

Analisa Pengaruh Perubahan Beban terhadap Efisiensi Generator Sinkron 3 Fasa di PLTP Lahendong Unit 3

Rian Manangka¹⁾, Glanny Ch. Mangindaan,²⁾, Hans Tumaliang,³⁾.

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia
Email: rianmanangka08@gmail.com, glanny_m@unsrat.ac.id, hans.tumaliang@gmail.com.

Diterima: Direvisi: Disetujui:

Abstrak— PLTP merupakan unit pembangkit terbesar dengan energi yang ramah lingkungan berbasis sumber daya panas bumi. PLTP Lahendong unit 3 merupakan unit pembangkit yang terletak di kota Tomohon Sulawesi Utara yang mampu membangkitkan energi listrik sebesar 20 MW. Salah satu komponen penting dalam sistem PLTP adalah generator. Ada banyak masalah yang dapat mempengaruhi kerja generator contohnya menurunnya efisiensi generator. Menurunnya efisiensi dapat mempengaruhi energi listrik yang di alirkan tidak maksimal akibat rugi-rugi generator. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi generator apakah generator masih dalam keadaan optimal atau kurang optimal. Hasil dari analisa dengan mengambil data pada tanggal 1 bulan Mei 2021 selama 1 bulan didapatkan hasil perhitungan yang kemudian dianalisis bahwa nilai beban yang paling rendah yang dihasilkan generator adalah 12 MW dengan efisiensi generator 56% dan nilai beban yang paling tinggi adalah 19 MW dengan efisiensi 88%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai beban yang dihasilkan generator berpengaruh terhadap efisiensi generator.

Kata Kunci : Generator, Efisiensi, PLTP

Abstract—PLTP is the largest generating unit with environmentally friendly energy based on geothermal resources. PLTP Lahendong unit 3 is a generating unit located in the city of Tomohon, North Sulawesi, which is capable of generating 20

MW of electrical energy. One of the important components in a geothermal power plant system is a generator. There are many problems that can affect the work of the generator, for example, decreasing the efficiency of the generator. Decreasing efficiency can affect the electrical energy that is flowed not optimally due to generator losses. Therefore, it is necessary to analyze the efficiency of the generator whether the generator is still in optimal or less than optimal condition. The results of the analysis by taking data on May 1, 2021 for 1 month obtained the calculation results which were then analyzed that the lowest load value produced by the generator was 12 MW with generator efficiency of 56% and the highest load value was 19 MW with efficiency of 88%. This shows that the value of the load generated by the generator affects the efficiency of the generator.

Keywords: Generator, Efficiency, PLTP

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan unit pembangkit terbesar dengan energi yang ramah lingkungan berbasis sumber daya panas bumi. Pembangkit listrik tenaga panas bumi memanfaatkan uap yang bersumber dari panas bumi untuk memutar turbin agar dapat membuat generator menghasilkan energi listrik. (kementerian energi dan sumber daya mineral, 2009). Untuk membangkitkan listrik dengan panas bumi dilakukan dengan mengebor tanah di daerah yang berpotensi panas bumi untuk membuat lubang gas panas yang akan

dimanfaatkan untuk memanaskan ketel uap (*boiler*) sehingga uapnya bisa menggerakkan turbin uap yang tersambung ke Generator. Uap yang diperoleh dari sumur-sumur produksi (*hot well*) dan di suplai oleh Pertamina yang di ambil melalui proses pengeboran dengan kedalaman ± 2 km (kedalaman pipa di Lahendong). Dari uap yang berasal dari sumur produksi dari Pertamina kemudian uap masuk ke *Demister* yang di pasang pada jalur uap utama setelah alat pemisah akhir (finansial separator) yang di tempatkan pada bangunan rangka besi yang sangat kokoh dan terletak di luar gedung pembangkit. Uap bersih akan masuk ke saluran keluar yang sebelumnya melewati saringan terlebih dahulu dan untuk selanjutnya diteruskan ke turbin. Uap yang masuk berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi kinetik di dalam nosel (yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan). Nosel diarahkan kepada sudu gerak, di dalam sudu gerak energi kinetik diubah menjadi energi mekanis. Kemudian pada generator bekerja berdasarkan hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputar di dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan ditimbulkan *GGL* (gaya gerak listrik) yang mempunyai satuan Volt. Setelah itu Konstruksi generator terdiri dai dua bagian utama, yaitu bagian stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian rotor atau bagian yang berputar.

Pembangkitan *GGL* induksi pada generator sinkron membutuhkan arus penguatan (*eksitasi*) untuk menimbulkan fluks magnetik pada kutub-kutub medan generator yang terletak pada rotor. Sistem penguatan (*excitation*) menentukan kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh generator.

Pengaruh perubahan beban pada PLTP sangat berpengaruh terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga panas bumi, dari efisiensi dapat diperoleh bahwa semakin tinggi efisiensi pada generator maka semakin efektif kinerja generator, begitu pun sebaliknya apabila efisiensi kerja tidak maksimal maka kinerja pada generator tidak efektif. Generator yaitu suatu alat yang berfungsi mengubah energi gerak menjadi energi listrik, dari energi gerak itu dihasilkan dari turbin sehingga generator mengubahnya menjadi energi listrik. Arus listrik mengalir saat generator terhubung ke beban, besarnya arus listrik yang mengalir tergantung pada

besarnya hambatan ke beban. Pengoperasian generator dituntut suatu kestabilan generator yang dapat memengaruhi efisiensi generator (Dian Winny A,2015). Pada pembangkit listrik tenaga panas bumi Lahendong Unit 2 terdapat dugaan bahwa efisiensi kerja generator sering kali menurun dikarenakan beban yang keluar dan masuk ke generator tidak stabil.

I. LANDASAN TEORI

2.1 Generator

Generator adalah salah satu jenis mesin listrik yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik dengan cara mengonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Pada generator, energi mekanik didapat dari penggerak mula yang bisa berupa mesin diesel, turbin, baling-baling dan lain-lain. Pengoperasian generator dituntut suatu kestabilan agar kinerja generator menjadi optimal. Kestabilan generator dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu beban, arus eksitasi, faktor daya, jumlah putaran generator, dan lain sebagainya. Perubahan besar tegangan terminal akibat dihubungkan ke beban akan menyebabkan ketidakstabilan generator. Jenis generator berdasarkan putaran medan dibagi menjadi generator asinkron dan generator sinkron.

2.2 Generator Asinkron

Generator asinkron atau generator induksi adalah generator yang menggunakan prinsip induksi elektromagnetik dalam pengoperasiannya. Generator ini dapat bekerja pada putaran rendah serta tidak tetap kecepatannya, sehingga generator induksi banyak digunakan pada pembangkit listrik dengan daya yang rendah seperti pada pembangkit listrik tenaga *micro-hydro* atau pembangkit listrik tenaga bayu.

a. Generator Sinkron

Generator sinkron adalah (sering disebut alternator) adalah mesin listrik bolak – balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak – balik (*alternating current/AC*). Generator sinkron bekerja dengan cara mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator. Yang dimaksud dengan pergerakan relatif adalah terjadinya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator) karena

pergerakan medan magnet terhadap kumparan jangkar atau sebaliknya. Alasan kenapa alternator ini disebut generator sinkron (sinkron = serempak) adalah karena kecepatan perputaran rotor generator. Alternator ini menghasilkan energi listrik bolak – balik (*alternating current*, AC) dan biasa diproduksi untuk menghasilkan listrik AC satu fasa atau tiga fasa.

b. Pengaturan Generator

Jika beban ditambahkan pada generator AC yang sedang bekerja pada kepesatan konstan dengan eksitasi medan konstan, tegangan terminal akan berubah. Besarnya perubahan akan bergantung pada rancangan mesin dan pada faktor daya beban. Pengaruh dari faktor daya yang berbeda dan perubahan tegangan terminal dengan perubahan beban pada generator.

Pengaturan generator AC didefinisikan sebagai persentase kenaikan tegangan terminal ketika beban dikurangi dari arus beban penuh ternilai sampai nol, dengan kepesatan dan eksitasi medan dijaga konstan.

Faktor – faktor yang mempengaruhi pengaturan generator adalah sebagai berikut:

1. Penurunan tegangan IR pada lilitan jangkar
2. Penurunan tegangan IX_L pada lilitan jangkar
3. Reaksi jangkar (pengaruh magnetisasi dari arus jangkar)

Dalam generator DC, ggl E yang dibangkitkan merupakan jumlah dari tegangan terminal V_t dan penurunan tegangan IR pada rangkaian jangkar. Dalam generator AC, penurunan tegangan karena reaktansi induktif lilitan harus diperhitungkan. Maka ggl yang dibangkitkan generator AC sama dengan tegangan terminal ditambah penurunan tegangan IR maupun IX_L dalam lilitan jangkar.

c. Pengaturan Tegangan Generator

Karena tegangan terminal generator AC banyak berubah dengan berubahnya beban, maka untuk operasi hampir semua peralatan listrik diperlukan usaha untuk menjaga agar tegangannya konstan. Cara yang biasa dilakukan untuk ini adalah menggunakan alat pembantu yang disebut pengatur tegangan (*voltage regulator*) untuk mengendalikan besarnya eksitasi medan dc yang di catu pada

generator. Bila tegangan terminal generator turun karena perubahan beban, pengatur tegangan secara otomatis menaikkan pembangkitan medan sehingga tegangan kembali normal. Sama halnya bila tegangan terminal naik karena perubahan beban, pengatur mengembalikan nilai tegangan normalnya dengan mengurangi eksitasi medan.

Hampir semua pengatur tegangan mengendalikan eksitasi medan generator secara tak langsung yaitu dengan mengoperasikan rangkaian medan eksitasi. Arus yang harus ditangani oleh pengatur jauh lebih kecil dalam rangkaian medan eksitasi daripada dalam rangkaian medan generator.

Salah satu tipe pengatur tegangan generator adalah jenis tahanan geser kerja langsung (*direct-acting rheostatic type*). Pada dasarnya pengatur ini terdiri dari tahanan variabel yang dikendalikan secara otomatis dalam rangkaian medan eksitasi. Elemen tahanan geser yang dihubungkan seri dengan pengeksitasi medan terdiri dari tumpukan blok tahanan atau wafer bukan logam, ditumpuk sehingga tahanan dari tumpukan dapat diubah jika dimiringkan ke depan atau ke belakang oleh elemen kopel.

d. Eksitasi Tegangan

Setelah generator AC mencapai kepesatan yang sebenarnya oleh penggerak mulanya, medannya di eksitasi dari catu dc. Ketika kutub lewat dibawah konduktor jangkar yang berada pada stator, fluks medan yang memotong konduktor menginduksikan ggl kepadanya. Ini adalah ggl bolak balik, karena kutub dengan polaritas yang berubah-ubah terus-menerus melewati konduktor tersebut. Karena tidak menggunakan komutator, ggl bolak-balik yang dibangkitkan keluar pada terminal lilitan stator.

II. METODE PENELITIAN

Lokasi kajian studi ini adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) Lahendong Unit 3. Penelitian ini mengacu pada data yang didapat dari PLTP Lahendong Unit 3 dan juga jurnal mengenai perhitungan efisiensi generator terhadap beban.

Untuk langkah-langkah pengolahan data dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

1. Perhitungan Entalpi dan Entropi

Untuk mendapatkan nilai entalpi dan entropi pada penelitian ini dapat menggunakan *steam table* yang bersifat *saturated* (lampiran tertera). Pada perhitungan ini dapat menggunakan cara interpolasi dimana hal ini dimaksud untuk menentukan nilai yang berada di antara dua nilai yang diketahui. Interpolasi ini didasarkan pada teori perbandingan. Adapun pada penelitian ini perbandingan yang dilakukan antara nilai tekanan uap masuk turbin dengan entalpi *saturated vapor* (h_1), nilai tekanan uap masuk turbin dengan entropi *saturated vapor* (s_1), nilai tekanan uap keluar turbin dengan entalpi *saturated liquid* (h_f), tekanan uap keluar turbin dengan entalpi *saturated vapor* (h_g), tekanan uap keluar turbin dengan entropi *saturated liquid* (s_f) dan tekanan uap keluar turbin dengan entropi *saturated vapor* (s_g).

$$\frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} = \frac{(y-y_1)}{(y_2-y_1)}$$

2. Perhitungan Daya Keluaran Turbin

Untuk menghitung nilai daya keluaran turbin (output) pada PLTP Lahendong dapat dihitung menggunakan beberapa rumus berikut :

a. Mencari nilai kualitas uap (x)

Untuk mencari nilai dari kualitas uap dapat menggunakan persamaan :

$$x = \frac{s_1 - s_f}{s_g - s_f}$$

Dimana :

S_1 = nilai entropi berdasarkan tekanan uap masuk turbin

S_f = nilai entropi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

S_g = nilai entropi *Saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

b. Mencari nilai entalpi keluaran turbin dalam kondisi isentropis (h_{2s})

Untuk mencari nilai entalpi keluaran turbin dalam kondisi isentropis dapat menggunakan persamaan berikut :

$$h_{2s} = h_f + x \cdot (h_g - h_f)$$

Dimana :

H_f = nilai entalpi *saturated liquid* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

x = nilai kualitas uap

h_g = nilai entalpi *saturated vapor* berdasarkan tekanan uap keluar turbin

c. Mencari nilai daya isentropis (W isentropis)

Untuk menghitung nilai daya isentropis dapat menggunakan persamaan :

$$W_{isentropis} = m \cdot (h_1 + h_{2s})$$

Dimana:

m = laju aliran uap

h_1 = entalpi berdasarkan uap masuk turbin

h_{2s} = entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropis

d. Mencari nilai daya actual (W aktual)

Adapun cara untuk menghitung nilai daya actual adalah dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$W_{aktual} = \eta_{turbin} \cdot W_{isentropis}$$

Dimana :

η_{turbin} = efisiensi turbin

$W_{isentropis}$ = daya isentropis

3. Perhitungan Efisiensi Generator

Besarnya nilai efisiensi generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Dimana :

η = efisiensi generator

P_{out} = daya keluaran generator (MW)

P_{in} = daya masukan generator (MW)

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

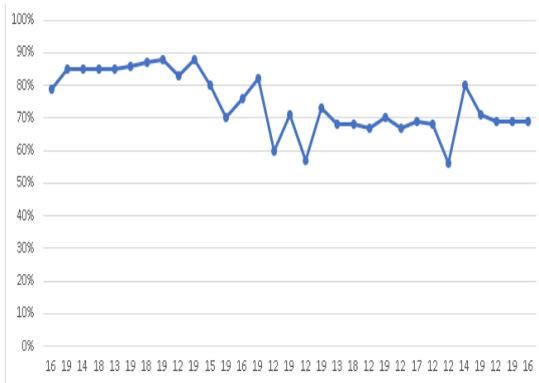
Efisiensi generator merupakan perbandingan daya keluaran (P_{out}) dengan daya masukan (P_{in}), dimana nilai daya masukan generator sama dengan nilai daya keluaran turbin. Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.3 maka bisa dihitung nilai efisiensi generator menggunakan persamaan (3.6) yang telah dijelaskan pada BAB III. Berikut ini merupakan perhitungan efisiensi generator berdasarkan data pada tanggal 1 Mei 2021 jam 01.00.

$$\eta_{generator} = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \\ = \frac{16}{20.168} \times 100\%$$

$$= 79.333\%$$

Dengan menggunakan cara yang sama untuk menghitung masing-masing nilai efisiensi generator.

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat sebuah grafik yang menginformasikan pengaruh nilai beban terhadap efisiensi generator pada nilai beban paling rendah sampai paling tinggi. Nilai beban paling rendah yaitu 12 MW



Gambar 4.1 Grafik perubahan beban terhadap efisiensi generator

Hasil dari penelitian untuk generator type *Totally Enclosed Inner Air Cooled* PLTP Lahendong unit 3 bahwa nilai beban yang dihasilkan generator berkisar antara 12 MW sampai 19 MW dengan rata-rata 16 MW. Untuk pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi generator bahwa Ketika beban naik maka arus eksitasi akan naik, sedangkan jika arus eksitasi naik maka beban listrik yang dihasilkan akan turun. Hal ini dikarenakan Ketika beban baik dan arus eksitasi naik maka daya reaktif yang dihasilkan akan naik pula. Ketika daya reaktif meningkat, maka sudut daya akan menyebabkan beban listrik yang dihasilkan akan rendah.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin tinggi nilai beban yang dihasilkan generator maka semakin besar efisiensi yang dicapai dan semakin rendah nilai beban yang dihasilkan generator maka efisiensi yang dihasilkan generator akan turun. Dapat dilihat pada saat nilai beban yang dihasilkan generator tertinggi yaitu 19 MW efisiensi yang dihasilkan mencapai 88%. Sedangkan pada saat nilai beban yang dihasilkan 12 MW efisiensi yang

dicapai hanya 56%. Maka besarnya efisiensi generator dipengaruhi oleh nilai beban yang dihasilkan generator.

2. Perubahan beban yang terjadi terhadap generator disebabkan karena adanya faktor rugi-rugi pada generator, diantaranya rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*), rugi-rugi pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Rugi-rugi panas yang dihasilkan dari inti dan kumparan generator dipengaruhi oleh sistem pendingin generator.

B. Saran

Dalam pengoprasian Generator diharapkan agar pihak Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Lahendong agar lebih memperhatikan setiap komponen instrument yang terpasang pada pembangkit dengan cara melakukan pengecekan sesuai dengan standar prosedur yang berlaku untuk menjaga bahkan meningkatkan efisiensi dari pembangkit dan lebih memperhatikan setiap operasi agar jika alat tidak beroperasi dengan maksimal maka dengan segera melakukan *maintenance* agar alat dapat beroperasi dengan maksimal dalam jangka waktu yang lama.

V. Daftar Pustaka

- [1] Amrita, K. C. (2018). Analisa Thermal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang.
- [2] Anthony, Z. (2018). *Mesin Listrik Dasar*. ITP Press.
- [3] Apni, D. W. (2015). Analisis Pengaruh Beban Terhadap Generator Sinkron Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap(PLTU) Pangkalan Susu, Medan. *Tugas Akhir Politeknik Negeri Medan*.
- [4] Bolles, & dkk. (2003). Thermal Analysis Of A gas Turbine Power Plant To Improve Performance Efficiency. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)* 4(6):6-11.

- [5] Cahyadi, D., & Hermawan. (2015). Analisa Efisiensi turbin Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT.PJB UBJOM PLTU Rembang. *Teknik Elektro Universitas Diponegoro*.
- [6] Chapman, S. J. (2005). *ELECTRIC MACHINERY FUNDAMENTALS. FOURTH EDITION*. New York: The McGraw-Hill Companies.
- [7] Dwiatmanto, L. J. (2015). Pembangkit listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dan Kendala Pembangunannya. *ORBITH, 11*, 60-67.
- [8] Fadlilah, & dkk. (2014). Kajian Efisiensi Konversi Energi Pada star Energy Geothermal Wayan Windu. *Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya*.
- [9] Gehringer, & dkk. (2012). *Geothermal Handbook; palnning and Finanching power Generation*.
- [10] Higuchi, T. (2014). Design Analysis of a Novel Synchronous Generator for Wind Power Generation Nagasaki. *Nagasaki University*.
- [11] Jozi, R. F. (2019). Analisis mekanisme pelepasan beban terhadap pengaruh kestabilan frekuensi dan tegangan akibat putusnya generator pada gardu induk Tambak Lorok. *Universitas Islam Sultan Agung [skripsi]*.
- [12] Kojongian, M. A. (2017). *Perbandingan Efisiensi Turbin PLTP Lahendong Unit 3 Sebelum Dan Sesudah Dilaksanakan Pemeliharaan periodik Simple Inspection*. Universitas Negeri Manado [skripsi].
- [13] Kristof, V. (2017). Loss of Excitation of Synchronous Generator, Kosice. *Slovenska Technica Univerzita*.
- [14] Kurniasari, b., Handajadi, M. Eng, I. w., & S.T., M.T, S. H. (2017). Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada PLTU Pabrik Gula Madukismo.
- [15] Muharrir, d. (2019). Analisis Pagaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT.Indonesia Power UPJP Kamojang. *Sekolah Tinggi Teknik PLN, 8*, 93-102.
- [16] Nugroho, & ddk. (2013). Analisis Termal pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. *Bnadung: Fakultas Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung*.
- [17] Pangaribuan, M. H. (2018). Analisis Kerja Generator Pada Pembangkit Pembangki Listrk Tenaga Panas Bumi 2 x 5,65 MW Di Sibyak KAB.Karo. *Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- [18] Priambodo, T. (2019). Analisa Perhitungan Efisiensi Daya Turbine Generator Siemens ST-300 7 MW di PTPN XI (UNIT) PG.Semboro.
- [19] Rifdian.I.S, H. (2014). Analisa Efisiensi Generator Pada Generator Sinkron Tiga Fasa Dengan Penggerak Turbin Angin. *Politeknik Penerbangan Surabaya, 14-28*.
- [20] Saptadji, N. M. (2001). *Tenknik PanasBumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [21] Selwa, F. L. (2014). Transient Stability Analysis of Synchronous Generator in Electrical Network. *Constantine; Mentouri University Route d'Ain El Bey*.

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap **Rian Marcelino Ridel Manangka**, anak pertama dari dua bersaudara. Lahir dari pasangan suami-istri Jantje Manangka (ayah) dan Fintje Bororing (ibu), di Tomohon pada tanggal 08 September 1997. Sebelum menempuh jenjang pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, penulis menempuh pendidikan secara berturut-turut di SD GMIM 2 Sarongsong (2003-2009), SMP Negeri 3 Tomohon (2009-2012) dan SMK Kristen 1 Tomohon (2012-2015). Kemudian Penulis melanjutkan pendidikannya sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro di perguruan tinggi Manado yaitu Universitas Sam Ratulangi pada tahun 2015. Penulis selesai menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, Jurusan Teknik Elektro pada bulan Juni 2022.