

Rancang Bangun Model Turbin Tesla Dengan Variasi Tekanan

Ahmad Miswar^{1*}, Nurul Ramadhani², Nur Hamzah³, Suryanto⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*ahmadmiswar2002@gmail.com

Abstract Electric energy is one of the essential aspects required in daily life. One of the most commonly used sources of electricity today is the steam power plant. However, the energy from this steam requires a special device to be converted into mechanical energy. The turbine used in this design is a steam turbine. The purpose of this design is to create a model of the Tesla turbine as a steam turbine, to determine the rotational speed generated by the Tesla turbine when subjected to varying steam pressures, and to determine the power generated by the generator when the Tesla turbine is subjected to varying steam pressures. The test results showed the highest rotation speed was 681 rpm, condensate water level was 1430 ml, current was 0.5 A, and voltage was 13 V with a constant load of a 12-watt lamp. The highest analysis data obtained were generator power of 0.0065 kW, mass flow rate of 0.02383 kg/s, input power of 24.162 kW, and system efficiency of 0.036%.

Keywords: Tesla turbine, generator power, and system efficiency.

Abstrak: Energi listrik merupakan salah satu aspek penting yang diperlukan dalam kehidupan sehari – hari. Salah satu sumber listrik yang banyak digunakan saat ini adalah pembangkit listrik tenaga uap. Namun, energi dari uap ini membutuhkan alat khusus untuk diubah menjadi energi mekanik. Turbin yang digunakan dalam rancangan ini adalah turbin uap. Adapun tujuan rancang bangun ini adalah merancang model turbin Tesla sebagai turbin uap, mengetahui kecepatan putaran yang dihasilkan oleh turbin Tesla pada saat diberikan tekanan uap yang bervariasi dan mengetahui daya yang dihasilkan oleh generator ketika turbin Tesla diberi tekanan uap yang bervariasi. Data hasil pengujian yang didapatkan putaran tertinggi 681 rpm, level air kondensat 1430 ml, arus 0,5 A, tegangan 13 V dengan beban konstan lampu 12 watt. Data hasil analisis tertinggi yang didapatkan daya generator 0,0065 kW, mass flow rate 0,02383 kg/s, daya input 24,162 kW, dan efisiensi sistem 0,036%.

Kata kunci : Turbin Tesla, daya generator dan efisiensi sistem

I. PENDAHULUAN

Listrik adalah kebutuhan penting dalam kehidupan sehari-hari, digunakan untuk berbagai keperluan seperti penerangan dan pengoperasian perangkat elektronik. Salah satu sumber listrik utama adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), yang memerlukan alat untuk mengubah energi uap menjadi energi mekanik. Terdapat tiga jenis turbin uap: turbin tekanan balik, turbin ekstraksi, dan turbin kondensasi [1].

Turbin Tesla adalah jenis turbin yang mengubah energi fluida menjadi energi mekanik melalui cakram berlapis yang tersusun pada poros, memanfaatkan efek penyumbatan fluida dan interaksi lapisan batas. Meneliti turbin ini pada pembangkit listrik tenaga uap dengan tekanan 700 kPa, yang secara teoritis menghasilkan daya 1,07 kW dengan efisiensi 87,85%, dan secara aktual menghasilkan daya 0,7 kW dengan efisiensi 67,28% [2], menguji kinerja turbin menggunakan berbagai fluida kerja seperti udara bertekanan dan uap, mencatat efisiensi rotor 95% dan efisiensi turbin 31,17%. Penelitian ini menunjukkan bahwa desain turbin Tesla perlu dikembangkan untuk mencapai efisiensi optimal sesuai dengan nilai teoritis [3]. Turbin Tesla dikenal sebagai turbin bladeless karena menggunakan cakram polos, berbeda dari turbin konvensional yang menggunakan sudu untuk memutar rotor. Turbin ini memanfaatkan viskositas dan efek lapisan batas (boundary layer), di mana partikel fluida menahan satu sama lain dan bergesekan dengan permukaan cakram, menghasilkan putaran rotor [4]. Lapisan batas laminar memiliki aliran teratur dengan ketebalan kecil, sementara lapisan batas turbulen bergejolak dan lebih tebal. Perbedaan ini mempengaruhi efisiensi dan performa desain seperti kendaraan dan bangunan tinggi [5].

Efisiensi adalah ukuran penggunaan sumber daya dalam suatu proses [6]. Pada turbin uap, efisiensi mengukur perbandingan antara tenaga mekanis yang dihasilkan dan energi panas yang dimasukkan. Secara matematis, efisiensi dihitung sebagai rasio energi mekanis keluar terhadap

energi kalor masuk. Faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin uap meliputi suhu dan tekanan uap masuk, suhu kondensasi, serta efisiensi termal siklus uap yang digunakan [7].

Turbin uap adalah penggerak yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik, lalu menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros. Poros turbin terhubung ke mekanisme yang digerakkan, baik langsung maupun melalui roda gigi reduksi [8]. Proses ekspansi uap dalam turbin menyebabkan kerugian, baik dalam maupun luar, yang mengakibatkan kehilangan energi, penurunan kecepatan, dan tekanan, sehingga mengurangi efisiensi serta daya listrik yang dihasilkan [9].

Prinsip kerja turbin uap melibatkan uap yang masuk melalui nozel, yang mengubah energi panas menjadi energi kinetik. Uap yang keluar dari nozel diarahkan ke sudu turbin, dan aliran uap yang dibelokkan oleh sudu menghasilkan gaya yang memutar poros turbin, menghasilkan energi mekanis [10]. Uap air adalah gas yang terbentuk dari perubahan fase air cair menjadi uap melalui proses pendidihan. Dalam boiler, air dingin dipanaskan hingga mendidih, menghasilkan campuran uap dan air yang dikenal sebagai uap jenuh [11].

Uap jenuh memiliki tekanan dan suhu yang sama dengan air di bawahnya, sehingga berada dalam keadaan seimbang (Rustono). Uap ini memiliki entalpi lebih rendah dibandingkan uap kering (superheated steam), sehingga tenaga yang dihasilkan juga lebih kecil [12].

II. METODE PENELITIAN

A. Material

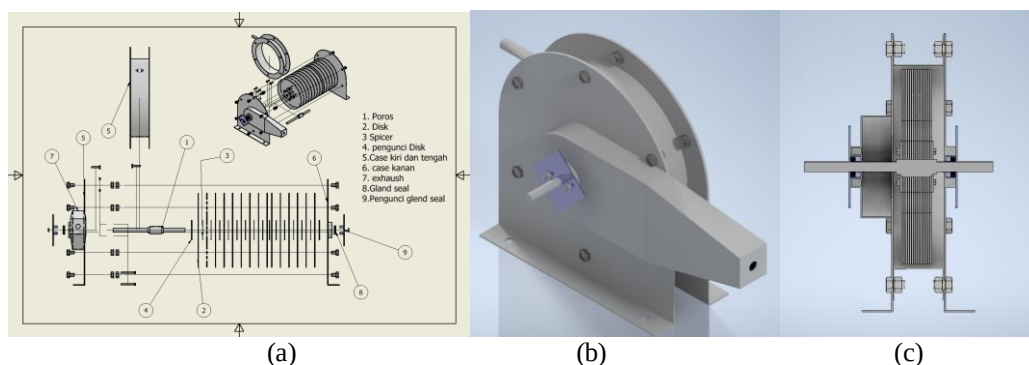
Turbin Tesla menggunakan plat galvanis 1,5 mm untuk casing dan disk karena daya tahannya terhadap korosi, melindungi komponen dari kerusakan. Sementara itu, spicer dibuat dari stainless steel 0,5 mm yang tahan karat dan kuat menghadapi tekanan tinggi, memastikan kestabilan struktur turbin. Kombinasi bahan ini memberikan kekuatan dan daya tahan optimal bagi turbin Tesla.

B. Perancangan Alat

Perancangan merupakan tahapan sebelum pembuatan model turbin Tesla sebagai turbin uap. Perancangan ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dari alat yang akan dibuat dan mempertimbangkan kendala yang akan terjadi.

Komponen utama terdiri dari disk dengan diameter 185 mm dan spicer dengan diameter 50 mm. Sistem ini menggunakan poros bertingkat, yang memiliki tiga bagian dengan ukuran diameter berbeda. Diameter terbesar pada poros adalah 20 mm (bagian utama), kemudian menyempit pada bagian tengah menjadi 10 mm, dan tetap berdiameter 10 mm pada bagian luar. Disk dan spicer ditempatkan di sepanjang poros ini.

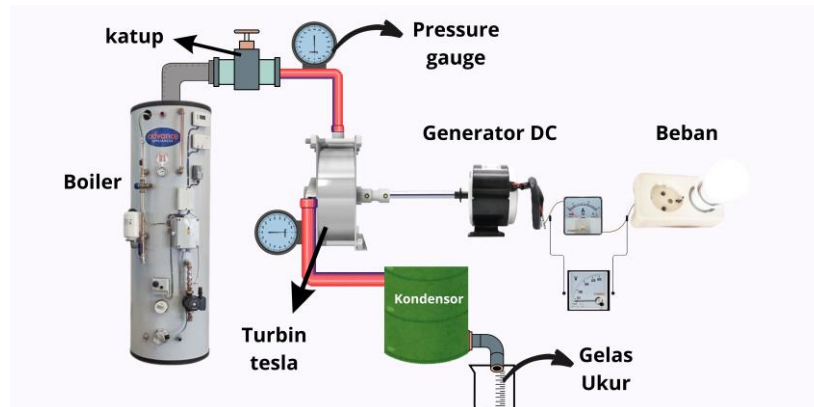
Antara setiap disk, terdapat jarak sebesar 0,5 mm, yang diatur oleh spicer (spacer) berukuran ketebalan 0,5 mm. Fungsi spicer ini adalah untuk memastikan jarak yang konsisten antara disk pada poros tersebut. Dengan demikian, disk, spicer, dan poros bertingkat disusun dalam satu kesatuan yang rapi dan terukur secara presisi.



Gambar 1. (a) Rancangan 2D Turbin Tesla, (b) Rancang 3D Turbin Tesla, dan (c) Bentuk Belahan Turbin Tesla.

Setelah rancang bangun selesai, nantinya akan dilanjutkan dengan pengambilan data parameter yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi, Jurusan Teknik

Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pengambilan data yang dilakukan yaitu sebagai berikut :



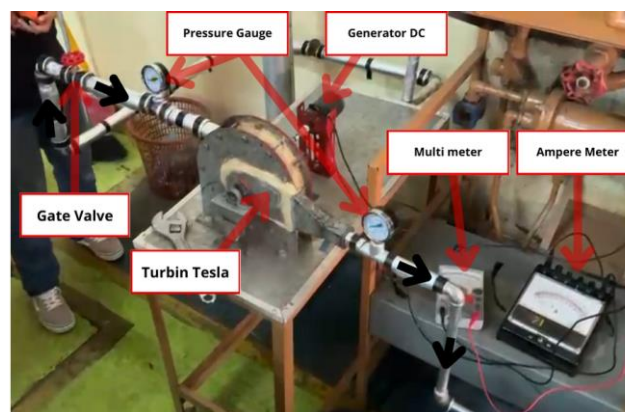
Gambar 2. Skema pengujian turbin tesla

Pengujian turbin Tesla dilakukan menggunakan fluida uap dari boiler di Laboratorium Energi dengan mengambil beberapa parameter penting. Parameter yang diukur meliputi tekanan uap (P), temperatur uap ($^{\circ}\text{C}$), putaran turbin (Rpm), laju aliran massa uap ($\dot{m}$), daya output generator (W), tegangan (V), dan arus (A). Data ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja turbin dan generator secara keseluruhan, termasuk efisiensi konversi energi dari uap menjadi energi mekanik dan listrik. Parameter-parameter tersebut membantu dalam analisis operasional turbin Tesla dan menentukan optimalisasi sistem yang diperlukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil perancangan dan data

Turbin Tesla menggunakan uap mengubah energi termal menjadi energi mekanik melalui gaya gesek viskositas antara uap jenuh dan disk, yang memutar disk dan menggerakkan generator DC untuk menyalakan lampu LED 12 watt. Disk didesain dengan diameter, ketebalan, dan jarak optimal untuk aliran uap yang efisien. Nozzle memastikan uap masuk dengan tekanan dan kecepatan yang tepat. Material disk harus tahan panas, korosi, serta ringan dan kuat. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa. Komponen utama meliputi boiler, pressure gauge, turbin Tesla, generator DC, lampu 2x6 watt, dan panel pengujian. Selanjutnya, dapat dilihat gambar dibawah ini mengenai konstruksi sistem pengujian turbin Tesla yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. Hasil rancangan Turbin Tesla

Tabel 1. Hasil pengujian dan analisis data

No	Waktu (detik)	Tekanan gauge (Bar)		Putaran (Rpm)	Volume air kondensat (ml)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya generator (kW)	Mass flow rate (kg/s)	Daya input (kW)	Efisiensi sistem (%)
		P1	P2								
1	60	0,5	0	147	525	0,2	10	0,002	0,00875	6,0354	0,033
2	60	1	0	306	630	0,23	10	0,0023	0,0105	7,611	0,030
3	60	1,5	0,25	443	840	0,35	11	0,00385	0,014	10,549	0,036
4	60	2	0,5	490	1375	0,4	12	0,0048	0,0229	22,767	0,021
5	60	2,5	1	681	1430	0,5	13	0,0065	0,02383	24,162	0,026

B. Analisis Data

1) Daya generator (kW)

$$P_G = V \times I / 1000 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

2) Daya input (kW)

$$Q_{in} = \dot{m} (h_f + x \cdot h_{fg}) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

$\dot{m}$ = Laju aliran uap (kJ/s)

h_f = Entalpi cair jenuh (kJ/kg)

h_{fg} = Entalpi penguapan (kJ/kg)

3) Efisiensi sistem

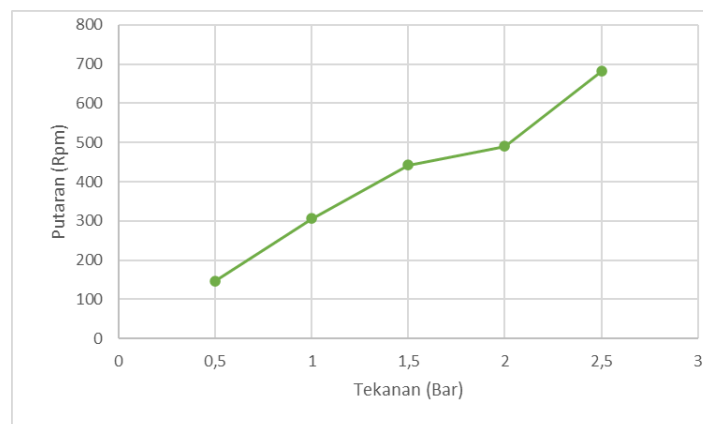
$$\eta_s = P_G / Q_{in} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

P_G = Daya generator (kW)

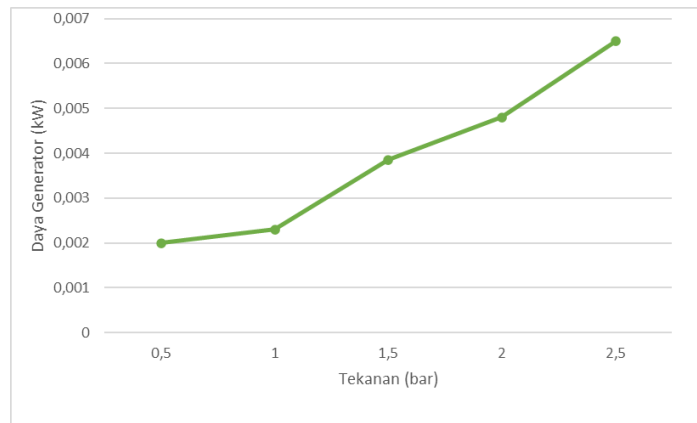
Q_{in} = Daya input turbin (kW)

C. Grafik Hasil



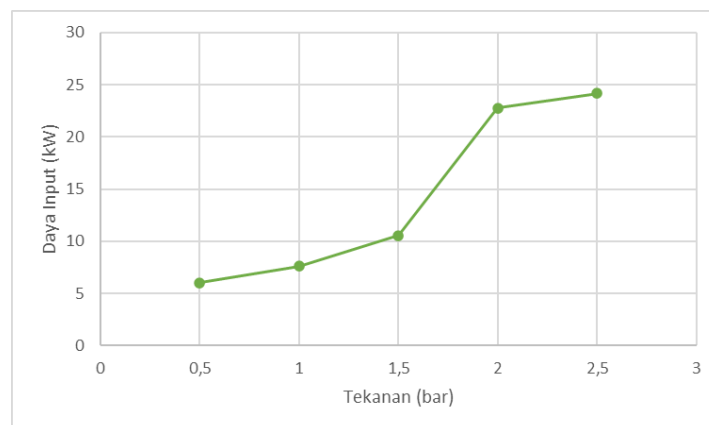
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Tekanan terhadap Putaran

Pada grafik di atas, dapat dilihat pengaruh tekanan terhadap putaran yang dihasilkan berbanding lurus. Semakin besar tekanan yang diberikan maka putaran yang dihasilkan semakin besar juga. Pada grafik hubungan antara tekanan dan putaran nilai tertinggi berada pada tekanan 2,5 bar dengan putaran yang dihasilkan 681 rpm. Adapun nilai terendah pada tekanan 0,5 bar dengan putaran yang dihasilkan 147 rpm.



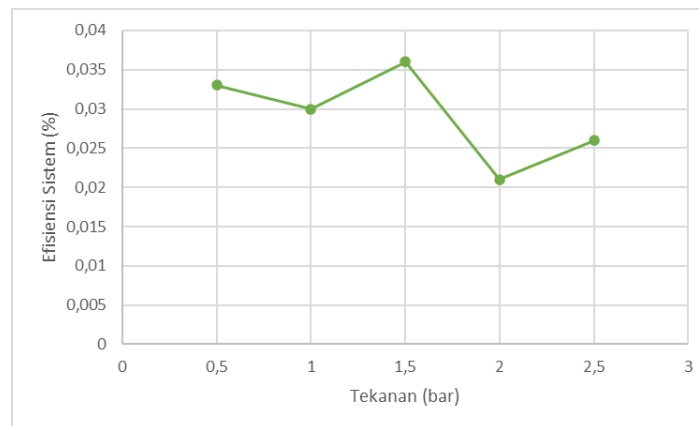
Gambar 5. Grafik Hubungan antara Tekanan terhadap daya generator

Pada grafik diatas, dapat dilihat pengaruh tekanan terhadap daya generator yang dihasilkan yaitu berbanding lurus. Semakin besar tekanan yang diberikan maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Pada grafik hubungan antara tekanan dan daya generator nilai tertinggi yaitu pada tekanan 2,5 bar dengan daya generator yang dihasilkan 0,0065 kW. Nilai terendah pada tekanan 0,5 bar dengan daya generator yang dihasilkan 0,002 kW.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Tekanan terhadap daya input

Pada grafik di atas, dapat dilihat pengaruh tekanan terhadap daya input yang dihasilkan berbanding lurus. Nilai tertinggi pada grafik hubungan antara tekanan dan efisiensi yaitu berada pada tekanan 2,5 bar dengan daya input yang didapatkan yaitu 24,162 kW. Dan nilai terendah pada tekanan 0,5 bar dengan daya input yang didapatkan 6,0354 kW.



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Tekanan terhadap efesiensi sistem

Pada grafik diatas, dapat dilihat pengaruh tekanan terhadap efisiensi sistem yang didapatkan tidak signifikan. Nilai tertinggi pada grafik hubungan antara tekanan terhadap efisiensi sistem yaitu berada pada tekanan 1,5 bar dengan efisiensi sistem yang didapatkan yaitu 0,036%. Dan nilai terendah pada tekanan 2 bar dengan efisiensi sistem yang didapatkan 0,021%.

IV. PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa rendahnya efisiensi pada sistem turbin disebabkan oleh beberapa faktor penting. Salah satu penyebabnya adalah desain casing yang kurang optimal, seal yang tidak dirancang dengan baik dapat menyebabkan ketidakmampuan dalam menjaga tekanan atau suhu, sehingga uap atau energi yang dihasilkan tidak tersalurkan dengan efisiensi, menyebabkan hilangnya energi yang berharga. Selain itu, material seal yang digunakan juga berperan penting. Jika material seal tidak sesuai dengan kondisi operasional, seperti tekanan dan suhu tinggi, maka seal tersebut tidak mampu mencegah kebocoran dengan baik. Kebocoran ini mengakibatkan uap keluar dari sistem sebelum memberikan kontribusi penuh terhadap penggerak turbin. Pemilihan packing yang kurang tepat turut menjadi faktor yang mempengaruhi efisiensi. Packing adalah elemen penting dalam mencegah kebocoran, dan jika dipilih dengan material yang tidak sesuai, resiko kebocoran akan semakin besar. Hal ini tentunya memperburuk kondisi efisiensi sistem.

Perlakuan bahan selama proses pengelasan juga sangat berpengaruh. Jika pengelasan tidak dilakukan dengan tepat, bahan bisa mengalami deformasi atau munculnya celah-celah kecil yang berpotensi menjadi jalur kebocoran. Akibatnya, sambungan menjadi lemah, dan uap terbuang percuma. Jadi kesimpulannya yaitu disebabkan oleh beberapa faktor yaitu desain yang kurang tepat, pemilihan material yang tidak sesuai, serta perlakuan bahan yang tidak optimal berkontribusi pada kebocora uap pada turbin, yang pada akhirnya menyebabkan rendahnya efisiensi sistem secara keseluruhan.

V. KESIMPULAN

Untuk merancang turbin Tesla dengan performa tinggi, penting untuk memperhatikan desain komponen, pemilihan material, pengaturan aliran uap, serta melakukan uji coba dan simulasi. Hasil pengujian menunjukkan putaran tertinggi 681 rpm pada tekanan 2,5 bar, dan terendah 147 rpm pada 0,5 bar. Daya output maksimum yang dihasilkan adalah 0,0065 kW, dengan daya input 24,162 kW dan efisiensi sistem 0,036%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hendrik. H, Pekka. R,dan Pekka. A (2017). Determination of the Real Loss of Power for a Condensing and a Backpressure Turbine by Means of Second Law Analysis. Helsinki University of Technology, Department of Energy Technology, P.O.box 4400, Fin-02015 TKK, Finland.

- [2] Peshlakai A. (2012). Challenging The Versatility Of The Tesla Turbine Working Fluid Variations And Turbine Performance. Arizona State University.
- [3] Gulo F.G. (2023). Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Tekanan 700 kPa Menggunakan Turbin Uap Tipe Tesla. Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Medan Area.
- [4] Aghalogi. A dan Sorin. M. (2020). CFD Modelling and Exergy Analysis of a Heat Pump Cycle With Tesla Turbine Using CO₂ as a Working Fluid. *Applied Thermal Engineering* 178: 115587.K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.
- [5] Zuber. M, Ramesh. A, dan Bansal, D. (2019). The Tesla Turbine – A Comprehensive Review. *Journal of advanced research in fluid mechanics and thermal science* 62.122 – 137
- [6] Kurniasari B, Hadajadi. W dan Hani. S. (2017). Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada PLTU Pabrik Gula Madukismo. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Sains Dan Teknologi AKPRIND.
- [7] Vedran. M, Jasna P.O, Matko.G, dan Igor. P. (2023). The influence of steam extractions operation dynamics on the turbine efficiencies and losses. Faculty Of Engineering. University Of Rijeka.
- [8] Erna. R. (2019). Analisa Pengaruh Beban Listrik Terhadap Efisiensi Termal PLTU Payo Selincih Jambi. Jurusan Teknik Mesin. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi Indonesia.
- [9] Lumbangtobing. D, dan James. S. (2023). Unjuk Kerja Turbin Uap Jiening Dengan Daya 15 MW di PLTU Growth Asia. Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Medan.
- [10] Ahmad. Y dan Saputro. D.D. (2018). Analisa Performa Heat Recovery Steam Generator Sebelum Dan Sesudah Cleaning di PT. Indonesia Power Tambak Lorong Semarang Menggunakan Software Matlab. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.
- [11] Firdos M.H dan Karnowo. (2017). Media Pembelajaran Alat Uji Perubahan Propertis Uap Jenuh Yang Mengalir Melalui Nozzle. Prodi Pendidikan Teknik Mesin. Universitas Negeri Semarang.
- [12] Firdos M.H dan Karnowo. (2017). Media Pembelajaran Alat Uji Perubahan Propertis Uap Jenuh Yang Mengalir Melalui Nozzle. Prodi Pendidikan Teknik Mesin. Universitas Negeri Semarang.