

Rancang Bangun Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Kapasitas 1,45 KW di Lingkungan Kampus UNSIKA

Rais Darmawan¹, Marno Marno², Najmudin Fauji³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin

^{1,2,3} Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang

e-mail: 1610631150107@student.unsika.ac.id1, Raffadharna372@gmail.com2

Abstrak: Sampah merupakan salah satu permasalahan perkotaan terutama untuk di kota – kota besar di Indonesia tak terkecuali di Karawang, dan ini merupakan tantangan bagi setiap kota untuk mengelolah sampah ini. Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Karawang mencatat populasi sampah mencapai 900 ton per harinya. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan perancangan PLTSA. Sebagai salah satu solusi pemanfaatan sampah. pada penelitian ini akan merancang turbin uap jenis impuls sebagai salah satu komponen PLTSA dengan diameter turbin 40 cm. Dari hasil pengujian alat PLTSA putaran operasional turbin uap yang digunakan 1500 Rpm dengan tekanan 5 Bar, yang menghasilkan daya output 1,45 KW dan daya internalnya 1,337 KW yang tersambung pada alternator dan menghasilkan listrik 26 volt tanpa beban, serta 12,6 volt ketika dihubungkan ke accu. Efisiensi yang terdapat pada turbin uap 49,6 % dan efisiensi internal relatif turbin uap sebesar 70 %.

Kata kunci: Sampah, Turbin Uap, Kecepatan, Tegangan, dan Efisiensi.

Abstract: Waste is one of the urban problems, especially in major cities in Indonesia, including Karawang, and it is a challenge for every city to manage this waste. The Department of Environment and Hygiene (DLHK) Karawang records a garbage population of 900 tons per day. Therefore, in this research will be done design PLTSA. As one of the waste utilization solutions. in this study will design impulse type steam turbines as one of the components pltsa with a turbine diameter of 40 cm. From the test results of the pltsa equipment operational rotation of steam turbines used 1500 Rpm with a pressure of 5 Bar, which produces an output power of 1.45 KW and internal power of 1,337 KW connected to the alternator and produces 26 volts of electricity without load, as well as 12.6 volts when connected to accu. The efficiency contained in steam turbines is 49.6% and the internal efisiensi relative of steam turbines is 70%.

Keywords: Trash, Steam Turbine, Speed, Voltage, and Efficiency.

Sampah merupakan salah satu permasalahan pada pemukiman yang berada di kota-kota besar tak terkecuali di Karawang, dan ini merupakan tantangan bagi setiap kota untuk mengelolah sampah ini. Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Karawang mencatat populasi sampah mencapai 900 ton per harinya. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan perancangan Pembangkit Listrik tenaga Sampah (PLTSA). Energi listrik saat ini merupakan kebutuhan yang paling banyak digunakan pada kebutuhan hidup sehari-hari. Saat ini perkembangan teknologi sangat cepat sehingga kebutuhan energi semakin meningkat. Pembangkit listrik di Indonesia masih di dominasi bahan bakar fosil yang merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui. Sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis, penggunaan secara terus – menerus akan mengurangi cadangan. Saat ini sudah dilakukan berbagai usaha untuk mengurangi ketergantungan dengan bahan bakar fosil, seperti pemanfaatan energi matahari, angin, dan air. Sekarang sedang dikembangkan energi alternatif dengan memanfaatkan sampah sebagai sumber energi.

Perkembangan ilmu teknologi saat ini dapat mendukung perkembangan alat-alat tepat guna. Salah satunya teknologi dalam bidang konversi energi yang memunculkan banyak ide-ide kreatif untuk memanfaatkannya pada dunia industri. Mesin-mesin konversi energi menjadi sumber tenaga yang akan mengoperasikan berbagai mesin produksi dalam suatu industri [4].

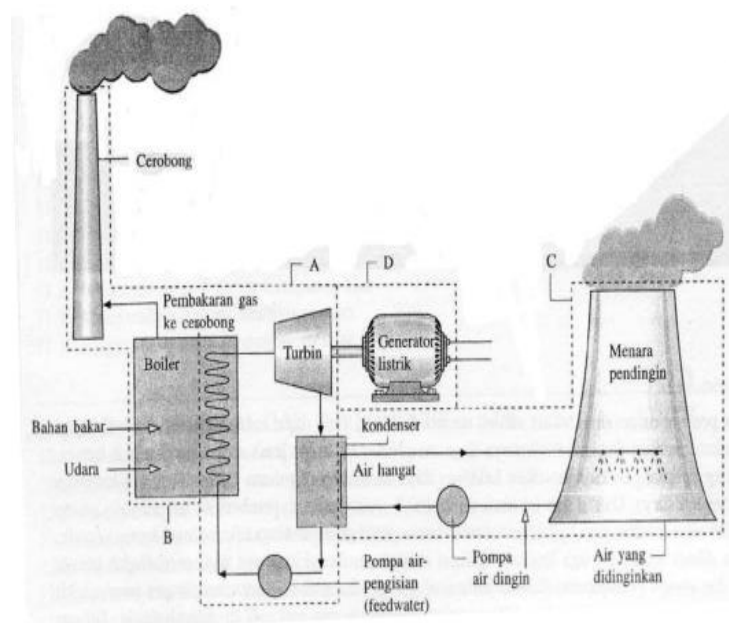
Rancang Bangun Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Turbin uap sebagai salah satu mesin konversi energi merupakan salah satu alternatif yang baik karena dapat mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin [5], Sebelum dikonversikan menjadi energi mekanik energi potensial uap terlebih dahulu dikonversikan menjadi energi kinetik dalam nosel (pada turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (pada turbin reaksi). Energi mekanis yang dihasilkan dalam bentuk putaran poros turbin dapat secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan [6]. Untuk menghasilkan energi listrik, mekanisme yang digerakkan dalam hal ini adalah poros generator. Pada generator energi mekanik yang diteruskan dari poros akan diubah menjadi energi listrik [19].

Perubahan energi potensial menjadi energi kinetik terjadi pada pipa input (*nozzle*) [7], sedangkan perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik terjadi pada sudu gerak. Energi mekanis yang terjadi berupa putaran poros turbin. Untuk selanjutnya putaran poros ini digunakan untuk menggerakkan atau memutar bebannya (generator listrik, pompa, kompresor, baling-baling, atau mesin lainnya) [8].

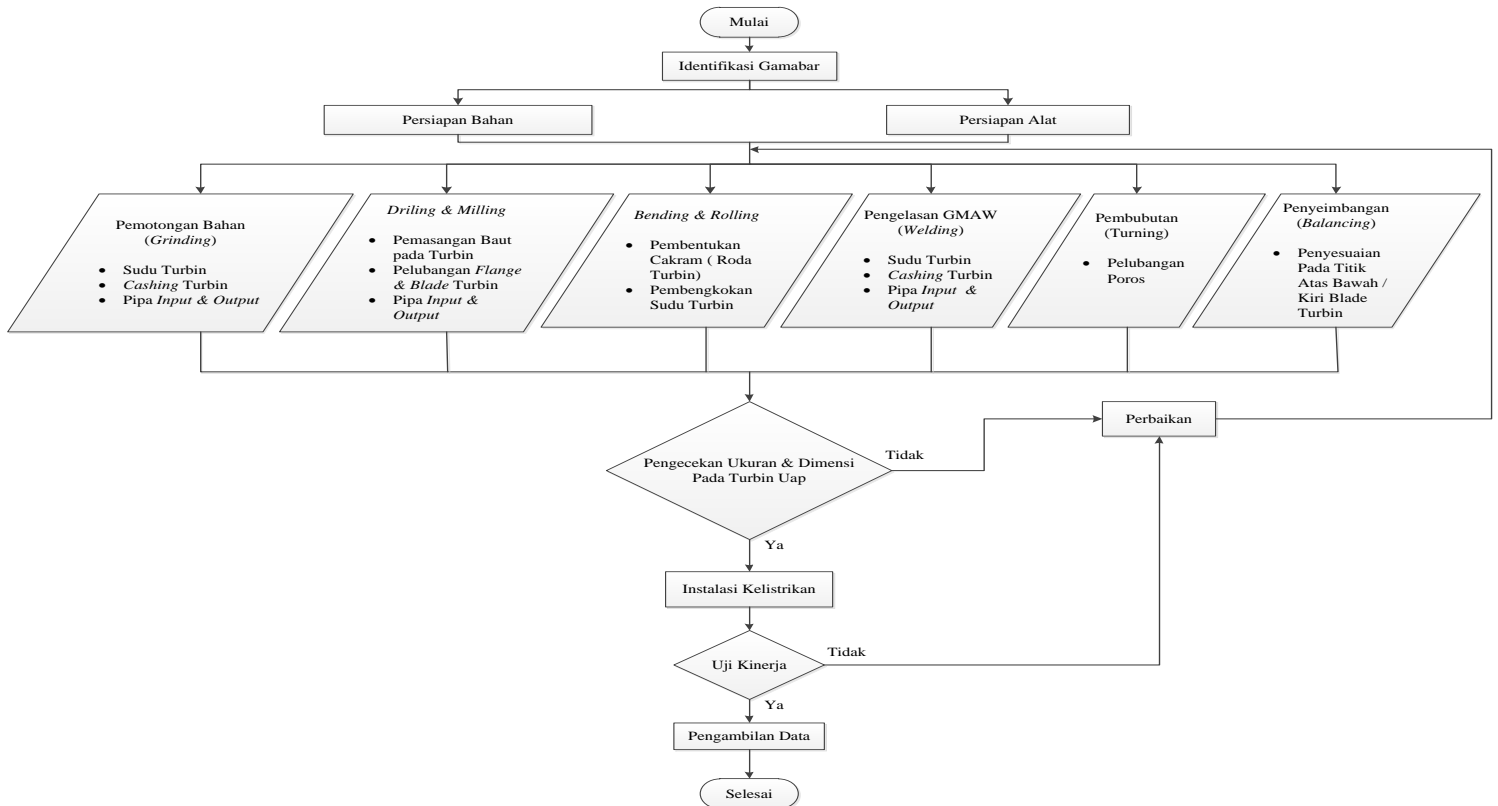
Pada proses ini Turbin uap (*Steam Turbine*) yang ditunjukkan Gambar 1, memiliki fungsi yang sangat vital. Turbin uap menghasilkan energi mekanis yang dihasilkan dari uap bertekanan tinggi. Jika terjadi kebocoran akan dapat memperlambat gerakannya sehingga menyebabkan daya yang dihasilkan tidak maksimal, dan akan merusak lingkungan disekitarnya [9].

Perancangan turbin uap untuk PLTSa di lingkungan Kampus Unsika bertujuan untuk mengurangi jumlah populasi sampah yang berada dikampus dan dimanfaatkan menjadi energi listrik, serta untuk mengetahui hasil kinerja pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) dengan memanfaatkan daya generator DC magnet permanen sebagai energi listrik.



Gambar 1. Skema instalasi tenaga uap

METODE



Gambar 2. Flowchart Pembuatan turbin uap

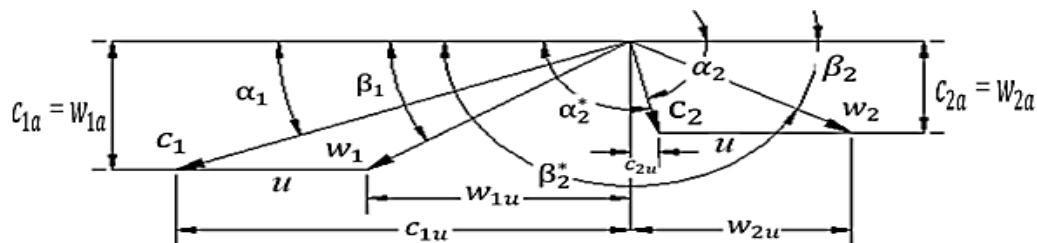
Rancangan turbin uap terdiri dari *blade* sebagai penggerak utama yang diputar oleh uap panas, *nozel* sebagai media mengalirkan uap dari boiler menuju turbin, poros turbin sebagai transmisi daya dari blade menuju generator, *Cashing* sebagai penutup turbin agar tidak mengalami kebocoran uap ke luar lingkungan. Pada turbin uap terdapat katup pengatur (keran) yang berfungsi sebagai pengatur aliran uap yang diinginkan agar uap yang keluar efektif.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data pengujian Turbin uap pada PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah) Meliputi : Kecepatan Uap mengalir dari nozel, Tekanan *pressure gauge* Pada Boiler, Temperatur Uap, Voltase dan amper yang dihasilkan alternator, Rpm yang dihasilkan.

Perhitungan Segitiga Kecepatan Turbin uap

Uap dengan kecepatan absolut c_1 keluar dari nozel, kemudian masuk barisan sudu gerak dengan sudut α_1 . Kecepatan uap yang masuk sudu gerak tersebut akan berubah arah dan besarnya karena roda berputar dengan kecepatan tangensial u . kecepatan uap tersebut dinamakan dengan kecepatan relatif uap masuk sudu gerak ditunjukkan seperti gambar 3.



Rancang Bangun Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Gambar 3. Diagram Kecepatan Uap

$$c_{1t} = 44,72 * \sqrt{\Delta h} \quad (m/s) \tag{1}$$

$$c_1 = c_{1t} * \varphi \quad (m/s) \tag{2}$$

$$u = \frac{u}{c_1} * c_1 \tag{3}$$

$$n = \frac{60 * u}{\pi * d} \tag{4}$$

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - (2 * u * c_1 * \cos \alpha_1)} \quad (m/s) \tag{5}$$

$$w_2 = \psi * w_1 \quad (m/s) \tag{6}$$

$$\beta_1 = \frac{c_1 * \sin \alpha_1}{w_1} \quad (m/s) \tag{7}$$

$$\beta_2 = \beta_1 - (3^\circ - 5^\circ) \tag{8}$$

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 * u * w_2 * \cos \beta_2} \tag{9}$$

$$\alpha_2 = \frac{w_2 * \sin \beta_1}{c_2} \tag{10}$$

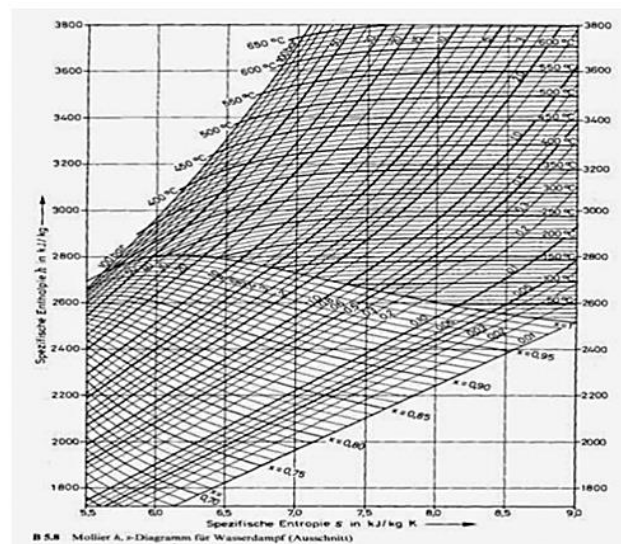
$$c_{1u} = c_1 * \cos \alpha_1 \quad (m/s) \tag{11}$$

$$c_{2u} = c_2 * \cos \alpha_2 \quad (m/s) \tag{12}$$

Kerugian Energi pada Turbin Uap

Kerugian pada turbin merupakan pertambahan energi kalor yang dibutuhkan untuk melakukan kerja mekanis pada kondisi aktual dibandingkan dengan nilai teoritis, yang proses ekspansinya terjadi sesuai dengan proses adiabatik.

Diagram *Mollier* yang ditunjukkan Gambar 4 digunakan untuk menganalisa proses penurunan kalor (kJ/kg) yang terdiri dari *entalpi* uap yang masuk menuju turbin yang digunakan untuk mengubah energi panas menjadi energi mekanis (H_0), dan *entalpi* uap keluar yang dialirkan menuju kondensor untuk di dinginkan kembali menjadi fasa cair (H_{1t})



Gambar 4. Diagram Moller

$$H_o = h_o - h_{1t} \quad (13)$$

$$H_o' = h_o - h_{1t}' \quad (14)$$

$$h_n = \frac{c_{1t}^2 - c_1'^2}{2000} \text{ (kJ/kg)} \quad (15)$$

$$h_{gb} = \frac{c_2^2 - c_1'^2}{2000} \text{ (kJ/kg)} \quad (16)$$

$$h_b = \frac{w_1^2 - w_2^2}{2000} \text{ (kJ/kg)} \quad (17)$$

$$h_{ge,a} = \frac{N_{ge,a}}{\dot{m}} \text{ (kJ/kg)} \quad (18)$$

$$N_{ge,a} = \beta * 10^{-10} * d^4 * n^3 * l_1 * \gamma \text{ (kW)} \quad (19)$$

$$\dot{m}_{Kebocoran} = 100 * f_s * \sqrt{\frac{g * (P_1^2 - P_3'^2)}{z * P_1 * V_1}} \text{ (kg/s)} \quad (20)$$

Efisiensi Turbin uap

Efisiensi turbin uap dapat dicari dengan menggunakan perbandingan antara kerja mekanis yang dihasilkan turbin dengan kerja teoritis uap pada roda turbin dimana kerja ini dalam persatuan waktu. Sehingga dapat dibuat rumus efisiensi sebagai berikut :

$$\eta_u = 2 * \varphi^2 \left[\left(1 + \psi * \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) * \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) + \left(1 + \psi * \frac{\cos \beta_2'}{\cos \beta_1'} \right) * \left(\frac{c_1'}{c_1} * \cos \alpha_1' - \frac{u}{c_1} \right) \right] * \frac{u}{c_1} \quad (21)$$

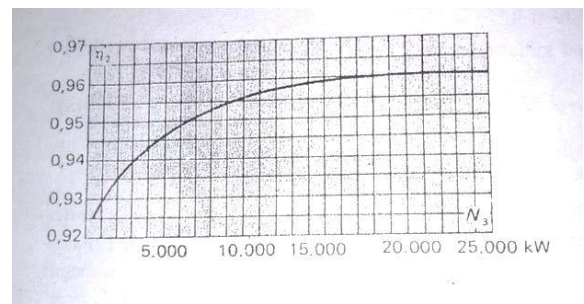
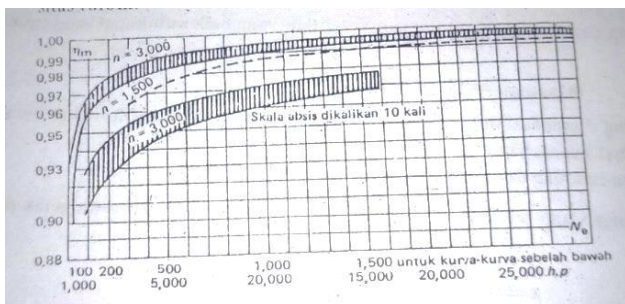
$$\eta_u = \eta_u = \frac{(\mu * H_o') - (h_n + h_{gb} + h_b')}{H_o'} \quad (22)$$

$$H_{i1} = H_o' - (h_n + h_b' + h_{ge,a}) \text{ (kJ/kg)} \quad (23)$$

$$\eta_{o1} = \frac{H_{i1}}{H_o'} \quad (24)$$

Efisiensi mekanis yaitu kerugian mekanis pada instalasi turbin uap yang dicakup oleh suatu besaran yang terdapat pada kurva yang memberikan nilai rata-rata efisiensi mekanis untuk berbagai kapasitas turbin yang ditunjukkan pada Gambar 5.a.

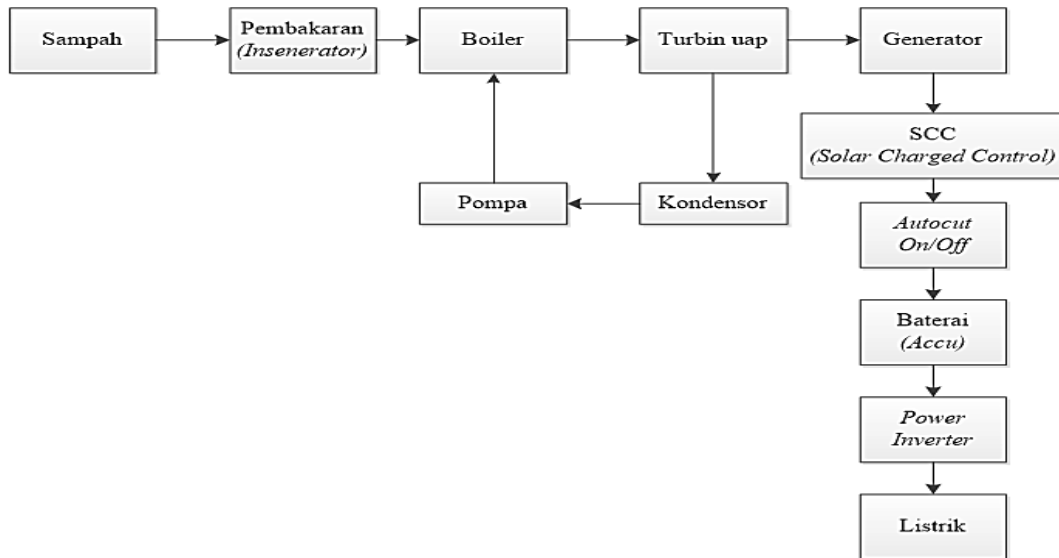
Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya yang dibangkitkan generator dengan daya suplai generator. Daya suplai generator sama dengan gaya yang dihasilkan oleh turbin yang dikopel dengan generator. Pada grafik efisiensi generator terdapat nilai efisiensi dan kapasitas generator yang ditunjukkan seperti Gambar 5.b.



(a) (b)
Gambar 5. (a) Grafik efisiensi mekanik (b) Grafik efisiensi generator

Skema PLTSa

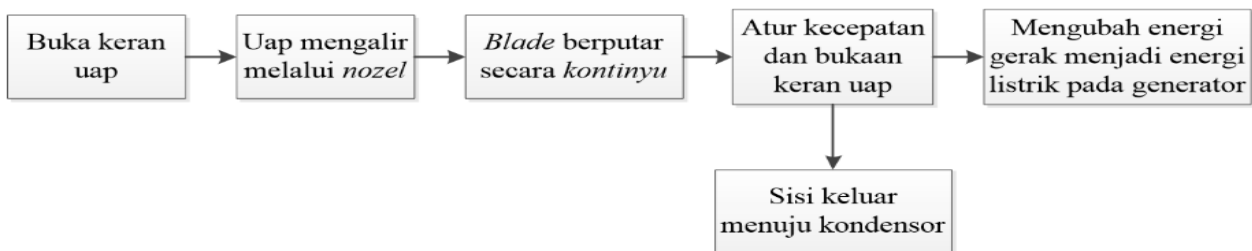
Rancangan blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) terdiri dari pembakaran sampah heterogen sehingga menghasilkan energi listrik pada generator DC magnet permanen yang ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok skema PLTSa

Proses Kerja Turbin Uap

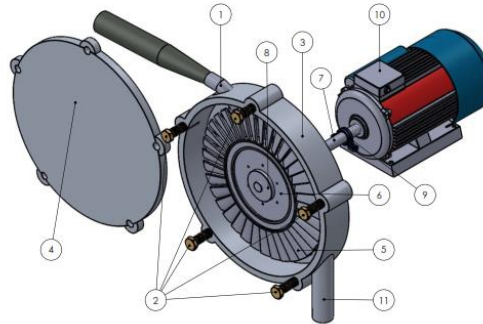
Rancangan blok diagram proses kerja turbin uap yang terdiri dari uap mengalir melalui *nozel* yang menimbulkan gaya untuk menggerakkan *blade* secara *kontinyu*. Kecepatan *blade* harus diatur melalui katup pengatur agar energi mekanis yang akan diubah menjadi energi listrik pada generator tidak banyak kebuang menuju kondensator yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok proses kerja Turbin uap

HASIL

Data Perancangan



Gambar 9. Turbin uap

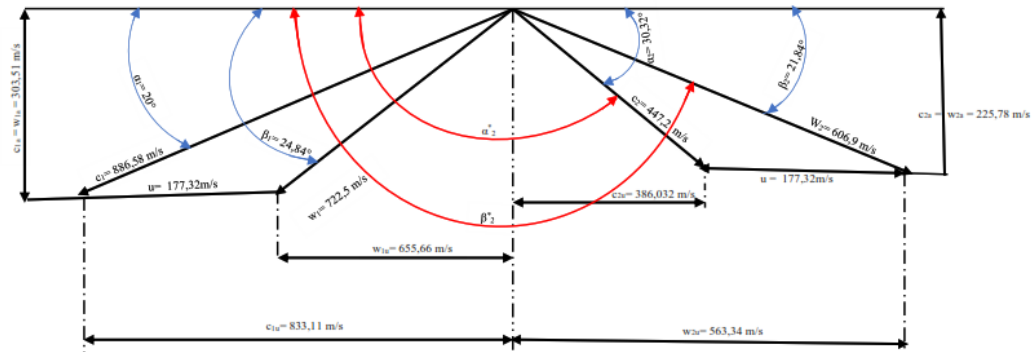
Komponen-komponen pembuatan turbin uap PLTSA yang terdiri material pembuatan dan ukuran dimensi ditunjukkan sesuai pada Tabel 1.

Tabel 1. Material dan Dimensi Turbin uap

No	Komponen	Material	Ukuran	Ketebalan
1	Nozel	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Diameter : 5 mm Panjang : 10 cm	1 mm
2	Baut	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	M8 Panjang : 20 mm @ 12 Panjang : 80 mm @ 7 Panjang : 30 mm @ 7	-
3	Cashing Turbin	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Diameter 420 mm Lebar 7 cm	1 mm
4	Tutup Cashing	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Diameter 430 mm	1 mm
5	Blade Turbin	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Panjang : 100 mm Lebar : 30 mm Sudut Kemiringan : 20 ^o Jumlah sudu : 37 sudu	1,3 mm
6	Roda Turbin	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Diameter : 200 mm	Depan: 3 mm Belakang : 2 mm
7	Poros Turbin	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Diameter : 1 inch Panjang : 30 cm	-
8	Flange Ø 1"	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Diameter : 80 mm Jumlah lubang : 6 baut	10 mm
9	Bearing UCP 205	<i>Casting</i>	Diameter : 25 mm	30 mm
10	Alternator	<i>Aluminium Alloy</i>	Panjang : 200 mm DC 1 Phasa	-
11	Pipa Output	<i>Stainless steel</i> <i>SUS 304</i>	Diameter : 1/2 inch Panjang : 70 cm	1 mm

Hasil Analisa Kecepatan Turbin Uap

Dari hasil perhitungan analisa kecepatan uap pada tekanan 6 bar dengan sudut masuk sudu pertama 24,84° dan sudut keluarnya 21,84° sehingga menghasilkan kecepatan teoritis turbin uap sebesar 886,58 m/s, ditunjukkan pada Gambar 10.



Efisiensi internal turbin uap yang diperoleh melalui perhitungan adalah 0,699504

efisiensi *internal* turbin :

$$\eta_{01} = \frac{H_{i1}}{H'_0} = \frac{304,634 \text{ kJ/kg}}{435,5 \text{ kJ/kg}} = 0,699504 \approx 70 \%$$

Daya *internal* turbin uap

$$N_i = 0,0105 \text{ kg/s} * 127,384 \text{ Kj/kg} = 1,337 \text{ kW}$$

Daya *output* turbin uap

$$W_{0T} = 0,0105 \text{ kg/s} * (2756 - 2618) \text{ kJ/kg} = 1,45 \text{ kW}$$

Hasil Perhitungan Nozel Pada Turbin Uap

Dari hasil perhitungan dimensi *nozel* pada turbin uap pada tekanan 6 bar dengan *nozel* yang digunakan yaitu *nozel konvergen* dengan jumlah *nozel* tunggal (1 *nozel*) yang sesuai ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan dimensi *nozel* turbin uap

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tekanan uap masuk nozel (P)	6	Bar
2	Volume spesifik uap masuk nozel (V ₁)	0,3157	m ³ /kg
3	Tekanan uap keluar nozel (P ₃)	5,7	Bar
4	Volume spesifik uap keluar nozel (V ₃)	0,3291	m ³ /kg
5	Uap kering jenuh (v _{cr})	0,557	-
6	Tekanan kritis nozel (P _{kr})	3,175	Bar
7	Jenis nozel	Konvergen	
8	Derajat pemasukan uap (ε)	0,00087	-
9	Tinggi nozel (l _n)	10	mm
10	Jumlah nozel (z _n)	1	-
11	Luas leher nozel total (A _{min})	12,678	mm ²
12	Luas sisi keluar nozel total (A ₁)	3,75	mm ²
13	Luas leher nozel (A _{min})	13	mm ²
14	Luas sisi keluar nozel untuk sebuah nozel (A ₁)	3,75	mm ²
15	Lebar leher nozel (a _{min})	1,3	mm
16	Lebar sisi keluar nozel (a ₁)	0,4	mm
17	Panjang busur cakram nozel (m)	1,1	mm

No	Parameter	Nilai	Satuan
18	Pitch (t)	1,1	mm
19	Panjang leher nozel (l)	17,6	mm

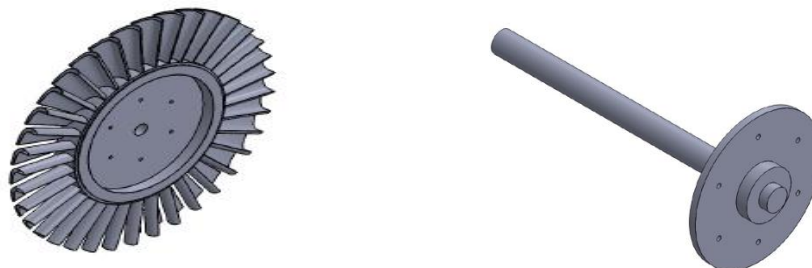
Hasil Perhitungan Sudu Gerak (Blade)

Dari hasil perhitungan sudu gerak (*blade*) pada turbin uap *type impuls* satu tingkat tekanan dengan tekanan uap sebesar 6 bar dan jumlah sudu 37 sudu yang sesuai ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan dimensi sudu gerak turbin uap

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tekanan uap masuk nozel (P)	6	Bar
2	Volume spesifik uap masuk nozel (V_1)	0,3157	m ³ /kg
3	Kecepatan relatif uap masuk sudu (w_1)	722,504	m/s
4	Sudut β_1	24,84°	deg
5	Tekanan uap keluar nozel (P_3)	5,7	Bar
6	Volume spesifik uap keluar nozel (V_3)	0,3291	m ³ /kg
7	Kecepatan relatif uap Keluar sudu (w_2)	606,9	m/s
8	Sudut β_2	21,84°	deg
9	Tinggi sudu pada sisi masuk (l'_{b1})	14	mm
10	Tinggi sudu pada sisi keluar (l'_{b2})	14	mm
11	Derajat pemasukan uap (ϵ)	0,00087	-
12	Tinggi sudu rata-rata (l'_b)	14	mm
13	Luas sisi masuk sudu total (A_{b1})	46	mm ²
14	Luas sisi keluar sudu total (A_{b2})	57	mm ²
15	Jumlah sudu	37	-
16	Lebar sudu (b)	30	mm
17	Tebal sudu pada sisi masuk (t_1)	1,2	mm
18	Tebal sudu pada sisi Keluar (t_2)	1,2	mm
19	Pitch (t)	20	mm
20	Lebar sisi keluar (a_b)	5,12	mm
21	Radius depan sudu (R)	16,343	mm
22	Radius Belakang sudu (r)	10,7	mm

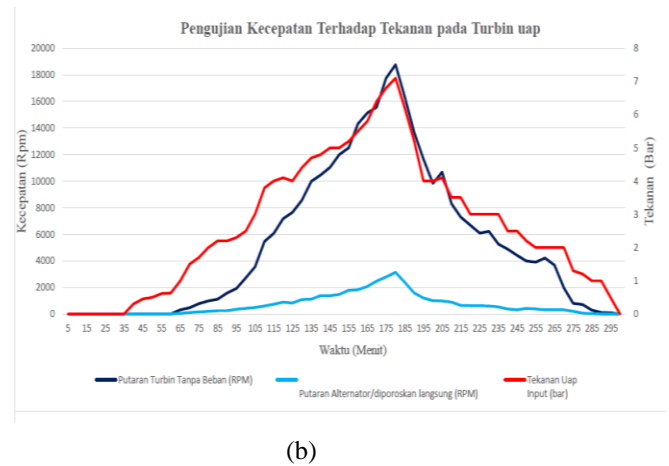
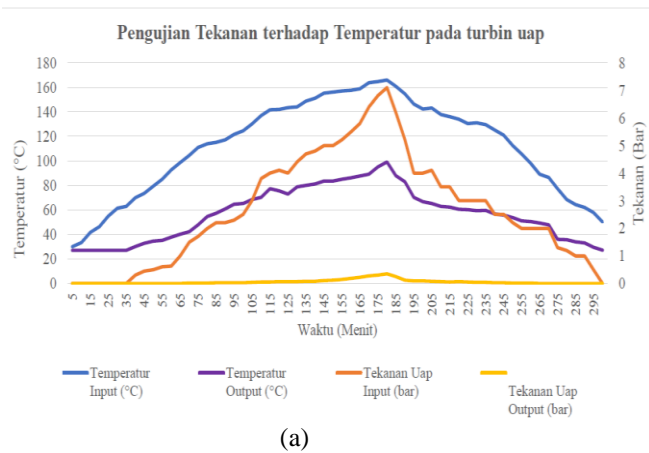
Dari hasil perancangan dan perhitungan turbin uap PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah), didapatkan daya output sebesar 1,45 kW dan daya internalnya 1,337 kW dengan menggunakan jenis turbin uap Impuls satu tingkat. Adapun hasil desain komponen utama turbin uap dapat dilihat pada gambar 11 ini :



Gambar 10. Blade dan poros turbin uap

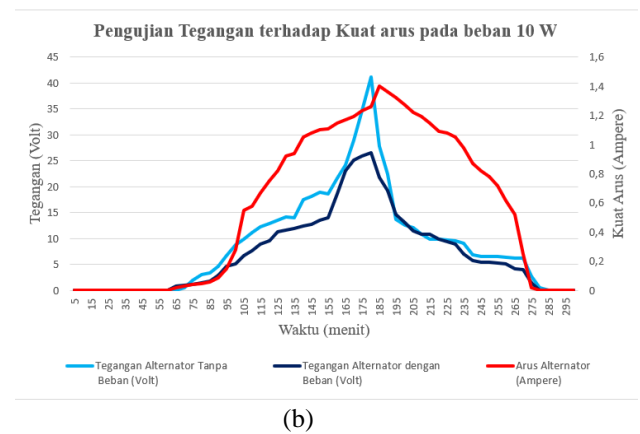
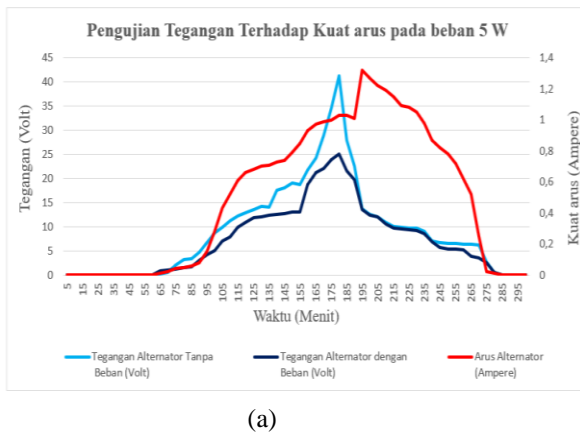
PEMBAHASAN

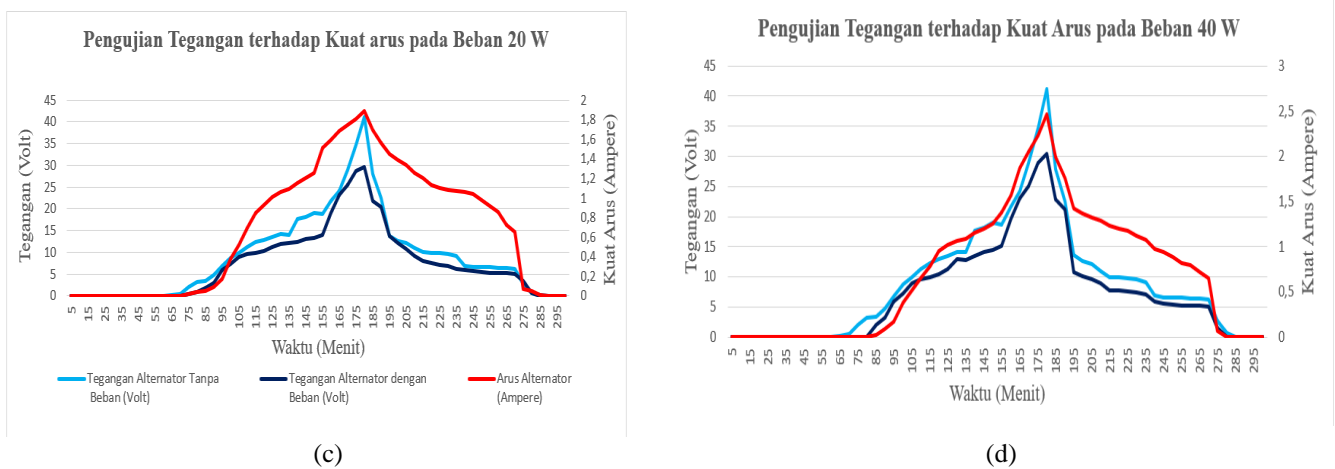
Dari hasil diagram yang ditunjukkan pada Gambar 11, terdapat temperatur input maksimum sebesar 165,9 °C dengan tekanan 7,1 Bar dan temperatur input minimum sebesar 30 °C dengan tidak adanya tekanan, Sedangkan temperatur output maksimum sebesar 99,1 °C dengan tekanan 0,35 Bar dan temperatur output minimum sebesar 27 °C dengan tidak adanya tekanan. Maka Tekanan input yang beroperasi sebesar 150 °C dengan tekanan 5 Bar agar turbin bisa berputar secara *kontinyu*. Dari hasil diagram yang ditunjukkan pada Gambar 12, terdapat kecepatan maksimum turbin tanpa beban generator sebesar 18765 rpm, apabila dengan beban generator diporoskan didapatkan kecepatan maksimum 3134 rpm dengan tekanan 7,1 Bar. Sedangkan tekanan minimum turbin tanpa beban sebesar 312 rpm, apabila dengan beban generator diporoskan didapatkan kecepatan maksimum 40,7 rpm dengan tekanan 1 Bar. Maka kecepatan operasional turbin uap sebesar 1500 rpm dengan tekanan 5 Bar agar turbin bisa berputar secara *kontinyu*.



Gambar 11. Grafik Pengujian a) tekanan terhadap temperatur pada turbin uap, b) Kecepatan terhadap tekanan

Pengujian Tegangan Terhadap Kuat Arus Pada Beban Lampu





Gambar 12. Grafik Pengujian Tegangan terhadap kuat arus pada beban a) 5 Watt, b) 10 Watt, c) 20 Watt, d) 40 Watt

Dari hasil pengujian pada beban 5 watt didapat tegangan maksimum tanpa beban sebesar 15 Volt, ketika dihubungkan dengan beban lampu maka didapat tegangan sebesar 11,9 volt, kuat arus 0,68 A pada tekanan 4,2 bar yang ditunjukkan pada Gambar 12 a. Dari hasil pengujian pada beban 10 watt didapat tegangan maksimum tanpa beban sebesar 19 Volt, ketika dihubungkan dengan beban lampu maka didapat tegangan sebesar 12 volt, kuat arus 0,94 A pada tekanan 4,7 bar yang ditunjukkan pada Gambar 12 b. Dari hasil pengujian pada beban 20 Watt didapat tegangan maksimum tanpa beban sebesar 21,7 volt, ketika dihubungkan dengan beban lampu maka didapat tegangan sebesar 13,1 Volt, kuat arus 1,25 A pada tekanan 5 bar yang ditunjukkan pada Gambar 12 c. Dari hasil pengujian pada beban 40 watt didapat tegangan maksimum tanpa beban sebesar 26 volt, ketika dihubungkan dengan beban lampu maka didapat tegangan sebesar 13,8 volt, kuat arus 1,2 A pada tekanan 5 bar yang ditunjukkan pada Gambar 12 d.

PENUTUP

Perancangan dan penelitian PLTSa membutuhkan komponen pendukung dalam penelitian ini diantaranya yaitu : a) Insenerator, b) Boiler tipe pipa air, c) Turbin uap satu tingkat jenis impuls, d) Tachometer & Indikator temperatur, e) Pipa output & Kondensor, f) Generator DC magnet permanen g) Multimeter, h) beberapa bohlam lampu untuk penerangan. Dari hasil perancangan turbin uap pada PLTSa yang dihasilkan dari bahan bakar sampah heterogeny sudah bekerja dengan baik yang mampu mensuplai energi listrik untuk di distribusikan ke lingkungan Kampus Unsika.

Pengujian PLTSa mendapatkan hasil uji tanpa beban sebesar 25 volt DC, pada putaran 2465 rpm dengan tekanan 5,5 bar dan temperatur 165 °C. Pengujian PLTSa mendapatkan hasil pengujian dengan beban lampu 5 watt sebesar 11,9 volt, kuat arus 0,68 A pada tekanan 4,2 bar dan temperatur 145 °C. Pengujian PLTSa mendapatkan hasil pengujian dengan beban lampu 10 watt sebesar 12 volt, kuat arus 0,94 A pada tekanan 4,7 bar dan temperatur 148,6 °C. Pengujian PLTSa mendapatkan hasil pengujian dengan beban lampu 20 watt sebesar 13,1 volt, kuat arus 1,25 A pada tekanan 5 bar dan temperatur 153,1 °C. Pengujian PLTSa mendapatkan hasil pengujian dengan beban lampu 40 watt sebesar 13,8 volt, kuat arus 1,2 A pada tekanan 5 bar dan temperatur 150,9 °C.

DAFTAR RUJUKAN

- Safrizal. (2014). Distribusi Generator Pembangkit Listrik Tenaga Sampah kota (PLTSA) *Type incenerator* solusi listrik alternatif kota medan . *Prosiding SNATIF*, 10, pp. 121-128.
- Diskominfo, “DLHK” Karawang. (21 Januari 2021). [Online]. Available : www.karawangkab.go.id. [Diakses 1 Februari 2021].
- Syaifudin Muhammad, Bambang Dwi Sulo, Bambang Minto Basuki. (2019). Modul Pembangkit Listrik Tenaga Kayu di kabupaten Konawe Sulawesi tenggara.no.7, pp.14-20.
- F.Farhan, “Kompas.com”. (Selasa, Februari 2020). [Online]. Available : <https://regional.kompas.com/recid/2020/04/02/14061891/setiap-hari-500-ton-sampah-di-karawang-tak-terangkut--ke-tpa?page=all#source=clicktitle>. [Diakses 28 Januari 2020].
- P.Shlyakhin. (1988). Turbin Uap Teori & Rancangan. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Yunus, A Cengel, Michael, A Bolles. (2019). Thermodynamics an engineering approach (9rd ed.). New York, NY : McGraw-Hill Education.
- J. Moran, N. Shapiro. (2006). Fundamentals of Engineering Thermodynamics (5rd ed.). Chichester, England: John Willey & Sons, Inc.
- Tumpal Batubara Nanaban. (2009). Perancangan Turbin Uap Penggerak Generator Listrik dengan Daya 80 MW pada Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Skripsi. Departemen Teknik Mesin. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Roy Franc.J.S. (2009). Perancangan Turbin Uap untuk PLTGU dengan Daya Generator Listrik 80 dan Putaran Turbin 300 RPM. Skripsi. Departemen Teknik Mesin. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Maycold Manurung. (2010). Perancangan dan Simulasi aliran Fluida pada Turbin Uap Siklus Rankine Organik dengan Daya Output 110 kW. Skripsi. Departemen Teknik Mesin. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Ristyanto, A N., Simulasi Perhitungan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Makalah Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik. UNDIP Rembang.
- Edi Baginta Kacaribu. (2009). Analisis Variasi Sudut Sudu-sudu Turbin Impuls terhadap Daya Mekanis Turbin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Skripsi. Program Pendidikan Sarjana Ekstensi, Departemen Teknik Mesin. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Muhammad Ibrahim. (2020). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Dengan Memanfaatkan Generator Ac 1 Fasa Sebagai Listrik Penerangan Kapasitas 9 Watt . Tugas Akhir. Program Studi SI-Teknik Mesin. UNSIKA, Karawang.
- W. Arismunandar. (2004). Penggerak mula Turbin (Edisi 3). Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Drs.Daryanto. (1985). Contoh Perhitungan turbin Uap. Bandung: Tarsito.
- F.Dietzel & D.Sriyotno. (1988). Turbin Pompa dan Kompresor. Jakarta : PT.Gelora Aksara Pratama
- M.M. El.Wakil. (1992). Instalasi Pembangkit Daya (Jilid 1). Jakarta : Erlangga.
- Rizqia Cahyaningtiyas, Abdul Haris. (2019). Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di STT PLN sebagai bagian dari listrik Kerakyatan (LK). Jurnal Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang. Vol.8. no.01, pp. 59-68.
- Riza Sumsinar, (2018). Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Kapasitas 115 KW (Studi kasus kota Tegal). Jurnal Elektrum, Vol.15. no.02, pp. 33-40.
- Muhammad Syukrillah. (2019). Analisis Perhitungan Efisiensi Energi di sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) PT. Harjohn Timber Kubu Raya. Jurnal Elektro, Universitas Tanjungpura. pp. 1-11.