaringan Distribusi Primer

Menurut Susunan Rangkaiannya

Menurut susunan rangkaiannya jaringan distribusi primer dapat dibedakan atas beberapa jenis yaitu:

- Sistem Radial
- Sistem Ring (*LOOP*)
- Sistem Spindel
- Sistem Spot Network

2.4 Gardu Induk

Gardu Induk adalah suatu instalasi dari peralatan listrik yang merupakan penghubung yang penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk :

- Mengubah tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau tegangan menengah
- Pengukuran, pengawasan operasional serta peraturan pengaman dari sistem tenaga listrik.
- Penyaluran daya ke Gardu Induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu distribusi melalui penyulang tegangan menengah

2.4.1 Area Pelayanan Gardu Induk

Radius pelayanan suatu gardu adalah jangkauan daerah pelayanan gardu diantara dua gardu. Radius pelayanan didasarkan atas :

- Batas geografis antar dua gardu
- Kepadatan beban antar dua gardu induk
- Jatuh tegangan
- Besar penghantar (maksimum aluminium 240 mm²)

2.4.2 Studi Pengembangan Gardu Induk

Perencanaan pengembangan gardu induk, harus dilakukan secara sistemik dengan pendekatan yang didasarkan pada prakiraan pertumbuhan beban untuk memperoleh suatu pola pelayanan yang optimal. Adapun pengembangan gardu induk secara fisik dibedakan menjadi dua, yaitu

- a. Perluasan gardu induk (*Substation Expansion*)
- b. Pembangunan gardu induk baru

2.4.3 Transformator Daya

Transformator daya berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan daya yang disalurkan. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan rating daya transformator pada suatu gardu induk, antara lain :

- a. Beban yang ada sekarang
- b. Beban dimasa datang
- c. Kemungkinan untuk bekerja diatas ratingnya
- d. Jenis sistem pendingin

Capacity balance transformator adalah cara mengetahui batas kapasitas transformator gardu induk dalam mendukung beban, yang dikaitkan peningkatan kebutuhan tenaga listrik berdasarkan prakiraan. Dengan *capacity balance*, dapat ditentukan tahun persiapan ekstensifikasi transformator baru dan pengadaan GI baru. Syarat-syarat dalam suatu gardu induk adalah :

- a. Dalam satu Gardu Induk hanya diijinkan 5 buah transformator
- b. Kapasitas transformator tertinggi dalam setiap Gardu Induk adalah 60 MVA
- c. Pembebanan Transformator tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas transformator
- d. Bila beban transformator mendekati 80% harus dipersiapkan
 1. *Uprating*, bila kapasitas transformator masih dibawah 60 MVA

2. Ditambahkan transformator baru, bila kapasitas transformator sudah 60 MVA dan di Gardu Induk tersebut jumlah transformator masih kurang dari 5
3. Pembangunan gardu induk yang baru dengan transformator yang baru

2.5 Pembebanan Feeder

Pembebanan penyulang didefinisikan sebagai pembebanan dari sebuah penyulang selama kondisi beban puncak yang terukur pada gardu induk. Beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi pembebanan dari sebuah penyulang adalah

- a. Kepadatan dari beban penyulang
- b. Sifat dari beban penyulang
- c. Tingkat pertumbuhan beban dari penyulang
- d. Kebutuhan akan kontinuitas pelayanan
- e. Kebutuhan akan reabilitas pelayanan
- f. Kualitas dari pelayanan

Untuk menghitung pembebanan pada *feeder* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Pembebanan feeder} = \frac{S_{\text{terpasang}}}{\text{Jmlh feeder}} \dots (2.1)$$

Ada beberapa faktor-faktor tambahan yang mempengaruhi keputusan untuk membangun penyulang, yaitu :

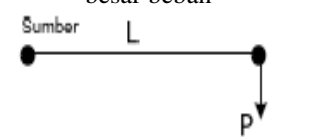
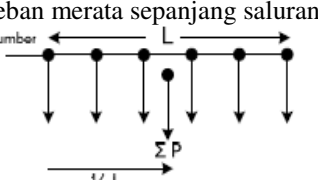
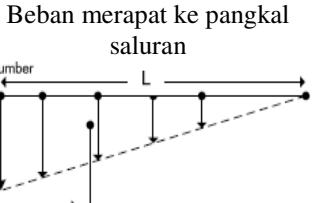
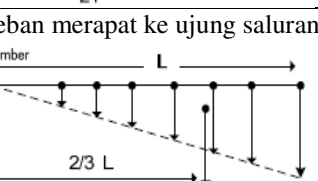
- a. Rintangan-rintangan fisik (*Physical Barriers*)
- b. Tegangan jatuh (*Voltage Drop*)
- c. Pola pengembangan (*Development Patterns*)
- d. Jumlah biaya (*Total Cost*)
- e. Pertumbuhan beban dimasa depan (*Future Load Growth*)
- f. Kepadatan beban (*Load Density*)

2.6 Faktor Distribusi Beban

Distribusi beban pada jaringan dapat dinyatakan dalam bentuk matematis untuk beban diujung penghantar, beban terbagi merata, beban terbagi berat diawal

jaringan, beban terbagi berat diujung. Dengan pengertian sederhana didapatkan angka faktor distribusi beban pada jarak antara titik berat beban dengan gardu

Tabel 2.1 Faktor Distribusi Beban

No	Diagram Distribusi Beban	Faktor Distribusi
1	Beban diujung penghantar, besar beban 	FD = 1
2	Beban merata sepanjang saluran 	FD = 0,5
3	Beban merapat ke pangkal saluran 	FD = 1/3
4	Beban merapat ke ujung saluran 	FD = 2/3

2.6.1 Jatuh Tegangan Berdasarkan Model Distribusi Beban

Model perhitungan jatuh tegangan dipisahkan berdasarkan model beban, model distribusi beban dan model konfigurasi jaringan yang ditetapkan. Model beban dikelompokkan menjadi dua yaitu beban lumped dan beban majemuk. Model distribusi beban merupakan model beban majemuk dan dikembangkan menjadi tiga yaitu beban merapat ke ujung *feeder*, beban merata sepanjang *feeder* dan beban merapat ke pangkal *feeder*.

a. Drop Tegangan Dengan Model Beban Lumped

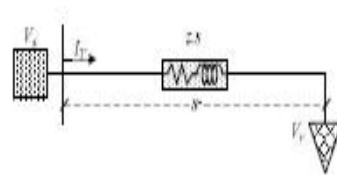
Model beban lumped merupakan *feeder* yang terdiri dari titik beban tunggal yang berada di ujung *feeder* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Untuk

menghitung *drop* tegangan dengan model beban *lumped* digunakan persamaan seperti berikut

$$\Delta V = I_T \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk menghilangkan faktor daya dalam persamaan *drop* tegangan maka persamaan dinyatakan sebagai fungsi impedansi efektif persatuan panjang seperti yang tertulis dalam persamaan berikut

$$\Delta V = S \cdot Z \cdot I_T \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.2 Model Beban Lumped (Sumber : Dian Yayan, 2010)

b. Drop Tegangan Dengan Model Beban Majemuk

Drop tegangan dengan model beban majemuk yang memiliki jumlah titik beban terhingga dihitung dari penjumlahan *drop* tegangan setiap segmen *feeder* yang memiliki panjang yang sama Sehingga diperoleh *drop* tegangan sebagai fungsi jumlah titik beban

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots\dots + \Delta V_n \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : ΔV = Drop tegangan feeder

ΔV_1 = Drop tegangan segmen 1

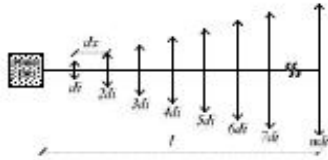
ΔV_2 = Drop tegangan segmen 2

ΔV_n = Drop tegangan segmen n

c. Drop Tegangan Model Beban Merapat ke Ujung Feeder

Pada model ini, setiap titik beban memiliki kapasitas yang meningkat secara merata dari pangkal hingga ke ujung *feeder* secara radial. *Drop* tegangan setiap segmen ditentukan oleh arus yang melewati setiap segmen impedansi efektif persatuan panjang dan panjang segmen. Berdasarkan Gambar 2.3 arus beban

terkecil berada di ujung *feeder*. Arus yang mengalir di pangkal *feeder* merupakan arus total dari setiap arus titik beban *feeder*. Dengan demikian *drop* tegangan *feeder* dapat dinyatakan sebagai arus fungsi total panjang dan jumlah titik beban *feeder*



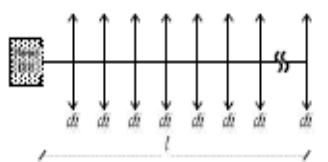
Gambar 2.3 Model Distribusi Beban Merapat ke Ujung Feeder

Drop tegangan untuk model ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\Delta V = \left[1 + \frac{1}{2.n} - \frac{\sum_{i=1}^n i^2}{n^2 \cdot (n+1)} \right] \cdot l \cdot z \cdot I_T \dots\dots\dots (2.5)$$

d. Drop Tegangan Model Beban Merata Sepanjang Feeder

Pada model ini setiap titik beban memiliki kapasitas yang sama sepanjang feeder secara radial ditunjukkan oleh Gambar 2.4



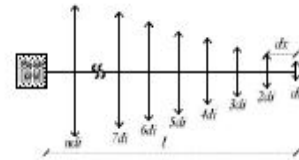
Gambar 2.4 Model Distribusi Beban Merata Sepanjang Feeder

Drop tegangan untuk model ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta V = \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2.n} \right] \cdot l \cdot z \cdot I_T \dots\dots\dots (2.6)$$

e. Drop Tegangan Model Beban Merapat ke Pangkal Feeder

Pada model ini, setiap titik beban memiliki kapasitas yang meningkat secara merata dari ujung hingga ke pangkal feeder secara radial ditunjukkan oleh Gambar 2.5



Gambar 2.5 Model Distribusi Beban Merapat ke Pangkal Feeder

Drop tegangan untuk model ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta V = \left[\frac{1}{2.n} + \frac{\sum_{i=1}^n i^2}{n^2 \cdot (n+1)} \right] \cdot l \cdot z \cdot I_T \dots\dots\dots (2.7)$$

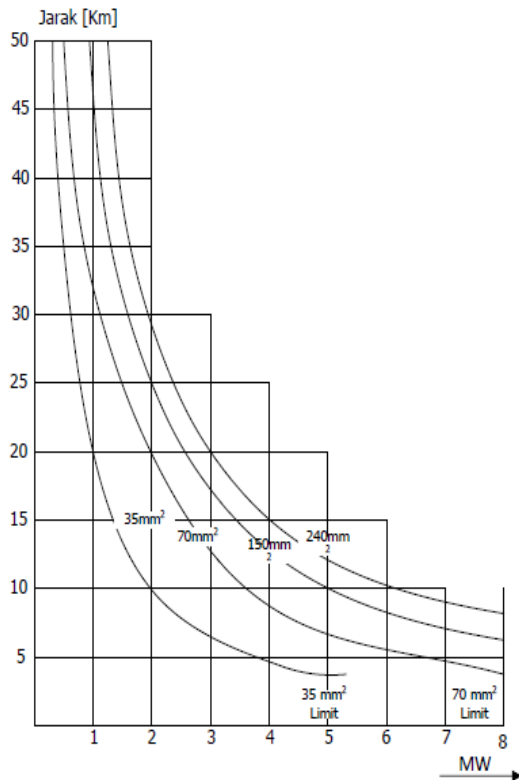
Dimana :

- I_T = Arus total feeder
- l = Panjang feeder
- n = Jumlah titik beban di feeder

2.7 Jangkauan Pelayanan Pada Jaringan Distribusi

Adapun tujuan penetapan jangkauan pelayanan pada jaringan distribusi adalah untuk memenuhi batas jatuh tegangan *feeder* maksimum pada jaringan distribusi tegangan menengah berdasarkan SPLN 1 : 1995 sebuah Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum + 5% minimum -5% tegangan nominal. Jangkauan pelayanan ini dipengaruhi oleh jatuh tegangan (ΔV), daya (P), panjang penghantar (L) dan kemampuan hantar arus (KHA). Grafik berikut memberikan gambaran hubungan parameter – parameter tersebut. Grafik ini dapat digunakan secara sederhana sebagai berikut :

- Jika faktor distribusi = 0,5 maka salah satu nilai-nilai ΔV , P dan L dapat dikalikan dua
- Jika faktor distribusi = 1/3 maka salah satu nilai-nilai ΔV , P dan L dapat dikalikan tiga
- Jika faktor distribusi = 2/3 maka salah satu nilai-nilai ΔV , P dan L dapat dikalikan satu setengah



Gambar 2.6 Grafik Kemampuan Penyaluran SUTM 3 Fasa Kabel AAAC

2.8 Kemampuan Hantar Arus

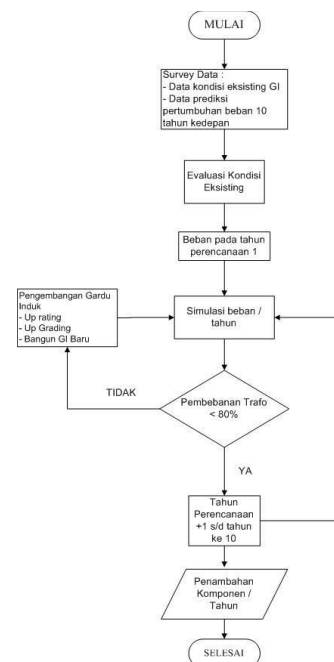
Kemampuan hantar arus (menurut SNI 04-0225-2000) atau kuat hantar arus menurut (SPLN 70-4 : 1992) suatu penghantar dibatasi dan ditentukan berdasarkan batasan-batasan dari aspek lingkungan, teknik material serta batasan pada konstruksi penghantar. Berikut tabel KHA tak berisolasi pada suhu keliling 35°C

Tabel 2.2 KHA tak berisolasi pada suhu keliling 35°C

Luas Penampang Nominal (mm ²)	Cu	AAC	AAAC
16	125 A	110 A	105 A
25	175 A	145 A	135 A
35	200 A	180 A	170 A
50	250 A	225 A	210 A
70	310 A	270 A	155 A
95	390 A	340 A	320 A
150	510 A	455 A	425 A
240	700 A	625 A	585 A
300	800 A	710 A	670 A

3. METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Pengumpulan Data

Adapun data-data yang dibutuhkan antara lain

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari *survey* langsung terhadap objek penelitian, hal ini dilakukan dengan pengumpulan data dari PT PLN area Pekanbaru yang menyediakan data-data untuk analisis penyaluran tenaga listrik

b. Data Sekunder

Data sekunder ini diperoleh melalui *literatur* dan jurnal-jurnal pendukung dengan tujuan mencari teori-teori yang sesuai dengan penelitian sehingga

penelitian tersebut memiliki landasan yang kuat

3.2.1 Metode Observasi

Pengumpulan data dalam penelitian ini antara lain :

- a. Data yang diperoleh dari PLN area Pekanbaru
 1. Data beban pada gardu induk Garuda sakti
 2. Data beban pada gardu induk Teluk Lembu
 3. *One line diagram* jaringan distribusi 20 kV PLN area Pekanbaru
 4. Data beban penyulang tertinggi pada jaringan distribusi 20 kV PLN area Pekanbaru pada tahun 2014
 5. Data panjang kabel penyulang pada jaringan distribusi 20 kV PLN area Pekanbaru
- b. *Survey* untuk data non listrik. Dalam penelitian ini data non listrik yang diperoleh merupakan peta rencana jaringan listrik yang didapat dari kantor dinas Tata Ruang dan Kota Pekanbaru

3.2.2 Metode Studi Literatur

Melakukan studi keperpustakaan dan kajian dari buku-buku teks pendukung, jurnal-jurnal ilmiah yang relevan yang dapat menunjang untuk penelitian tugas akhir ini

3.3 Studi Bimbingan

Melakukan diskusi dengan dosen pembimbing mengenai masalah-masalah yang timbul selama penulisan tugas akhir ini berlangsung

3.4 Software yang Digunakan

Dalam melakukan analisa keberadaan dan pengembangan gardu induk distribusi 20 kV ini dipergunakan software microsoft excel yang dapat melakukan pengolahan data perhitungan matematika.

3.5 Pengolahan Data

3.5.1 Evaluasi Pembebanan Pada Trafo Distribusi

Spesifikasi data transformator yang digunakan terlihat pada tabel serta bawah ini, dimana kapasitas transformator yang digunakan pada GI.Garuda Sakti 160 MVA (2x50 dan 1x60) dan pada GI.Teluk Lembu 180 MVA (3x60)

Tabel 3.1 Transformator 50 MVA

Nama Pabrik	HYUNDAI
Standar	IEC76
Daya Pengenal	50 MVA
Jumlah Fasa	3
Tegangan Primer L-L (kV)	150 kV
Tegangan Sekunder L-L (V)	20 kV
Vektor Group	YNY0 d1
Impedansi (%)	12,55 %
Frekuensi	50 Hz
Pendingin	ONAN / ONAF
Berat Total	78420 kg
Berat Minyak	19500 kg

Tabel 3.2 Transformator 60 MVA

Nama Pabrik	PAUWELS
Standar	IEC60076
Daya Pengenal	60 MVA
Jumlah Fasa	3
Tegangan Primer L-L (kV)	150 kV
Tegangan Sekunder L-L (V)	20 kV
Vektor Group	YNY0 d1
Impedansi (%)	12,55 %
Frekuensi	50 Hz
Pendingin	ONAN / ONAF
Berat Total	77200 kg
Berat Minyak	16500 kg

Adapun rumus yang digunakan dalam mengevaluasi kapasitas daya terpakai yaitu

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

- S = Daya terpasang pada beban (kVA)
- V = Teg. Sisi sekunder transformator (kV)
- I = Arus pada beban (A)



Gambar 3.2 Transformator Distribusi GI.Garuda Sakti

Untuk mengetahui nilai persentase pembebanan pada trafo distribusi dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut

$$\%Pembebanan = \frac{S_{\text{terpakai}}}{S_{\text{terpasang}}} \times 100\% \dots (3.2)$$

3.5.2 Analisis Jangkauan Pelayanan

Pada tahap ini data yang telah dikumpulkan akan diolah, sehingga dapat diketahui panjang *feeder* maksimum yang harus terpasang pada kondisi eksisting di jaringan tegangan menengah yang sesuai dengan SPLN 1 : 1995 tentang standar jatuh tegangan dan susut energi. Adapun beberapa cara untuk menghitung panjang *feeder* maksimum dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

a. Panjang *Feeder* Maksimum Beban *Lumped*

Untuk menghitung panjang *feeder* maksimum untuk tipe beban *lumped* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$l = \frac{\%VD \times V_{LL}^2}{MVA_{3\phi} \cdot Z} \dots \dots \dots (3.3)$$

b. Panjang *Feeder* Maksimum Beban Merapat Ke Pangkal

Untuk menghitung panjang *feeder* dengan tipe beban merapat ke pangkal saluran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$l = 3 \cdot \frac{\%VD \times V_{LL}^2}{MVA_{3\phi} \cdot Z} \dots \dots \dots (3.4)$$

c. Panjang *Feeder* Maksimum Beban Merapat Ke Ujung

Untuk menghitung panjang *feeder* dengan tipe beban merapat ke ujung saluran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$l = 1,5 \cdot \frac{\%VD \times V_{LL}^2}{MVA_{3\phi} \cdot Z} \dots \dots \dots (3.5)$$

d. Panjang *Feeder* Maksimum Beban Merata

Untuk menghitung panjang *feeder* dengan tipe beban merata sepanjang saluran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$l = 2 \cdot \frac{\%VD \times V_{LL}^2}{MVA_{3\phi} \cdot Z} \dots \dots \dots (3.6)$$

3.5.3 Analisis Luas Area Pelayanan Gardu Induk

Pada tahap ini hasil dari evaluasi panjang *feeder* maksimum akan diolah kembali sehingga didapatkan luas area pelayanan yang mampu disuplai oleh gardu induk. Semakin banyak jumlah *feeder* yang berasal dari gardu induk maka area pelayanan pada gardu induk tersebut akan membentuk sebuah lingkaran, maka untuk menghitung luas area pelayanan gardu induk dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Luas Area = \pi \cdot l_{\text{max}}^2 \dots \dots \dots (3.7)$$

3.5.4 Penentuan Kapasitas Gardu Induk

Pada tahap ini informasi prakiraan total beban puncak pada setiap kecamatan yang disuplai oleh masing-masing gardu induk akan dibagi dengan diversifikasi factor. Adapun cara yang digunakan untuk menentukan beban puncak gardu induk adalah sebagai berikut :

$$BP G.Induk = \frac{JmlhB.PuncakKec}{Diversifikasi\ factor} \dots (3.8)$$

Adapun cara yang digunakan untuk menentukan kapasitas gardu induk adalah sebagai berikut :

$$Kapasitas\ G.I = \frac{Beban\ Puncak\ GI}{0,8} \dots (3.9)$$

4. ANALISIS DAN HASIL

4.1 Analisis Keberadaan Dan Pengembangan Gardu Induk

Untuk menganalisis keberadaan dan pengembangan gardu induk 20 kV dilakukan dengan menganalisis kondisi *eksisting* meliputi pembebanan pada trafo, pembebanan pada *feeder*, dan panjang maksimum pada *feeder* yang terdapat pada gardu induk - gardu induk yang ada di Kota Pekanbaru, yaitu Gardu Induk Garuda Sakti dan Gardu Induk Teluk Lembu.

Dari hasil analisis kondisi *eksisting* tersebut akan dikombinasikan dengan informasi prakiraan pertumbuhan beban puncak pada setiap kecamatan, kerapatan beban dan beban puncak total di Kota Pekanbaru. Hasilnya berupa informasi pengembangan gardu induk distribusi 20 kV di Kota Pekanbaru

4.2 Data Penelitian

4.2.1 Load Forecast Microspasial

Adapun hasil dari analisa prakiraan pertumbuhan beban pada Kota Pekanbaru dari tahun 2015-2024 dapat dilihat pada tabel

Tabel 4.1 Prakiraan Pertumbuhan Beban Kota Pekanbaru

Tahun	Prakiraan
	Pertumbuhan Beban Kota Pekanbaru (MVA)
2015	320,6
2016	353,4
2017	385,2
2018	419,7
2019	457,5
2020	498,9
2021	544,6
2022	595,5
2023	652,6
2024	717,5

4.3 Evaluasi Kondisi *Eksisting* GI.Garuda Sakti

Dalam mengevaluasi pembebanan pada trafo daya Gardu Induk Garuda Sakti dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.1) dan untuk mengetahui persentase pembebanan dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.2)

4.3.1 Pembebanan Trafo Daya I

Perhitungan pembebanan pada trafo daya I dimana tegangan sisi sekunder trafo 20 kV dengan nilai arus tertinggi yaitu 1384 Ampere.

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \\
 &= \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 1384 \\
 &= 47,94 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Besar pembebanan pada trafo daya I adalah 47,94 MVA, untuk mengetahui persentase pembebanan pada trafo daya I dapat diketahui dengan melakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \% \text{Pembebanan} &= \frac{S_{\text{terpakai}}}{S_{\text{terpasang}}} \times 100\% \\
 &= \frac{47,94}{50} \times 100\% \\
 &= 95,88 \%
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama juga diterapkan pada trafo daya II dan III maka akan didapatkan hasil pembebanan trafo seperti terlihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Perhitungan Pembebanan Pada Trafo Daya GI.Garuda Sakti 2014

Bulan	Trafo I		Trafo II		Trafo III	
	MVA	%	MVA	%	MVA	%
Januari	43,64	87,2	46,36	92,7	54,11	90,1
Februari	47,94	95,8	48,23	96,4	61,20	102,0
Maret	43,50	87,0	57,33	114,6	69,30	115,5
April	45,96	91,9	47,17	94,2	68,33	113,8
Mei	42,91	85,8	48,12	97,6	63,97	106,6
Juni	44,37	88,7	50,48	100,9	61,83	103,0
Juli	42,43	84,8	42,52	85,0	63,80	106,3
Agustus	40,84	81,8	44,63	89,2	57,15	95,2
September	42,67	85,3	47,50	95,0	58,05	96,7
Oktober	45,93	91,8	45,74	91,4	59,99	99,9
November	45,41	90,8	64,25	128,5	79,92	133,2
Desember	42,05	84,1	44,87	89,7	66,63	111,0

4.3.2 Evaluasi Pembebanan Feeder dan Panjang Maksimum Feeder GI.Garuda Sakti

Kapasitas total Gardu Induk Garuda Sakti pada tahun 2014 sebesar 160 MVA dan jumlah feeder sebanyak 20 feeder maka dengan menggunakan persamaan 2.1 dapat diperoleh 8 MVA pembebanan pada setiap feeder

Dengan asumsi pembebanan pada setiap feeder sama, yaitu sebesar 8 MVA per feeder dan nilai K sebesar 3 yang didapat dari sifat pembebanan pada feeder merapat ke pangkal, jatuh tegangan 5% , nilai impedansi kabel sebesar 0,741 Ω /km dan tegangan line to line sebesar 20 kV maka dengan persamaan 3.4 didapat 16,81 KM panjang maksimum pada setiap feeder

4.4 Evaluasi Pembebanan Pada Trafo Daya GI.Teluk Lembu

Dalam mengevaluasi pembebanan pada trafo daya Gardu Induk Teluk Lembu dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.1) dan untuk mengetahui persentase pembebanan dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.2)

4.4.1 Pembebanan Trafo Daya I

Perhitungan pembebanan pada trafo daya I dimana tegangan sisi sekunder trafo 20 kV dengan nilai arus tertinggi yaitu 1439 Ampere.

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \\ &= \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 1439 \\ &= 49,78 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Besar pembebanan pada trafo daya I adalah 49,78 MVA, untuk mengetahui persentase pembebanan pada trafo daya I dapat diketahui dengan melakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{Pembebanan} &= \frac{S_{\text{terpakai}}}{S_{\text{terpasang}}} \times 100\% \\ &= \frac{49,78}{60} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 82,98 \%$$

Dengan cara yang sama diterapkan pada trafo daya II dan III maka akan didapatkan hasil pembebanan trafo seperti terlihat pada table 4.3

Tabel 4.3 Perhitungan Pembebanan Pada Trafo Daya GI.Teluk Lembu 2014

Bulan	Trafo I		Trafo II		Trafo III	
	MVA	%	MVA	%	MVA	%
Januari	41,86	69,7	42,17	70,2	50,41	84,0
Februari	46,57	77,6	51,13	85,2	48,47	80,7
Maret	48,23	80,3	53,97	89,9	50,03	83,3
April	49,78	82,9	46,08	76,8	50,03	83,3
Mei	49,16	81,9	42,03	70,0	49,75	82,9
Juni	49,40	82,3	51,65	86,0	58,16	96,9
Juli	47,29	78,8	49,37	82,9	58,30	97,1
Agustus	44,53	74,2	45,56	75,9	52,14	86,9
September	48,71	81,1	47,36	78,9	48,47	80,7
Oktober	47,78	79,6	53,38	88,9	59,40	99,0
November	44,77	74,6	47,54	79,2	54,07	90,0
Desember	46,19	76,9	51,31	85,5	59,13	98,5

4.4.2 Evaluasi Pembebanan Feeder dan Panjang Maksimum Feeder GI.Teluk Lembu

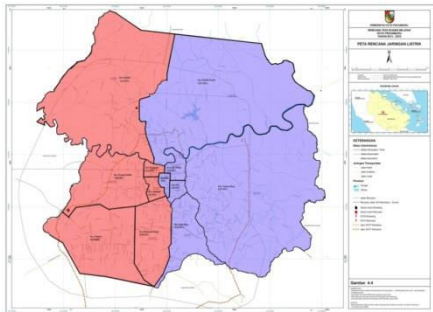
Kapasitas total Gardu Induk Garuda Sakti pada tahun 2014 sebesar 180 MVA dan jumlah feeder sebanyak 17 feeder maka dengan menggunakan persamaan 2.1 dapat diperoleh 11 MVA pembebanan pada setiap feeder

Dengan asumsi pembebanan pada setiap feeder sama, yaitu sebesar 11 MVA per feeder dan nilai K sebesar 1,5 yang didapat dari sifat pembebanan pada feeder merapat ke ujung, jatuh tegangan 5% , nilai impedansi kabel sebesar 0,741 Ω /km dan tegangan line to line sebesar 20 kV maka dengan persamaan 3.4 didapat 6,1 KM panjang maksimum pada setiap feeder

4.5 Pembagian Area Gardu Induk Berdasarkan Beban Puncak Per Kecamatan

Kondisi eksisting pada Gardu Induk Garuda Sakti menyuplai daerah pada Kec.Tampan, Kec.Marpoyan, Kec.Payung Sekaki, Kec.Rumbai, Kec.Senapelan, dan Kec.Sukajadi. Sementara pada kondisi eksisting Gardu Induk Teluk Lembu menyuplai daerah pada Kec.Pekanbaru Kota, Kec.Lima Puluh, Kec.Tenayan,

Kec.Sail, Kec.Bukit Raya, dan Kec.Rumbai Pesisir, dan Adapun pembebanan pada setiap kecamatan pada tahun 2014 dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Peta Pembagian Area dan Kondisi Eksisting 2014

4.5.1 Beban Puncak Gardu Induk Garuda Sakti

Dari informasi prakiraan total beban puncak tahun 2015 pada setiap kecamatan yang di suplai oleh Gardu Induk Garuda Sakti diantaranya Kec.Tampam, Kec.Payung Sekaki, Kec.Marpoyan Damai, Kec.Sukajadi, Kec.Senapelan, Kec.Rumbai dan nilai difersifikasi faktor sebesar 1,23 maka dengan menggunakan persamaan 3.8 didapat beban puncak Gardu Induk Garuda Sakti yang dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Analisis Hasil Prakiraan Beban Puncak GI.Garuda Sakti

Tahun	Prakiraan Beban Puncak GI.Garuda Sakti (MVA)
2015	176,48
2016	195,23
2017	212,24
2018	230,35
2019	249,60
2020	269,92
2021	291,34
2022	313,86
2023	337,49
2024	362,18

4.5.2 Beban Puncak Gardu Induk Teluk Lembu

Dari informasi prakiraan total beban puncak tahun 2015 pada setiap kecamatan yang di suplai oleh Gardu Induk Garuda Sakti diantaranya Kec.Bukit raya,

Kec.Lima Puluh, Kec.Pekanbaru Kota, Kec.Rumbai Pesisir, Kec.Sail, Kec.Tenayan Raya dan nilai difersifikasi faktor sebesar 1,23 maka dengan menggunakan persamaan 3.8 didapat beban puncak Gardu Induk Teluk Lembu yang dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Analisis Hasil Prakiraan Beban Puncak GI.Teluk Lembu

Tahun	Prakiraan Beban Puncak GI.Teluk Lembu (MVA)
2015	95,03
2016	104,04
2017	114,00
2018	125,17
2019	137,87
2020	152,53
2021	169,65
2022	189,93
2023	214,25
2024	243,77

4.6 Pengembangan Gardu Induk Berdasarkan Beban Puncak

4.6.1 Pengembangan Gardu Induk Garuda Sakti

Dari hasil analisis prakiraan beban puncak Gardu Induk Garuda Sakti yang terdapat pada tabel 4.4 dan kapasitas eksisting pada Gardu Induk Garuda Sakti maka dengan menggunakan persamaan 3.9 akan diperoleh kapasitas pembebanan gardu induk yang terdapat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Prakiraan Pembebanan GI.Garuda Sakti

Tahun	Prakiraan pembebanan pada GI.Garuda Sakti (%)
2015	110
2016	122
2017	132
2018	149
2019	156
2020	168
2021	182
2022	196
2023	210
2024	226

Kapasitas Gardu Induk Garuda Sakti pada tahun 2015 adalah sebesar 110% bila dibandingkan dengan SPLN 17 : 1979 dengan pembebanan maksimum pada trafo gardu induk sebesar 80%, maka perlu dilakukan pengembangan pada trafo yang terdapat pada gardu induk yaitu dengan *up rating* dan penambahan trafo daya pada gardu induk. Adapun pengembangan yang dilakukan pada Gardu Induk Garuda Sakti dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Rencana Pengembangan GI.Garuda Sakti

Tahun	Beban Puncak Gardu Induk (MVA)	Pembebanan		Keterangan	Pembebanan Setelah Pengembangan (%)
		Sebelum Pengembangan (%)	Pengembangan		
2015	176	110 %	Trafo Daya #1	Up Rating (60MVA)	103 %
			Trafo Daya #2	Up Rating (60 MVA)	97 %
			Trafo Daya #4	Tambah Trafo (60 MVA)	73 %
2016	195	81 %	Trafo Daya #5	Tambah Trafo (60 MVA)	65 %
2017	212	70 %	-	-	-
2018	230	76 %	-	-	-
2019	249	83 %	Bangun GI Baru	-	-

4.6.2 Pengembangan Gardu Induk Teluk Lembu

Dari hasil analisis prakiraan beban puncak Gardu Induk Teluk Lembu yang terdapat pada tabel 4.5 dan kapasitas eksisting pada Gardu Induk Teluk Lembu maka dengan menggunakan persamaan 3.9 akan diperoleh kapasitas pembebanan gardu induk yang terdapat pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Prakiraan Pembebanan Beban GI.Teluk Lembu

Tahun	Prakiraan pembebanan pada GI.Teluk Lembu (%)
2015	52
2016	57
2017	63
2018	69

Tahun	Prakiraan pembebanan pada GI.Teluk Lembu (%)
2019	76
2020	84
2021	94
2022	105
2023	119
2024	135

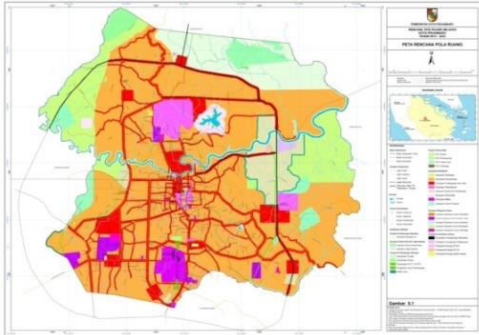
Kapasitas Gardu Induk Garuda Sakti pada tahun 2015 adalah sebesar 52 % bila dibandingkan dengan SPLN 17 : 1979 dengan pembebanan maksimum pada trafo gardu induk sebesar 80%, pembebanan trafo pada GI.Teluk Lembu masih memenuhi syarat, namun pada tahun 2020 pembebanan pada trafo sebesar 84 % tidak memenuhi syarat SPLN 17 : 1979, maka perlu dilakukan pengembangan pada trafo yang terdapat pada gardu induk yaitu dengan *up rating* dan penambahan trafo daya pada gardu induk. Adapun pengembangan yang dilakukan pada Gardu Induk Garuda Sakti dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Rencana Pengembangan GI.Teluk Lembu

Tahun	Beban Puncak Gardu Induk (MVA)	Pembebanan		Keterangan	Pembebanan Setelah Pengembangan (%)
		Sebelum Pengembangan (%)	Pengembangan		
2015	95	52 %	-	-	-
2016	104	57 %	-	-	-
2017	114	63 %	-	-	-
2018	125	69 %	-	-	-
2019	137	76 %	-	-	-
2020	152	84 %	Trafo Daya #4	Tambah Trafo (60 MVA)	63 %
2021	169	70 %	-	-	-
2022	189	78 %	-	-	-
2023	214	89 %	Bangun GI Baru	-	-

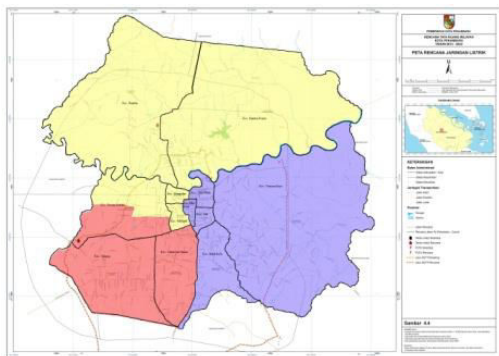
4.7 Penentuan Lokasi Gardu Induk Baru Di Kota Pekanbaru

Dalam perencanaan pembangunan gardu induk baru, diharapkan dapat menyuplai daerah-daerah yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi serta mengatasi kekurangan daya yang terjadi dan lokasi gardu induk yang baru harus sesuai dengan Rancangan Tata Ruang Wilayah (RTRW). Berikut adalah tata guna lahan Kota Pekanbaru



Gambar 4.2 Tata Guna Lahan Kota Pekanbaru

Lokasi pembangunan gardu induk baru yang sesuai dengan Rancangan Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Pekanbaru berada pada Kec. Rumbai. Dimana daerah yang diasumsikan akan disuplai oleh gardu induk yang baru adalah Kec. Rumbai, Kec. Rumbai Pesisir, Kec. Senapelan, Kec. Sukajadi dan sebagian dari Kec. Payung Sekaki. Adapun area pelayanan gardu induk yang terdapat di Kota Pekanbaru dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Peta Pembagian Area Pelayanan Gardu Induk di Kota Pekanbaru

4.8 Penentuan Kapasitas Daya Gardu Induk Yang Baru

Dalam perencanaannya, gardu induk yang baru akan mengambil alih sebagian pembebanan yang berasal dari Gardu Induk Garuda Sakti dan Gardu Induk Teluk Lembu. Maka dengan menggunakan persamaan 3.8 dapat diperoleh beban puncak gardu induk yang baru

$$\text{Beban Puncak GI} = \frac{\text{Total beban puncak kec.}}{\text{Diversifikasi factor}}$$

$$\text{Beban Puncak GI} = \frac{160,74}{1,23}$$

$$\text{Beban Puncak GI} = 130,68 \text{ MVA}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka akan didapatkan beban puncak gardu induk yang baru dari tahun 2019-2024 yang dapat dilihat pada melalui tabel 4.12

Tabel 4.12 Analisis Hasil Prakiraan Beban Puncak Gardu Induk Yang Baru

Tahun	Prakiraan Beban Puncak GI. Baru (MVA)
2019	130,68
2020	145,31
2021	162,51
2022	182,96
2023	207,56
2024	237,45

Beban puncak gardu induk yang baru pada tahun 2024 adalah sebesar 237,45 MVA, bila dibandingkan pada SPLN 17 : 1979 dengan pembebanan maksimum pada trafo gardu induk adalah sebesar 80%, maka dengan menggunakan persamaan 3.10 dapat diketahui kapasitas gardu induk yang harus dipasang.

$$\text{Kapabilitas Gardu Induk} = \frac{\text{Beban Puncak GI}}{0,8}$$

$$\text{Kapabilitas Gardu Induk} = \frac{237,45}{0,8}$$

$$\text{Kapabilitas Gardu Induk} = 296,81 \text{ MVA}$$

4.9. Pembebanan Gardu Induk Setelah Pengalihan Beban

Dengan dialihkannya sebagian pembebanan yang berasal dari Gardu Induk Garuda Sakti dan Teluk Lembu, diharapkan akan mengurangi pembebanan pada trafo daya yang terdapat pada masing-masing gardu induk tersebut. Sehingga Gardu Induk Garuda Sakti dan Teluk Lembu masih dapat menyuplai pertumbuhan beban pada tahun-tahun berikutnya

4.9.1 Pembebanan Gardu Induk Garuda Sakti

Setelah dilakukan pengalihan beban maka dengan menggunakan persamaan 3.8 maka akan diperoleh beban puncak Gardu Induk Garuda Sakti yang dapat dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Analisis Beban Puncak GI.Garuda Sakti Setelah Pengalihan Beban

Tahun	Prakiraan Beban Puncak GI.Garuda Sakti (MVA)
2019	193,20
2020	211,40
2021	230,70
2022	251,07
2023	272,53
2024	295,04

Tabel 4.14 Prakiraan Pembebanan GI.Garuda Sakti Setelah Pengalihan Beban

Tahun	Prakiraan pembebanan pada GI.Garuda Sakti (%)
2019	52 %
2020	57 %
2021	62 %
2022	68 %
2023	73 %
2024	79 %

4.9.2 Pembebanan Gardu Induk Teluk Lembu

Setelah dilakukan pengalihan beban maka dengan menggunakan persamaan 3.8 maka akan diperoleh beban puncak Gardu Induk Teluk Lembu yang dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Analisis Beban Puncak GI.Teluk Lembu Setelah Pengalihan Beban

Tahun	Prakiraan Beban Puncak GI.Teluk Lembu (MVA)
2023	138,67
2024	145,43

Tabel 4.16 Prakiraan Pembebanan GI.Teluk Lembu Setelah Pengalihan Beban

Tahun	Prakiraan pembebanan pada GI.Teluk Lembu (%)
2023	47 %
2024	49 %

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah diberikan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pembebanan trafo daya yang terdapat pada Gardu Induk Garuda Sakti dan Gardu Induk Teluk pada kondisi *eksisting* kurang memenuhi kriteria yang ada pada SPLN 17 : 1979

- b. Area pelayanan optimum pada Gardu Induk Garuda Sakti adalah sebesar 886,23 Km²
- c. Area pelayanan optimum pada Gardu Induk Teluk Lembu adalah sebesar 116,83 Km²
- d. Pengembangan gardu induk dilakukan dengan menambah kapasitas gardu induk yang sudah ada (*up rating*), menambah trafo yang baru atau membangun gardu induk yang baru
- e. Perencanaan pengembangan pada Gardu Induk Garuda Sakti terjadi pada tahun 2015 (*up rating* trafo daya #1 dan #2, serta penambahan trafo daya #4), tahun 2016 (penambahan trafo daya #5)
- f. Perencanaan pengembangan pada Gardu Induk Teluk Lembu terjadi pada tahun 2020 (penambahan trafo daya #4)
- g. Adapun lokasi pembangunan gardu induk yang baru berada pada Kec. Rumbai dengan kapasitas gardu induk sebesar 296,81 MVA (5 x 60 MVA)

5.2 Saran

Saran untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya yang berhubungan dengan judul skripsi ini adalah:

- a. Perlu disediakan lagi area sebagai tempat pembangunan gardu induk baru, hal ini sangat penting mengingat pertumbuhan beban yang selalu meningkat dari tahun ke tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, 2015. Studi Prakiraan Beban Listrik Wilayah PLN Kota Pekanbaru Dengan Menggunakan Metode Mikrosposial, Riau: Skripsi UNIVERSITAS RIAU
- Wisnu Adi Suryo, 2014. Studi Prakiraan Beban Pada Gardu Induk Manisrejo Tahun 2014-2025, Malang: Skripsi UNIVERSITAS BRAWIJAYA
- .Wicaksono, Cahyo. 2012, “Analisa keberadaan gardu induk balapulang terhadap distribusi 20 KV di wilayah kerja UPJ Balapulang PT.PLN (Persero) Jateng DIY”. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Semarang. Universitas Diponegoro
- Anthoni, Teguh. 2012. “Analisa keberadaan gardu induk baru di wilayah APJ Pekalongan dari tahun 2012-2016”. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Semarang. Universitas Diponegoro
- Saefulloh, Dian. 2006. “Perencanaan pengembangan gardu induk baru untuk 10 tahun kedepan”. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Semarang. Universitas Diponegoro
- Charles, Win. 2004. “Studi perhitungan drop voltage dan losses per penyulang menggunakan electric transient analyzer program PLN APJ Surabaya Selatan”. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Surabaya. Universitas Kristen Petra
- Hermawan, David. 2004. “ Perencanaan gardu induk baru new Rungkut (Sedati) 150 KV PLN APJ Surabaya Selatan”. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Surabaya. Universitas Kristen Petra
- Turan Gonen; A textbook of Electric Power Distribution System Engineering, vol. I, California State University, California
- Turan Gonen; A textbook of Electric Power Distribution System Engineering, vol. II, California State University, California