

Analisis Pembagian Beban Generator Unit PLTD Desa Tana Merah Kabupaten Tana Tidung Provinsi Kalimantan Utara

Restu Aditya¹⁾, Imit Mado²⁾

^{1,2}Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Indonesia
adityarestu554@gmail.com¹⁾

Abstrak

Unit Layanan (ULD) desa Tana Merah, kabupaten Tana Tidung, Kalimantan Utara merupakan salah satu unit PT. PLN sistem Mahakam, Kalimantan Timur. Saat ini terdiri atas 3 unit pembangkit, yakni 2 unit PLTD dan 1 unit PLTMG. Penelitian ini menganalisa sistem pembebanan dari 2 unit PLTD yang beroperasi sebagai cadangan daya listrik ke pelanggan. Metode deskripsi analitik berdasarkan data kualitatif pengukuran di sisi pembangkit digunakan sebagai analisa pembebanan. Sedangkan pada sisi pemparalelan generator diusulkan menggunakan mekanisme jenis sinkronoskop sebagai perbaikan dari metode manual. Setelah dilakukan analisa pembagian beban pada setiap generator maka beban listrik yang harus dipikul setiap generator sebesar 0,263 MW dari kapasitas mampu generator sebesar 0,36 MW atau setara dengan 73 persen daya mampu generator.

Kata kunci: PLTD, Generator, Beban listrik, Pemparalelan

I. PENDAHULUAN

Tana Tidung merupakan salah satu kabupaten yang ada di provinsi Kalimantan Utara, terdiri atas 5 kecamatan dengan jumlah 32 desa. Desa Tana Merah merupakan salah satu desa yang ada di Kecamatan Tana Lia[1]. Kabupaten Tana Tidung merupakan wilayah pemekaran Kabupaten Bulungan yang terbentuk pada tahun 2007[2]. Dan bergabung pada tahun 2012 seiring terbentuknya provinsi Kalimantan Utara. Dalam perkembangan sebagai kabupaten yang baru, peningkatan pertumbuhan jumlah penduduk di desa Tana Merah dan kondisi geografis wilayah Kalimantan Utara membuat jaringan listrik yang ada di desa Tana Merah sebagaimana wilayah pedalaman lainnya di provinsi Kalimantan Utara bersifat isolated. Di tahap awal sistem pembangkitan atau secara hierarki berkedudukan sebagai Unit Layanan Desa (ULD) Desa Tana Merah terdiri dari 2 unit PLTD[3]. Seiring perkembangan pertumbuhan penduduk dan akses jaringan di desa, atas kerjasama PT. Taneko dibangun PLTMG yang digunakan untuk mensuplai seluruh kebutuhan daya listrik di desa Tana Merah. Selain itu dengan penambahan kapasitas pembangkitan bertujuan untuk meminimalisir kegagalan sistem. Dikarenakan secara umum pada sistem tenaga listrik mempunyai variasi beban yang dimana setiap waktu akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik harus sesuai dengan besar daya yang diperlukan. Ketika pada suatu waktu terjadi lonjakan atau penurunan beban secara tiba-tiba, maka perubahan hal tersebut dapat dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik atau kondisi tidak seimbang antara pasokan listrik dan permintaan energi listrik yang akibat adanya gangguan baik pada pembangkit ataupun pada sistem jaringan sehingga mengakibatkan kerja dari pembangkit mengalami gangguan. Kinerja sistem pembangkitan sangat penting untuk selalu dapat mempertahankan kehandalan operasi sistem tenaga listrik. Jika daya yang disalurkan lebih besar daripada daya yang diserap akan mengakibatkan pemborosan, demikian juga sebaliknya jika daya yang disuplai lebih kecil dari daya yang diserap akan mengakibatkan pemadaman. Salah satu

hal yang paling penting dalam mengukur kinerja dan kehandalan sistem pembangkit adalah dengan menganalisa sistem pembebanan dan teknik pemparalelan antar generator yang bekerjasama membangkitkan daya listrik yang akan disalurkan ke pelanggan.

Penelitian yang mengarah pada perbaikan kinerja pembangkitan PLTD dan sistem pembebanan pembangkit telah dilaksanakan oleh Yustiati dan Matondang (2020) tentang analisa pembebanan sistem PLTD di Titi Kuning[4]. Sedangkan Safaruddin, dkk (2020) membuat simulasi rancang bangun pengaturan bahan bakar dalam mempertahankan frekuensi yang konstan berbasis arduino[5]. Dan dimana sebelumnya telah dilaksanakan penelitian sebagai laporan tugas akhir sarjana teknik elektro oleh Satrio (2017) mengenai Analisis Kestabilan Frekuensi dan Tegangan Sistem Tenaga Listrik PT Aneka Tambang (Persero) TBK UBPB Sulawesi Tenggara sistem PLTD[6]. Penelitian ini dilaksanakan dalam upaya menganalisa pembagian beban listrik generator Unit PLTD Desa Tana Merah Kabupaten Tana Tidung Provinsi Kalimantan Utara dan rekomendasi sistem pemparalelan generator yang mampu meningkatkan kinerja suplay daya listrik generator ke pelanggan

II. KAJIAN LITERATUR

A. Tinjauan Pustaka

Pada Pembangkit listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* adalah peralatan yang berfungsi sebagai penghasil energi mekanis yang bertujuan memutar rotor pada generator[7]. Generator induksi atau mesin induksi merupakan mesin listrik yang cara kerjanya berdasarkan prinsip kerja induksi elektromagnetik. Mesin induksi bekerja atas perbedaan kecepatan putar antara kecepatan rotor dan stator. Ketika kecepatan putar stator sama dengan kecepatan putar rotor ($n_s = n_r$), maka tidak ada

tegangan yang terinduksi ke stator dan ke rotor. Jika kecepatan putar stator lebih besar dibandingkan kecepatan rotor ($n_s > n_r$), maka tegangan terinduksi ke rotor sehingga mesin induksi dapat beroperasi sebagai motor listrik. Dan apabila jika kecepatan putar rotor lebih besar dari kecepatan stator ($n_r > n_s$), maka sebaliknya tegangan akan terinduksi ke stator sehingga menyebabkan mesin induksi akan beroperasi sebagai generator listrik. Generator induksi digunakan banyak pada daerah terpencil yang belum terjangkau listrik. Umumnya generator induksi digunakan untuk membangkitkan energi listrik berdaya kecil. Dan pengoprasiannya pun tidak terlalu lama. Adapun dalam pengoperasian generator induksi memiliki beberapa masalah pada tegangan keluaran generator yang tidak konstan. Oleh karena itu diperlukan adanya sebuah sistem kontrol untuk mengatur tegangan keluaran generator induksi. Dengan menggunakan pengontrolan, tegangan yang dihasilkan oleh generator induksi berpenguatan sendiri menjadi lebih halus tanpa adanya *ripple* dan lebih stabil[8].

B. Mesin Diesel

Mesin diesel termasuk mesin dengan pembakaran dalam atau disebut dengan motor bakar ditinjau dari cara memperoleh energi termalnya. Untuk membangkitkan listrik sebuah generator menggunakan generator dengan sistem penggerak tenaga diesel. Mesin diesel adalah jenis motor pembakaran dalam dengan karakteristik utama yang berbeda dari motor bakar yang lain yaitu terletak pada metode pembakaran bahan bakarnya. Torak (piston) yang bergerak secara translasi/bolak-balik di dalam silinder mengkompresikan udara sehingga menaikkan temperatur dan tekanan, kemudian bahan bakar dikabutkan kedalam ruang bakar, karena suhu dan tekanan yang sangat tinggi menyebabkan bahan bakar yang dikabutkan oleh nozzel akan terbakar dengan sendirinya (compression ignition engines) dan terjadilah proses ekspansi yang mendorong piston. Tenaga dari piston diteruskan oleh batang piston menuju poros engkol, gerak translasi diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol tersebut. Mesin diesel termasuk pembakaran dalam (*internal combustion engines*), karena pembakaran terjadi di dalam mesin itu sendiri[9].

C. Generator Sinkron

Generator sinkron atau alternator merupakan mesin listrik yang menghasilkan tegangan dan arus listrik bolak-balik yang bekerja dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet[10]. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran pada rotor dan jumlah putaran medan magnet pada stator sama.

Prinsip kerja generator sinkron.

1. Sumber eksitasi dihubungkan ke kumparan medan yang ada pada rotor. Sumber eksitasi ini akan mengalirkan arus listrik searah (DC) ke kumparan medan rotor. Arus searah yang mengalir melalui kumparan medan tersebut akan menimbulkan fluks.

2. *Prime Mover* yang telah terhubung dengan rotor dioperasikan sehingga membuat rotor juga ikut berputar dengan kecepatan nominalnya. Ketika rotor berputar maka medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan juga ikut berputar (menghasilkan garis gaya magnet).
3. Garis gaya magnet yang dihasilkan dari perputaran rotor menginduksi kumparan pada stator. Pada kumparan stator akan menghasilkan fluks magnetik yang dapat berubah-ubah besarnya terhadap waktu.
4. Perubahan fluks tersebut menghasilkan GGL (Gaya Gerak Listrik) Induksi pada ujung kumparan. Sehingga dengan itu listrik telah berhasil dihasilkan.
5. Besarnya frekuensi dan tegangan dari listrik yang dihasilkan bergantung pada kecepatan putaran rotor (n) dan jumlah kutub yang ada pada rotor (p).

$$f = \left(\frac{p}{120}\right) \times n$$

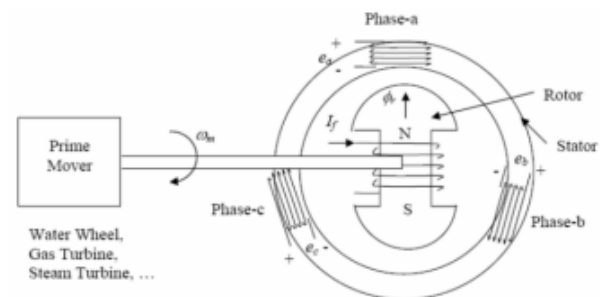
Dimana:

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan putaran rotor (rpm)

Konstruksi dan prinsip kerja generator sinkron ditunjukkan pada gambar berikut ini.



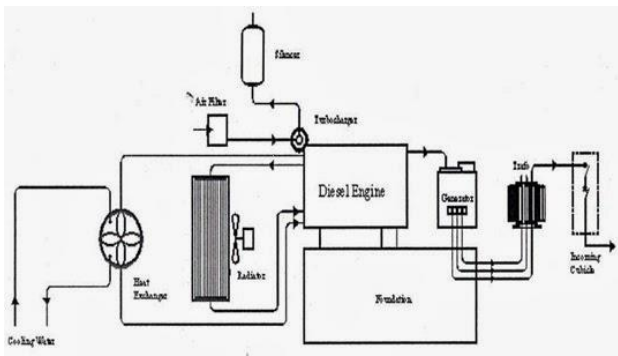
Gambar 1. Prinsip kerja dan konstruksi generator sinkron

Sumber: <https://www.carailmu.com/2021/05/cara-kerja-generator-sinkron.html>

D. Governor

Governor adalah komponen pada mesin diesel yang dirancang untuk mengontrol volume penyemprotan bahan bakar berdasarkan beban mesin supaya kecepatannya tetap stabil tanpa tergantung kondisi beban. Berdasarkan cara kerja governor dapat dibedakan menjadi 2 di antaranya: pengaturan sentrifugal dan pengaturan inersia.

Pengaturan sentrifugal yaitu berkerja berdasarkan gaya sentrifugal, sedangkan pengaturan inersia yaitu berkerja berdasarkan momen inersia yang disebabkan terjadinya percepatan sudut.



Gambar 2. Blok diagram pembangkit listrik tenaga diesel
 Sumber: <http://bmj.co.id/tentang-genset/pembangkit-listrik-tenaga-diesel/>

E. Prinsip Kerja Pemparalelan Generator

Paralel generator adalah menggabungkan dua generator atau lebih dengan menempatkan posisinya secara sejajar dan kemudian dioperasikan secara bersamaan. Pada kebanyakan perusahaan pembangkit listrik menggunakan prinsip ini supaya dapat memaksimalkan keuntungan perusahaan.

Jika beban pada suatu stasiun pembangkit menjadi besar atau melampaui kapasitas sehingga nilai (rating) generator yang sedang bekerja dilampaui, maka di perlu penambahan generator lain secara paralel untuk menaikkan penyediaan daya dari stasiun pembangkit tersebut. Kita bisa mengatur sendiri faktor daya yang akan dioperasikan, namun pada umumnya yang lebih sering digunakan pada faktor daya 0,9. Perubahan faktor daya di generator PLTD tidak begitu mempengaruhi banyak meskipun ada. Adapun Hal tersebut diatas dapat dilihat dengan menggunakan rumus daya aktif sebagai berikut : (Desember et al., 2017)

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana:

P = daya listrik (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = faktor daya

Untuk sistem paralel generator digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{total} = P_{beban} = P_{G1} + P_{G2} + \dots + P_{Gn}$$

Dimana:

P_{total} = daya total (Watt)

P_{Gn} = daya yang dihasilkan oleh generator (Watt)

Apabila jumlah daya beban yang dilayani berkurang dan hal tersebut dapat kita hitung pada perolehan data beban harian untuk pemakaian generator pada lampiran dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{total} = P_{beban} = \left(\sum I_{beban} \right) \times (\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi)$$

$$\sum I_{beban} = \frac{P_{beban}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi}$$

Sehingga diperoleh Arus generator sebagai berikut:

$$I_G = \sum \frac{I_{beban}}{n_G}$$

Dimana:

I_{beban} = arus beban (Ampere)

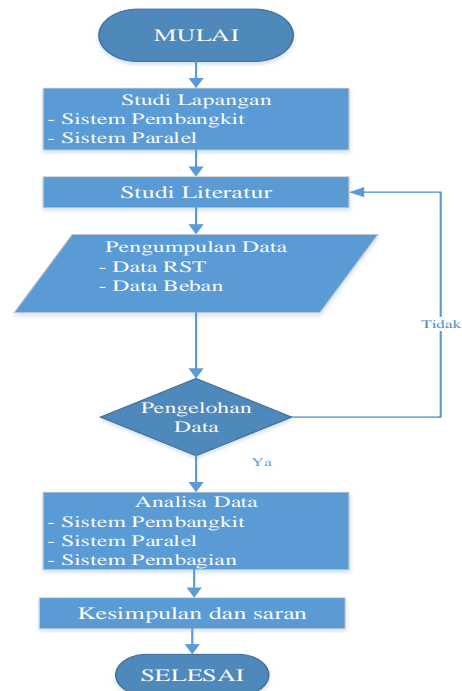
I_G = arus pada generator (Ampere)

n_G = jumlah ke- n paralel generator

Adapun prinsip kerja paralel generator sebagaimana data penelitian dengan menggunakan metode zero meter. Pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik, untuk indikator paralel generator banyak yang menggunakan alat Synchroscope. Penggunaan alat ini dilengkapi dengan Voltmeter untuk memonitor kesamaan tegangan dan Frekuensi meter untuk kesamaan frekuensi. Ketepatan sudut fasa dapat dilihat dari synchroscope. Bila jarum penunjuk berputar berlawanan arah jarum jam, berarti frekuensi generator lebih rendah dan bila searah jarum jam berarti frekuensi generator lebih tinggi. Pada saat jarum telah diam dan menunjuk pada kedudukan vertikal, berarti beda fasa generator dan jala-jala telah 0 (Nol) dan selisih frekuensi telah 0 (Nol), maka pada kondisi ini saklar dimasukkan (ON). Alat synchroscope tidak bisa menunjukkan urutan fasa jala-jala, sehingga untuk memparalelkan perlu dipakai indikator urutan fasa jala-jala.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di ULD Desa Tana Merah Kabupaten Tana Tidung Kalimantan Utara. Dengan alur diagram kegiatan sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram alur penelitian (Flowchart)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Beban Harian Rata-rata

a. Generator 1

Pada jam 19:00 Wita

$$P_{rata-rata} = \frac{P_{total \text{ jam } 19.00}}{n}$$

$$= \frac{382654,22+345928,9+412271,42+390354,7+431818,78+389762,35+387985}{8}$$

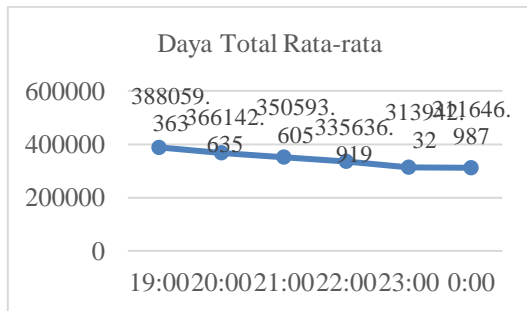
$$= 388059,363 \text{ watt}$$

Maka, berdasarkan analisa perhitungan diperoleh tabel perhitungan daya setiap jamnya sebagai berikut:

Tabel 1. Daya aktif rata-rata Generator 1

Jam	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Daya Aktif (Watt)	38805	36614	3505	3356	3139	311
Daya Aktif (%)	9,363	2,64	93,6	36,9	42,3	647

Berdasarkan perhitungan dan Tabel 1 ditunjukkan grafik kurva daya generator 1 pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. grafik kurva daya generator 1

b. Generator 2

Pada jam 19:00 Wita

Pada jam 19:00 Wita

$$P_{rata-rata} = \frac{P_{total \text{ jam } 19.00}}{n}$$

$$= \frac{201989,3+345928,9+249376,82+178295,54+165856,32+193696,49+183034,3+171779,76}{8}$$

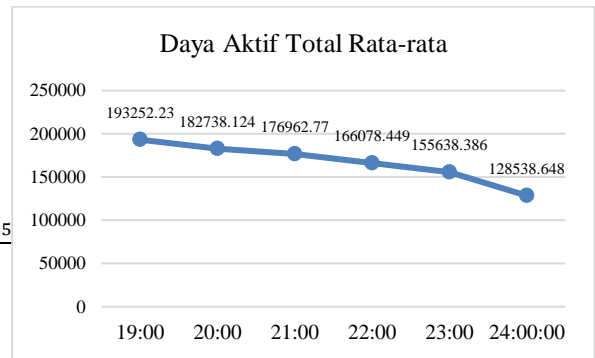
$$= 193252,23 \text{ watt}$$

Maka, berdasarkan analisa perhitungan diperoleh tabel 4.6 perhitungan daya setiap jamnya dibawah ini:

Jam	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Daya Aktif (Watt)	1932	1827	1769	1660	1556	1285
Daya Aktif (%)	52,2	38,1	62,8	78,4	38,4	38,6

Tabel 2. Hasil Perhitungan daya aktif rata-rata generator 2

Berdasarkan perhitungan dan Tabel 5 ditunjukkan grafik kurva daya generator 2 pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Grafik Kurva daya generator 2

B. Perhitungan Daya aktif (P_{total}) keseluruhan pada pembangkit ULD. Tana Merah

Pada jam 19:00 Wita

Diket:

$$P_{G1} = 388059,4 \text{ Watt}$$

$$P_{G2} = 193252,2 \text{ Watt}$$

$$V = 380 \text{ Volt}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

Ditanya : P_{total} ?

$$\text{Penyelesaian: } P_{total} = P_{G1} + P_{G2}$$

$$= 388059,4 + 193252,2$$

$$= 581311,6 \text{ Watt}$$

$$P_{total} = \sqrt{3} \cdot \sum I_{Beban} \cdot V \cdot \cos \varphi$$

$$\sum I_{beban} = \frac{P_{total}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

$$= \frac{581311,6}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9}$$

$$= 981,375 \text{ ampere}$$

Maka, besar arus beban yang dipikul setiap generator adalah:

$$I_{beban} = \frac{\sum I_{beban}}{NG}$$

$$= \frac{981,375}{2}$$

$$= 490,6875 \text{ ampere}$$

Sehingga beban yang dipikul setiap generator adalah:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{beban} \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 490,6875 \cdot 0,9$$

$$= 290655,79 \text{ Watt}$$

Maka, dari hasil perhitungan diperoleh hasil perhitungan P_{total} dalam bentuk Tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Hasil perhitungan $P_{total} = PG_1 + PG_2$

Jam /Tangga l	Cos ϕ	Beban Faktor Daya		P Perhitungan (Watt)
		V	$\sum I_{bebc}$ (Amp)	
19:00	0,9	380	981,37 5	290655,7965
20:00	0,9	380	926,62 5	274440,3795
21:00	0,9	380	890,62 5	263778,1875
22:00	0,9	380	847	250857,684
23:00	0,9	380	792,75	234790,353
00:00	0,9	380	743,12 5	220092,8175

Dari hasil Analisa perhitungan P rata-rata setelah paralel di atas maka di dapatkan bahwa arus P total pada jam 19:00 wita sebesar 981,375 ampere, dan pada jam 24:00 wita sebesar 743,125 ampere. Hal ini terjadi penurunan disebabkan pada jam 24:00 tersebut mulai berkurangnya penggunaan listrik yang mana juga tampak pada grafik terjadi penurunan. Yang mana hal ini juga mempengaruhi beban dan arus yang dipikul setiap generator.

C. Sistem Paralel ULD. Desa Tana Merah

Berdasarkan sistem paralel generator ada beberapa metode paralel yang digunakan salah satunya metode sinkronoskop diantaranya itu sinkronoskop lampu terang maupun sinkronoskop lampu gelap, namun lain hal pada sistem paralel di ULD. Desa tanah merah, yang tidak menggunakan sistem tersebut. Yang mana sistem yang digunakan pada paralel generator menggunakan sistem yang disebut Zero meter atau *Zero Voltage Switching (ZVS)*. Yang mana Zero meter ini merupakan Proses Pensaklaran tegangan ketika tegangan mencapai nol sewaktu turn-on dengan bantuan komponen induktor resonansi L_r dan kapasitor resonansi C_r . Jika jarum meter AVR menyimpang ke kiri atau ke kanan, switch pengatur tegangan diatur sampai jarum meter AVR menunjuk angka 0 (nol).



Gambar 7. Jarum meter AVR

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penyinkronan pada generator ke sistem atau jaringan dilakukan dengan cara manual dengan mengatur secara langsung paramer-parameter keluaran generator baik tegangan, frekuensi, dan cos phi diusulkan menggunakan sistem sinkronoskop dengan indikator lampu.
2. Data hasil analisa dilakukan selama 6 jam oprasi mengalami peningkatan pada jam 19:00 wita sebesar 4,3 MW, disebabkan karena beban terjadi peningkatan yang di akibatkan penguanaan konsumen yang menggunakan peralatan listrik yang bertambah pada saat ingin istirahat.
3. Dari analisa yang dilakukan perhitungan di atas, didapatkan bahwa perhitungan keluaran generator selama beroperasi memperoleh kurva beban selama kurang lebih 8 hari, di dapat bahwa keadaan beban pembangkit selalu berubah-ubah setiap harinya dikarenakan jumlah energi yang dibutuhkan konsumen yang berbeda-beda.
4. Pembagian beban pada setiap generator maka beban listrik yang harus dipikul setiap generator sebesar 0,263 MW dari kapasitas mampu generator sebesar 0,36 MW atau setara dengan 73 persen daya mampu generator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada keluarga dan kerabat terdekat yang selalu mendukung saya dalam menyusun penelitian ini. Dan kepada dosen pembimbing saya Dr. Ismit Mado S.T.,M.T yang sangat membantu saya dalam menyelesaikan penelitan ini. Terima kasih sebesar-besarnya.

REFERENSI

- [1] https://tanatidungkab.go.id/pustaka/3827_Profil%20Daerah%20Kabupaten%20Tana%20Tidung.pdf
- [2] https://id.wikipedia.org/wiki/Kabupaten_Tana_Tidung
- [3] Restu Adytia, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Pt. Pln (Persero) Wilayah Kaltimra Pada Uld. Desa Tanah Merah Kabupaten Tana Tidung, Laporan Kerja Praktek, Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, 2020.
- [4] Yusniati, Yusniati, and Nurcholis Najib Sanubari Matondang. "Analisis Sistem Pembebanan Pada Generator Di Pt. Pln (Persero) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Titi Kuning." In *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*, vol. 3, no. 1, pp. 59-64. 2020.
- [5] Safarudin, Yanuar Mahfudz, Gatot Suwoto, Febry Dwi Iriyanto, Ihsan Fakhri, and Rudi Hadi Santoso. "Rancang Bangun Pengaturan Suplai Bahan Bakar Untuk Mempertahankan Frekuensi Konstan Pada Pltd Menggunakan Motor Servo Berbasis Arduino Mega." *Eksergi* 16, no. 3 (2020): 109-116.
- [6] Satria, Muhammad Hadi. "Analisis Kestabilan Frekuensi dan Tegangan Sistem Tenaga Listrik PT Aneka Tambang (Persero) TBK UBPN Sulawesi Tenggara: Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro." *Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar* (2017).

- [7] Yusniati, & Matondang, N. N. S. (2020). Analisis Sistem Pembebanan Pada Generator Diesel Titi Kuning. *Semnastek Uisu*, 59–64.
- [8] Suheri dan Harahap, 2016, Analisis Dan Simulasi Pengaturan Tegangan Generator Induksi Berpenguatan Sendiri Dengan Menggunakan Static Synchronous Compensator (STATCOM). Vol.14, No.40. Maret 2016. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [9] Suyitno, 2011, Pembangkit Energi Listrik. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- [10] Armansyah, Armansyah, and Sudaryanto Sudaryanto. "Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal." *JET (Journal of Electrical Technology)* 1, no. 2 (2016): 48-55