

Analisis Kapasitas Beban Tranformator Gardu NSWRA020-Benteng Penyulang Air Salobar di Tahun 2030

Vicky Salamena

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

vickysalamena@gmail.com

Abstract - In this study, a study was carried out on load requirements in the service area of the NSWRA020 substation, Fort Penyulang Air Salobar. Measurements were carried out four times in March and September in 2019 and 2020. Based on current and working voltage measurement data, the electric power drawn from the NSWRA020 substation transformer can be calculated. The calculated power drawn during the four measurement periods is used as data to predict (forecast) the demand for electric power in 2030, so that the capacity of the transformer to supply power in that year can be determined. Assuming that the pattern of people's electricity demand increases linearly, this study uses the linear regression model method. Based on current measurement data taken at intervals of six months from 2019 to 2020, time is determined as the independent variable (predictor variable) with an increase of six months until September 2030. Forecasting results using the linear regression method obtained the electric power absorbed by customers from substation NSWRA020 in a period of 9 years (2021 to 2030) the increase in customer expenses is quite significant on average 41 kVA per year. Based on the transformer loading requirement of 80% and adjusted to the transformer power specifications from the factory, the transformer capacity installed at the NSWRA020 substation in 2030 is 800 kVA, the rated value of the NH-fuse at PHB-TR is 240 A, the rated current of the FCO is between 50 A and 63 A, and the cross-section of the conductor each direction of the TR network is 120 mm².

Keywords: Distribution substation, Load-requirement, transformer-capacity

Abstrak - Pada kajian ini studi dilakukan terhadap kebutuhan beban di daerah pelayanan Gardu NSWRA020 Benteng Penyulang Air Salobar. Pengukuran dilakukan selama empat kali dibulan Maret dan bulan September pada tahun 2019 dan tahun 2020. Berdasarkan data pengukuran arus dan tegangan kerja dapat dihitung daya listrik yang ditarik dari transformator Gardu NSWRA020. Daya hasil hitung yang ditarik selama empat periode pengukuran tadi dipakai sebagai data untuk memprakirakan (meramal) kebutuhan daya listrik pada tahun 2030, sehingga dapat ditentukan besar kapasitas tranformator untuk mensuplai daya pada tahun tersebut. Dengan asumsi pola kebutuhan listrik masyarakat meningkat secara linier, maka dalam kajian ini menggunakan metode model regresi linier. Berdasarkan data pengukuran arus yang diambil dalam selang enam bulan dari tahun 2019 sampai tahun 2020, ditentukan waktu sebagai variabel bebas/independen (predictor variable) dengan kenaikan enam bulan sampai bukan September tahun 2030. Hasil peramalan dengan metode regresi linier diperoleh daya listrik yang diserap oleh pelanggan dari Gardu NSWRA020 dalam kurun waktu 9 tahun (2021 s/d 2030) kenaikan beban pelanggan cukup signifikan rata-rata 41 kVA per tahun. Berdasarkan syarat pembebanan trafo sebesar 80% dan disesuaikan dengan spesifikasi daya trafo dari pabrik, maka kapasitas transformator yang dipasang di Gardu NSWRA020 pada tahun 2030 sebesar 800 kVA, besar nilai pengenal NH-fuse di PHB-TR 240 A, arus pengenal FCO antara 50 A sampai dengan 63 A, dan penampang penghantar setiap jurusan jaringan TR 120 mm².

Kata kunci: Gardu-distribusi, Kebutuhan-beban, kapasitas-trafo

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk, meningkatnya pendapatan masyarakat dan terbukanya lahan pemukiman pada suatu daerah sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi listrik pada daerah tersebut. Hal ini akan mengakibatkan suplai energi listrik meningkat, sehingga perusahaan penyedia energi listrik dalam hal ini PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) akan berusaha untuk menyesuaikan peralatannya di jaringan distribusi yang mensuplai langsung ke masyarakat sebagai pengguna energi listrik (*demand*). Bagian dari sistem jaringan distribusi yang langsung mensuplai pelanggan pada jaringan tegangan rendah 380/220V adalah gardu distribusi, untuk suplai ke pelanggan rumah-tangga (pemukiman) dikenal dengan Gardu Tiang (Portal atau Cantol). Bila terjadi perubahan kebutuhan energi listrik pelanggan, maka kapasitas transformator (trafo distribusi) perlu disesuaikan kapasitasnya (daya volt-ampere, VA) terhadap VA dari pelanggan.

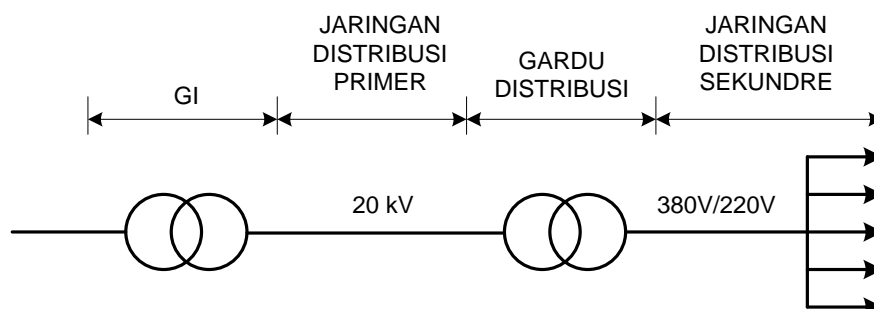
Pada kajian ini studi dilakukan terhadap kebutuhan beban di daerah pelayanan Gardu NSWRA020 Benteng Penyulang Air Salobar. Gardu ini adalah gardu distribusi yang terhubung pada tegangan menengah (TM) 20kV dan pada sisi sekundernya tegangan rendah (TR) yaitu 380 volt tiga-fasa dan 220 volt satu-fasa. Pengukuran telah dilakukan terhadap arus beban puncak masing-masing fasa (R, S dan T) yang mewakili daya listrik maksimum yang diserap oleh pelanggan yang terhubung pada gardu tersebut. Pengukuran dilakukan selama empat kali dibulan Maret dan bulan September pada tahun 2019 dan tahun 2020. Berdasarkan data pengukuran arus dan tegangan kerja dapat dihitung daya listrik yang ditarik dari transformator Gardu NSWRA020. Daya hasil hitung yang ditarik selama empat periode pengukuran tadi dipakai sebagai data untuk memprakirakan (meramal) kebutuhan daya listrik pada tahun 2030, sehingga dapat ditentukan besar kapasitas tranformator untuk mensuplai daya pada tahun tersebut.

Dengan asumsi pola kebutuhan listrik masyarakat meningkat secara linier, maka dalam kajian ini menggunakan metode model regresi linier. Berdasarkan data pengukuran arus yang diambil dalam selang enam bulan dari tahun 2019 sampai tahun 2020, ditentukan waktu sebagai variabel bebas/ independen (*predictor variable*) dengan kenaikan enam bulan sampai bukan September tahun 2030. Sedangkan kebutuhan daya pelanggan sebagai variabel terikat/ dependen (*response variable*) dalam model hitung regresi linier. Setelah mendapatkan daya listrik dalam VA pada tahun 2030, selanjutnya disesuaikan dengan aturan pembebanan transformator sehingga mendapatkan kapasitas VA transformator yang sesuai. Berdasarkan nilai ini maka dicari nilai kapasitas tranformator yang ada dipasaran (spesifikasi pabrik).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Distribusi

Dalam sistem tenaga listrik penyaluran energi listrik berawal dari stasiun pembangkit yang peralatan utamanya adalah penggerak-mula beserta generator dan transformator penaik tegangan, kemudian energi disalurkan melalui jaringan transmisi dan selanjutnya tegangan diturunkan menjadi tegangan distribusi di jaringan distribusi. Setelah jaringan distribusi energi disalurkan ke pengguna energi listrik. Antara jaringan transmisi dan jaringan distribusi terdapat bus/ rel yang menghubungkan kedua jaringan tersebut. Bus / rel ini yang dalam bentuk fisiknya disebut dengan Gardu Distribusi. Gardu Distribusi jenisnya atau kapasitasnya tergantung dari besar beban yang dilayaninya, semakin besar beban garu tersebut semakin kompleks pula peralatan yang digunakan dalam gardu tersebut. Ada beberapa jenis gardu distribusi yang digunakan di Indonesia, antara lain gardu beton, gardu tiang yang terdiri dari gardu cantol dan gardu portal, gardu kios, gardu mobil (dapat dipindah-pindahkan). Gardu Distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Gambar 1 menunjukkan diagram satu garis sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 1. Sistem distribusi tenaga listrik

Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat.

Fungsi gardu distribusi adalah sebagai berikut [1]:

1. Menyalurkan/ meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah.
2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya disalurkan ke konsumen tegangan rendah.
3. Menyalurkan/ meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.

2.1.1 Jenis-Jenis Gardu Distribusi

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

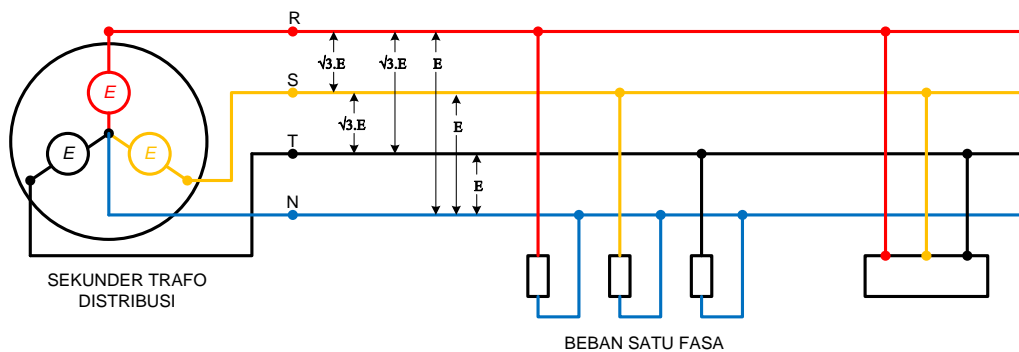
a. Jenis pemasangannya:

1. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol

2. Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
- b. Jenis konstruksinya:
 1. Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
 2. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
 3. Gardu Kios

2.1.2 Pembebanan Trafo

Di Indonesia jaringan distribusi terbagi atas jaringan distribusi primer pada tegangan pengenalan 20 kV dan jaringan distribusi sekunder dengan tegangan pengenalan 380V fasa-fasa dan 220V fasa-netral. Transformator pada gardu distribusi menurunkan tegangan 20 kV ke tegangan rendah 380V/220V tiga fasa empat kawat. Beban yang ditinjau pada gardu ini adalah beban tiga fasa untuk pelanggan komersial tiga-fasa dan beban rumah tangga yang sebahagian besar satu-fasa. Daya beban diukur pada sisi tegangan rendah transformator distribusi, untuk daya beban tiga-fasa diperoleh dari hasil pengukuran tegangan antar fasa (tegangan line) dan arus masing-masing fasa. Selanjutnya untuk daya satu-fasa diperoleh dari hasil pengukuran arus masing-masing fasa (yang tentunya tidak sama) dan tegangan fasa bersangkutan dengan netral. Daya yang diperoleh dari hasil pengukuran tegangan dan arus beban merupakan daya terpakai atau daya semu dalam orde kilo-volt-ampere (kVA) yang diserap oleh peralatan pelanggan. Total daya yang diserap oleh pelanggan melalui saluran keluaran transformator distribusi merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan daya atau kapasitas transformator tersebut. Sistem pembebanan tiga fasa empat kawat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa empat kawat

Terlihat bahwa tiga fasa tegangan adalah fasa tegangan R ($e_R(t)$), fasa tegangan S ($e_S(t)$) dan fasa tegangan T ($e_T(t)$), dalam bentuk sesaat dapat ditulis sebagai,

$$e_R(t) = E_{maks} \sin \omega t \quad (1-a)$$

$$e_S(t) = E_{maks} \sin(\omega t + 120^\circ) \quad (1-b)$$

$$e_T(t) = E_{maks} \sin(\omega t + 240^\circ) \quad (1-b)$$

Sumber tegangan tiga fasa biasanya terhubung Y seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. Keluaran sumber tegangan tiga fasa di Indonesia di notasikan sebagai:

- Tegangan $e_R(t)$ sebagai FASA R,
- Tegangan $e_S(t)$ sebagai FASA S, dan
- Tegangan $e_T(t)$ sebagai FASA T.

Konfigurasi hubungan Y mempunyai dua jenis tegangan keluaran yaitu:

1. Tegangan yang diukur dari masing-masing fasa ke titik netral yang disebut tegangan fasa:
 - Tegangan fasa R dan titik netral, V_{R-N} ,
 - Tegangan fasa S dan titik netral, V_{S-N} ,
 - Tegangan fasa T dan titik netral, V_{T-N} .
2. Tegangan yang diukur dari fasa ke fasa yang disebut tegangan antar fasa atau tegangan *line-to-line*:
 - Tegangan fasa R dan fasa S, V_{R-S} ,
 - Tegangan fasa S dan fasa T, V_{S-T} ,
 - Tegangan fasa R dan fasa T, V_{R-T}

Daya satu fasa yang diterima dari sumber adalah:

Daya semu:

$$S_R = V_{Z(R)} \cdot I_{Z(R)} = V_{PH} \cdot I_{L-L} \text{ [VA]} \quad (2-a)$$

$$S_S = V_{Z(S)} \cdot I_{Z(S)} = V_{PH} \cdot I_{L-L} \text{ [VA]} \quad (2-b)$$

$$S_T = V_{Z(T)} \cdot I_{Z(T)} = V_{PH} \cdot I_{L-L} \text{ [VA]} \quad (2-c)$$

sehingga daya semu tiga fasa menjadi:

$$S_{3\phi} = S_R + S_S + S_T = 3 \cdot V_{PH} \cdot I_{L-L} \text{ [VA]} \quad (2-d)$$

Daya aktif:

$$P_R = V_{Z(R)} \cdot I_{Z(R)} \cos \varphi = V_{PH} \cdot I_{L-L} \cos \varphi \text{ [W]} \quad (3-a)$$

$$P_S = V_{Z(S)} \cdot I_{Z(S)} \cos \varphi = V_{PH} \cdot I_{L-L} \cos \varphi \text{ [W]} \quad (3-b)$$

$$P_T = V_{Z(T)} \cdot I_{Z(T)} \cos \varphi = V_{PH} \cdot I_{L-L} \cos \varphi \text{ [W]} \quad (3-c)$$

sehingga daya tiga aktif fasa menjadi:

$$P_{3\phi} = P_R + P_S + P_T = 3 \cdot V_{PH} \cdot I_{L-L} \cos \varphi \text{ [VA]} \quad (3-d)$$

Daya reaktif:

$$Q_R = V_{Z(R)} \cdot I_{Z(R)} \sin \varphi = V_{PH} \cdot I_{L-L} \sin \varphi \text{ [VAr]} \quad (4-a)$$

$$Q_S = V_{Z(S)} \cdot I_{Z(S)} \sin \varphi = V_{PH} \cdot I_{L-L} \sin \varphi \text{ [VAr]} \quad (4-b)$$

$$Q_T = V_{Z(T)} \cdot I_{Z(T)} \sin \varphi = V_{PH} \cdot I_{L-L} \sin \varphi \text{ [VAr]} \quad (4-c)$$

sehingga daya tiga reaktif fasa menjadi:

$$Q_{3\phi} = Q_R + Q_S + Q_T = 3 \cdot V_{PH} \cdot I_{L-L} \sin \varphi \text{ [VAr]} \quad (4-d)$$

Daya tiga fasa dapat dicari dari tegangan antar fasa, V_{L-L} dan tegangan fasa-netral, V_{PH} sebagai berikut,

$$\begin{aligned} S_{3\phi} &= S_R + S_S + S_T = 3 \cdot V_{PH} \cdot I_{L-L} \\ &\rightarrow V_{PH} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \\ &= 3 \cdot \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \cdot I_{L-L} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \cdot 3 \cdot \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \cdot I_{L-L} = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \end{aligned}$$

Jadi untuk daya AC tersebut di atas dapat dirumuskan sebagai,

$$S_{3\phi} = 3 \cdot V_{PH} \cdot I_{L-L} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \text{ [VA]} \quad (5-a)$$

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_{PH} \cdot I_{L-L} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \cos \varphi \text{ [W]} \quad (5-b)$$

$$Q_{3\phi} = 3 \cdot V_{PH} \cdot I_{L-L} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \sin \varphi \text{ [VAr]} \quad (5-c)$$

2.1.2.1. Arus Beban Penuh Trafo

Daya tiga fasa transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut [2]:

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (6)$$

dengan:

$S_{3\phi}$: Daya tiga fasa transformator (kVA)

V_{l-l} : Tegangan sisi primer transformator (kV)

I : Arus jala-jala sisi primer (A)

sehingga arus beban penuh (*full load*) dapat dirumuskan menjadi:

$$I_{FL} = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot V_{l-l}} \quad (7)$$

Menurut SPLN NO.50 TAHUN 1997, batas pembebanan trafo pada kisaran 50%-60% dan dapat dibebani hingga batas ideal pembebanan trafo dengan pertimbangan susut umur trafo, faktor keragaman, dan faktor keserempakan sehingga beban trafo ditentukan sebesar 80%.

2.1.2.2. Daya Satu-Fasa dan Tiga-Fasa

Daya tiga-fasa dapat diperoleh dari daya satu-fasa, daya satu-fasa digunakan untuk menghitung daya tiga-fasa dari daya beban satu-fasa tidak seimbang. Persamaan daya satu-fasa dinyatakan seperti persamaan (8) [3].

- Daya fasa R:
$$S_R = V_{R-N} \cdot I_R \quad (8-a)$$

- Daya fasa S:
$$S_S = V_{S-N} \cdot I_S \quad (8-b)$$

- Daya fasa R:
$$S_T = V_{T-N} \cdot I_T \quad (8-c)$$

dengan:

V_{R-N} : Tegangan fasa R dan kawat netral (kV)
 V_{S-N} : Tegangan fasa S dan kawat netral (kV)
 V_{T-N} : Tegangan fasa T dan kawat netral (Kv)
 I_R : Arus yang mengalir pada fasa R (A)
 I_S : Arus yang mengalir pada fasa S (A)
 I_T : Arus yang mengalir pada fasa T (A)

Daya tiga-fasa adalah:

$$\begin{aligned} S_{3\phi} &= S_R + S_S + S_T \\ &= V_{R-N} \cdot I_R + V_{S-N} \cdot I_S + V_{T-N} \cdot I_T \end{aligned} \quad (9)$$

Jika diasumsikan tegangan fasa-netral sama, sehingga,

$$V_{PH} = V_{R-N} = V_{S-N} = V_{T-N} \quad (10)$$

Diperoleh daya tiga-fasa transformator yang dihubungkan bintang adalah:

$$\begin{aligned} S_{3\phi} &= V_{PH} \cdot I_R + V_{PH} \cdot I_S + V_{PH} \cdot I_T \\ &= V_{PH} \cdot (I_R + I_S + I_T) \end{aligned} \quad (11)$$

2.2 Regresi Linier

Analisis regresi mempelajari bentuk hubungan antara satu atau lebih peubah/ variabel bebas (X) dengan satu peubah tak bebas (Y). Dalam penelitian peubah bebas (X) adalah peubah yang ditentukan oleh peneliti secara bebas misalnya waktu, periode, kadar zat pengawet, umur dan sebagainya. Regresi linier adalah salah satu dari jenis analisis peramalan atau prediksi yang sering digunakan pada data berskala kuantitatif (interval atau rasio). Bentuk hubungan antara peubah bebas (X) dengan peubah tak bebas (Y) bisa dalam bentuk polinom derajat satu (linear) polinom derajat dua (kuadratik). Polinom derajat tiga (Kubik) dan seterusnya. Disamping itu bisa juga dalam bentuk lain misalnya eksponensial, logaritma, sigmoid dan sebagainya. Bentuk-bentuk ini dalam analisis regresi-korelasi biasanya dilakukan transformasi supaya menjadi bentuk polinom.

Tujuan dilakukannya regresi linear antara lain adalah:

1. Apakah seperangkat atau sekumpulan variabel prediktor signifikan dalam memprediksi variabel respon?
2. Variabel predictor manakah yang signifikan dalam menjelaskan variabel respon? Hal ini ditunjukkan dengan koefisien estimasi regresi. Koefisien estimasi inilah yang nantinya akan membentuk persamaan regresi.

Model Persamaan Regresi Linear Sederhana adalah seperti berikut ini, [4]:

$$Y = a \cdot X + b, \quad (12)$$

dengan:

Y : Variabel Respon atau Variabel Akibat (*Dependent*),
 X : Variabel Prediktor atau Variabel Faktor Penyebab (*Independent*),
 a : koefisien regresi (kemiringan),
 b : konstanta.

Nilai-nilai a dan b dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini:

Koefisien regresi (kemiringan):

$$a = \frac{n \cdot (\sum XY) - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{n \cdot (\sum X^2) - (\sum X)^2},$$

Konstanta:

$$b = \frac{(\sum Y) \cdot (\sum X^2) - (\sum X) \cdot (\sum XY)}{n \cdot (\sum X^2) - (\sum X)^2},$$

Untuk melakukan prakiraan atau peramalan, variabel tak bebas (Y) yang akan kita cari dilakukan dengan memasukan variabel bebas (X) misalnya tahun kesekian yang mana kebutuhan daya listrik (Y) itu terjadi di dalam persamaan regresi (12). Setelah menyelesaikan persamaan (12) dengan nilai (X) yang telah dipilih maka akan diperoleh daya listrik (Y) yang bersesuaian dengan tahun (X) tersebut.

III. METODE

Penelitian dilakukan dengan mengambil data sekunder yang ada pada Gardu NSWRA020. Data yang diperoleh untuk menghitung kapasitas trafo adalah:

1. Arus keluaran beban puncak trafo pada setiap fasa (I_R , I_S , I_T),
2. Tegangan sisi sekunder trafo fasa ke netral,
3. Kapasitas trafo saat ini (saat pengambilan data).

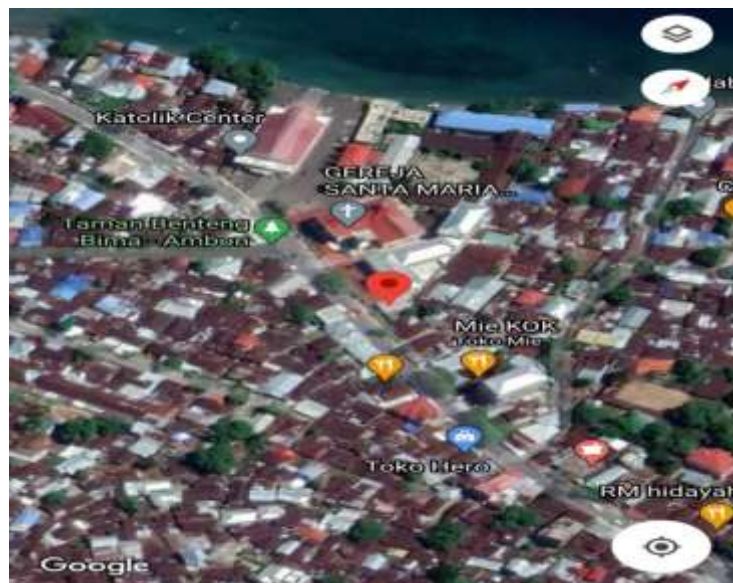
Dari data tersebut dihitung beban puncak trafo (kVA) untuk setiap periode pengukuran. Selanjutnya data beban puncak dan periodenya dipakai untuk membentuk korelasinya/ hubungannya dalam persamaan regresi linier. Kemudian dari persamaan regresi dicari kebutuhan daya listrik pada tahun 2030. Daya hasil hitung ini adalah daya 80% dari pembebanan trafo, dan selanjutnya dicari daya 100% sebagai kapasitas trafo yang akan disesuaikan dengan daya trafo yang diproduksi di pasaran. Daya trafo dari pabrik/ pasar dipilih satu tingkat lebih besar dari daya hasil hitung/ prediksi. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Baga alir proses penelitian

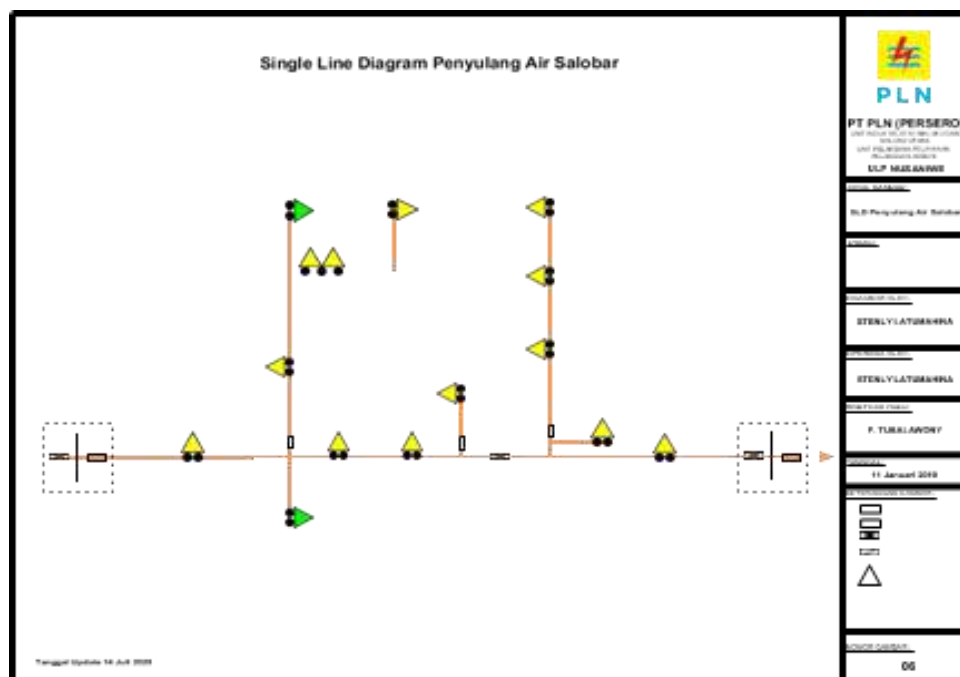
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian berada di daerah Benteng, Kecamatan Sirimau Kota Ambon. Gardu NSWRA020 merupakan salah satu Gardu distribusi yang ada pada penyulang Air Salobar yang merupakan wilayah kerja dari Unit Layanan Pelanggan (ULP) Nusaniwe. Gambar lokasi hasil foto udara dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Lokasi gardu NSWRA020

Diagram satu-garis penyulang Air Salobar tempat Gardu NSWRA020 berada yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) ULP (Unit Layanan Pelanggan) Nusaniwe ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Diagram satu-garis penyulang Air Salobar

Gardu NSWRA020 pada awalnya terpasang trafo dengan kapasitas 100kVA, kemudian pada tanggal 14 September 2019 trafonya diganti dengan menaikkan kapasitasnya menjadi 160kVA [5]. Pengukuran terhadap beban gardu tersebut dari awal tahun 2019 sampai dengan tahun 2020 ditunjukkan pada Tabel 1. Penukuran dilakukan terhadap tegangan fasa-netral dan arus dimasing-masing fasa, arus setiap fasa yang diukur adalah arus beban puncak dan arus rata-rata (arus rms). Arus rms adalah arus rata-rata selama periode pembebanan (harian).

Tabel 1. Data pengukuran beban Gardu NSWRA020

NO.	TANGGAL	kVA	ARUS rms [A]			ARUS puncak [A]		
			FASA R	FASA S	FASA T	FASA R	FASA S	FASA T
1	17/09/2020	160	126,5	78,1	111,7	215	332	286
2	16/03/2020	160	139,8	103,2	155,2	227	165	245
3	12/09/2019	100	131,1	104,9	133,8	223	172	216
4	11/03/2019	100	123,1	80,8	142,0	203	133	229

Data arus beban puncak masing-masing fasa R, S dan T yang diukur selama dua tahun dengan selang enam bulan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data arus beban puncak Gardu NSWRA020

NO.	TANGGAL	ARUS puncak [A]		
		FASA R	FASA S	FASA T
1	11/03/2019	203	133	229
2	12/09/2019	223	172	216
3	16/03/2020	227	165	245
4	17/09/2020	215	332	286

Berdasarkan data arus pada masing-masing fasa dan tegangan fasa ke netral untuk masing-masing fasa yaitu $V_{RN} = V_{SN} = V_{TN} = 220$ V, menggunakan persamaan,

$$S_{3\phi} = V \cdot (I_R + I_S + I_T),$$

Sehingga diperoleh besar daya tiga fasa pelanggan yang merupakan beban trafo distribusi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan daya tiga fasa Gardu NSWRA020

NO.	TANGGAL	ARUS puncak [A]			$S_{3\phi}$
		FASA R	FASA S	FASA T	
1	11/03/2019	203	133	229	76,10
2	12/09/2019	223	172	216	81,36
3	16/03/2020	227	165	245	87,60
4	17/09/2020	215	332	286	69,59

Data di dalam Tabel 4 diinisialisasi untuk variabel prediktor X dan variabel respon Y, dengan waktu adalah X dan beban pelanggan adalah Y. Untuk variabel X data waktu pengukurannya dibulan maret (03) dan bulan September (09) dengan jarak/selang 6 (enam)bulan di tahun yang sama, sehingga nilai X kenaikannya 6 poin. Inisialisasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Inisialisasi data beban Gardu NSWRA020

n	PREDIKTOR		RESPON	
	TANGGAL	X	$S_{3\phi}$	Y
1	11/03/2019	1	76,10	76,10
2	12/09/2019	6	81,36	81,36
3	16/03/2020	12	87,60	87,60
4	17/09/2020	18	69,59	69,59

Untuk mencari koefisien regresi a dan konstanta b nilainya dihitung seperti Tabel 5.

Tabel 5. Parameter hitung regresi linier

$(\sum X)$	$(\sum Y)$	$(\sum X^2)$	$(\sum X \cdot Y)$	$(\sum X)^2$
37	582,12	505	5911,18	1369

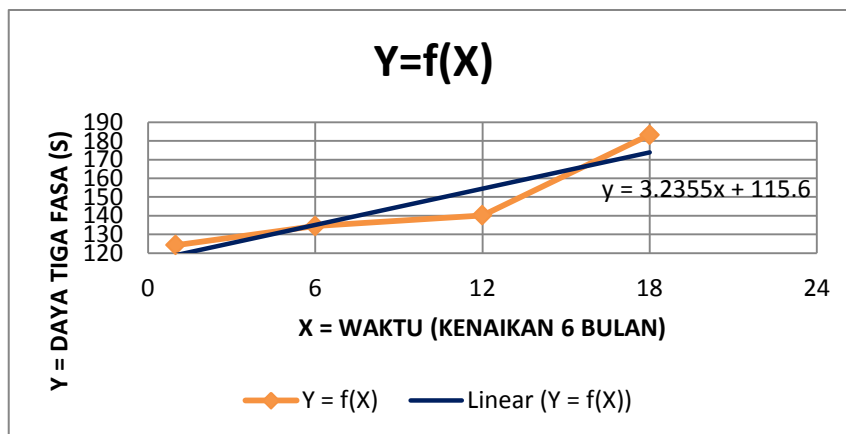
$$a = \frac{n \cdot (\sum XY) - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{n \cdot (\sum X^2) - (\sum X)^2} = \frac{4 \cdot 5911,18 - 37 \cdot 582,12}{4 \cdot 505 - 1369} = 3,2355,$$

$$b = \frac{(\sum Y) \cdot (\sum X^2) - (\sum X) \cdot (\sum XY)}{n \cdot (\sum X^2) - (\sum X)^2} = \frac{582,12 \cdot 505 - 37 \cdot 5911,18}{4 \cdot 505 - 1369} = 115,6021,$$

Dengan demikian persamaan prediksi dapat disusun sebagai berikut,

$$Y = 3,2355 \cdot X + 115,6021, \quad (13)$$

Setelah memasukan data X dan Y dari Tabel 4.3 ke dalam program ms-excel dapat diplot kurva $Y = f(X)$ dan garis *trend*- nya seperti ditunjukkan oleh Gambar 4 dapat dilihat bahwa persamaan $Y = f(X)$ yang diperoleh dengan cara analitik metoda regresi linier (13) sama dengan persamaan hasil simulasi di aplikasi *micro soft excel* dengan setingan *trend* linier.



Gambar 6. Kurva $Y = f(X)$

Untuk memperkirakan besar beban diakhir tahun 2030 maka inisialisasi waktu seperti Tabel 6.

Tabel 6. Inisialisasi nilai X sampai September 2030

TANGGAL	X	TANGGAL	X
11/03/2019	1	Mar-25	72
12/09/2019	6	Sep-25	78
16/03/2020	12	Mar-26	84
17/09/2020	18	Sep-26	90
Mar-21	24	Mar-27	96
Sep-21	30	Sep-27	102
Mar-22	36	Mar-28	108
Sep-22	42	Sep-28	114
Mar-23	48	Mar-29	120
Sep-23	54	Sep-29	126
Mar-24	60	Mar-30	132
Sep-24	66	Sep-30	138

Dengan menggunakan persamaan (13) diperoleh daya beban trafo Gardu NSWWRA020 dari tahun 2019 sampai dengan tahun 2030 ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 7. Kenaikan daya beban trafo Gardu NSWRA020

WAKTU	NILAI PREDIKTOR X	DAYA (kVA)	WAKTU	NILAI PREDIKTOR X	DAYA (kVA)
11/03/2019	1	76,10	Mar-25	72	348,5581
12/09/2019	6	81,36	Sep-25	78	367,9711
16/03/2020	12	87,60	Mar-26	84	387,3841
17/09/2020	18	69,59	Sep-26	90	406,7971
Mar-21	24	193,2541	Mar-27	96	426,2101
Sep-21	30	212,6671	Sep-27	102	445,6231
Mar-22	36	232,0801	Mar-28	108	465,0361
Sep-22	42	251,4931	Sep-28	114	484,4491
Mar-23	48	270,9061	Mar-29	120	503,8621
Sep-23	54	290,3191	Sep-29	126	523,2751
Mar-24	60	309,7321	Mar-30	132	542,6881
Sep-24	66	329,1451	Sep-30	138	562,1011

Jadi untuk bulan September tahun 2030 (Sep-30) nilai prediktor adalah $X = 138$, sehingga besar daya pelanggan pada tahun tersebut sebesar,

$$Y = 3,2355 \cdot X + 115,6021 = 3,2355 \cdot 138 + 115,6021 = 562,10 \approx 562 \text{ kVA},$$

Melihat kenaikan daya beban dari waktu ke waktu selama kurang lebih tujuh tahun (tahun 2021 s/d 2030), besar pengingkatannya ditunjukkan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Nilai peningkatan daya sampai dengan tahun 2030

TANGGAL	DAYA (kVA)	DELTA DAYA	TANGGAL	DAYA (kVA)	DELTA DAYA
11/03/2019	76,10	16,18	Mar-25	348,56	19,41
12/09/2019	81,36		Sep-25	367,97	
16/03/2020	87,60	19,41	Mar-26	387,38	19,41
17/09/2020	69,59		Sep-26	406,80	
Mar-21	193,25	19,41	Mar-27	426,21	19,41
Sep-21	212,67		Sep-27	445,62	
Mar-22	232,08	19,41	Mar-28	465,04	19,41
Sep-22	251,49		Sep-28	484,45	
Mar-23	270,91	19,41	Mar-29	503,86	19,41
Sep-23	290,32		Sep-29	523,28	
Mar-24	309,73	19,41	Mar-30	542,69	19,41
Sep-24	329,15		Sep-30	562,10	

Jika ditinjau kenaikan daya per tahun dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2030 kenaikan beban yang dilayani oleh Gardu NSWRA020, kenaikan rata-rata beban per tahun sebesar,

$$S_{1 \text{ thn}} = \frac{562,1 - 193,25}{9} = 40,98 \text{ kVA},$$

Jika pembebanan trafo yang diijinkan sebesar 80% maka kapasitas trafo minimum adalah

$$S_{\min} = \frac{562,1}{0,8} = 702,62 \text{ kVA},$$

Kapasitas trafo yang mendakati hasil perhitungan adalah 800 kVA, [6]. Dalam kurun waktu 9 tahun (2021 s/d 2030) kenaikan beban pelanggan cukup signifikan rata-rata 41 kVA per tahun sehingga kapasitas trafo bertambah sebesar 800 kVA yaitu dari 160 kVA. Perubahan kapasitas daya pelanggan ini berpengaruh juga pada sistem proteksi gardu (sisi TM dan sisi TR) yaitu terhadap pemilihan fuse sisi TM yaitu *fuse cut-out* (FCO) demikian juga pengamanan

dan saklar di sisi TR, harus disesuaikan dengan besar arus beban. Untuk konduktor utama keluaran sekunder trafo distribusi Gardu NSWRA020 disesuaikan juga dengan arus beban trafo. Perhitungan arus nominal *fuse cut-out* (FCO) pada sisi tegangan menengah Gardu NSWRA020 adalah sebagai berikut:

Kemampuan FCO melayani arus yang terus-menerus adalah 150% dari arus nominal trafo (arus pengenalan sisi TM), [6]. Dengan arus pengenalan sisi primer trafo adalah:

$$I_{np} = \frac{S_{3\phi \text{ trafo}}}{\sqrt{3} \cdot V_{llp}} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 20} = 23,1 \text{ A},$$

Diperoleh arus pengenalan untuk FCO adalah:

$$I_{nFCO} = 1,5 \cdot I_{np} = 1,5 \cdot 23,1 = 34,64 \text{ A},$$

Menurut [6], $I_{nFCO} = 34,64 \text{ A}$ untuk FCO jenis T (lambat 10" – 13") yang mendekati nilai tersebut untuk kapasitas trafo 800 kVA adalah arus minimal $I_{nFCO(\min)} = 50 \text{ A}$ dan arus maksimal $I_{nFCO(\max)} = 63 \text{ A}$. Perhitungan pengamanan pada sisi tegangan rendah Gardu NSWRA020 pada beban tahun 2030, adalah sebagai berikut:

Kapasitas pembebanan trafo $S = 702 \text{ kVA}$,

Tegangan trafo $V_{TM} = 20 \text{ kV}$; $V_{TR} = 380 \text{ V}/220 \text{ V}$,

Jika jumlah jurusan ada empat jurusan maka Arus nominal trafo tiap fasa

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} = \frac{702 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1.066,57 \text{ A},$$

Karena ada 4 jurusan, maka arus tiap jurusan:

$$I_{N-jur} = \frac{I_N}{4} = \frac{1066,57}{4} = 266,64 \text{ A},$$

KHA NH-Fuse dipilih untuk beban maksimum tiap jurusan 90% adalah:

$$I_{N(NH-Fuse)} = I_{N-jur} \cdot \frac{90}{100} = 266,64 \cdot 0,9 = 239,98 \approx 240 \text{ A},$$

keterangan:

Faktor kali 0,9 adalah faktor keamanan untuk beban trafo

tegangan fasa-netral $V_{PH} = 220 \text{ V}$,

tegangan fasa-fasa $V_{LL} = 380 \text{ V}$

Singkatan NH adalah

N = NIEDER SPANNUNG = tegangan rendah

H = HOCH LEISTUNG = arus besar

Jadi NH fuse di penggunaan untuk tegangan rendah dengan arus besar, bentuk NH-fuse ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7 Pengaman NH-fuse

Besar penampang penghantar yang digunakan pada keluaran PHB-TR untuk penghantar di setiap jurusan adalah besar arus nominalnya dikalikan dengan koefisien kuat hantar arus (KHA) penghantar (SNI 0225:2011/Amandemen 1:2013), [7], sebagai berikut,

$$KHA_{PENGHANTAR} = I_{N-jur} \cdot 1,25 = 266,64 \cdot 1,25 = 299,97 \approx 300 \text{ A},$$

Sehingga diperoleh untuk KHA kawat dengan penampang penghantarnya adalah 120 mm^2 .

V. PENUTUP

Melihat hasil analisis dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil peramalan dengan metode regresi linier diperoleh daya listrik yang diserap oleh pelanggan dari Gardu NSWRA020 sebesar 562,1 kVA di tahun 2030.
2. Peningkatan kenaikan rata-rata daya pelanggan per tahun sebesar 41 kVA.

3. Berdasarkan syarat pembebanan trafo sebesar 80% dan disesuaikan dengan spesifikasi daya trafo dari pabrik, maka kapasitas transformator yang dipasang di Gardu NSWRA020 pada tahun 2030 sebesar 800 kVA.
4. Besar kapasitas pengaman setiap jurusan PHB-TR nilai nominal NH-fuse 240 A.
5. Arus pengenal FCO jenis T adalah adalah arus minimal $I_{nFCO(min)} = 50$ A dan arus maksimal $I_{nFCO(max)} = 63$ A.
6. Besar luas penampang penghantar yang digunakan untuk setiap jurusan 120 mm².

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suhadi, Dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta
- [2] Sofyan, & Afriyastuti Herawati. (2015). Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu
- [3] Partaonan Harahap, Muhammad Adam, & Agus Prabowo. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6.0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro Vol. 1, No. 2*, Hal. 64 - 65.
- [4] Sudjana M. A., 1996, Teknik Analisis Regresi dan Korelasi (bagi para peneliti), Penerbit Tarsito, Bandung
- [5] Salo L. A., 2020, Analisa Uprating Trafo Distribusi untuk Mengurangi Beban Overload pada Gardu NSWRA020 Benteng Penyulang Air Salobar, Tugas Akhir, jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon, Ambon.
- [6] Yusmartato, Ramayulis N. dan Armansyah, 2019, Pemilihan Fuse Cut Out Untuk Pengaman Transformator Distribusi 400 KVA, *Journal of Electrical Technology*, Vol. 4, No. 2, Juni 2019
- [7] _____ <https://www.listrik-praktis.com/2018/10/cara-menentukan-luas-penampang-kabel-PUIL-2011.html> (diunduh 05-05-2023)